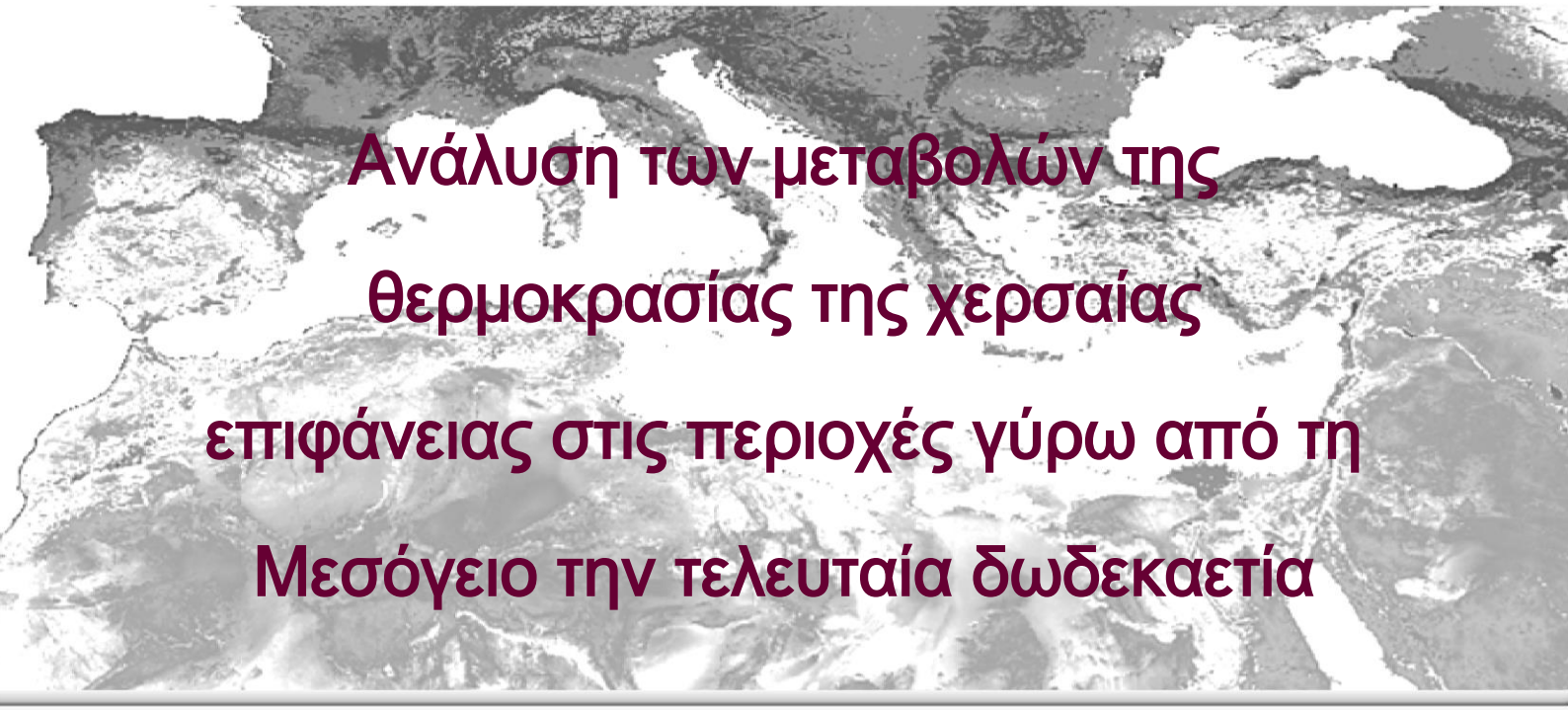
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

Κατεύθυνση: Εφαρμοσμένων Μαθηματικών



Ανάλυση των μεταβολών της θερμοκρασίας της χερσαίας επιφάνειας στις περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο την τελευταία δωδεκαετία

Διπλωματική εργασία: Τζελίδη Δήμητρα

Επιβλέπων: Δρ. Νεκτάριος Χρυσουλάκης

Ηράκλειο 2013

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Τμήμα Μαθηματικών, κατεύθυνσης Εφαρμοσμένων Μαθηματικών, του Πανεπιστημίου Κρήτης και αφορά στη χωρική ανάλυση των μεταβολών της θερμοκρασίας της χερσαίας επιφάνειας των περιοχών γύρο από τη Μεσόγειο τα τελευταία δώδεκα έτη.

Η εργασία αυτή έλαβε χώρα στο Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013. Επιβλέπων ήταν ο Δρ. Νεκτάριος Χρυσουλάκης, τον οποίο και ευχαριστώ ιδιαίτερα για την πολύτιμη ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στην ομάδα του και να δουλέψω υπό την καθοδήγησή του καθώς και για τον προσανατολισμό του προς το συγκεκριμένο θέμα και τη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Μπενά Νικόλαο, για τη συνεργασία, την πολύτιμη καθοδήγησή του, τις χρήσιμες συμβουλές του για την πειραματική εργασία, αλλά και την άμεση υποστήριξή του, συμβάλλοντας ιδιαιτέρως στην ομαλή εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλα τα μέλη του Τομέα Περιφερειακής Ανάλυσης του Ινστιτούτου Υπολογιστικών Μαθηματικών, για την άριστη συνεργασία και το φιλικό περιβάλλον που δημιούργησαν σε όλη την περίοδο παραμονής μου στο Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους ανθρώπους που με στήριξαν και με ενθάρρυναν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, και ιδιαίτερα στην οικογένεια μου.

Τζελίδη Δήμητρα

Ηράκλειο, Οκτώβριος 2013

Περίληψη

Η μεταβολή στις χρήσεις γης από τον άνθρωπο και οι αλλοιώσεις που προκύπτουν στα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς της συμβάλλουν στη μεταβολή του κλίματος σε τοπική, περιφερειακή και πλανητική κλίμακα. Η μελέτη της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST: Land Surface Temperature), είναι σημαντική για τον προσδιορισμό αυτών των μεταβολών.

Στην εν λόγω διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ανάλυση δορυφορικών καταγραφών για την δημιουργία δωδεκαετούς χρονοσειράς χωρικών κατανομών της θερμοκρασίας της επιφάνειας στις χερσαίες περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές καταγραφές του ραδιομέτρου MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), που βρίσκεται σε δύο δορυφόρους, τον Terra και τον Aqua της NASA. Έχει εύρος σάρωσης 2.330 km. Το MODIS συνδυάζει ικανοποιητική φασματική, χωρική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα και δίνει εν γένει δεδομένα υψηλής ποιότητας από τα οποία παράγονται με εφαρμογή κατάλληλων αλγορίθμων προϊόντα που αφορούν γεωφυσικές παραμέτρους όπως η LST. Τόσο ημερήσιες, όσο και νυχτερινές τιμές της θερμοκρασίας ελήφθησαν υπόψη στην παρούσα εργασία, με βάση τις ώρες δορυφορικής κατόπτευσης.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής αυτής εργασίας, με στατιστική επεξεργασία της χωρο-χρονικής σειράς εκτιμήθηκαν αρχικά οι μέσοι όροι, δίνοντας κατάλληλα βάρη σε μηναία βάση. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της χρονοσειράς, μέσω των μέσων μηναίων τιμών ολόκληρης της δωδεκαετούς περιόδου. Έπειτα, για τη διερεύνηση της θερμικής επιβάρυνσης που έχει επέλθει λόγω κλιματικής μεταβολής, εκτιμήθηκαν, για κάθε σημείο πλέγματος 1 x 1 km που κάλυπτε την περιοχή μελέτης, οι μακρόχρονες τάσεις με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης. Τέλος, η στατιστική επεξεργασία ολοκληρώθηκε με την

κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων μα βάση τους αντίστοιχους τύπους κάλυψης της γης, οι οποίοι είχαν επίσης προκύψει από δορυφορικές καταγραφές. Κατά την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης εξήχθησαν 24 χάρτες που αποτυπώνουν την ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση (12 για την ημέρα και 12 για τη νύχτα) καθώς και 24 χάρτες αποτύπωσης των μακρόχρονων τάσεων (trends) (ομοίως 12 για την ημερήσια τάση και 12 για τη νυχτερινή). Επιπλέον δημιουργήθηκαν 2 πίνακες μεταβολής της τάσης του LST ανά μήνα, ανά τύπο εδάφους (για την ημέρα και τη νύχτα χωριστά). Έμφαση δόθηκε στις στατιστικά σημαντικές μεταβολές.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

1.1 Θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους και εκτίμησή της από δορυφορικές καταγραφές 1

1.2 Το ραδιόμετρο MODIS και το προϊόν του που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη 4

1.3 Η περιοχή μελέτης και οι λόγοι επιλογής της 11

1.4 Δορυφορικός χάρτης κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης 12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Ανάκτηση δεδομένων της χρονολογικής σειράς

2.1 Η διαδικασία ανάκτησης των δεδομένων 14

2.2 Μετατροπή του φορμά των αρχείων των δορυφορικών παρατηρήσεων και δημιουργία 12ετούς χρονοσειράς εικόνων 16

2.3 Μετατροπή των ψηφιακών τιμών των εικονοστοιχείων των εικόνων της χρονοσειράς σε τιμές θερμοκρασίας 17

2.4 Προσδιορισμός της ύπαρξης εκτιμήσεων του αλγορίθμου σε ημερήσια βάση 19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Στατιστική επεξεργασία της χρονολογικής σειράς

3.1 Μέθοδος υπολογισμού των μέσων μηνιαίων τιμών 21

3.2 Μέθοδος υπολογισμού της ενδοετήσιας εποχικής διακύμανσης 23

3.3 Μέθοδος υπολογισμού της μακρόχρονης τάσης με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης 26

3.4 Κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων με βάση τους αντίστοιχους τύπους κάλυψης γης .. 31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Αποτελέσματα

4.1 Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας εδάφους 35

4.2 Μακρόχρονες τάσεις της θερμοκρασίας εδάφους 42

4.3 Κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το είδος κάλυψης του εδάφους. 51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία 59

Δικτυακοί τόποι 62

Παράρτημα Ι 63

Παράρτημα ΙΙ 73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους και εκτίμησή της από δορυφορικές καταγραφές

Η μεταβολή στην κάλυψη της γης και στη χρήση της όταν εξεταστεί σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζει σημαντικά τις βασικές πτυχές της λειτουργίας του συστήματος της Γης. Έχει άμεση επίπτωση στη βιοτική πολυμορφία σε παγκόσμια κλίμακα και συμβάλλει στην τοπική και περιφερειακή αλλαγή του κλίματος. Η μελέτη της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST - Land Surface Temperature), είναι σημαντική για τον προσδιορισμό αυτών των μεταβολών (Roger & Pielke 2005).

Η κινητική θερμοκρασία είναι εκείνη που μπορεί να μετρηθεί για παράδειγμα με ένα θερμόμετρο και αντιπροσωπεύει τη μέση κινητική ενέργεια των μορίων του αέρα, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να υποδηλώνουν την ταχύτερη κίνηση των μορίων του αέρα. Η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους εκτιμάται με όργανα τα οποία μετρούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα ραδιόμετρα. Περιέχει την κινητική θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους μόνο πάνω από χερσαίες περιοχές και λόγω της ατμοσφαιρικής απορρόφησης που υπόκειται εξαιτίας υδρατμών και άλλων αερίων της ατμόσφαιρας, είναι απαραίτητη η ατμοσφαιρική διόρθωση των ραδιομετρικών τιμών της.

Το γεωγραφικό πλάτος, η ώρα της ημέρας, οι εποχές και η κατάσταση της ατμόσφαιρας είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν τη θερμοκρασία

της επιφάνειας εδάφους, η οποία είναι καθοριστικής σημασίας για τον υδρολογικό κύκλο και το κλίμα. Η LST μπορεί να εκτιμηθεί με επιτόπιες μετρήσεις, καθώς και μέσω δορυφορικών καταγραφών στη φασματική περιοχή του θερμικού υπερύθρου (Dash et al. 2002).

Η χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών αισθητήρων είναι πολύ ικανοποιητική και επιπλέον παρέχουν παγκόσμια κάλυψη, κάτι που είναι πολύ σημαντικό σε περιπτώσεις που η περιοχή μελέτης είναι αρκετά εκτεταμένη, όπως συμβαίνει στην παρούσα εργασία.

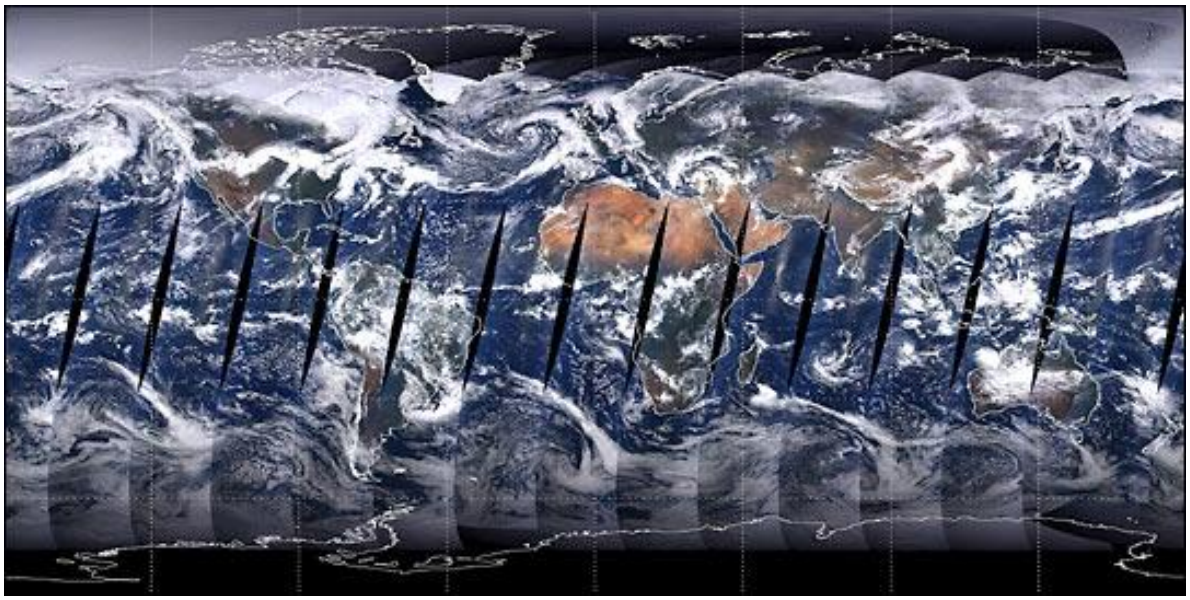
Για τον υπολογισμό της LST από δορυφορικές παρατηρήσεις, πρέπει να ληφθούν υπόψη: η γωνία λήψης, ο συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας και η επίδραση της ατμόσφαιρας. Ο συντελεστής εκπομπής είναι ένα μέτρο της ικανότητας που έχει η επιφάνεια να μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε ενέργεια που ακτινοβολείται από την επιφάνεια. Βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην χημική σύσταση και στη μορφολογία της επιφάνειας, καθώς και στην περιεκτικότητά της σε υγρασία. Λόγω του ότι ο συντελεστής εκπομπής εξαρτάται από τη φυσική της κατάσταση της επιφάνειας, παρουσιάζει χρονική μεταβλητότητα με συνέπεια η εκτίμηση της LST να καθίσταται περισσότερο πολύπλοκη. Η LST εξαρτάται επίσης από την κάλυψη του εδάφους, αν δηλαδή υπάρχει βλάστηση, αν υπάρχουν ανθρωπογενή υλικά, αν το έδαφος είναι γυμνό, αν υπάρχουν υδάτινες επιφάνειες. Επίσης εξαρτάται από την τοπογραφία (καθορίζει το βαθμός έκθεσης της επιφάνειας στον ήλιο, καθώς και το ποσοστό θέασης του ουρανού), τη μορφολογία και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας (Μητράκα 2011).

Η πτυχιακή αυτή εργασία έχει στόχο την ανάλυση δορυφορικών καταγραφών για τη δημιουργία δωδεκαετούς χρονοσειράς χωρικών κατανομών της LST στις χερσαίες περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο. Η στατιστική επεξεργασία της χωροχρονικής σειράς που παράχθηκε είχε στόχο την εκτίμηση των τάσεων για τη διερεύνηση της

θερμικής επιβάρυνσης, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές, που έχει επέλθει λόγω κλιματικής μεταβολής.

1.2 Το ραδιόμετρο MODIS και το προϊόν του που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη

Το MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) είναι ένα καταγραφικό σύστημα που βρίσκεται σε δύο δορυφόρους, τον Terra και τον Aqua της NASA. Έχει εύρος σάρωσης 2.330km (Εικόνα 1) και κάθε σημείο στην επιφάνεια της γης κατοπτεύεται τουλάχιστον 2 φορές το εικοσιτετράωρο από καθένα από τους παραπάνω δορυφόρους.



Εικόνα 1: Κάλυψη της γήινης επιφάνειας από τον αισθητήρα MODIS στα διάφορα περάσματα του δορυφόρου Terra σε μία ημέρα.

Το ραδιόμετρο MODIS είναι ένα πολυφασικό εργαλείο για την άντληση πληροφοριών σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι ανιχνευτές του μετρούν την ακτινοβολία σε 36 φασματικά κανάλια (bands) και λαμβάνουν δεδομένα σε τρεις χωρικές αναλύσεις, 250 m (bands 1-2), 500 m (bands 3-7) και 1.000 m (bands 8-36). Καλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα παρέχεται στην περιοχή του ορατού

φάσματος. Η ακτινοβολία που μετρείται από τον MODIS σε υψηλή φασματική ανάλυση παρέχει βελτιωμένες και πολύτιμες πληροφορίες για τη φυσική δομή της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της γης (Barnes et al. 1998). Η ενσωμάτωση 36 φασματικών καναλιών σε ένα ενιαίο αισθητήρα συμπεριλαμβανομένων 490 ανιχνευτών στοιχείων, αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των δεκτών AVHRR, CZCS και HIRS. (Justice et al. 2002). Αυτό το ξεχωριστό χαρακτηριστικό στο σχεδιασμό του MODIS, αποτέλεσε την επιτομή και ουσία της χρησιμότητας ενός τέτοιου δέκτη, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις τριών διαφορετικών συνιστωσών που ορίζουν το περιβάλλον: της ατμόσφαιρας, του ωκεανού και της γης με τα φασματικά κανάλια και τη χωρική ανάλυση επιλεγμένα, ώστε να ανταπεξέρχονται των απαιτούμενων αναγκών για την καθημερινή παγκόσμια κάλυψη. (Salomonson et al. 1989). Συγκριτικά με άλλους αισθητήρες, ο MODIS είναι ενισχυμένος στη φασματική, χωρική και ραδιομετρική του ανάλυση, και εν γένει έχει δεδομένα καλύτερης ποιότητας. Επιπλέον, έχουν σχεδιαστεί και λειτουργούν επιχειρησιακά αλγόριθμοι αυτόματης ταξινόμησης, οι οποίοι ελαχιστοποιούν το χρόνο που μεσολαβεί από τη λήψη των δεδομένων ως τη θεματική χαρτογράφηση. Η επικαιρότητα και η ποιότητα των χαρτών κάλυψης του εδάφους, που παράγονται από τον MODIS, είναι τα βασικά χαρακτηριστικά για τη χρησιμότητά του σε πληθώρα επιστημονικών εφαρμογών, τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα (Friedl et al. 2002).

Από τις πρωτογενείς καταγραφές του, παράγονται αυτόματα στο σταθμό βάσης προϊόντα (χωρικές κατανομές βιο-γεωφυσικών παραμέτρων) και διατίθενται σε διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες. Ο αριθμός των προϊόντων που παράγονται από τις παρατηρήσεις του MODIS καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών σχετικών με τη χερσαία επιφάνεια, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη μελέτη των μεταβολών του συστήματος γη (Salomonson et al. 2005, Τουλουπάκη 2010). Τα προϊόντα που αφορούν το έδαφος (MODIS Land Products) είναι διαθέσιμα καθημερινά, ανά 8 ημέρες, ανά 16 ημέρες, μηνιαίως, τριμηνιαίως και

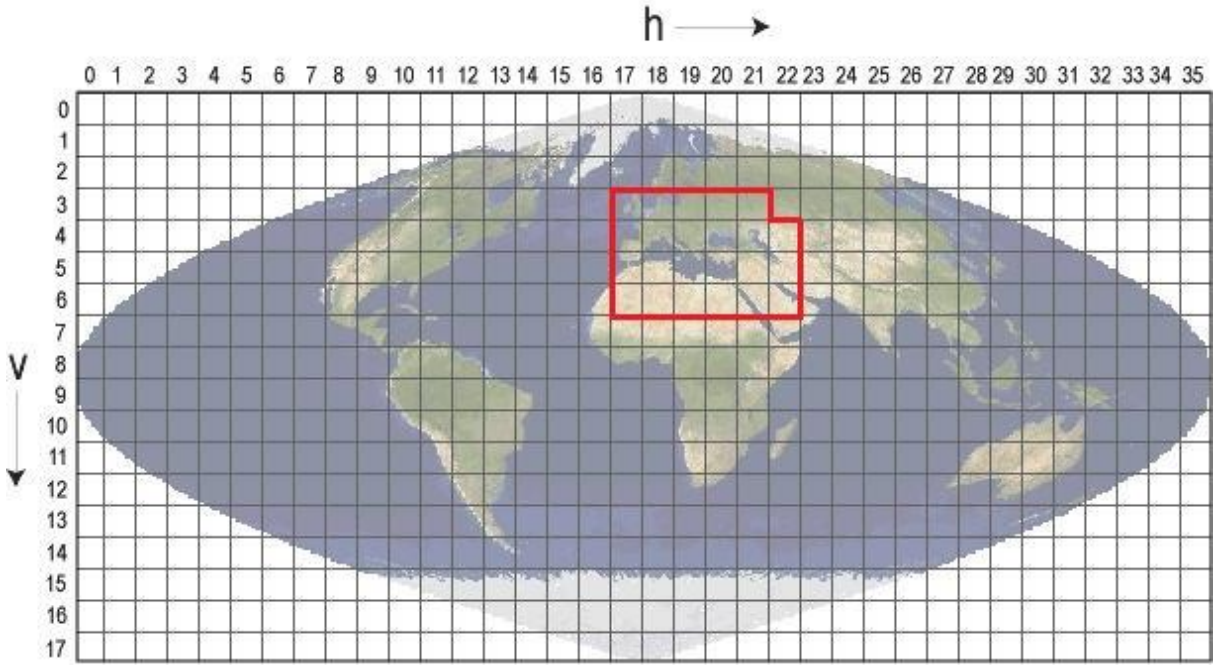
ετησίως. Η χρονική ανάλυση των εξαγόμενων αρχείων που θα χρησιμοποιηθούν στη συγκεκριμένη εργασία είναι ανά 8 ημέρες. Πληροφορίες για την LST, η οποία διακρίνεται σε επιφανειακή θερμοκρασία ημέρας (LST Day) και νύχτας (LST Night) ανάλογα με την ώρα κατόπτευσης του δορυφόρου, εξάγονται από τα κανάλια 31 και 32 του MODIS. Το κανάλι 31 έχει φασματικό εύρος 10.780-11.280 μm και το κανάλι 32 έχει φασματικό εύρος 11.770-12.270 μm. Εφόσον οι ζώνες ενδιαφέροντος για τον υπολογισμό της επιφανειακής θερμοκρασίας είναι οι 31 και 32, η χωρική ανάλυση των δεδομένων είναι 1km $\times$ 1 km (NASA Earth Data, 2013).

Πίνακας 1: Οι φασματικές ζώνες του MODIS

Primary Use	Band	Bandwidth[1]	Spectral Radiance[2]	Required SNR[3]
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670	21.8	128
	2	841 - 876	24.7	201
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483 - 493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
	16	862 - 877	6.2	516
Atmospheric Water Vapor	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
	19	915 - 965	15.0	250
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)	0.07
Atmospheric Temperature	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)	0.25
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25
Cirrus Clouds Water Vapor	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
Ozone	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
Surface/Cloud Temperature	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)	0.05
Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35

[1] Bands 1 to 19 are in nm; Bands 20 to 36 are in μm
[2] Spectral Radiance values are (W/m^2 -μm-sr)
[3] SNR = Signal-to-noise ratio

Τα προϊόντα του MODIS είναι διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή σε Hierarchical Data Format (HDF). Το φορμά αυτό επιτρέπει την αποθήκευση και οργάνωση μεγάλου όγκου ψηφιακών δεδομένων, αρχείων και βιβλιοθηκών. Υποστηρίζεται από πολλές πλατφόρμες λογισμικών, όπως το Matlab και το JAVA. Η πρόσβαση στα HDF αρχεία είναι ελεύθερη για γενική χρήση. Μέσω της κωδικοποίησης αυτής παρέχονται, μεταξύ άλλων, ο συντελεστής εκπομπής για τις μπάντες 31 και 32, η LST ημέρας και νύχτας καθώς και πληροφορία για τη νεφοκάλυψη. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι προαναφερθείσες παράμετροι (The HDF Group, 2013). Τα παραγόμενα hdf αρχεία καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια της γης σε τμήματα (tiles), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2 (NASA MODIS Web a., 2013).



Εικόνα 2: Το πλέγματος με τα tiles στα οποία χωρίζεται η γήινη επιφάνεια για τη διάθεση των προϊόντων MODIS. Με το κόκκινο περίγραμμα εσωκλείονται τα tiles που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Τα αρχεία ακολουθούν μία σύμβαση στην ονομασία τους, η οποία μας παρέχει σημαντικές πληροφορίες για το προϊόν. Για παράδειγμα, το όνομα αρχείου MOD11A2.A2002099.h19v05.005.2002012234657.hdf, υποδηλώνει ότι:

- MOD11A2: μία σύντομη ονομασία του προϊόντος
- A2002099: Ιουλιανή ημερομηνία καταγραφής πληροφοριών (9Απριλίου 2002)
- h19v05: θέση του tile (horizontalXXverticalYY)
- 005: έκδοση της συλλογής
- 2002012234657: Ιουλιανή ημερομηνία παραγωγής, καταγραφή λεπτομερώς (12 Ιανουαρίου 2002 και 23:46':57'')
- .hdf: κατάληξη που φανερώνει τη μορφή αντλούμενων δεδομένων

Ο τρόπος μέτρησης των περιοχών κάλυψης κάθε αρχείου φαίνεται στην Εικόνα 2.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, από τους ανιχνευτές του MODIS ανακτάται πληροφορία για την ακτινοβολία (ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη) που προέρχεται από την επιφάνεια (surface radiance). Στο σταθμό εδάφους πραγματοποιείται αυτόματα μετατροπή των τιμών της ακτινοβολίας σε τιμές θερμοκρασίας μέσω ενός αλγορίθμου, ο οποίος περιγράφεται παρακάτω. Έτσι παράγονται τα αντίστοιχα προϊόντα. Τα προϊόντα που ο κωδικός ονόματος του αντίστοιχου HDF αρχείου αρχίζει με «MOD11» αφορούν την LST και τον συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας.

Για την εκτίμηση του LST οι αλγόριθμοι βασίζονται στη μέθοδο «split window». Αν γνωρίζουμε το συντελεστή εκπομπής σε καθένα από τα κανάλια 31 και 32 του MODIS, η μέθοδος split window μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διόρθωση της επίδρασης της ατμόσφαιρας στην εκτίμησης της LST (Wan and Dozier, 1989). Αυτό που κάνει αυτή τη μέθοδο να ξεχωρίζει είναι ότι δεν απαιτεί τη γνώση των ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών με ακρίβεια, δεν χρειάζεται την προσομοίωση της

διάδοσης της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και η ακρίβειά της εξαρτάται από τη γνώση του συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας. Ο γενικευμένος αλγόριθμος υπολογισμού LST με τη μέθοδο split window χρησιμοποιεί μία απλή φόρμα και απαιτεί ελάχιστο υπολογιστικό χρόνο. Αυτή η μέθοδος προτάθηκε αρχικά ως επιχειρησιακή για τον υπολογισμό της LST από καταγραφές του MODIS και βασίζεται στις ακόλουθες υποθέσεις για την ατμοσφαιρική κατάσταση και για το εύρος τιμών της θερμοκρασίας και του συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας του εδάφους (Betts et al., 1996):

- Η συγκέντρωση των υδρατμών που έχουν μεγάλες χρονική μεταβλητότητα είναι γνωστή με σφάλμα όχι μεγαλύτερο του 10%.
- Η LST διαφέρει ανάλογα με την περιοχή και τον τύπο κάλυψης της γης και σχετίζεται λιγότερο με τη θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια.
- Η διαφορά στην LST μεταξύ ημέρας και νύχτας μπορεί να είναι μεγαλύτερη των 10° C.
- Ο συντελεστής εκπομπής των περισσότερων τύπων κάλυψης Γης στις μπάντες 31 και 32 του MODIS είναι σχετικά σταθερός. Θεωρητικά βρίσκεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος, από 0 έως 1. Όμως στην πράξη οι τιμές του emissivity κυμαίνονται γύρω στο 0.9.
- Με βάση τις παραπάνω προϋποθέσεις, ο αλγόριθμος εκτίμησης της LST δίδεται από τη φόρμουλα (Wan and Dozier, 1989):

$$\mathbf{LST} = \left(\mathbf{A_1} + \mathbf{A_2}\frac{\mathbf{1-\varepsilon}}{\boldsymbol{\varepsilon}} + \mathbf{A_3}\frac{\boldsymbol{\Delta\varepsilon}}{\boldsymbol{\varepsilon^2}}\right)\frac{\mathbf{T_{31}+T_{32}}}{\mathbf{2}} + \left(\mathbf{B_1} + \mathbf{B_2}\frac{\mathbf{1-\varepsilon}}{\boldsymbol{\varepsilon}} + \mathbf{B_3}\frac{\boldsymbol{\Delta\varepsilon}}{\boldsymbol{\varepsilon^2}}\right)(\mathbf{T_{31}} - \mathbf{T_{32}}) + \mathbf{C} \qquad (1)$$

όπου, $\boldsymbol{T_{31}}$ και $\boldsymbol{T_{32}}$: η θερμοκρασία λαμπρότητας για τα κανάλια 31 και 32.

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_{31} + \varepsilon_{32})/2$

$\boldsymbol{\Delta\varepsilon} = \varepsilon_{31} - \varepsilon_{32}$

$\boldsymbol{\varepsilon_{31}}$ και $\boldsymbol{\varepsilon_{32}}$: οι συντελεστές εκπομπής στα κανάλια 31 και 32.

$\boldsymbol{A_i B_i C_i}$: σταθερές ($i = 1,2,3$).

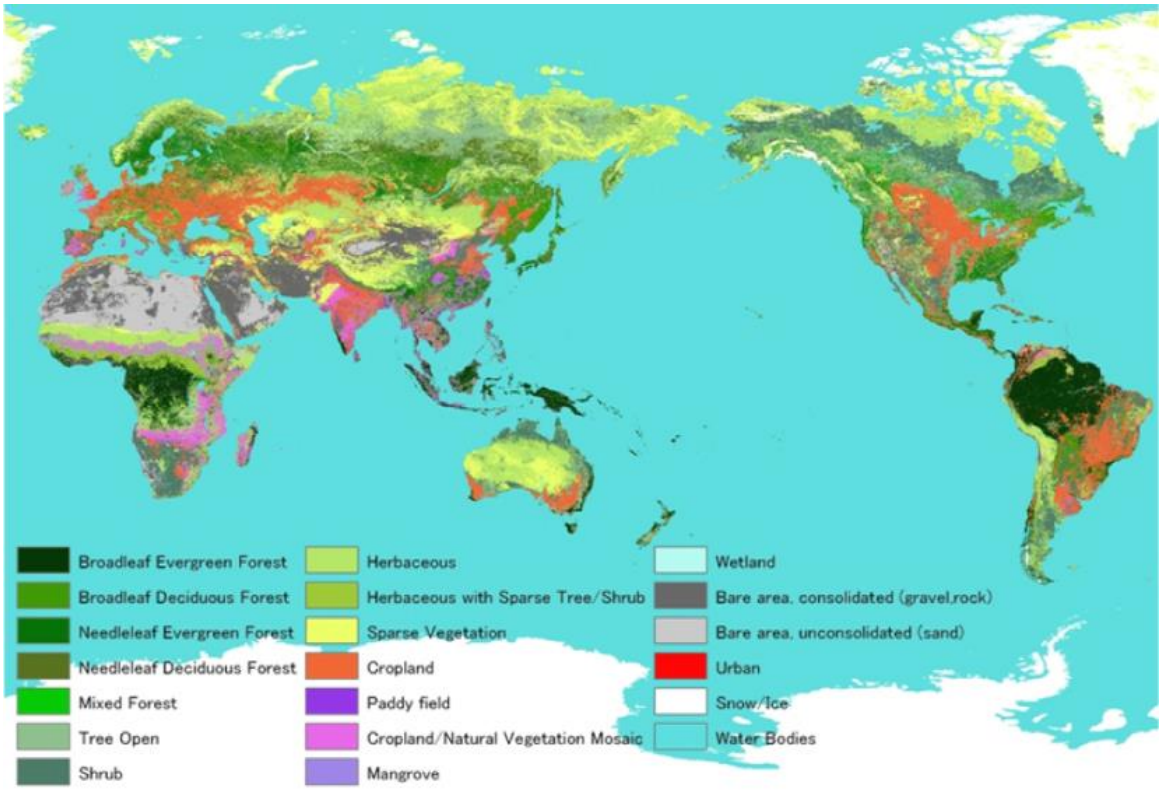
1.3 Η περιοχή μελέτης και οι λόγοι επιλογής της

Τα χερσαία τμήματα γύρω από τη Μεσόγειο αποτελούν την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας. Η λεκάνη της Μεσογείου εκτείνεται σε απόσταση περίπου 3.800 km από τα δυτικά προς τα ανατολικά, από το άκρο της Πορτογαλίας έως τις ακτές του Λιβάνου, και σε απόσταση περίπου 1.000 km από τα βόρεια προς τα νότια, από την Ιταλία έως το Μαρόκο και τη Λιβύη. Έχει μεγάλο ενδιαφέρον μελέτης για δύο κυρίως λόγους:

- Πρώτον, η περιοχή αυτή έχει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον γιατί είναι κλιματικά ευαίσθητη (Kerstin Sundseth, 2000). Αυτό συμβαίνει λόγω της θέσης της, είναι δηλαδή μία κλειστή θάλασσα με μόνο δύο εξόδους στις ακτές της. Στα δυτικά με τον Πορθμό του Γιβραλτάρ που ενώνει τη Μεσόγειο Θάλασσα με τον Ατλαντικό ωκεανό και στα Ανατολικά με τον Εύξεινο Πόντο (γνωστή και ως Μαύρη θάλασσα) που συνδέεται με τη Μεσόγειο μέσω του Βοσπόρου.
- Δεύτερον, λόγω της ανάγκης εκτίμησης χωρο-χρονικών σειρών του συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας του εδάφους, για την παραμετροποίησης του αριθμητικού μοντέλου μέσης κλίμακας WRF (Weather Research & Forecasting) στο πλαίσιο του έργου AKAIPRO (09ΣΥΝ-31-1115, Α.Π. 433/14-3-11, ΓΓΕΤ), στο Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών (Ι.Υ.Μ.) του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας (Ι.Τ.Ε.), στο οποίο συμμετείχε ο επιβλέπων της εργασίας. Το περιφερειακό domain προσομοιώσεων WRF στο προαναφερθέν έργο, αποτέλεσε την περιοχή μελέτης της εργασίας αυτής.

1.4 Δορυφορικός χάρτης κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της LST παίζει ο αντίστοιχος τύπος κάλυψης του εδάφους. Η κάλυψη της γης (Land Cover), αφορά στη κατηγοριοποίηση των διάφορων φυσικών και ανθρωπογενών στοιχείων του εδάφους με βάση τα χαρακτηριστικά τους. Συγκεκριμένα, σχετίζεται με την κατηγοριοποίηση της βλάστησης, φυσικής ή ανθρωπογενούς, στην επιφάνεια του εδάφους σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Με τη βοήθεια των δορυφορικών καταγραφών μπορούν να παραχθούν ακριβείς χάρτες κάλυψης γης, καθώς η πληροφορία για την κάλυψη γης ερμηνεύεται από τις φασματικές τιμές κάθε εικονοστοιχείου μιας δορυφορικής απεικόνισης. Η δορυφορική τηλεπισκόπιση δίνει τη δυνατότητα καταγραφής της κάλυψης και των χρήσεων της γης σε διάφορες χωρικές κλίμακες, όπως για παράδειγμα η παγκόσμια κάλυψη που φαίνεται στην Εικόνα 3 (Campbell, 2002).



Εικόνα 3: Παγκόσμιος χάρτης κάλυψης γης

Για την δημιουργία χαρτών κάλυψης γης είναι απαραίτητη η παραγωγή θεματικών χαρτών (thematic maps) από δορυφορικές εικόνες, που περιέχουν ποιοτική πληροφορία για τους διάφορους τύπους κάλυψης γης της περιοχής μελέτης. Οι θεματικοί χάρτες αναπτύσσονται με τη μέθοδο της πολυφασματικής ταξινόμησης, όπου τα εικονοστοιχεία της εικόνας ταξινομούνται με βάση τα φασματικά τους χαρακτηριστικά στα διάφορα κανάλια της εικόνας. Η ψηφιακή τιμή κάθε εικονοστοιχείου σε κάθε κανάλι καθορίζεται από την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία της αντίστοιχης φασματικής περιοχής, το ποσοστό της οποία εξαρτάται από το είδος κάλυψης του εδάφους. Δηλαδή οι τάξεις εικονοστοιχείων που προκύπτουν από την ταξινόμηση αντιστοιχούν σε τύπους κάλυψης γης.

Στην παρούσας εργασία χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης κάλυψης γης που έχει παραχθεί ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασίας από καταγραφές του ραδιομέτρου MODIS και είναι διαθέσιμος από την ιστοσελίδα της NASA. Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν οι 21 τύποι κάλυψης γης που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ανάκτηση δεδομένων της χρονολογικής σειράς

2.1 Η διαδικασία ανάκτησης των δεδομένων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος ανάκτησης των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της δωδεκαετούς χώρο-χρονικής σειράς.

Οι καταγραφές του MODIS πραγματοποιούνται στους δορυφόρους Terra και Aqua. Έπειτα, τα δεδομένα που μεταφέρονται σε επίγειους σταθμούς μέσω του Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS). Το επόμενο βήμα είναι τα δεδομένα να αποσταλούν στο EOS Data and Operations System (EDOS) στο Goddard Space Flight Center. Από τα δεδομένα που αφορούν τις χερσαίες επιφάνειες και την ατμόσφαιρα παράγονται τα προϊόντα υψηλού επιπέδου (High Level) από το MODIS Adaptive Processing System (MODAPS) με χρήση των κατάλληλων αλγορίθμων, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο. Τελικά, τα προϊόντα καθίστανται διαθέσιμα στους χρήστες μέσω της ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων της NASA, Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) και της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών(USGS). (NASA Earth Data b., 2013)

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν χωρο-χρονικές κατανομές LST που προήλθαν από προϊόντα MODIS 8 ημερών για την περιοχή μελέτης, με χωρική

διακριτική ικανότητα 1km x 1km. Η NASA διαθέτει στη βάση της αρκετά μεγάλο όγκο αρχείων διότι οι δορυφορικές καλύψεις πραγματοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο. Από το κάθε αρχείο hdf που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, ανακτήθηκε πληροφορία 8ημέρου, δηλαδή η τιμή που έχει κάθε μεταβλητή, ως τιμή κάθε εικονοστοιχείου μιας απεικόνισης, σε ένα hdf αρχείο, είναι ο μέσος όρος των τιμών της για τις επόμενες 8 ημέρες από την ημερομηνία καταγραφής, οι οποίες προήλθαν από δεδομένα λήψης του MODIS για την περιοχή της επιφάνειας του εδάφους που αντιστοιχεί στο οικονοστοιχείο αυτό. Πρόκειται για μία χρονοσειρά λίγο μεγαλύτερη των 12 ετών, που αρχίζει από το Μάρτιο του 2000 έως το Δεκέμβριο του 2012. Η χρονιά του 2000 δεν είναι ολόκληρη διότι ο MODIS εκτοξεύθηκε με το δορυφόρο Terra στις 18 Δεκεμβρίου 1999 και έδωσε δεδομένα μετά το Μάρτη του 2000. Η περιοχή μελέτης αποτελείται από 23 tiles, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Συνεπώς, ο αριθμός των αρχείων που χρειάστηκε να ανακτηθούν από τη βάση δεδομένων της NASA προκειμένου να επεξεργαστούν στη συνέχει τοπικά για τη δημιουργία της χώρο-χρονικής σειράς πλήρως ανέρχεται στα 13.294.

2.2 Μετατροπή του φορμά των αρχείων των δορυφορικών παρατηρήσεων κα ι δημιουργία 12ετούς χρονοσειράς εικόνων

Το φορμά HDF στο οποίο βρίσκονταν τα αρχεία που ανακτήθηκαν δεν ήταν κατάλληλο για την αυτόματη επεξεργασία τους με βάση τους Matlab κώδικες που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Η χρονοσειρά θα έπρεπε να υποστεί αρκετές μετατροπές προκειμένου να έρθει σε κατάλληλη για περεταίρω επεξεργασία μορφή. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε μετατροπή του αρχικού HDF φορμά όλων των δεδομένων σε GeoTIF, με ταυτόχρονα κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων εκείνων που θα χρησιμοποιούνταν στην εργασία αυτή.

Η μετατροπή επιτεύχθηκε με χρήση του λογισμικού HEG-tool (HEG Conversion Tool, 2013). Το HEG είναι ένα εργαλείο μετατροπής που αναπτύχθηκε για να επιτρέπει στο χρήστη να διαμορφώνει, να αλλάζει το σύστημα προβολής (re-projecting), να εκτελεί συρραφή (stitching) και ψηφιδωτό (mosaicing) για κάθε tile HDF δεδομένων, δίνοντας τη δυνατότητα αποθήκευσής του σε GeoTIF. Η πλήρωση των θέσεων του νέου πλέγματος κατά τη μετατροπή πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του κοντινότερου γείτονα (nearest neighbor), η οποία αφήνει τις αρχικές ψηφιακές τιμές αναλλοίωτες. Σημειώνεται επίσης ότι κατά τη μετατροπή, στα εικονοστοιχεία για το οποία ο δορυφόρος δεν έχει πάρει κάποια μέτρηση, επελέγη να τους δοθεί η τιμή που έχει ο μέσος όρος των γειτονικών τους εικονοστοιχείων. Επειδή η χρονολογική σειρά είναι μεγάλη, για εξοικονόμηση χρόνου δημιουργήθηκε ένας κώδικας Matlab για την υποστήριξη των επιμέρους μετατροπών, ο οποίος μπορεί να εκτελέσει το HEG.

2.3 Μετατροπή των ψηφιακών τιμών των εικονοστοιχείων των εικόνων της χρονοσειράς σε τιμές θερμοκρασίας

Ένα χαρακτηριστικό των HDF είναι ότι εμπεριέχουν μετα-δεδομένα (metadata) μικρού όγκου, που περιγράφουν τη φύση και τη χρήση για την οποία προορίζονται τα πρωτογενή δεδομένα (HDF5 User's Guide, 2013), τα οποία αποθηκεύονται ως ακέραιες ψηφιακές τιμές για λόγους συμπίεσης. Συγκεκριμένα, οι τελεστές «scale_factor» και «add_offset» που περιέχονται στα μετα-δεδομένα, χρησιμοποιήθηκαν για τη μετατροπή κάθε ακεραίας ψηφιακής τιμής (scaled data), κάθε εικονοστοιχείου, κάθε tile σε αντίστοιχη τιμή γεωφυσικής παραμέτρου (LST), η οποία εκφράστηκε ως αριθμός κινητής υποδιαστολής. Η φόρμουλα για τη διεξαγωγή της μετατροπής αυτής (descaling) ακολουθεί μία συμβατική χρήση των HDF.

$$\mathrm{LST}(\text{geophysical float value}) = \text{scale_factor} * (\text{stored Integer value} - \text{add_offset}) \quad (2)$$

Μερικά από τα μετα-δεδομένα στα HDF αρχεία των 8 ημερών που ενδιαφέρουν την παρούσα εργασία είναι:

- long_name: Σειρά χαρακτήρων που περιγράφει το SDS (Scientific Data Set).
- Units: Μονάδες των μη συμπιεσμένων δεδομένων που έχουν οριστεί.
- valid_range: Διάστημα τα άκρα του οποίου περιγράφουν το έγκυρο εύρος των τιμών των δεδομένων.
- FillValue: Η τιμή των δεδομένων που λείπουν στα συμπιεσμένα SDS.
- scale_factor: Τελεστής descaling (όπως προαναφέρθηκε).
- add_offset: Τελεστής descaling (όπως προαναφέρθηκε).
- Statistic_Type: Σταθερή συμβολοσειρά που καθορίζει τη στατιστική ομάδα.

Για τη μετατροπή των εικονοστοιχείων των εικόνων του LST το «add_offset» έχει πάντα την τιμή μηδέν.

Ακλουθώντας την παραπάνω διαδικασία οι ψηφιακές τιμές κάθε εικονοστοιχείου, κάθε tile της χρονοσειράς, μετατράπηκαν σε τιμές LST. Η μονάδα μέτρησής της στο Διεθνές Σύστημα (SI), είναι βαθμοί Κέλβιν (K). Η κλίμακα Κέλβιν μετρά την απόλυτη θερμοκρασία και δεν έχει αρνητικές τιμές. Το απόλυτο μηδέν 0 K αντιστοιχεί σε -273,15 ° C. (MODIS Atmosphere, 2013)

2.4 Προσδιορισμός της ύπαρξης εκτιμήσεων του αλγορίθμου σε ημερήσια βάση

Για σωστές προσομοιώσεις των διαφόρων κλιματικών μοντέλων απαιτείται η γνώση της νεφοκάλυψης σε κάθε σημείο του πλέγματός τους σε κάθε χρονική στιγμή, καθώς και του αντίστοιχου τύπου νεφών. Η πληροφορία αυτή μπορεί να προκύψει από δορυφορικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, η νεφοκάλυψη μπορεί να εκτιμηθεί από καταγραφές του MODIS και έχουν δημιουργηθεί αλγόριθμοι ανίχνευσης εικονοστοιχείων που καλύπτονται πλήρως από νέφη, καθώς και προσδιορισμού της πιθανότητας μερικής νεφοκάλυψης. Με χρήση των ανιχνευθέντων εικονοστοιχείων μπορεί να δημιουργηθεί μάσκα νεφών (cloud masking). Συνεπώς, επειδή η νέφωση μπορεί να καλύπτει ένα εικονοστοιχείο σε διαφορετικό βαθμό, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει σχεδιαστεί για να παρέχει περισσότερες πληροφορίες από το αν μία περιοχή είναι πλήρως νεφοκαλυμμένη ή όχι.

Το αποτέλεσμα του cloud masking αλγορίθμου (μάσκα νεφών) εμπεριέχεται στα HDF μετα-δεδομένα καταλαμβάνοντας 48 bits για κάθε εικονοστοιχείο. Τα πρώτα 8 bit της μάσκας νεφών παρέχουν συνοπτικά πληροφορίες για πολλές εφαρμογές, ενώ μόλις τα δύο πρώτα bits της μάσκας συνοψίζουν τα αποτελέσματα από όλες τις μεμονωμένες δοκιμασίες ταξινομώντας τη νεφοκάλυψη σε κάθε εικονοστοιχείο σε 4 καττηγορίες: μηδενική, μάλλον ασθενή, μάλλον ισχυρή και πλήρη.

Ο αλγόριθμος cloud masking προσδιορίζει διάφορες περιοχές ανάλογα με τον τύπο επιφάνειας και της φωτεινότητας του ήλιου, όπως είναι η γη, το νερό, το χιόνι, ο πάγος, η έρημος και η ακτογραμμή, τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα. Όταν ένα εικονοστοιχείο ταξινομηθεί σε ένα συγκεκριμένο τύπο, μια σειρά δοκιμών με βάση τεστ κατωφλίου επιχειρούν να ανιχνεύσουν την παρουσία νεφών ή αερολυμάτων στο εικονοστοιχείο αυτό. Κάθε δοκιμή επιστρέφει ένα επίπεδο εμπιστοσύνης με

τιμές που κυμαίνονται από 1 (υψηλής αξιοπιστίας ή καθαρό εικονοστοιχείο) έως 0 (χαμηλής εμπιστοσύνης ή πλήρης νεφοκάλυψη ή αποτυχία του αλγορίθμου).

Συνοψίζοντας, ο αλγόριθμος δίνει βάρη στα εικονοστοιχεία ανάλογα με το αν είναι ή όχι καλυμμένα από νέφη και ανάλογα με το αν ο αλγόριθμος μετατροπής της καταγραφόμενης θερμικής ακτινοβολίας σε θερμοκρασία έχει δώσει επιτυχές αποτέλεσμα. Αν το βάρος είναι 0 συνεπάγεται ότι δεν υπάρχει τιμή στο εικονοστοιχείο, αντίστοιχα στην περίπτωση που το βάρος είναι 1 η αντίστοιχη τιμή του εικονοστοιχείου είναι 100% αξιόπιστη. Το να έχει το κάθε εικονοστοιχείο το αντίστοιχο βάρος είναι ιδιαίτερα χρήσιμο αφού δίνεται η δυνατότητα ένα 8ήμερο να χωριστεί σε δύο τμήματα προκειμένου να υπολογιστούν οι μέσες μηνιαίες τιμές. Στην περίπτωση αυτή η τιμή του 8ημέρου υπολογίζεται ως η μέση τιμή των ημερών που έχουν βάρος μονάδα. (Richard A. Frey et al. 2008), (NASA MODIS Web b., 2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Στατιστική επεξεργασία της χρονολογικής σειράς

3.1 Μέθοδος υπολογισμού των μέσων μηνιαίων τιμών

Κατά το πρώτο στάδιο της στατιστικής επεξεργασίας της χρονοσειράς πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των μηνιαίων σταθμικών μέσων τιμών της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα και τη νύχτα, ξεχωριστά σε καθένα από τα εικονοστοιχεία των εικόνων.

Μετά τη δημιουργία της χρονολογικής σειράς, οι τιμές της μεταβλητής LST κατατάχθηκαν κατάλληλα και ομαδοποιήθηκαν συστηματικά για να διευκολυνθεί το έργο της στατιστικής ανάλυσης και της εξαγωγής συμπερασμάτων, χρησιμοποιώντας ειδικές κατατάξεις: τις *κατανομές συχνοτήτων* ή *πίνακες συχνοτήτων*. Ο τρόπος κατασκευής των κατανομών συχνοτήτων εξαρτάται από το αν η μεταβλητή είναι συνεχής ή ασυνεχής. Η παρούσα μελέτη αναφέρεται στη μεταβλητή της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους, που είναι συνεχής. Στην περίπτωση αυτή που τα στατιστικά δεδομένα δίνονται σε μορφή κατανομής συχνοτήτων και η μεταβλητή είναι συνεχής, ο υπολογισμός του σταθμικού μέσου, ή μέσου όρου με βάρη, πραγματοποιείται αθροίζοντας το γινόμενο των τιμών του LST σε κάθε εικονοστοιχείο με αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας και διαιρώντας με το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{k}(w_i x_i)}{\sum_{i=1}^{k} w_i} \quad (3)$$

Όπου w_i είναι ο *συντελεστής βαρύτητας* του i στοιχείου x_i .

Οι τιμές του συντελεστή βαρύτητας είναι καταχωρημένος σε δισδιάστατους πίνακες που έχουν τις διαστάσεις των LST εικόνων. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να πάρει τις τιμές 0 ή 1, ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης του εικονοστοιχείου από νέφη. Ο μετασχηματισμός των hdf αρχείων για την εύρεση των εκτιμήσεων του αλγορίθμου σε ημερίσια βάση, δηλαδή για την ύπαρξη βαρών ανά ημέρα, περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 4 του κεφαλαίου 2. Με το συνδυασμό αυτών των δύο πληροφοριών διαχωρίστηκαν τα εικονοστοιχεία τα οποία ελήφθηκαν υπόψη στον υπολογισμό των μηνιαίων σταθμικών μέσων τιμών της LST για τις ημερήσιες λήψεις του MODIS κατά τη δωδεκαετή χρονοσειρά στην περιοχή μελέτης.

Δεδομένα είναι διαθέσιμα από τον Μάρτιο του 2000. Συνεπώς, οι μέσοι όροι υπολογίστηκαν μόνο για το πρώτο έτος της χρονολογικής σειράς από τον μήνα Μάρτιο κι έπειτα, ενώ για τα υπόλοιπα έτη της σειράς ο υπολογισμός έγινε για όλους τους μήνες. Πρακτικά εκτιμήθηκαν μέσοι όροι για 154 μήνες. Όλες οι εκτιμήσεις των μέσων μηνιαίων τιμών έχουν πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια κώδικα σε λογισμικό Matlab, ο οποίος αναπτύχτηκε για το σκοπό αυτό και παρουσιάζεται στο Παράρτημα.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, υπολογίστηκαν οι μηνιαίες σταθμικές μέσες τιμές της LST για τις νυχτερινές λήψεις του MODIS κατά τη δωδεκαετή χρονοσειρά στην περιοχή μελέτης.

3.2 Μέθοδος υπολογισμού της ενδοετήσιας εποχικής διακύμανσης

Η ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση των τιμών της εδαφικής θερμοκρασίας είναι η περιοδική μεταβολή που παρατηρείται στη μεταβλητή LST μέσα σε ένα χρονικό διάστημα ενός έτους και επαναλαμβάνεται και στα επόμενα έτη. Ακολουθεί τόσο η θεωρητική διαδικασία της μεθόδου υπολογισμού της, όσο και η υπολογιστική για την διεξαγωγή της παρούσας μελέτης.

Ο βαθμός κατά τον οποίο οι διάφορες τιμές της θερμοκρασίας του εδάφους τείνουν να είναι διεσπαρμένες γύρω από τον αριθμητικό σταθμικό μέσο ονομάζεται διασπορά και μέτρο αυτής, μεταξύ άλλων, είναι η διακύμανση.

Γενικά για ένα πλήθος παρατηρήσεων, διακύμανση είναι ο μέσος όρος των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών των παρατηρήσεων από τη μέση τιμή τους.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\mu)^2}{N} \qquad (4)$$

όπου, μ η μέση τιμή του συνόλου των τιμών των παρατηρήσεων

N το σύνολο των παρατηρήσεων

x_i η τιμή της i μεταβλητής

Υψώνονται ουσιαστικά στο τετράγωνο οι διαφορές για να αποφευχθεί η διαδικασία εκείνη κατά την οποία θα διαχωριστούν τα θετικά από τα αρνητικά σημεία των αποκλίσεων, με τα αρνητικά να μη λαμβάνονται υπόψη. Η διακύμανση εκφράζεται σε μονάδες, οι οποίες είναι τα τετράγωνα των αρχικών μονάδων. Ένας δείκτης που μετράει τη διασπορά του δείγματος και μετριέται στις ίδιες μονάδες με τη μεταβλητή είναι η *τυπική απόκλιση,* η οποία εκφράζει το μέτρο διασποράς και συνήθως χρησιμοποιείται στην πράξη. Όσο μεγαλύτερη είναι η τυπική απόκλιση τόσο

μεγαλύτερη είναι η διασπορά των παρατηρήσεων από τον αριθμητικό μέσο. Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται ως:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\mu)^2}{N}} \qquad (5)$$

Στην παρούσα εργασία οι παρατηρήσεις είναι ομαδοποιημένες και δίνονται σε μορφή κατανομής συχνοτήτων κατά τάξεις με μεταβλητή συνεχή. Η διακύμανση σε αυτή την περίπτωση υπολογίζεται ως:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} f_i(x_i-\mu)^2}{\sum_{i=1}^{N} f_i} \qquad (6)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} f_i {x_i}^2}{\sum_{i=1}^{N} f_i} - \mu^2 \qquad (7)$$

όπου f_i η συχνότητα της τάξης i του δείγματος των παρατηρήσεων

Οι τιμές των παρατηρήσεων είναι ουσιαστικά οι τιμές της LST (ημερήσιες ή νυχτερινές). Το σύνολο τους N είναι ο αριθμός των μετρήσεων που έγιναν για κάθε σημείο πλέγματος 1km × 1km για ολόκληρη τη χρονολογική σειρά. Οι παρατηρήσεις ομαδοποιήθηκαν χωριζόμενες σε κλάσεις ή τάξεις, δηλαδή οι τιμές των μετρήσεων των δεκατριών χρόνων χωρίστηκαν σε ομάδες τιμών ανά μήνα για ευκολότερη προσέγγιση του δείγματος προς μελέτη. Οι συχνότητες δίνουν τον αριθμό των παρατηρήσεων που περιέχονται στις αντίστοιχες τάξεις. Σε αυτό το σημείο στην πράξη συνέβαλαν τα βάρη. Ο τρόπος υπολογισμού τους αναφέρεται αναλυτικά στο τέλος του 2ου κεφαλαίου.

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε υπολογιστικά μέσω του λογισμικού Matlab και ήταν ιδιαιτέρως αυτοματοποιημένη. Η εκτίμηση της ενδοετήσιας εποχικής διακύμανσης για τη χρονολογική σειρά της μελέτης αυτής αφορά στην ουσία τον υπολογισμός των μέσων τιμών κάθε μήνα τα 13 αυτά χρόνια. Για παράδειγμα, κατά μέσο όρο σε τι επίπεδο κυμαίνονταν οι θερμοκρασίες εδάφους

(ημερήσιες και νυχτερινές, κατά την ώρα κατόπτευσης του MODIS) το μήνα Ιανουάριο σε όλη την περιοχή μελέτης και πως αυτές διαφοροποιούνται από τις αντίστοιχες άλλων μηνών, με την αντιπαραβολή των τιμών Ιανουαρίου, Απριλίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου ως ένδειξη της εποχικής διακύμανσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι παρατηρήσεις του MODIS είναι διαθέσιμες μετά το Μάρτιο του 2000. Συνεπώς, για τους δύο πρώτους μήνες, Ιανουάριο και Φεβρουάριο δεν υπάρχουν πληροφορίες για το 2000. Για τον λόγο αυτό, για τον υπολογισμό του εποχικού μέσου, οι δώδεκα μήνες χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει την εκτίμηση του εποχικού μέσου όρου με βάρη για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο, όπου η χρονοσειρά αποτελείται από τις χρονιές 2001 έως 2012. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους υπόλοιπους δέκα μήνες, από τον Μάρτιο έως και τον Δεκέμβριο. Σε αυτή την περίπτωση η χρονολογική σειρά είναι πλήρης.

3.3 Μέθοδος υπολογισμού της μακρόχρονης τάσης με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης

Η τάση (trend) στην συγκεκριμένη μελέτη αφορά τη μακροχρόνια μεταβολή, αύξηση ή μείωση, που παρατηρείται στη μεταβλητή των τιμών της θερμοκρασίας εδάφους κατά τη διάρκεια των δεκατριών ετών (2000 - 2012). Η τάση ενδέχεται να είναι γραμμική, μη γραμμική ή και μηδενική σε ορισμένες περιπτώσεις. Στην εν λόγω εργασία για τη μέθοδο υπολογισμού της μακρόχρονης τάσης έγινε η χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης.

Σε αυτό το μέρος της στατιστικής ανάλυσης πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονη μελέτη και των δύο μεταβλητών (LST και χρόνου), με σκοπό να εξακριβωθεί η αλληλεξάρτηση μεταξύ τους. Δηλαδή να ελεγχθεί αν οι τιμές της θερμοκρασίας εδάφους επηρεάζονται από τον μήνα κατά τον οποίο έγινε η μέτρηση και να προσδιοριστεί ο τρόπος που αυτές οι δύο μεταβλητές συνδέονται. Σημειώνεται ότι δύο μεταβλητές έχουν *στοχαστική* ή *στατιστική εξάρτηση* όταν σε κάθε τιμή της πρώτης δεν αντιστοιχεί μία ορισμένη τιμή της δεύτερης, αλλά μία τρίτη τιμή η οποία προκύπτει από ένα πλήθος δυνατών τιμών της πρώτης και δεν μπορεί να γίνει η ακριβής πρόβλεψη της. Για παράδειγμα τον κάθε μήνα δεν μπορεί με ακρίβεια να γίνει πρόβλεψη για το ύψος των τιμών της θερμοκρασίας εδάφους.

Πρακτική αξία έχει, να γίνει εφικτή η περιγραφή της αλληλεξάρτησης των δύο μεταβλητών με μία καμπύλη η οποία να έχει όσο το δυνατό απλούστερη μορφή. Γι αυτό το λόγο, επελέγη η γραμμική προσαρμογή. Η γραμμική προσαρμογή ή γραμμική παλινδρόμηση βασίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Στη μέθοδο αυτή αναζητείται μεταξύ των άλλων ευθειών του επιπέδου, εκείνη η ευθεία της οποίας το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των παρατηρούμενων σημείων από την ίδια, που μετρούνται παράλληλα προς τους άξονες τεταγμένων, είναι το ελάχιστο δυνατό. Κάθε σημείο της κατανομής αντιστοιχεί σε ένα ζεύγος

τιμών, και έστω ότι η κατανομή αποτελείται από i ορισμένα σημεία $K_1(x_1, y_1)$, $K_2(x_2, y_2)$,…,$K_i(x_i, y_i)$.

Έστω η εξίσωση πρώτου βαθμού ως προς x:

$$y = ax + b \tag{8}$$

Ο υπολογισμός των τιμών των αποκλίσεων των παρατηρούμενων σημείων από την ευθεία, οι οποίες μετριούνται παράλληλα προς τον άξονα των τεταγμένων γίνεται ως εξής:

$$e_i = y_i - ax_i - b \qquad i = 1,2, \dots, n \tag{9}$$

Το άθροισμα των τετραγώνων αυτών των αποκλίσεων ισούται με:

$$S = \sum_{i=1}^{n} {e_i}^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_i - ax_i - b)^2 \tag{10}$$

Η ευθεία των ελαχίστων τετραγώνων αντιστοιχεί στις τιμές των συντελεστών a και b οι οποίες καθιστούν ελάχιστη αυτή την ποσότητα.

Αυτό επιτυγχάνεται εάν οι μερικές παράγωγοι του S ως προς a και b εξισωθούν ίσες με το μηδέν. Για την εύρεση της τιμής του b η οποία καθιστά το S ελάχιστο, γίνεται η υπόθεση ότι το a διατηρείται σταθερό. Έτσι ισχύει ότι:

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^{n} (y_i - ax_i - b) = 0 \tag{11}$$

ή:

$$\sum_{i=1}^{n} y_i - a \sum_{i=1}^{n} x_i - nb = 0 \tag{12}$$

Διαιρώντας διά του n και τα δύο μέλη της εξίσωσης (12) προκύπτει ότι η ευθεία των ελαχίστων τετραγώνων μετατράπηκε στην:

$$\overline{y} = a\overline{x} + b \tag{13}$$

Διέρχεται δηλαδή από το μέσο σημείο ($\overline{x}$,$\overline{y}$).

Με αντικατάσταση της εξίσωσης (13) λυμένης ως προς b στην (10) και αφού υπολογιστεί η μερική παράγωγος ως προς a της νέας σχέσης του αναπτύγματος των τετραγώνων των αποκλίσεων, δηλαδή η σχέση (10) σε νέα μορφή, προκύπτει ότι η κλίση της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων έχει τιμή:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})(y_i-\overline{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})^2} \quad (14)$$

Η ευθεία προσαρμογής της Y πάνω στην X , σχέση (8), διέρχεται από το μέσο σημείο $(\overline{x},\overline{y})$ και έχει για κλίση την σχέση (14).

Για τον υπολογισμό των τάσεων στη συγκεκριμένη εργασία η εξίσωση της ευθείας είναι η εξής:

$$LST(t) = at + b \quad (15)$$

Όπου, t η τιμή του έτους

$LST(t)$ η τιμή της θερμοκρασίας εδάφους τη χρονιά t.

a και b σταθερές οι οποίες έχουν προσδιοριστεί αναλυτικά από τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης παραπάνω.

Η τάση υπολογίστηκε ανά εικονοστοιχείο (σημείο του πλέγματος). Απαραίτητη είναι η τιμή της LST του συγκεκριμένου σημείου πλέγματος για το πρώτο και για το τελευταίο διαθέσιμο έτος της χρονολογικής σειράς για τον υπολογισμό της μακρόχρονης τάσης με τη χρήση της Γραμμικής Παλινδρόμησης. Έτσι θεωρητικά με αντικατάσταση στην (15) δημιουργούνται οι σχέσεις $LST(2000)$ και $LST(2012)$ με τη μέθοδο της παλινδρόμησης που έχει αναφερθεί παραπάνω. Για τον υπολογισμό της τάσης πρακτικά χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που εκτιμήθηκαν μέσω της ευθείας παλινδρόμησης από την αυτόματη εντολή στο matlab. Έτσι, η κλήση που έχει η

κάθε ευθεία προκύπτει από τη σχέση (14), προσαρμοσμένη στο πλαίσιο των στοιχείων της χρονοσειράς της συγκεκριμένη μελέτης και έχει τη μορφή:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{13}(t_i - \bar{t})(lst_i - \overline{lst})}{\sum_{i=1}^{13}(t_i - \bar{t})^2} \qquad (16)$$

Όπου, lst_i: η τιμή θερμοκρασίας του pixel, για τη χρονιά t_i.

$\bar{t}$: η μέση τιμή της θερμοκρασίας του pixel, τη χρονιά t.

lst_i: η μέση τιμή της θερμοκρασίας του pixel, για τον μήνα i, για τη χρονιά t.

$\overline{lst}$: η μέση τιμή της θερμοκρασίας του pixel, για τη χρονιά t.

Με οποιοδήποτε τρόπο και αν παραχθούν οι εξισώσεις των δύο ευθειών, και αφού προφανώς υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για τουλάχιστον δύο χρονιές, το ποσοστό επί τοις εκατό της μακροχρόνιας τάσης προκύπτει από τον τύπο:

$$LSTtrend(\%) = \frac{LST(2012) - LST(2000)}{LST(2000)} 100 \qquad (17)$$

Η παραπάνω συνθήκη μπαίνει γιατί πρέπει να γίνει μία διαλογή προκειμένου τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν να είναι αξιόπιστα. Αυτό διότι για παράδειγμα, λόγο νεφοκάλυψης δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν για το συγκεκριμένο εικονοστοιχείο παρατηρήσεις LST για όλα τα έτη.

Με την συγκεκριμένη διαδικασία, υπολογίζονται οι μακρόχρονες τάσεις του δείγματος ανά μήνα. Επειδή τα δεδομένα είναι διαθέσιμα από τον Μάρτιο του 2000 κι έπειτα, για τους πρώτους δύο μήνες (Ιανουάριο-Φεβρουάριο) τα trends υπολογίζονται με τη χρονοσειρά να περιλαμβάνει τα έτη 2001 έως 2012. Για τους υπόλοιπους δέκα μήνες (Μάρτιο έως και Δεκέμβριο), η χρονοσειρά είναι πλήρης συνεπώς ο υπολογισμός των τάσεων γίνεται με τον τύπο …. χωρίς καμία αλλαγή.

Στην παρούσα εργασία η διαδικασία εύρεσης των μακρόχρονων τάσεων για κάθε εικονοστοιχείο με χρήση γραμμικής προσαρμογής έγινε με τη βοήθεια κώδικα σε λογισμικό Matlab που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό και παρουσιάζεται στο Παράρτημα. Ο κώδικας έκανε χρήση της εντολής γραμμικής προσαρμογής της βιβλιοθήκης του λογισμικού Matlab. Η εκτέλεση της εντολής αυτής για τις παρατηρήσεις όλης της χρονοσειράς για κάθε εικονοστοιχείο είχε αποτέλεσμα, μεταξύ άλλων, ένα 2 × 2 πίνακα, ο οποίος περιείχε τους προαναφερθέντες συντελεστές a και b της ευθείας παλινδρόμησης. Επιπλέον, στον κώδικα Matlab που δημιουργήθηκε διαχωρίζονται τα μη στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα από τα στατιστικά σημαντικά, με τα δεύτερα να αποθηκεύονται ξεχωριστά. Για τον προσδιορισμό των στατικά σημαντικών στοιχείων εισήχθη ένα κατώφλι στον κώδικα που απαιτεί οι υπολογισμοί για κάθε εικονοστοιχείο να βασίζονται σε παρατηρήσεις τουλάχιστον 8 ετών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4 σε χάρτες στους οποίους φαίνεται η μακροχρόνια τάση σε κάθε εικονοστοιχείο που αντιστοιχεί σε επιφάνεια 1 km x 1 km της περιοχής μελέτης. (Grais, 1992/2005),(Κιόχος, 1993).

3.4 Κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων με βάση τους αντίστοιχους τύπους κάλυψης γης

Η αποτύπωση της κάλυψης γης και των χρήσεων γης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο τόσο στην επίλυση κοινωνικοοικονομικών προβλημάτων, όσο και στη μοντελοποίηση περιβαλλοντικών φαινομένων για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του φυσικού συστήματος. Οι χάρτες κάλυψης της γης αναπτύσσονται από τοπική έως παγκόσμια κλίμακα και η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί κύριο εργαλείο για τη δημιουργία τους.

Ο όρος *χρήση γης* (land use) αναφέρεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα ή την οικονομική λειτουργία που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο τμήμα γης. Αποτελεί μία αφηρημένη έννοια η οποία δεν είναι πάντοτε παρατηρήσιμη, ακόμα και όταν η παρατήρηση γίνεται από κοντά. Μερικές φορές, οι επιδράσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων είναι φανερές και μπορούν άμεσα να συσχετιστούν με συγκεκριμένες κατηγορίες γης. Κάποιες περιοχές χαρακτηρίζονται από εποχιακές μεταβολές στη χρήση γης, δηλαδή μπορούν να καλλιεργηθούν σε μία περίοδο του έτους μόνο.

Ο όρος *κάλυψη γης* (land cover) σχετίζεται με τον τύπο του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού επί της επιφάνειας της γης. Μερικά παραδείγματα από τύπους κάλυψης γης είναι τα χωράφια καλαμποκιού, οι λίμνες, τα ελαιόδεντρα και οι αυτοκινητόδρομοι. Γενικότερα, ο όρος αυτός αναφέρεται στην κατηγοριοποίηση των διαφόρων στοιχείων του εδάφους που έχουν δημιουργηθεί είτε από τον άνθρωπο, είτε είναι φυσικά, με βάση τις ορατές αποδείξεις των χρήσεων γης σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Δηλαδή συνήθως το αποτέλεσμα των χρήσεων γης είναι η κάλυψη γης. Συνεπώς, η δημιουργία χαρτών κάλυψης γης με χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων μπορεί έμμεσα να οδηγήσει σε γνώση των χρήσεων

γης σε μια συγκεκριμένη περιοχή, όπως η περιοχή μελέτης και σε κλίμακα που είναι αναγκαία για την εκάστοτε εφαρμογή.

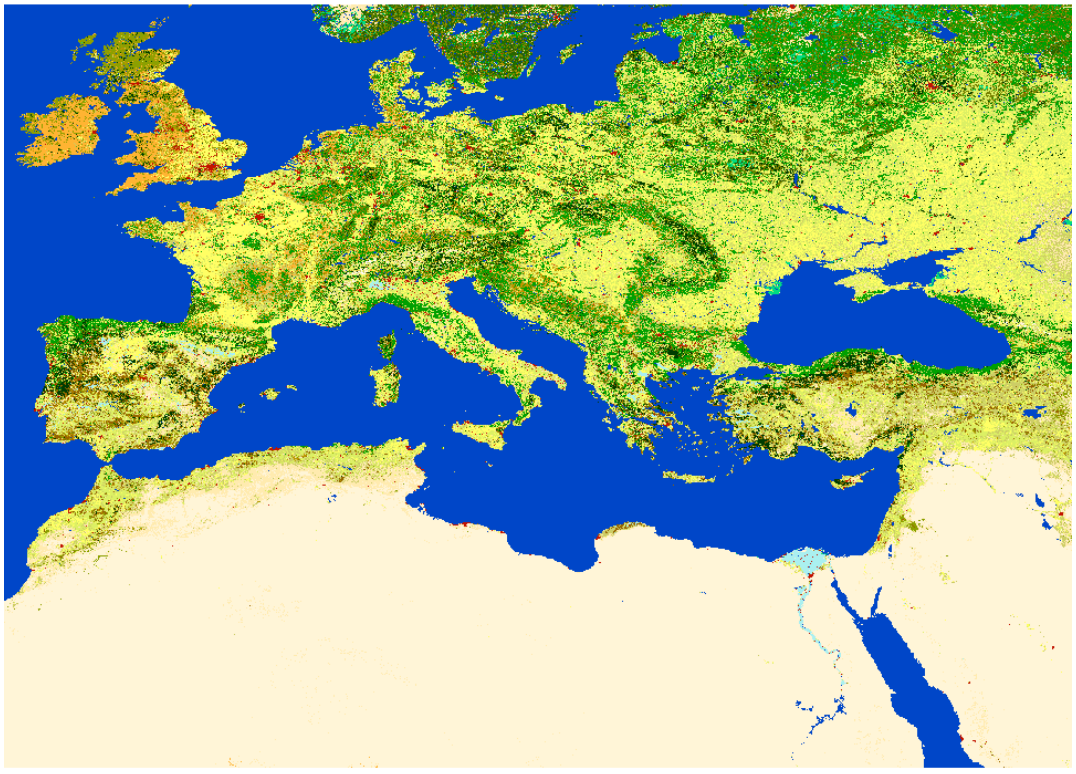
Στην παρούσα εργασία, κατηγοριοποιήθηκαν τα εικονοστοιχεία των τάσεων της θερμοκρασίας εδάφους της περιοχής μελέτης, ανάλογα με την κατηγορία κάλυψης γης στην οποία ανήκε το συγκεκριμένο εικονοστοιχείο (π.χ. αστικές περιοχές). Στη συνέχεια, εκτιμήθηκε η μακροχρόνια τάση της LST για τη συγκεκριμένη κατηγορία κάλυψης γης, ως ο μέσο όρος των LST τάσεων των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούσαν στο συγκεκριμένο τύπο κάλυψης γης, για ολόκληρη της περιοχή μελέτης.

Η κατηγοριοποίηση των LST τάσεων σε κάθε εικονοστοιχείο, ανά τύπο κάλυψης γης, πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού Matlab, χρησιμοποιώντας ψηφιακό χάρτη κάλυψης γης που εξήχθη από το του προϊόν GlobCOVER, το οποίο δημιουργήθηκε το 2008 χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις του ραδιομέτρου MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer Instrument) του δορυφόρου Envisat και είναι διαθέσιμο από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (Bicheron et al. 2008). Η χωρική διακριτική ικανότητα του προϊόντος GlobCOVER που διατίθεται είναι 300 m × 300 m, ενώ οι LST τάσεις υπολογίστηκαν όπως έχει αναφερθεί για εικονοστοιχεία 1 km × 1 km.

Για ομογενοποίηση χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη διαδικασία μετατροπής του GlobCOVER σε ανάλυση 1 km × 1 km (upscaling): αρχικά επιβεβαιώθηκε με χρήση του λογισμικού BEAM () ότι οι δύο ψηφιακοί χάρτες (LST τάσεις και GlobCOVER) έχουν πλήρη γεωδαιτική επικάλυψη. Κατόπιν, για κάθε ένα εικονοστοιχείο 1 km × 1 km, εξετάστηκαν τα 9 (3 × 3) εικονοστοιχεία του GlobCOVER που αντιστοιχούσας σε αυτό. Η κατηγορία που αποδόθηκε στο εικονοστοιχείο διαστάσεων 1 km × 1 km είναι εκείνη που βρέθηκε στην πλειοψηφία των 9 εικονοστοιχείων κάλυψης γης του GlobCOVER. Έτσι δημιουργήθηκε ένας χάρτης κάλυψης γης για την περιοχή

μελέτης (Εικόνα 4) με ανάλυση 1 km × 1 km και με τα εικονοστοιχεία του να έχουν 1 -1 αντιστοιχία με τα εικονοστοιχεία των χαρτών των εκτιμημένων LST τάσεων.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν για καθεμία από τις 21 τάξεις του GlobCOVER (δεν συμπεριλαμβάνεται η κατηγορία των υδάτων) που φαίνονται στον Πίνακα 2, οι μέσοι όροι των τιμών των τάσεων και οι τυπικές αποκλίσεις ανά μήνα. Από τον κώδικα εξήχθησαν δύο πίνακες 21 × 12 οι οποίοι βρίσκονται στο 4ο Κεφάλαιο, ένας για τις τάσεις της θερμοκρασίας εδάφους την ημέρα και ένας για την νύχτα (πίνακας 4 και πίνακας 5). (C.O. Justuce, et. al., 2002) , (Καρτάλης, Φείδας 2006)



Εικόνα 4 : Κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων της χερσαίας περιοχής γύρω από τη Μεσόγειο με βάση την κάθε κατηγορία εδάφους σύμφωνα με το Golbcover.

Πίνακας 2 : Κατηγοριοποίηση των 22 τάξεων σύμφωνα με την παγκόσμια λεζάντα Globcover

Value	Global Globcover legend (level 1)	
11	Post-flooding or irrigated croplands	
14	Rainfed croplands	
20	Mosaic Cropland (50-70%) / Vegetation (grassland, shrubland, forest) (20-50%)	
30	Mosaic Vegetation (grassland, shrubland, forest) (50-70%) / Cropland (20-50%)	
40	Closed to open (>15%) broadleaved evergreen and/or semi-deciduous forest (>5m)	
50	Closed (>40%) broadleaved deciduous forest (>5m)	
60	Open (15-40%) broadleaved deciduous forest (>5m)	
70	Closed (>40%) needleleaved evergreen forest (>5m)	
90	Open (15-40%) needleleaved deciduous or evergreen forest (>5m)	
100	Closed to open (>15%) mixed broadleaved and needleleaved forest (>5m)	
110	Mosaic Forest/Shrubland (50-70%) / Grassland (20-50%)	
120	Mosaic Grassland (50-70%) / Forest/Shrubland (20-50%)	
130	Closed to open (>15%) shrubland (<5m)	
140	Closed to open (>15%) grassland	
150	Sparse (>15%) vegetation (woody vegetation, shrubs, grassland)	
160	Closed (>40%) broadleaved forest regularly flooded - Fresh water	
170	Closed (>40%) broadleaved semi-deciduous and/or evergreen forest regularly flooded - Saline water	
180	Closed to open (>15%) vegetation (grassland, shrubland, woody vegetation) on regularly flooded or waterlogged soil - Fresh, brackish or saline water	
190	Artificial surfaces and associated areas (urban areas >50%)	
200	Bare areas	
210	Water bodies	
220	Permanent snow and ice	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αποτελέσματα

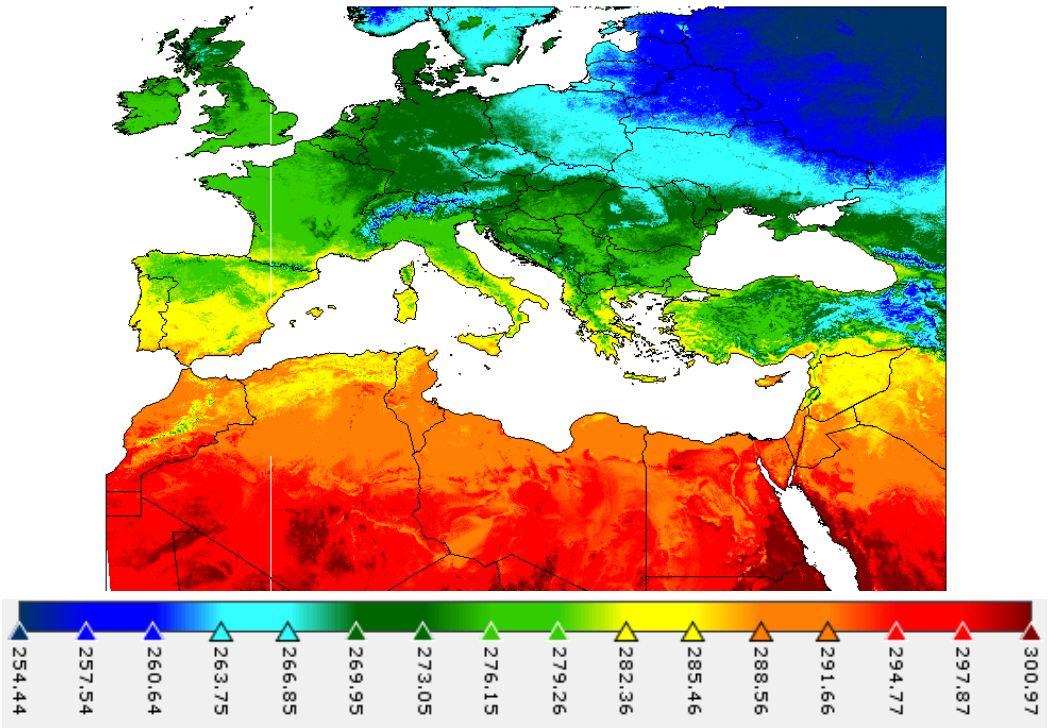
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων για τον υπολογισμό της ενδο-ετήσιας εποχικότητας και των μακρόχρονων τάσεων για την περιοχή μελέτης και για τα δεδομένα MODIS που ήταν διαθέσιμα. Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εποχικής διακύμανσης σε τέσσερις μήνες χαρακτηριστικούς των τεσσάρων εποχών του έτους και στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα εκτίμησης των μακρόχρονων τάσεων με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης.

4.1 Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας εδάφους

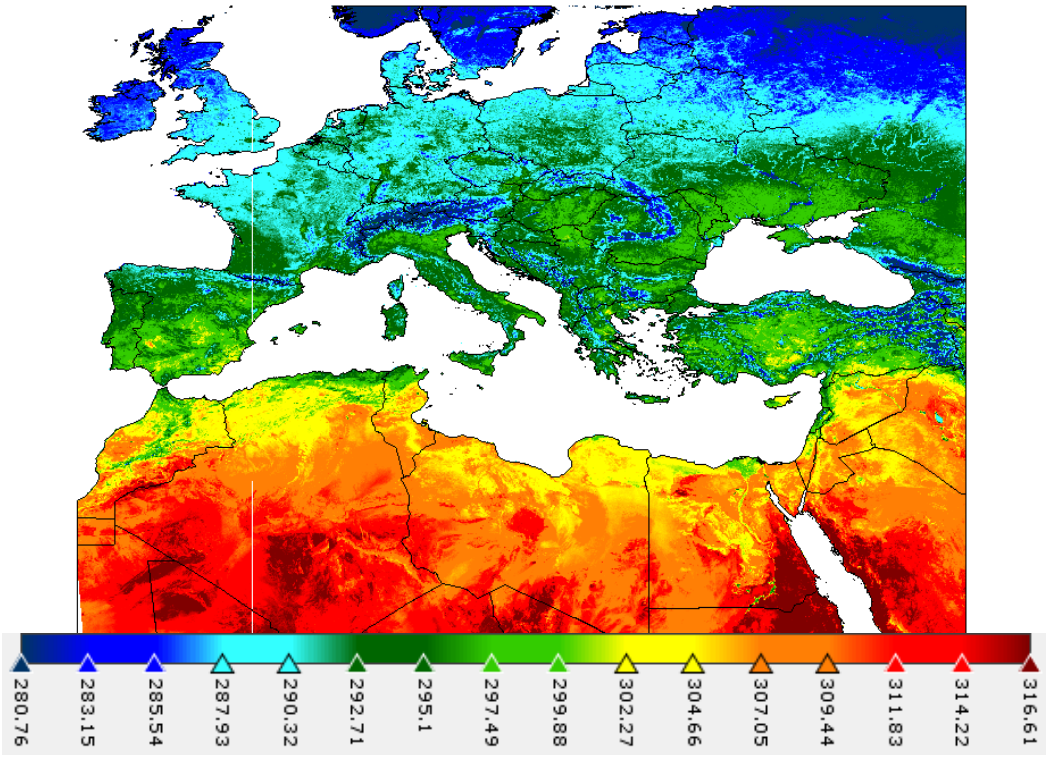
Στους χάρτες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις που έχει η θερμοκρασία εδάφους εποχικά. Σύμφωνα με τη μέθοδο υπολογισμού της ενδο-ετήσιας εποχικότητας του 3ου κεφαλαίου, τα αποτελέσματα δίνονται σε μηνιαία βάση. Οι χάρτες που ακολουθούν είναι για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο που αντιπροσωπεύουν τον χειμώνα, την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο αντίστοιχα.

Ανάλογα με την περίοδο του έτους, την ημέρα η θερμοκρασία εδάφους κυμαίνεται σε διαφορετικά επίπεδα. Στις εικόνες είναι ξεκάθαρη η εναλλαγή των εποχών με τις

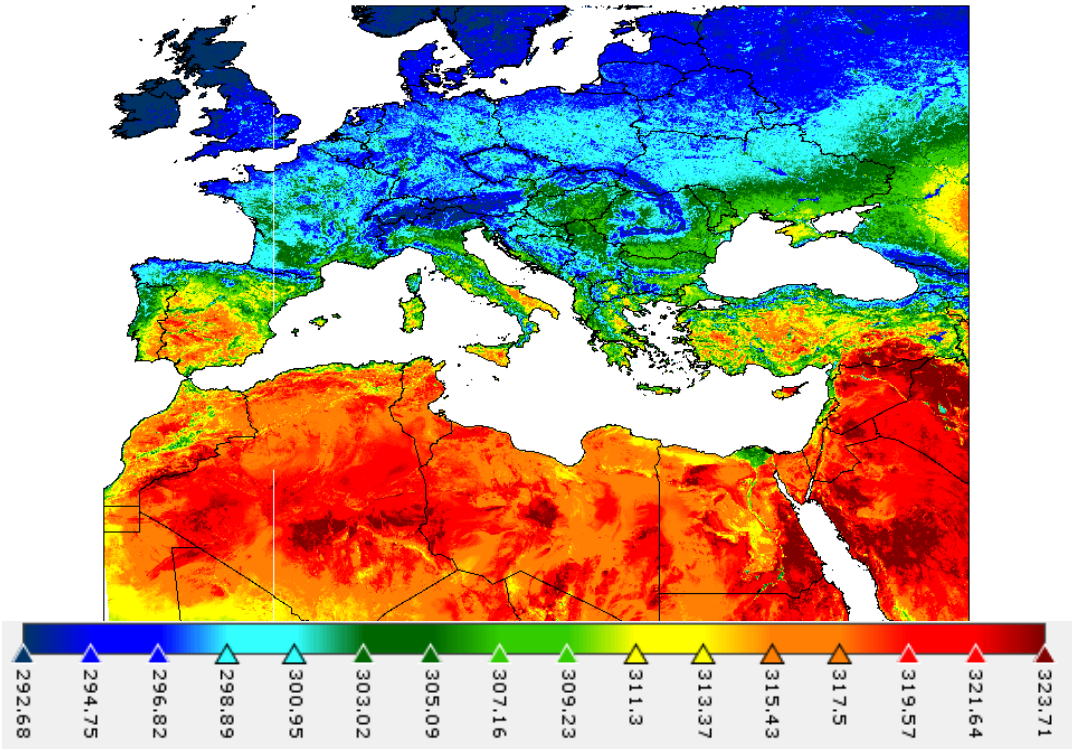
τιμές του LST στα βορειοδυτικά, δηλαδή στη νοτιοδυτική Ρωσία και τις χώρες που συνορεύουν μαζί της, να φτάνουν μέχρι και 254 K (-19ο C). Χαμηλές τιμές παρατηρούνται επίσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε ορεινές περιοχές, σε σχέση με τις πεδινές που τις περιβάλλουν, όπως π.χ. στις Άλπεις, στην Πίνδο και στην οροσειρά του Άτλαντα (ΒΔ Αφρική). Στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, δηλαδή γεωγραφικά στη βόρεια Αφρική και την αραβική χερσόνησο, οι τιμές του LST είναι καθ' όλη τη διάρκεια τους έτους αρκετά υψηλές και κυμαίνονται από 300 K έως 323 K (27ο C έως 50ο C). Στην κεντρική Ευρώπη η θερμοκρασία εδάφους παίρνει τιμές περίπου από 269 K έως 286 K (-4οC έως 13ο C). Στα παράλια της Μεσογείου παρατηρούνται πιο υψηλές τιμές, δηλαδή γύρω στους 300 K (27ο C). Οι χάρτες με χρωματική αποτύπωση των τιμών της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τους υπόλοιπους οκτώ μήνες βρίσκονται στο Παράρτημα ΙΙ.



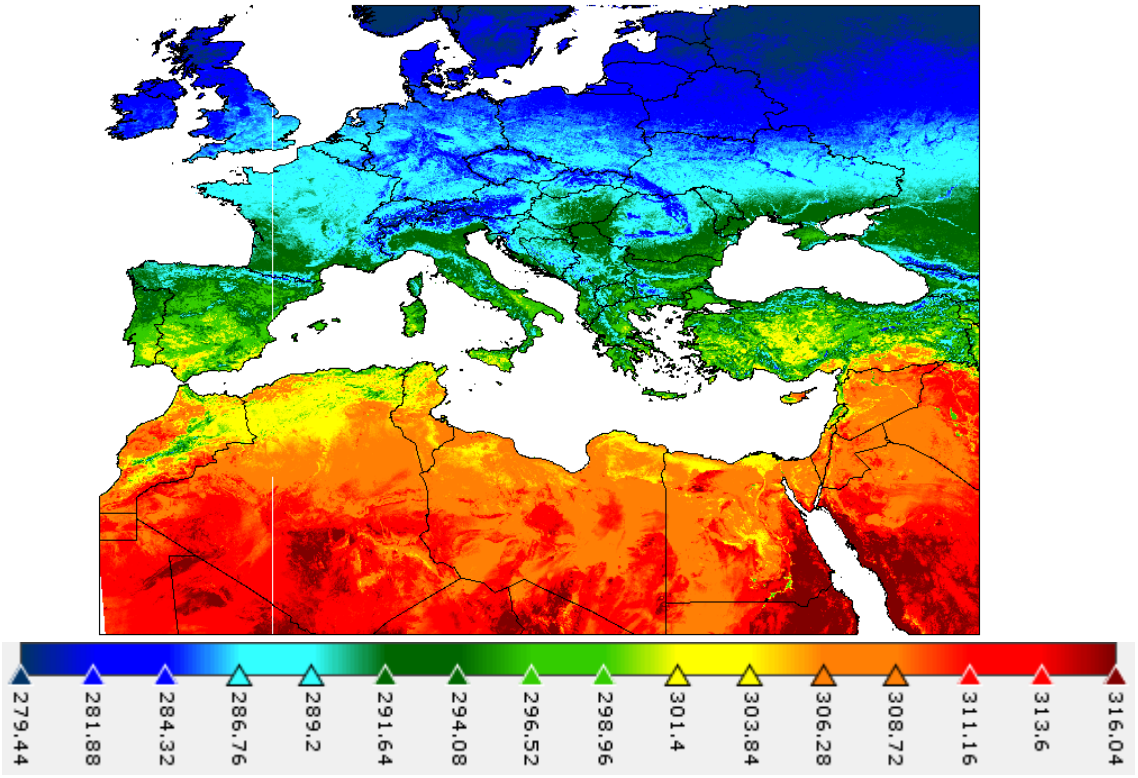
Εικόνα 5: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Ιανουάριο



Εικόνα 6: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Απρίλιο



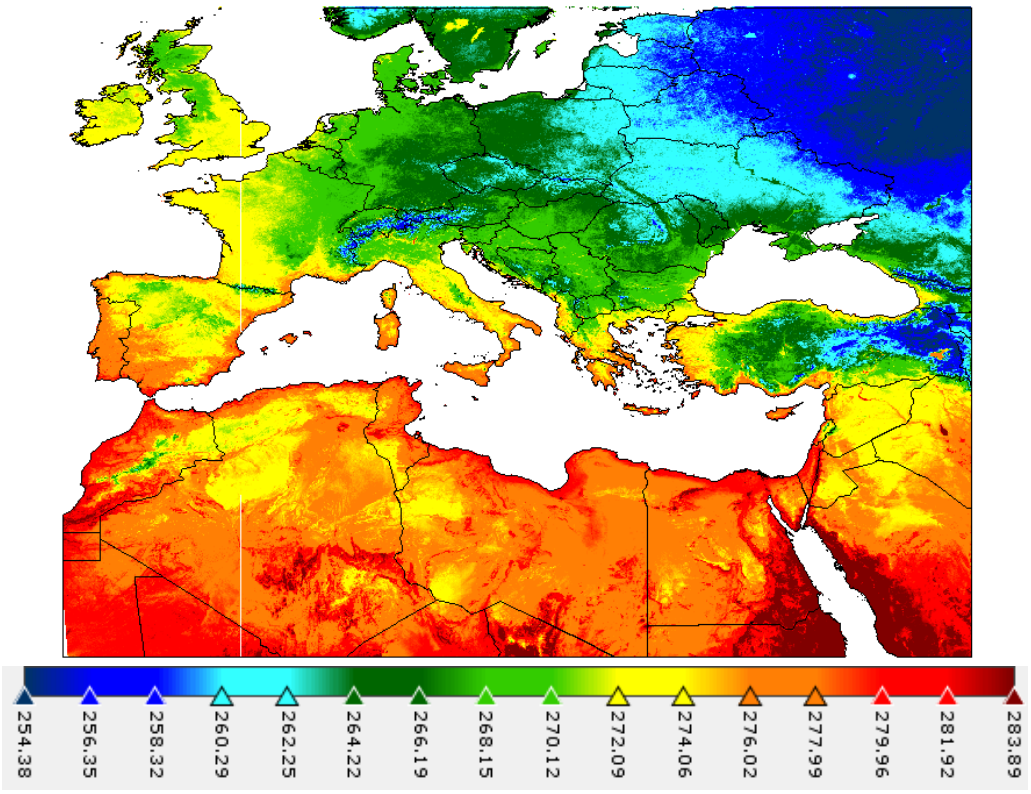
Εικόνα 7: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Ιούλιο



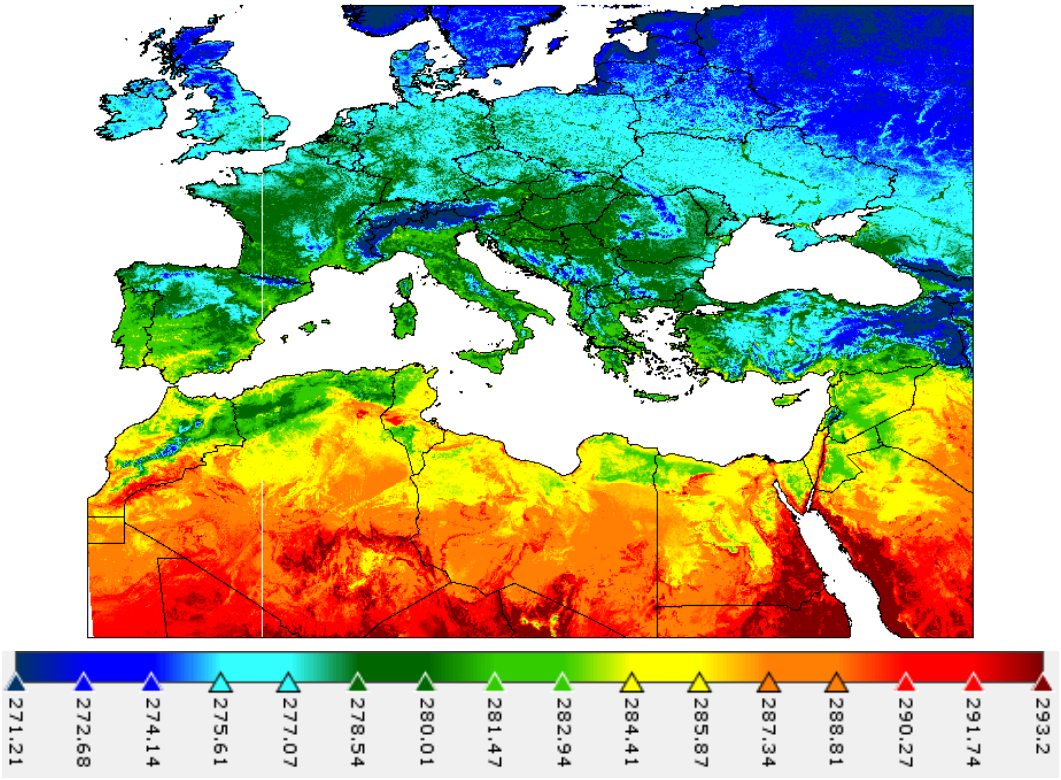
Εικόνα 8: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Οκτώβριο

Αντίστοιχα δημιουργήθηκαν χάρτες της ενδο-ετήσιας εποχικής διακύμανσης της θερμοκρασίας εδάφους για τη χερσαία επιφάνεια στις περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο τη νύχτα. Όπως στην περίπτωση της ημέρας, αποτυπώνονται οι τιμές του LST για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο που χαρακτηρίζουν τις τέσσερις εποχές. Στο πιο ψυχρό τμήμα της περιοχής μελέτης ανήκει η νοτιοδυτική Ρωσία και οι χώρες με τις οποίες συνορεύει από τα δυτικά, με τις τιμές της θερμοκρασίας να φτάνουν μέχρι και 254 K (-19° C) τον Ιανουάριο. Υπάρχουν περιοχές που διατηρούν αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες σε όλη τη διάρκεια του έτους κατά τη νύχτα. Πιο χαρακτηριστικές είναι οι κορυφές των Άλπεων, η Σκωτία και τα δυτικά παράλια της Μαύρης Θάλασσας, όπου οι τιμές του LST είναι κοντά

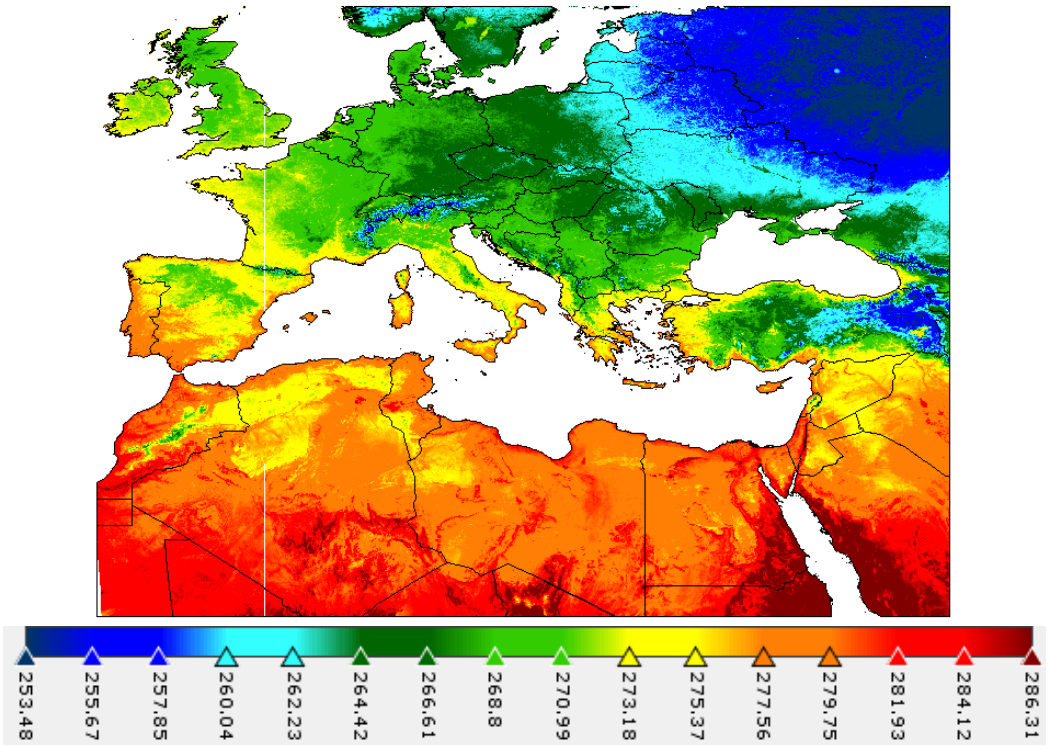
στους 273 K (0ο C). Όσον αφορά στο νότιο τμήμα της περιοχής, σε αντίθεση με την ημέρα, τη νύχτα οι τιμές μειώνονται σημαντικά. Η έρημος Σαχάρα το χειμώνα έχει μέχρι και 274 K (1ºC) στο μεγαλύτερο μέρος της. Για τους υπόλοιπους μήνες οι τιμές θερμοκρασίας εδάφους της συγκεκριμένης περιοχής είναι αρκετά υψηλές ακόμα και κατά τη νύχτα, αφού μπορεί να φτάσουν περίπου τους 295 K (22ο C). Οι υπόλοιποι 8 χάρτες της ενδο-ετήσιας εποχικής διακύμανσης της θερμοκρασίας εδάφους τη νύχτα βρίσκονται στο Παράρτημα ΙΙ.



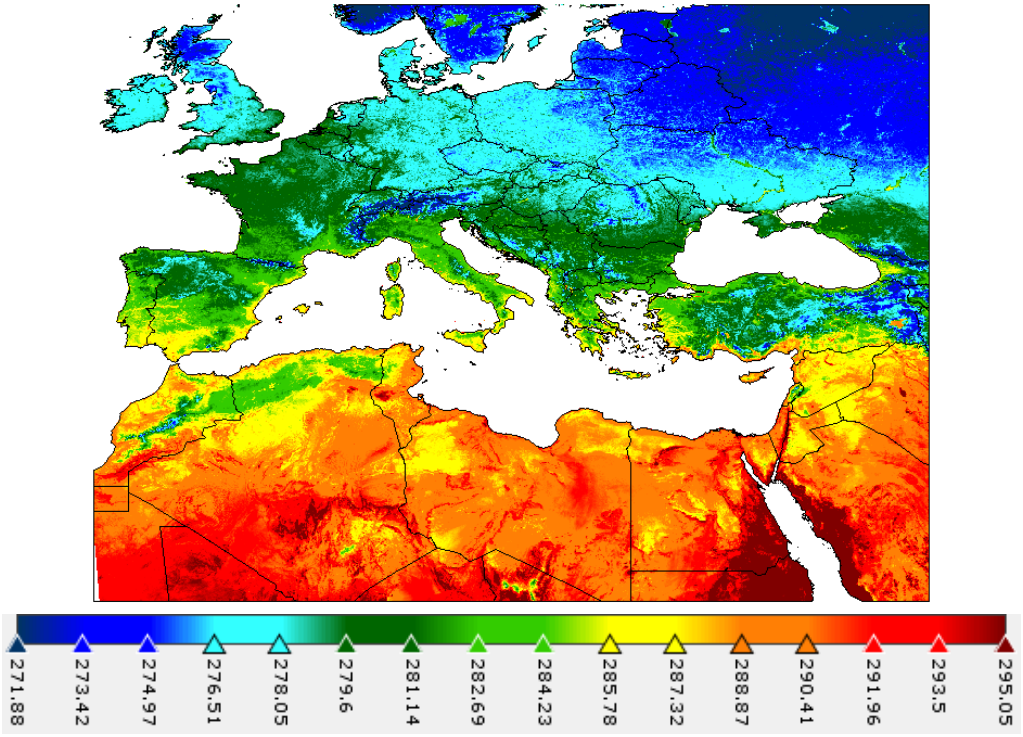
Εικόνα 9: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Ιανουάριο



Εικόνα 10: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Απρίλιο



Εικόνα 11: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Ιούλιο

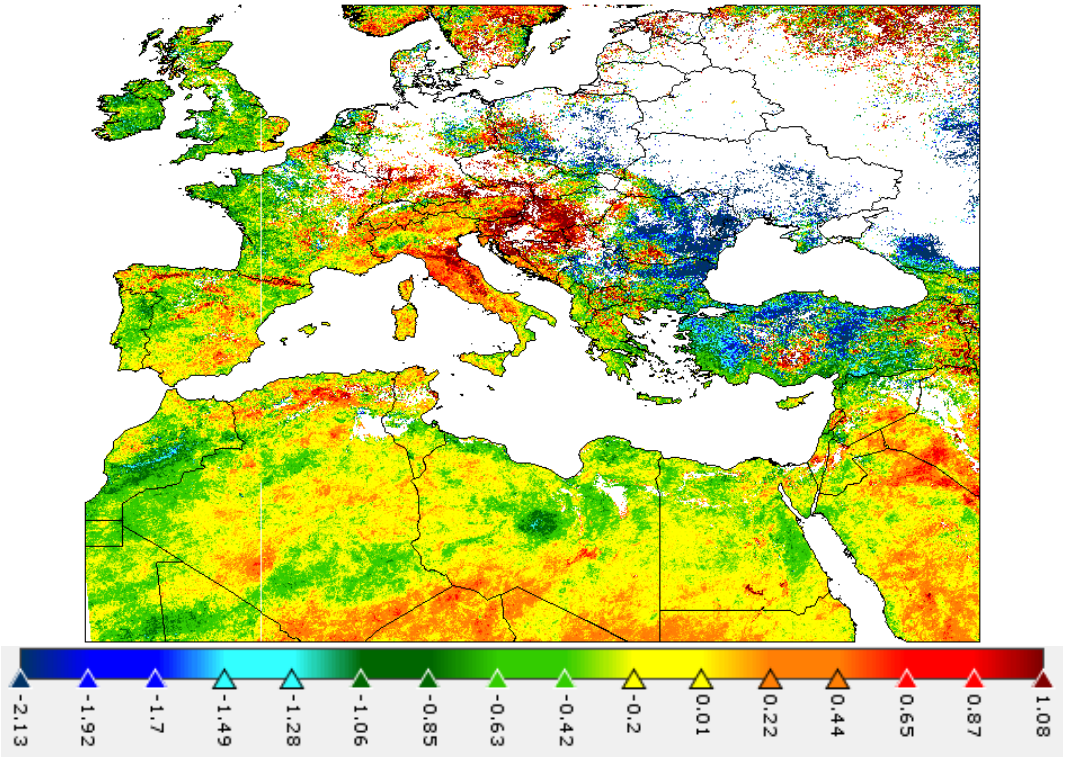


Εικόνα 12: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Οκτώβριο

4.2 Μακρόχρονες τάσεις της θερμοκρασίας εδάφους

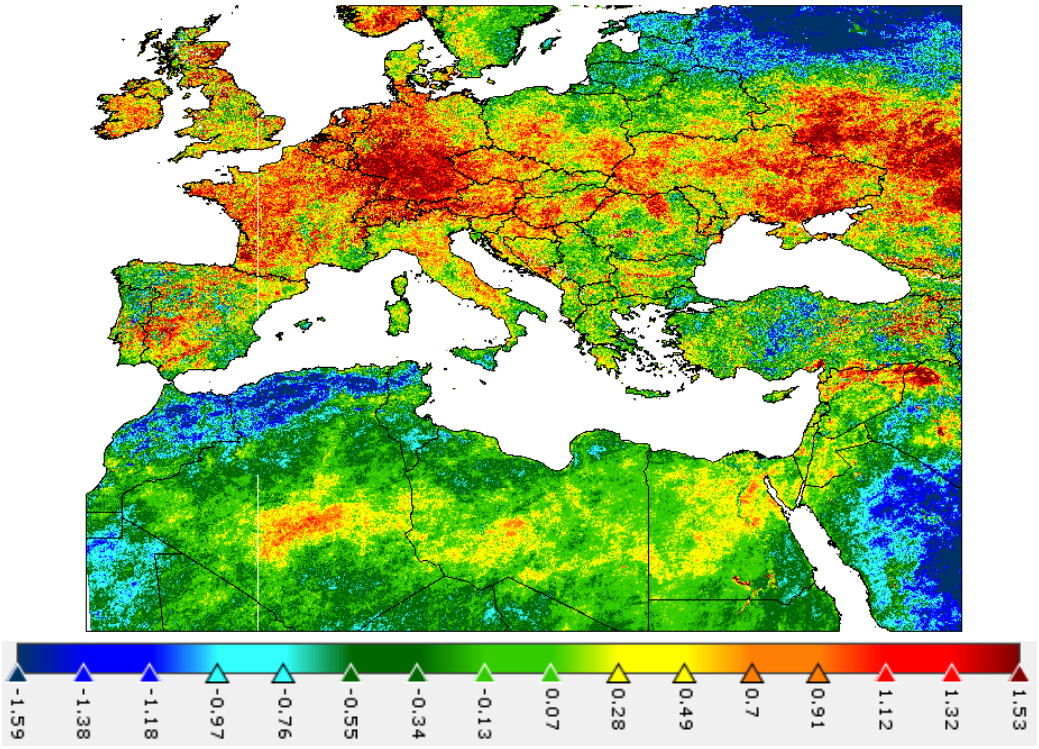
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται χάρτες της υπό μελέτη περιοχής, στους οποίους καταγράφονται οι εκτιμήσεις των μακρόχρονων τάσεων (trends) για τις τιμές του LST. Όμοια με την παράγραφο 4.1, τα αποτελέσματα εξήχθησαν ανά μήνα. Όπως στην προηγούμενη ενότητα, παρουσιάζονται οι μήνες που αντιπροσωπεύουν τις τέσσερις εποχές του έτους (Ιανουάριος, Απρίλιος, Ιούλιος και Οκτώβριος). Η αντιστοιχία της χρωματικής απεικόνισης με την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εδάφους δίνεται στη χρωματική λεζάντα κάτω από κάθε εικόνα.

Για την ημέρα οι τιμές των trends έχουν αυξητική τάση, της τάξεως του 1% στην κεντρική Ευρώπη και τη Βόρια Αφρική τους θερμούς κυρίως μήνες. Παρατηρείται μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους τον Απρίλιο στη βορειοδυτική Αφρική, μέχρι -1,5%. Για τον ίδιο μήνα, το έδαφος φαίνεται να έχει γίνει πιο ψυχρό σε μεγάλη έκταση της Αραβικής χερσονήσου και της δυτικής Ρωσίας, περίπου από -0,59% έως -3%.



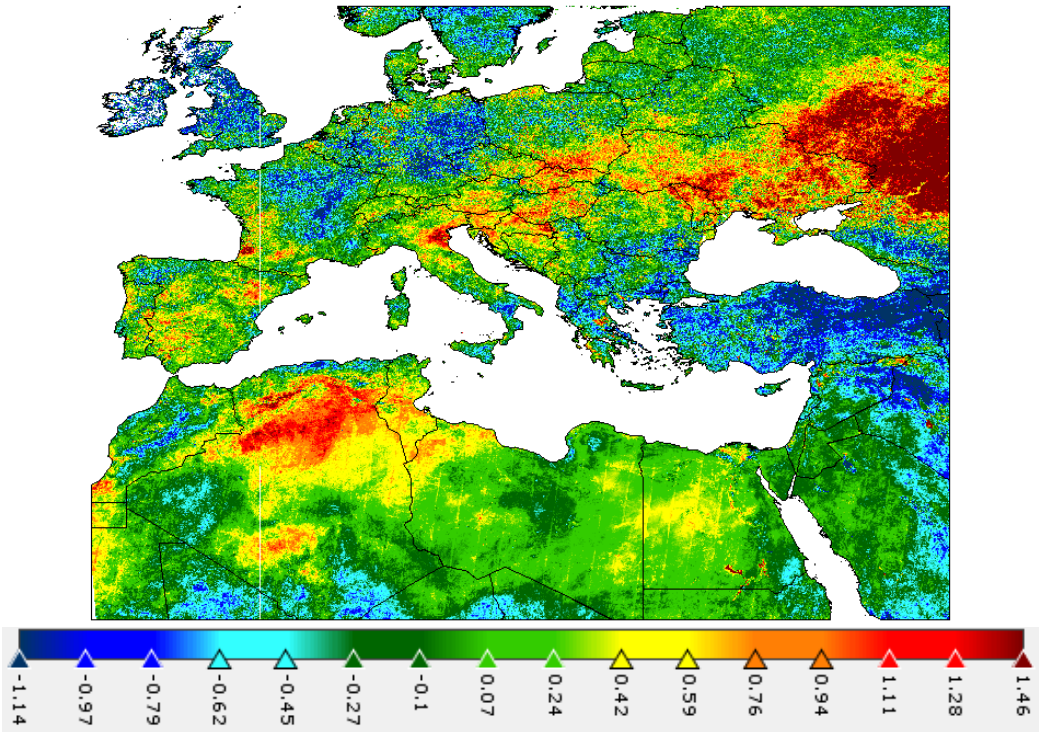
Εικόνα 13: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Ιανουάριο

Τον Ιανουάριο η περιοχή που έχει κυρίως μειωτική τάση είναι τα παράλια της Μαύρης θάλασσας και η Τουρκία, όπου φτάνει έως και -2,13%. Στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης παρατηρούνται σχετικά μικρές αυξομειώσεις. Αξίζει όμως να παρατηρηθεί η αύξηση της τάξης του 1% του LST στο βόριο τμήμα της Ιταλίας, της Τσεχίας, της Αυστρίας και των κοντινών χωρών. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη Λιβύη, ξεχωρίζει η περιοχή των ηφαιστείων με trend -1% περίπου.



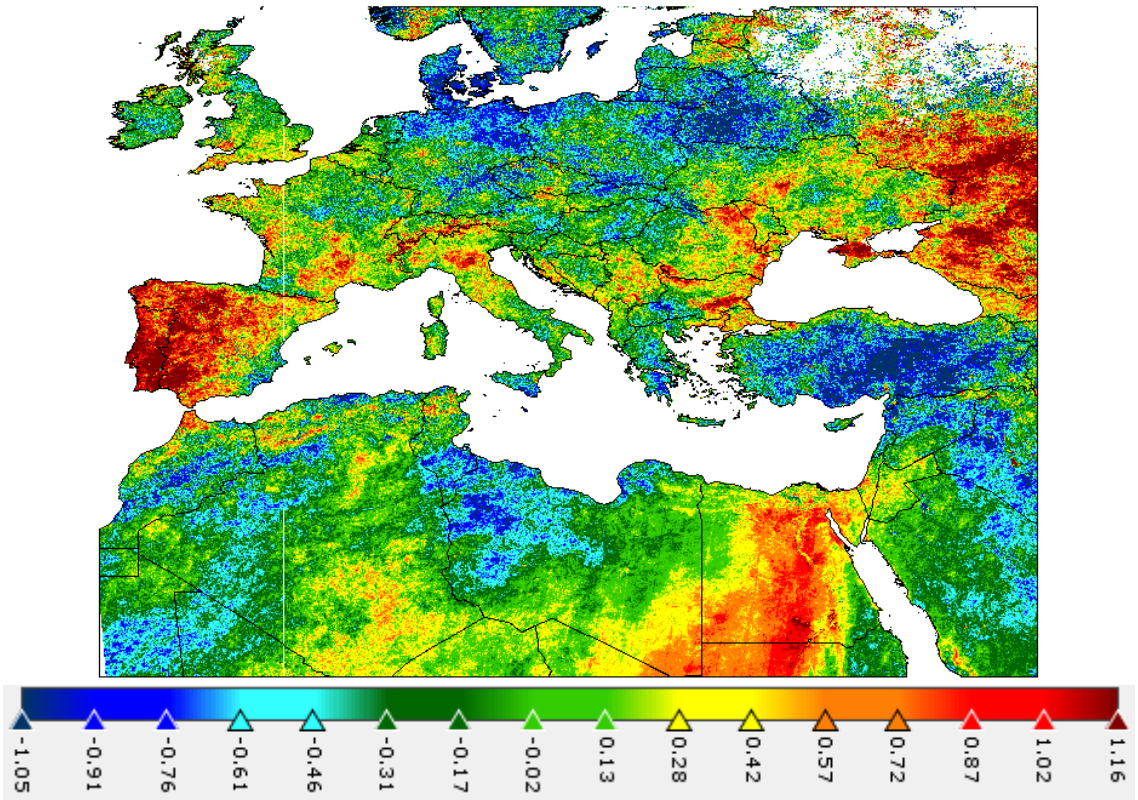
Εικόνα 14: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Απρίλιο

Τον Απρίλιο η θερμοκρασία εδάφους την ημέρα έχει την τάση να αυξάνει στη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ουκρανία και το νότιο τμήμα της Ρωσίας, μέχρι 1,5%. Στην έρημο η LST μειώνεται ελάχιστα με εξαίρεση το βορειοδυτικό της τμήμα και την Αραβική χερσόνησο που η τάση φτάνει έως και το -1,6%.



Εικόνα 15: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Ιούλιο

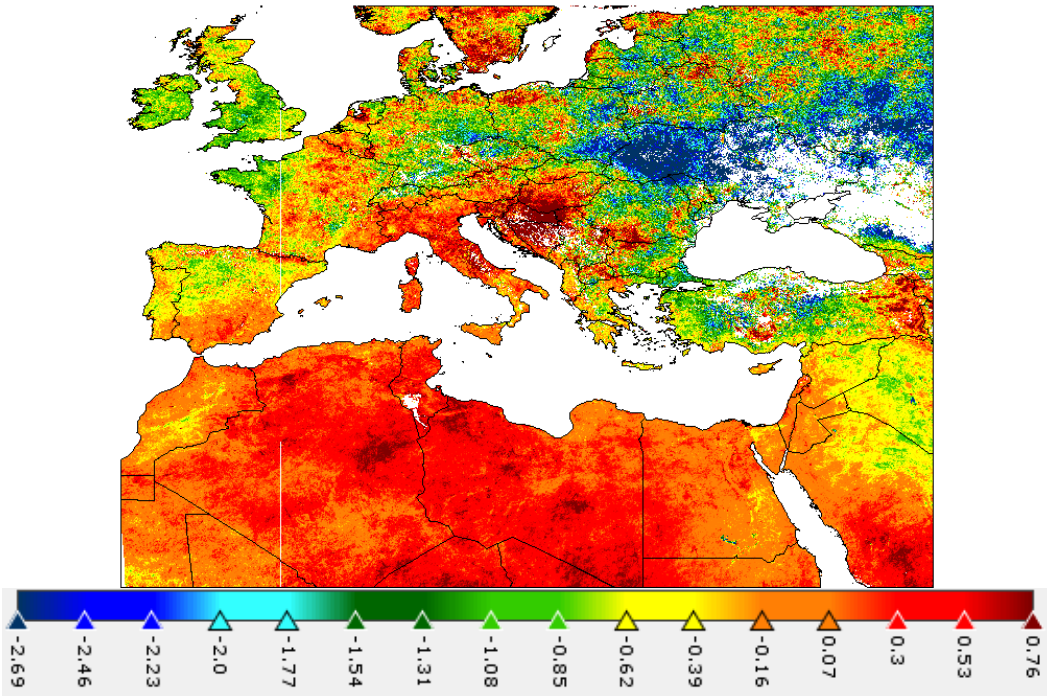
Στον χάρτη των τάσεων για τον Ιούλιο, ο οποίος χαρακτηρίζει την καλοκαιρινή περίοδο, παρατηρούνται μεγάλες μειώσεις έως και -1,15% στην Αγγλία και σε μεγάλη έκταση της Γαλλίας και της Γερμανίας. Επίσης μείωση της ίδιας τάξης υπάρχει σε ολόκληρη την Τουρκία. Στις υπόλοιπες περιοχές παρατηρείται μικρή αύξηση της θερμοκρασίας, όμως στην Αφρική και τη νότια Ρωσία το ποσοστό αυξάνεται περισσότερο, από 0,8% έως 1,5%. Στην Ελλάδα παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας εδάφους με εξαίρεση τον Θεσσαλικό κάμπο όπου η LST αυξάνεται με τάση έως και 1,5%. Ομοίως στη βόρεια Ιταλία, ξεχωρίζουν οι Βενετία, Βερόνα, Πάρμα.



Εικόνα 16: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Οκτώβριο

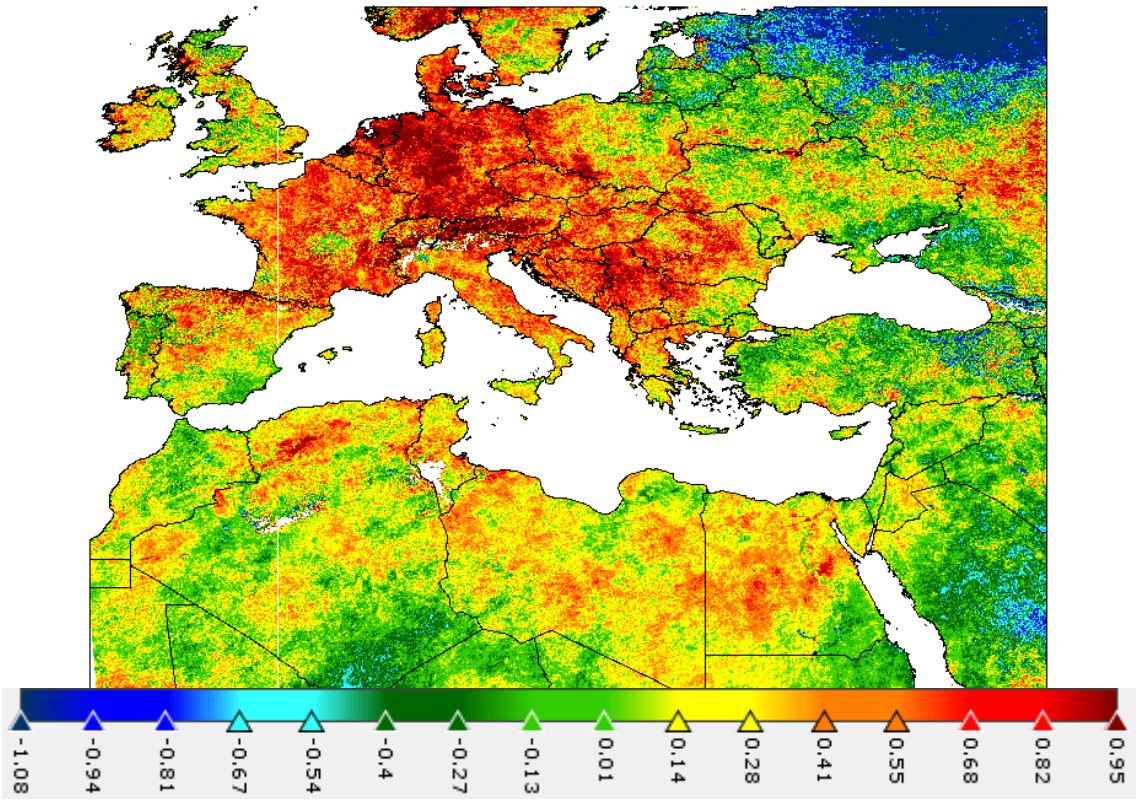
Τον Οκτώβριο υπάρχουν θετικές και αρνητικές τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους, με ποσοστά που κυμαίνονται περίπου από -1% έως 1,2%, όπως φαίνεται στον χάρτη της εικόνας 16. Οι μεγαλύτερες μειώσεις παρατηρούνται στη βόρεια κεντρική και ανατολική Ευρώπη (π.χ. Γερμανία, Λευκορωσία), στην Τουρκία και στην κεντρική Σαχάρα, ενώ οι μεγαλύτερες αυξήσεις στη δυτική Ιβηρική χερσόνησο, ανατολικά της Μαύρης Θάλασσας και σε μεγάλο κομμάτι της Αιγύπτου. Οι χάρτες εκτίμησης των μακρόχρονων τάσεων για την ημέρα τους υπόλοιπους οκτώ μήνες βρίσκονται στο Παράρτημα ΙΙ.

Στους ακόλουθους τέσσερις χάρτες παρουσιάζονται οι τάσεις των επιφανειακών θερμοκρασιών του εδάφους κατά τη νύχτα. Οι χάρτες των ποσοστών μεταβολής της θερμοκρασίας εδάφους την περίοδο της νύχτας για τους υπόλοιπους μήνες είναι διαθέσιμοι στο Παράρτημα ΙΙ.



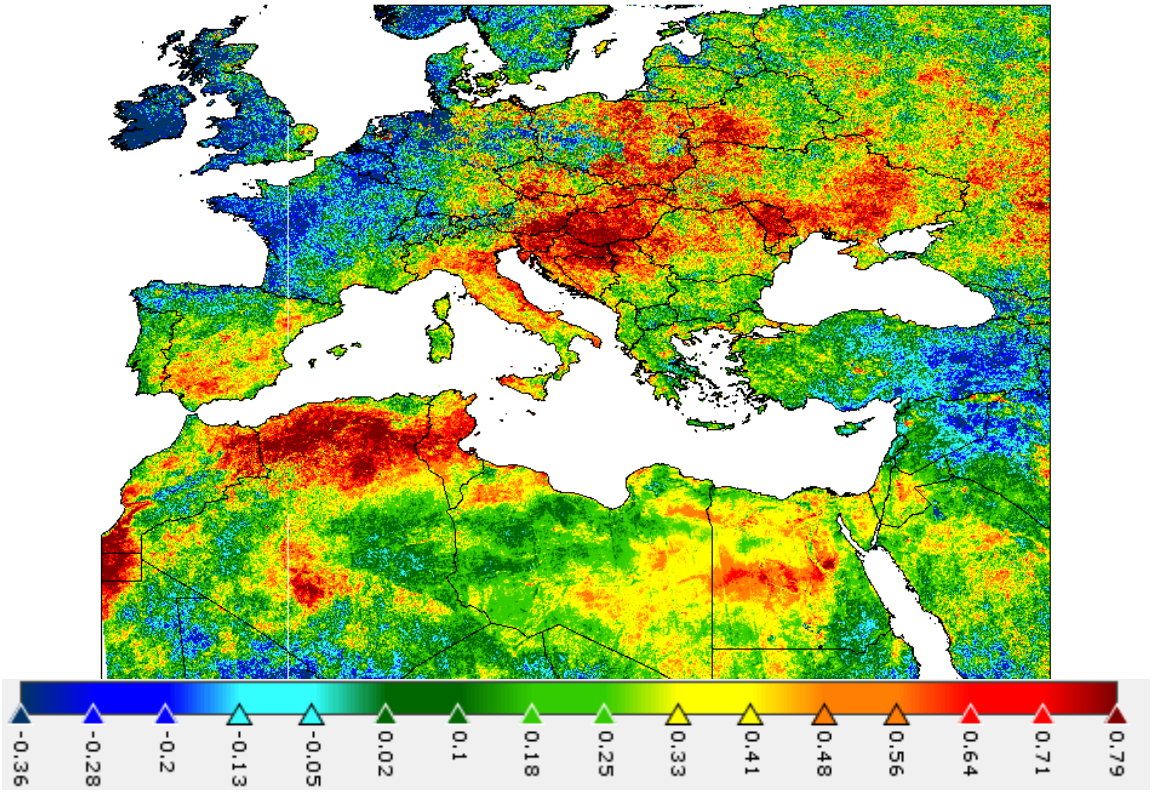
Εικόνα 17: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Ιανουάριο

Τον Ιανουάριο παρατηρείται μία μικρή αύξηση στην επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους τη νύχτα έως 0,8%. Μικρή μείωση του LST έχει η Αγγλία (-1%), ενώ μεγαλύτερη είναι η μείωση στις Ουκρανία, Πολωνία, και Λευκορωσία (μέχρι περίπου -2,7%).



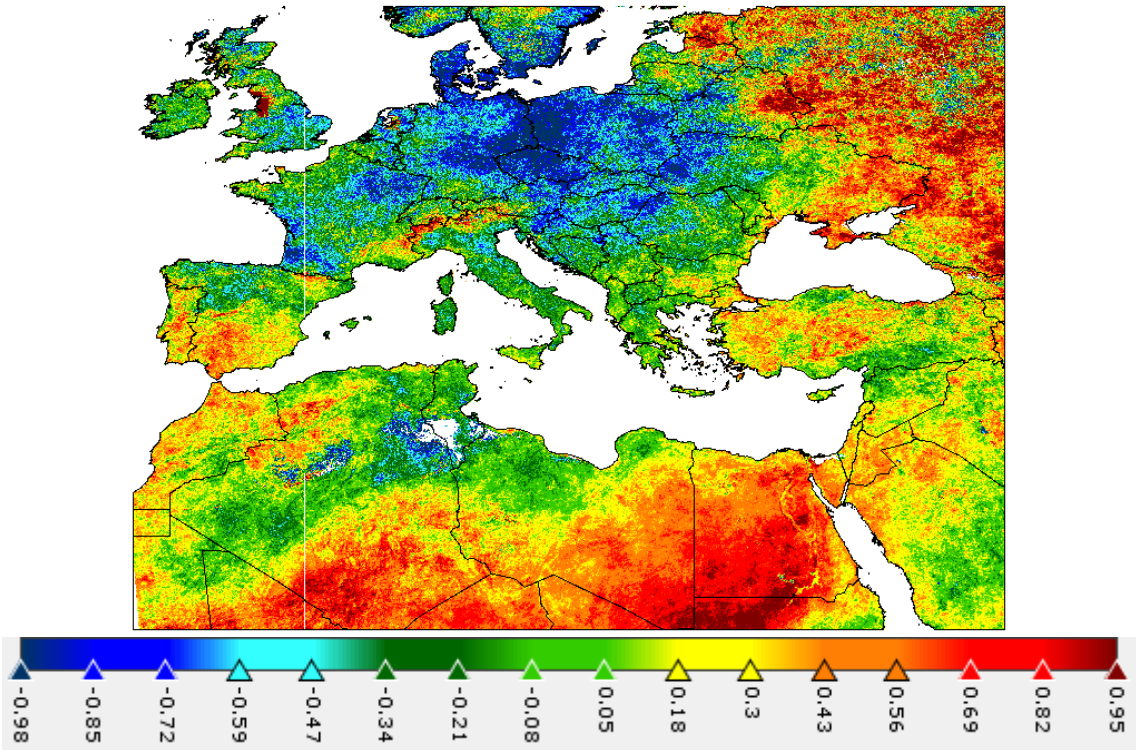
Εικόνα 18: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την νύχτα το μήνα Απρίλιο

Γενικότερα τη νύχτα παρατηρείται αύξηση των τιμών του LST γύρω στο 1% την άνοιξη στην κεντρική Ευρώπη καθώς και στην περιοχή της Σαχάρας, ενώ μειώνεται σημαντικά στη βόρεια Ρωσία. Οι τάσεις της θερμοκρασίας εδάφους στην έρημο είναι μεικτές, ενώ παρατηρείται μείωση σε μία μικρή περιοχή της νοτίου Σαχάρας.



Εικόνα 19: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την νύχτα το μήνα Ιούλιο

Τον Ιούλιο παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους κυρίως στη βορειοδυτική Αφρική, στην Αυστρία, Τσεχία, Ουγγαρία έως και 0,8%. Επίσης στις Αγγλία, Γαλλία, Ολλανδία, Βέλγιο, τη δυτική Γερμανία και την ανατολική Τουρκία υπάρχει μικρή μείωση της τάξης του -0,4%. Στην Αλγερία ξεχωρίζει μία περιοχή ηφαιστείων με την τάση της LST να είναι αυξημένη κατά πολύ, συγκριτικά με τις εκτάσεις που την περιβάλουν. Επιπλέον, στα βόρια της Αφρικής, ξεχωρίζει με υψηλή τάση επιφανειακής θερμοκρασίας η οροσειρά του Άτλαντα, που αρχίζει από την Τυνησία και καταλήγει στο Μαρόκο.



Εικόνα 20: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την νύχτα το μήνα Οκτώβριο

Τον Οκτώβριο η μακρόχρονη τάση της θερμοκρασίας εδάφους έχει μείωση στην κεντρική Ευρώπη, από -0,5% έως -1%. Στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης αυξάνεται έως και 1%. Στη Ρωσία αντίθετα παρατηρούνται μεικτές μεταβολές, ενώ διαφοροποιήσεις υπάρχουν και σε μεγάλα μέρη της Σαχάρας. Επίσης, η οροσειρά των Άλπεων και η περιοχή κοντά στην πόλη Λίβερπουλ της Αγγλίας έχει τάσεις θερμοκρασίας εδάφους που ξεχωρίζουν από τις τριγύρω περιοχές και φτάνουν έως 1%.

4.3 Κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το είδος κάλυψης του εδάφους.

Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης των εικονοστοιχείων της περιοχής μελέτης, το οποία εξήχθησαν με την μέθοδο που αναφέρεται αναλυτικά στο 3ο κεφάλαιο. Στις γραμμές των πινάκων 4 και 5 που ακολουθούν, αποτυπώνονται τα είδη κάλυψης Γης, σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση Globcover (πίνακας 2) και στις στήλες αναγράφονται οι 12 μήνες. Στον πίνακα 6 που βρίσκεται στο τέλος της παραγράφου, αναφέρονται οι τύποι κάλυψης γης σε αντιστοιχία με τους κωδικούς των πινάκων 4 και 5.

Το χειμώνα, συγκεκριμένα τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, η θερμοκρασία εδάφους έχει την τάση να μειώνεται την ημέρα και τη νύχτα. Στατιστικά σημαντική μείωση την ημέρα παρατηρείται, τον Φεβρουάριο σε δάση με μόνιμη βλάστηση κωνοφόρων (κωδικός 90), τον Δεκέμβριο σε εκτάσεις λιβαδιών με βλάστηση που δεν είναι μόνιμη (κωδικός 140) και τους μήνες Δεκέμβριο έως Μάρτιο σε πλατύφυλλα δάση (170). Όσον αφορά στη νύχτα, τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο η θερμοκρασία εδάφους χαρακτηρίζεται από στατιστικά σημαντική μείωση σε περιοχές με πλατύφυλλα δάση (170). Επιπλέον τον Ιανουάριο το LST μειώνεται σε εκτάσεις λιβαδιών με όχι μόνιμη βλάστηση (140). Τέλος, τον Φεβρουάριο τη νύχτα, μειώνεται στατιστικά σημαντικά η θερμοκρασία σε ξηρές καλλιεργήσιμες εκτάσεις (14), σε δάση διαφόρων ειδών όπως είναι πυκνά πλατύφυλλα και φυλλοβόλα (50), τα κωνοφόρα (70), τα πλατύφυλλα και κωνοφόρα χωρίς μόνιμη βλάστηση (100) καθώς και σε εκτάσεις με θαμνώδη και ξυλώδη βλάστηση (180) και σε μόνιμο χιόνι ή πάγο (220).

Την άνοιξη και το καλοκαίρι, δηλαδή για τους μήνες Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο η τάση του LST είναι μεικτή σε αρκετούς τύπους κάλυψης. Στατικά σημαντική αύξηση για την ημέρα παρατηρείται τον Ιούλιο σε περιοχές με δάση

πλατύφυλλα (170) και τον Απρίλιο σε εκτάσεις λιβαδιών με όχι μόνιμη βλάστηση (140) και σε περιοχές με πάγο ή μόνιμο χιόνι (220). Τη νύχτα, τον Μάιο παρατηρείται σημαντική αύξηση σε εκτάσεις με θαμνώδη και ξυλώδη βλάστηση (180) , τον Ιούνιο σε κωνοφόρα δάση με μόνιμη βλάστηση (90), τον Ιούλιο και τον Αύγουστο στο γυμνό έδαφος (200). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι σε εκτάσεις με ημι-φυλλοβόλα πλατύφυλλα δάση (170) η θερμοκρασία αυξάνεται στο διάστημα και των πέντε μηνών. Στατιστικά σημαντική μείωση, τη συγκεκριμένη περίοδο παρατηρείται μόνο την ημέρα και συγκεκριμένα, τον Ιούλιο σε εκτάσεις λιβαδιών (140) και τον Αύγουστο σε περιοχές με πλατύφυλλα δάση (170).

Το φθινόπωρο για τους μήνες Σεπτέμβριο και Νοέμβριο παρατηρείται αύξηση στην πλειοψηφία των εδαφικών τύπων κάλυψης αύξηση του LST. Αντίθετα, τον Οκτώβριο τόσο την ημέρα όσο και την νύχτα η LST έχει την τάση να μειώνεται σε όλους σχεδόν τους τύπους κάλυψης γης, χωρίς όμως κάποια μεταβολή να είναι στατιστικά σημαντική. Για την ημέρα η αύξηση είναι στατιστικά σημαντική και στους δύο φθινοπωρινούς μήνες μόνο στις εκτάσεις με πλατύφυλλα, ημι-φυλλοβόλα δάση (170). Στατιστικά σημαντική αύξηση τη νύχτα εστιάζεται τον Σεπτέμβριο σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις (20), πυκνά πλατύφυλλα και φυλλοβόλα δάση (50), θαμνώδεις εκτάσεις με όχι μόνιμη βλάστηση (130), πλατύφυλλα, ημι-φυλλοβόλα δάση (170), γυμνό έδαφος (200) και σε περιοχές με μόνιμο χιόνι ή πάγο (220).

Πίνακας 4 : Κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων για την ημέρα. Οι τιμές των στατιστικά σημαντικών μεταβολών είναι σημειωμένες με πιο έντονο χρώμα.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
14	-0.28±0.88	-0.84±1.24	-0.49±1.14	0.47±0.72	0.12±0.82	0.05±1.14	0.18±0.86	0.18±0.84	0.57±0.86	0.11±0.62	0.08±0.53	0.11±0.87
20	-0.27±0.84	-0.98±1.29	-0.66±1.03	0.23±0.79	0.04±0.84	0.06±1.07	0.16±0.81	0.27±0.73	0.47±0.77	0.04±0.65	-0.01±0.54	0.21±0.88
50	-0.11±0.82	-0.87±1.1	-0.24±0.78	-0.03±0.93	0.08±0.51	-0.08±0.65	**-8×10^{-4}±0.48**	0.06±0.58	0.2±0.6	-0.08±0.48	0.07±0.4	0±0.8
70	-0.34±0.72	-0.91±1.06	-0.15±0.72	0.26±0.72	-0.09±0.56	-0.26±0.67	-0.07±0.61	0.02±0.54	0.2±0.54	-0.04±0.6	0.08±0.45	0±0.83
90	0.1±0.7	**-0.93±0.8**	-0.07±0.55	-0.07±0.84	-0.02±0.47	0.4±0.5	-0.23±0.41	-0.4±0.64	-0.34±0.43	-0.18±0.48	0±0.48	-0.62±0.74
100	-0.01±0.73	-0.92±1.13	-0.18±0.72	-0.12±0.96	0.14±0.54	0.04±0.67	0.06±0.45	0.12±0.63	0.09±0.52	-0.16±0.51	0.07±0.37	-0.14±0.65
120	-0.21±0.76	-0.63±0.98	0.07±0.72	0.38±0.73	-0.03±0.49	-0.3±0.66	-0.12±0.54	-0.26±0.6	0.12±0.68	-0.01±0.55	0.05±0.5	-0.25±0.95
130	-0.49±0.83	-1.15±1.26	-0.41±0.76	-0.01±0.62	-0.37±0.53	-0.58±0.45	-0.42±0.64	0.05±0.46	0.1±0.49	-0.07±0.8	-0.16±0.46	0.61±1.04
140	-0.38±0.49	-0.24±0.6	0.61±0.53	**0.58±0.51**	0.16±0.47	0.13±0.79	-0.41±0.57	**-0.73±0.47**	-0.28±0.48	-0.05±0.38	-0.15±0.45	**-0.74±0.68**
150	-0.16±0.69	-0.91±1.13	-0.73±0.83	-0.27±0.9	-0.11±0.72	-0.04±0.97	0.11±0.73	0.26±0.61	0.13±0.66	-0.06±0.67	-0.21±0.61	0.24±1
170	**0.06±0.02**	**-0.37±0.04**	**-0.77±0.41**	-0.08±0.48	0.07±0.36	**-0.14±0.1**	**0.19±0.12**	0.15±0.18	**0.22±0.2**	**0.49±0.2**	**0.14±0.01**	**0.2±0.03**
180	-0.12±0.79	-1.25±1.31	-0.31±0.84	-0.72±1.28	0.46±0.56	0.34±0.63	0.02±0.48	0.04±0.67	-0.12±0.58	-0.02±0.6	0.03±0.33	-0.21±0.8
190	-0.18±0.58	-0.49±0.77	-0.05±0.75	0.35±0.65	0.1±0.57	-0.14±0.78	0.01±0.59	-0.11±0.65	0.14±0.54	0.03±0.48	-0.01±0.41	0.1±0.62
200	-0.12±0.28	-0.04±0.48	-0.63±0.4	-0.22±0.48	-0.29±0.49	-0.18±0.53	0.06±0.39	0.16±0.36	0.15±0.33	-0.03±0.41	0.02±0.33	-0.17±0.4
220	-0.16±0.59	-0.82±0.72	-0.01±0.68	**0.58±0.48**	0.2±0.45	0.27±0.63	0.23±0.52	0.43±0.47	0.7±0.52	0.57±0.63	0.47±0.51	0.18±0.83

Πίνακας 5 : Κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων για τη νύχτα. Οι τιμές των στατιστικά σημαντικών μεταβολών είναι σημειωμένες με πιο έντονο χρώμα.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
14	-0.72±1.06	**-1.25±1.13**	-0.37±0.64	0.26±0.41	0.35±0.61	0.47±0.61	0.25±0.31	0.18±0.38	0.38±0.37	-0.06±0.53	0.11±0.51	0.36±1.02
20	-0.74±1.07	-1.24±1.16	-0.43±0.59	0.15±0.45	0.39±0.59	0.53±0.57	0.28±0.27	0.32±0.36	**0.45±0.34**	0.06±0.51	0.16±0.56	0.49±0.98
50	-0.6±0.89	**-1.37±1.06**	-0.26±0.52	0.05±0.75	0.36±0.58	0.48±0.55	0.23±0.28	0.28±0.42	**0.46±0.42**	-0.05±0.55	0.43±0.76	0.46±1.09
70	-0.56±0.72	**-0.97±0.95**	-0.19±0.5	0.24±0.49	0.11±0.49	0.19±0.54	0.19±0.32	0.22±0.39	0.41±0.42	-0.07±0.49	0.17±0.52	0.22±0.88
90	-0.17±0.7	-1.38±0.77	0.11±0.54	0.16±0.71	0.09±0.56	**0.53±0.37**	0.04±0.26	-0.15±0.51	0.1±0.42	-0.26±0.56	0.24±0.78	-0.52±1.05
100	-0.64±0.84	**-1.54±0.98**	-0.21±0.54	-0.02±0.78	0.44±0.61	0.54±0.58	0.24±0.27	0.32±0.48	0.45±0.44	-0.09±0.61	0.51±0.81	0.43±1.1
120	-0.35±0.73	-0.78±0.8	-0.03±0.41	0.38±0.49	0.01±0.35	0.07±0.46	0.09±0.38	0±0.43	0.24±0.47	-0.19±0.46	0.19±0.52	-0.11±0.87
130	-0.39±0.6	-0.73±0.78	-0.25±0.34	0.07±0.32	0.06±0.3	0.08±0.31	0.13±0.23	0.33±0.22	**0.33±0.24**	0.16±0.26	0.05±0.31	0.42±0.69
140	**-0.67±0.47**	-0.52±0.58	0.13±0.34	0.3±0.36	0.11±0.34	-0.01±0.43	-0.22±0.37	-0.27±0.33	-0.05±0.36	-0.15±0.48	-0.1±0.45	-0.5±0.56
150	-0.18±0.6	-0.65±1.07	-0.24±0.46	0.14±0.48	0.24±0.45	0.4±0.5	0.33±0.34	0.36±0.41	0.3±0.32	0.16±0.36	0.24±0.5	0.25±0.83
170	**0.12±0.06**	-0.1±0.04	-0.19±0.13	**0.28±0.21**	**0.09±0.02**	**0.22±0.11**	**0.44±0.12**	**0.51±0.05**	**0.22±0.08**	0.24±0.24	**0.14±0.12**	**0.33±0.21**
180	-0.68±0.86	**-1.86±1.29**	-0.22±0.69	-0.51±0.94	**0.69±0.62**	0.77±0.44	0.13±0.29	0.27±0.6	0.21±0.52	0.15±0.54	0.71±0.97	0.69±1.45
190	-0.44±0.71	-0.84±0.84	-0.1±0.43	0.37±0.41	0.15±0.45	0.22±0.53	0.21±0.34	0.08±0.46	0.27±0.38	-0.1±0.53	0.09±0.47	0±0.76
200	0.16±0.31	0.37±0.5	0.02±0.31	0.1±0.25	0.08±0.24	0.31±0.37	**0.25±0.21**	**0.26±0.21**	**0.22±0.17**	0.3±0.34	0.29±0.35	-0.09±0.33
220	-0.3±0.47	**-0.73±0.66**	-0.33±0.47	0.35±0.74	0.33±0.65	0.05±0.74	0.13±0.27	0.15±0.27	**0.5±0.4**	0.38±0.43	0.03±0.41	-0.08±0.85

Πίνακας 6 : Πίνακας αντιστοίχισης κωδικών landcover με τους αντίστοιχους τύπους κάλυψης γης.

Κωδικός	Είδος κάλυψης γης
14	ξηρές καλλιεργήσιμες εκτάσεις
20	καλλιεργήσιμες εκτάσεις με βλάστηση
50	πυκνά πλατύφυλλα φυλλοβόλα δάση
70	κωνοφόρα αειθαλή δάση
90	μόνιμη βλάστηση από κωνοφόρα
100	όχι μόνιμη βλάστηση από πλατύφυλλα και κωνοφόρα
120	λιβάδια από θαμνώδεις εκτάσεις
130	όχι μόνιμη βλάστηση από θαμνώδεις εκτάσεις
140	όχι μόνιμη βλάστηση από εκτάσεις λιβαδιών
150	αραιή ξυλώδης, θαμνώδης βλάστηση
170	δάση από πλατύφυλλα, ημι-φυλλοβόλα/πλημ. τακτικά
180	εκτάσεις με θαμνώδη, ξυλώδη βλάστηση
190	τεχνητές επιφάνειες, αστικές περιοχές
200	γυμνό έδαφος
220	μόνιμο χιόνι και πάγος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα

Σε αυτή την εργασία παρουσιάστηκε η στατιστική ανάλυση της δωδεκαετούς χρονο σειράς της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους, για τη μελέτη των μεταβολών της στο χώρο και το χρόνο.

Η ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων περιελάμβανε την άντληση προϊόντων 8 η μερών του ραδιομέτρου MODIS του δορυφόρου TERRA για τη δωδεκαετή περίοδο της μελέτης, για ημέρα και νύχτα, καθώς και την μετατροπή τους μέσω κατάλληλου λογισμικού σε αρχεία GeoTIF. Η επεξεργασία που ακολούθησε συνετέλεσε στο να μετατραπούν οι ψηφιακές τιμές κάθε εικονοστοιχείου, με κατάλληλη βαθμονόμηση, σε τιμές LST, καθώς και στη διάσπαση κάθε καταγραφής 8ημέρου στις επιμέρους κ αταγραφές κάθε ημέρας ημέρες από τις οποίες είχε προέλθει, αξιοποιώντας πληρο φορία από τα μετα-δεδομένα του αντίστοιχου προϊόντος MODIS. Επιπρόσθετα, με τ ην στατιστική επεξεργασία της χρονολογικής σειράς υπολογίστηκαν μέσοι όροι ανά μήνα, οι ενδο-ετήσιες διακυμάνσεις και οι μακρόχρονες τάσεις. Με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε παρήχθησαν χωρικές κατανομές των τιμών της επιφανειακής θε ρμοκρασίας εδάφους σε μηνιαία βάση, για όλη την χρονοσειρά και κατανομές των τ άσεων, τόσο για την ημέρα όσο και για τη νύχτα. Εξετάστηκαν τέλος, οι εποχικές με ταβολές και οι τάσεις για κάθε τύπο εδάφους, με κατηγοριοποίηση των αντίστοιχων εικονοστοιχείων με βάση δορυφορικά παραγόμενους χάρτες κάλυψης γης.

Συμπερασματικά, οι κύριοι λόγοι που αναδεικνύουν τη σημασία της εν λόγω μελέτη ς είναι οι ακόλουθοι:

- Η χρήση δορυφορικών καταγραφών και δορυφορικά παρεχόμενων προϊόντ ων, επέτρεψε την αξιοποίηση ενός τεράστιου όγκου δεδομένων για την πραγ ματοποίηση της ανάλυσης σε μια πολύ εκτεταμένη περιοχή που περιλαμβάν ει το σύνολο σχεδόν της Ευρώπης, τη Βόρεια Αφρική και τμήμα της Ασίας, μ ε χωρική ανάλυση 1 km x 1 km, σε ημερήσια βάση, για ημέρα και νύχτα, για 12αετή χρονική περίοδο.
- Η υψηλή (για πλανητική κλίμακα) χωρική διακριτική ικανότητα στην οποία πρ αγματοποιήθηκε η μελέτη (1km x 1km) είναι καθοριστικής σημασίας, γιατί αν έδειξε μεταβολές της θερμοκρασία εδάφους με χωρική και χρονική ανομοιογέ νεια και χωρική ανισοτροπία, ακόμα και όταν οι περιοχές εστίασης ήταν μικρ ές (περιφερειακή κλίμακα). Το γεγονός αυτό γίνεται φανερό στους χάρτες πο υ παρουσιάστηκαν, όπου αναδεικνύονται οι διαφορές στις τάσεις μεταξύ των διαφορετικών τύπων κάλυψης του εδάφους.
- Η επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής προς διερεύνηση ήταν επίσης καθορι στικής σημασίας, γιατί υπάρχουν μελέτες που βασίζονται τόσο σε παρατηρή σεις των τελευταίων δεκαετιών όσο και σε μοντέλα εκτίμησης κλιματικών μετα βολών. Οι μελέτες αυτές δείχνουν ότι η ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου απε ιλείται λόγω της κλιματικής αλλαγής, με μείωση των βροχοπτώσεων και παρ ατεταμένη ξηρασία που οδηγούν στην ερημοποίηση (Meehl et al. 2007, Trenberth et al. 2007).
- Ενώ τα μελλοντικά σενάρια για την κλιματική αλλαγή αναφέρουν γενικά αύξη ση της θερμοκρασίας του αέρα, αυτή συνήθως αφορά σε μέσους όρους σε π αγκόσμια βάση και σε πολύ εκτεταμένες περιοχές, με χωρική ανάλυση 2 του λάχιστον τάξεις μεγέθους χαμηλότερη από την αντίστοιχη της παρούσας εργ ασίας. Τα αποτελέσματά της μελέτης αυτής έδειξαν ότι τουλάχιστον την τελευ ταία 12ετία, σε μία αρκετά εκτεταμένη περιοχή, όπου ζει σημαντικό ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού, η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας της επιφ άνειας του εδάφους παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις και ανομοιογενείς

μεταβολές στο χρόνο. Συνεπώς, στη μελέτη των κλιματικών παραμέτρων, εκτ ός από το παγκόσμιο επίπεδο, θα πρέπει να δίνεται επίσης έμφαση στην πε ριφερειακή και την τοπική κλίμακα, λαμβάνοντας υπόψη της μεταβολές της κ άλυψης γης και την επίπτωσή τους στο κλιματικό σύστημα. Το δυναμικό της δορυφορικής τηλεπισκόπησης προς την κατεύθυνση αυτή, όπως αναδείχθηκ ε και στην παρούσα εργασία, είναι πολύ υψηλό.

- Η μεγάλη έκταση της συγκεκριμένης μελέτης, τόσο γεωγραφικά όσο και σε δι άρκεια, προσφέρει τη δυνατότητα συγκρίσεων με προσομοιώσεις αριθμητικώ ν μοντέλων μέσης κλίμακας, για την αντίστοιχη μεταβλητή (θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους), ή συγκρίσεων με εκτιμήσεις τυρβωδών ροών αισθ ητής και λανθάνουσας θερμότητας τέτοιων μοντέλων. Συνεπώς, μελέτες όπω ς η παρούσα, μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό εργαλείο για την αξιολόγ ηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων τέτοιων μοντέλων, κάτι που είναι πο λύ σημαντικό για την ελάττωση του εύρους της αβεβαιότητάς τους σε μελλον τικές προβλέψεις.

Τέλος, σημειώνεται ότι η αυτοματοποίηση της μεθόδου επεξεργασίας μέσω κωδίκω ν Matlab που αναπτύχθηκαν για το σκοπό αυτό, αφενός έκανε εφικτή την πραγματο ποίηση της ανάλυσης με χρήση ενός τεράστιου όγκου δεδομένων και αφετέρου ανέ πτυξε εργαλεία τα οποία μπορούν άμεσα να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή τη ς μεθόδου σε άλλες περιοχές. Η βάση δεδομένων της γεω-αναφερμένης χωροχρονι κής κατανομής της θερμοκρασίας εδάφους που δημιουργήθηκε, μπορεί να χρησιμο ποιηθεί σε ένα εύρος μελλοντικών εργασιών σε σχέση με την περιβαλλοντική ποιότ ητα και την κλιματική μεταβολή στην περιοχή μελέτης.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Barnes, W.L., Pagano, T.S., Salomonson, V., 1998, Prelaunch characteristics of the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) on EOS-AMI
- Betts A. & S.-Y. Hong & H.-L. Pan, 1996. Comparison of NCEP-NCAR reanalysis with 1987 FIFE data, Monthly Weather Review, vol. 124, pp. 1480-1498.
- Bicheron P., et al., 2008. Globcover:Product Desciption and Validation Report., MEDIAS-France 2008, Toulouse, France, December 4.
- Campbell B.J.,2002 Introduction to Remote Sensing. 3rd edition. Virginia Polytechnic Institute and State University. The Guilford Publications Press, New York, London.
- C.O. Justice, J.R.G. Townshend, E.F. Vermote, E. Masuoka, R.E. Wolfe, N. Saleous, D.P. Roy,J.T. Morisette, 2002, An overview of MODIS Land data processing and product status, Remote Sensing of the Environment, p. 3.
- Dash, P, Gottsche, F.-M. Olesen, F.-S. and H. Fischer, 2002. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice–current trends. International Journal of Remote Sensing, 23, 2563 - 2594.
- Kerstin Sundseth, Ecosystems Ltd, Το δίκτυο Natura 2000 στην περιοχή της Μεσογείου, Βρυξέλλες, 2000
- Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J. M., Noda, A., Raper, S. C. B., Watterson, I. G., Weaver, A. J., and Zhao, Z. C.: Global Climate Projections, in: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z.,

Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

- M.A. Friedl, D.K. McIver, J.C.F. Hodges, X.Y. Zhang, D. Muchoney, A.H. Strahler, C.E. Woodcock, S. Gopal, A. Schneider, A. Cooper, A. Baccini, F. Gao, C. Schaaf, 2002, Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results, Remote Sensing of Environment Vincent V. Salomonson, William Barnes and Edward J. Masuoka, 2005, Introduction to MODIS and an Overview of Associated Activities
- Richard A. Frey, et al., 2008. Cloud Detection with MODIS. Part I: Improvements in the MODIS Cloud Mask for Collection 5. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 25, 1057-1072.
- Roger A., Pielke Sr., 2005. Land Use and Climate Change, Vol 310/Science, p.1625.
- Salomonson, V. V., Barnes, W. L., Maymon, P. W., Montgomery, H. E., & Ostrow, H., 1989, MODIS: advanced facility instrument for studies of the earth as a system.
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Tank, A. K., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J. A., Rusticucci, M., Soden, B., and Zhai, P.: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change, in: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- Wan Z. & Dozier J., 1989. Land-surface temperature measurement from space: physical principles and inverse modeling, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 27, no. 3, pp. 268-278

- Wan Z., 1999. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD), Version 3.3, Institute for Computational Earth System Science, University of California, Santa Barbara, p. 20, 22.

Ελληνική

- Grais, B.(2005). Στατιστικές Μέθοδοι (Δ.Μαγκούτης, Μετάφ.) (264η έκδ.) Αθήνα: τυπωθήτω-ΓΙΩΡΓΟΣ ΔΑΡΔΑΝΟΣ.(Το πρωτότυπο έργο δημοσιεύτηκε το 1992).
- Καρτάλης, Κ. & Φείδας, Χ., 2006. Αρχές και Εφαρμογές της Δορυφορικής Τηλεπισκόπισης. Εκδόσεις, Β. Γκιούρδας Εκδοτική.
- Κιόχος, Π.(1993). Στατιστική. Αθήνα: INTERBOOKS.
- Μητράκα Ζηνοβία, 2011, Ταξινόμηση Δορυφορικών Εικόνων σε Επίπεδο Υπό-εικονοστοιχείου για την Εκτίμηση του Συντελεστή Εκπομπής Επιφάνειας Εδάφους σε Αστικές Περιοχές, μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Τουλουπάκη Ελεάνα, 2010, Αλγόριθμοι και αντίστοιχα προϊόντα του MODIS για περιβαλλοντικές εφαρμογές και διακείρηση, μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Περιβάλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Δικτυακοί τόποι

NASA Earth Data a., 2013: https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_overview/

NASA Earth Data b., 2013: https://lpdaac.usgs.gov/

NASA MODIS Web a., 2013: http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php/

NASA MODIS Web b.,2013:http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataprod/nontech/MOD11.php/

HDF5 User's Guide, 2013: http://www.hdfgroup.org/HDF5/doc/UG/UG_frame13Attributes.html/

The HDF Group, 2013: http://www.hdfgroup.org/

HEG Conversion Tool, 2013: http://newsroom.gsfc.nasa.gov/sdptoolkit/HEG/HEGHome.html/

MODIS Atmosphere, 2013: http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD08_D3/faq.html

http://irakleitos.ntua.gr/dns/70.pdf Didaktoriki Diatrivi p. 27

Παράρτημα Ι

Η Matlab είναι μια μαθηματική γλώσσα προγραμματισμού και είναι ιδανική για κάθε είδους υπολογισμούς που βασίζονται σε πίνακες. Οι εικόνες είναι μεγάλοι πίνακες αριθμών. Παρακάτω παρατίθεται ο κώδικας που αναπτύχθηκε σε Maltab για τον υπολογισμό της ενδο-ετήσιας εποχικής διακύμνσης.

```
% Seasonal Monthly Means

path='E:/';
xronoseira_path='E:/Xronoseira/';
years_folders=dir(xronoseira_path);
 bit_depth=32;

 month=[ '01' ; '02' ; '03' ; '04' ; '05' ; '06' ; '07' ; '08' ; '09' ;
'10' ; '11' ; '12' ] ;

tile_matrix=['h17v03';'h17v04';'h17v05';'h17v06';'h18v03';'h18v04';'h18v0
5';'h18v06';'h19v03';'h19v04';'h19v05';'h19v06';'h20v03';'h20v04';'h20v05
';'h20v06';'h21v03';'h21v04';'h21v05';'h21v06';'h22v04';'h22v05';'h22v06'
];

t_matrix=[2400;1867;1567;1386;2400;1867;1567;1386;2934;2168;1748;1495;346
7;2468;1929;1603;4000;2769;2110;1712;3069;2290;1821];

for z=1:23

   tile=tile_matrix(z,:);
   t=t_matrix(z,:);
   r=1200;

   for k=3:12

    y=0;
    A=zeros(r,t);
    Count=zeros(r,t);

    for i=3:size(years_folders,1)


meanspath=strcat(xronoseira_path,years_folders(i,1).name,'/LST_Night_mean
/');

countpath=strcat(xronoseira_path,years_folders(i,1).name,'/LST_Night_coun
t/');
       means_files=dir(meanspath);
       count_files=dir(countpath);

       for j=3:size(means_files,1);

fnamelet=strcat('_',tile,'_',years_folders(i,1).name,month(k,:));

           if strcmp(means_files(j,1).name(23:36),fnamelet)==1
```

```
            info=geotiffinfo(strcat(meanspath,means_files(j,1).name));
            bbox=info.BoundingBox;
            y=y+1;

            X=double(geotiffread(strcat(meanspath,means_files(j,1).name))
            );
            X(X==-32768)=0;

            W=double(geotiffread(strcat(countpath,count_files(j,1).name))
            );
            W(X==0)=0;
            A=A+X.*W;
            Count=Count+W;

          end

       end
       clear info X W;
    end

    F=A./Count;
    F(F==0)=nan;

    if y==13

        % GEOTIFFWRIGHT
        % Seasonal Mean

      outfilepath1=strcat(path,'Seasonal_Monthly_Means/LST_Night_Seasonal
      /',month(k,:),'/Seasonal');

      outfilepath2=strcat(path,'Seasonal_Monthly_Means/LST_Night_Seasonal
      /',month(k,:),'/Weights');
       image=F;

      outfile1=strcat(outfilepath1,'/LST_Night_Seasonal_Mean_',tile,'_',m
      onth(k,:),'.tif');
      geotiffwrite(outfile1,bbox,image,bit_depth);

       % Weights
       image1=Count;

      outfile2=strcat(outfilepath2,'/LST_Night_Weights_',tile,'_',month(k
      ,:),'.tif');
       geotiffwrite(outfile2,bbox,image1,bit_depth);

        clear Count A F outfile image image1 bbox
    end

end
end
```

Ο κώδικας Maltab που ακολουθεί αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό των τάσεων (trends) σύμφωνα με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης.

```
%LINEAR REGRESSION y=b2*x+b1

path='E:/LST_Day_Regression/';
xronoseira_path='E:/Xronoseira/';
years_folders=dir(xronoseira_path);
bit_depth=32;

%pinakes
tile_matrix=['h17v03';'h17v04';'h17v05';'h17v06';'h18v03';'h18v04';'h18v0
5';'h18v06';'h19v03';'h19v04';'h19v05';'h19v06';'h20v03';'h20v04';'h20v05
';'h20v06';'h21v03';'h21v04';'h21v05';'h21v06';'h22v04';'h22v05';'h22v06]
;
t_matrix=[2400;1867;1567;1386;2400;1867;1567;1386;2934;2168;1748;1495;346
7;2468;1929;1603;4000;2769;2110;1712;3069;2290;1821];
month=[ '01' ; '02' ; '03' ; '04' ; '05' ; '06' ; '07' ; '08' ; '09' ;
'10' ; '11' ; '12' ] ;

for z=1:23

      tile=tile_matrix(z,:);
      t=t_matrix(z,:);
      r=1200;

      x= [1,2000;
      1,2001;
      1,2002;
      1,2003;
      1,2004;
      1,2005;
      1,2006;
      1,2007;
      1,2008;
      1,2009;
      1,2010;
      1,2011;
      1,2012];

      for k=3:12

            C=zeros(r,t);
            trend=zeros(r,t);
            flag=zeros(r,t);
            count_matrix=zeros(r,t);
            B=zeros(r,t);

            for i=3:size(years_folders,1)

            meanspath=strcat(xronoseira_path,years_folders(i,1).name,'/LS
            T_Day_mean/');
            means_files=dir(meanspath);
            countpath=strcat(xronoseira_path,years_folders(i,1).name,'/LS
            T_Day_count/');
```

```
            count_files=dir(countpath);

                  for j=3:size(means_files,1);
            fnamelet=strcat('_',tile,'_',years_folders(i,1).name,month(k,
            :));

            if strcmp(means_files(j,1).name(21:34),fnamelet)==1


            info=geotiffinfo(strcat(meanspath,means_files(j,1).name));
            bbox=info.BoundingBox;
            X=double(geotiffread(strcat(meanspath,means_files(j,1).name))
            );
            X(X==-32768)=NaN;
            C=cat(3,C,X);
            end
            if strcmp(count_files(j,1).name(22:35),fnamelet)==1
            info=geotiffinfo(strcat(countpath,count_files(j,1).name));
            bbox=info.BoundingBox;
            Q=double(geotiffread(strcat(countpath,count_files(j,1).name))
            );
            Q(Q==-32768)=NaN;
            B=cat(3,B,Q);
            end
      end
      clear info Q X ;
end

C(B<6)=NaN;

for m=1:r
      fprintf('Running month %2d, row %4d\n',k,m);
      for n=1:t
      Y1(:,1)=C(m,n,:); %Krataw tin sthlh toy 3d pinaka
      Y=Y1(2:14,1);%Diwxnw to prwto stoixeio , giati einai apo ton zero
      pinaka
      %Count
      count=nansum(Y,1)/nanmean(Y,1);

            if count>=2
            count_matrix(m,n)=count;
            %Regression
            [b,bint]=regress(Y,x);
            b_regr=b;
            bint_regr=bint;
            product=bint_regr(2,1)*bint_regr(2,2);

            if product>0
            flag(m,n)=1;
            end
            y(2000)=b_regr(2)*2000+b_regr(1);
            y(2012)=b_regr(2)*2012+b_regr(1);
            %Trends
            trend(m,n)=((y(2012)- y(2000))/ y(2000))*100;
            else
            flag(m,n)=NaN;
            trend(m,n)=NaN;
            count_matrix(m,n)=NaN;
```

```
            end
end
end

% GEOTIFFWRIGHT
flag(flag==0)=NaN;
trend(trend==0)=NaN;
count_matrix(count_matrix==0)=NaN;
trend(count_matrix<8)=NaN;
% FLAGS
outfilepath1=strcat(path,'flags/',month(k,:),'/');
image1=flag;
outfile1=strcat(outfilepath1,'Monthly_Day_Flags.',tile,'.',month(k,:),'.t
if');
geotiffwrite(outfile1,bbox,image1,bit_depth);
% TRENDS
outfilepath2=strcat(path,'trends/',month(k,:),'/');
image2=trend;
outfile2=strcat(outfilepath2,'Monthly_Day_Trends.',tile,'.',month(k,:),'.
tif');
geotiffwrite(outfile2,bbox,image2,bit_depth);
% COUNTS
outfilepath3=strcat(path,'counts/',month(k,:),'/');
image3=count_matrix;
outfile3=strcat(outfilepath3,'Monthly_Day_Counts.',tile,'.',month(k,:),'.
tif');
geotiffwrite(outfile3,bbox,image3,bit_depth);
end
end
```

Ο κώδικας Matlab που ακολουθεί αναπτύχθηκε για τον διαχωρισμό των εικονοστοιχείων με βάση τον αντίστοιχο τύπο κάλυψης γης.

```
% Trends Land Cover

    path='E:/LandCover/';
    trends_path=strcat(path,'Trends_Mosaic/LST_Day_Trends_Mosaic_cut/');
    bit_depth=32;

    month=[ '01' ; '02' ; '03' ; '04' ; '05' ; '06' ; '07' ; '08' ; '09'
; '10' ; '11' ; '12' ] ;

    % loop for months
    for k=1:12
        % info

info=geotiffinfo(strcat(trends_path,'lst_day_trend_mosaic_',month(k,:),'.
tif'));
        bbox=info.BoundingBox;
        % read

X=double(geotiffread(strcat(trends_path,'lst_day_trend_mosaic_',month(k,:
),'.tif')));
        X(X==-32768)=NaN;

Land=double(geotiffread(strcat(path,'LST_1x1km_GLOBCOVER_L4_200901_200912
_V2.3','.tif')));
        NewTrendMatrix=zeros(4800,6720);

        count1=0;
        sum1=0;
        count2=0;
        sum2=0;
        count3=0;
        sum3=0;
        count4=0;
        sum4=0;
        count5=0;
        sum5=0;
        count6=0;
        sum6=0;
        count7=0;
        sum7=0;
        count8=0;
        sum8=0;
        count9=0;
        sum9=0;
        count10=0;
        sum10=0;
        count11=0;
        sum11=0;
        count12=0;
        sum12=0;
        count13=0;
        sum13=0;
        count14=0;
        sum14=0;
        count15=0;
```

```
sum15=0;
count16=0;
sum16=0;
count17=0;
sum17=0;
count18=0;
sum18=0;
count19=0;
sum19=0;
count20=0;
sum20=0;
count21=0;
sum21=0;

for i=1:4800
    for j=1:6720
         switch (Land(i,j))
             case 14
                 count1=count1+1;
                 sum1=sum1+X(i,j);
             case 20
                 count2=count2+1;
                 sum2=sum2+X(i,j);
             case 50
                 count3=count3+1;
                 sum3=sum3+X(i,j);
             case 70
                 count4=count4+1;
                 sum4=sum4+X(i,j);
             case 90
                 count5=count5+1;
                 sum5=sum5+X(i,j);
             case 100
                 count6=count6+1;
                 sum6=sum6+X(i,j);
             case 120
                 count7=count7+1;
                 sum7=sum7+X(i,j);
             case 130
                 count8=count8+1;
                 sum8=sum8+X(i,j);
             case 140
                 count9=count9+1;
                 sum9=sum9+X(i,j);
             case 150
                 count10=count10+1;
                 sum10=sum10+X(i,j);
             case 180
                 count11=count11+1;
                 sum11=sum11+X(i,j);
             case 190
                 count12=count12+1;
                 sum12=sum12+X(i,j);
             case 200
                 count13=count13+1;
                 sum13=sum13+X(i,j);
             case 220
                 count14=count14+1;
                 sum14=sum14+X(i,j);
             case 11
```

```
                    count15=count15+1;
                    sum15=sum15+X(i,j);
                case 30
                    count16=count16+1;
                    sum16=sum16+X(i,j);
                case 40
                    count17=count17+1;
                    sum17=sum17+X(i,j);
                case 60
                    count18=count18+1;
                    sum18=sum18+X(i,j);
                case 110
                    count19=count19+1;
                    sum19=sum19+X(i,j);
                case 160
                    count20=count20+1;
                    sum20=sum20+X(i,j);
                case 170
                    count21=count21+1;
                    sum21=sum21+X(i,j);

            end
        end
    end

  % Averages for each case
     mean1=sum1/count1;
     mean2=sum2/count2;
     mean3=sum3/count3;
     mean4=sum4/count4;
     mean5=sum5/count5;
     mean6=sum6/count6;
     mean7=sum7/count7;
     mean8=sum8/count8;
     mean9=sum9/count9;
     mean10=sum10/count10;
     mean11=sum11/count11;
     mean12=sum12/count12;
     mean13=sum13/count13;
     mean14=sum14/count14;
     mean15=sum15/count15;
     mean16=sum16/count16;
     mean17=sum17/count17;
     mean18=sum18/count18;
     mean19=sum19/count19;
     mean20=sum20/count20;
     mean21=sum21/count21;

      % Typiki apoklisi
      num1=0;
      num2=0;
      num3=0;
      num4=0;
      num5=0;
      num6=0;
      num7=0;
      num8=0;
      num9=0;
      num10=0;
```

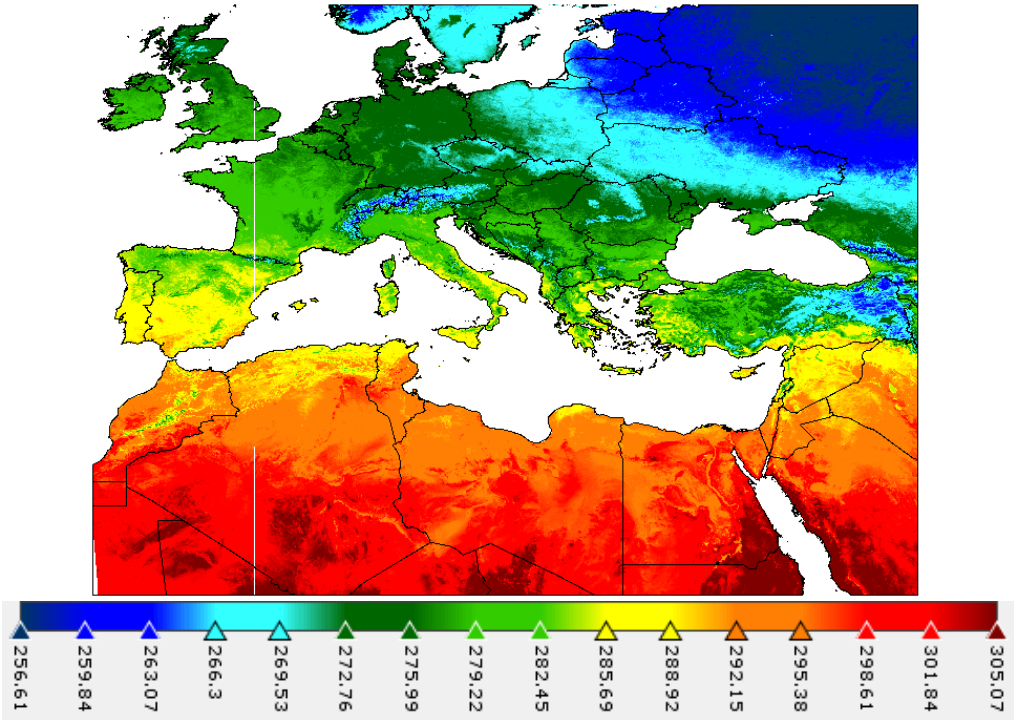
```
num11=0;
num12=0;
num13=0;
num14=0;
num15=0;
num16=0;
num17=0;
num18=0;
num19=0;
num20=0;
num21=0;
   for i=1:4800
      for j=1:6720
               switch (Land(i,j))
                   case 14
                       num1=num1+(X(i,j)-mean1)^2;
                   case 20
                       num2=num2+(X(i,j)-mean2)^2;
                   case 50
                       num3=num3+(X(i,j)-mean3)^2;
                   case 70
                       num4=num4+(X(i,j)-mean4)^2;
                   case 90
                       num5=num5+(X(i,j)-mean5)^2;
                   case 100
                       num6=num6+(X(i,j)-mean6)^2;
                   case 120
                       num7=num7+(X(i,j)-mean7)^2;
                   case 130
                       num8=num8+(X(i,j)-mean8)^2;
                   case 140
                       num9=num9+(X(i,j)-mean9)^2;
                   case 150
                       num10=num10+(X(i,j)-mean10)^2;
                   case 180
                       num11=num11+(X(i,j)-mean11)^2;
                   case 190
                       num12=num12+(X(i,j)-mean12)^2;
                   case 200
                       num13=num13+(X(i,j)-mean13)^2;
                   case 220
                       num14=num14+(X(i,j)-mean14)^2;
                   case 11
                       num15=num15+(X(i,j)-mean15)^2;
                   case 30
                       num16=num16+(X(i,j)-mean16)^2;
                   case 40
                       num17=num17+(X(i,j)-mean17)^2;
                   case 60
                       num18=num18+(X(i,j)-mean18)^2;
                   case 110
                       num19=num19+(X(i,j)-mean19)^2;
                   case 160
                       num20=num20+(X(i,j)-mean20)^2;
                   case 170
                       num21=num21+(X(i,j)-mean21)^2;


               end
      end
```

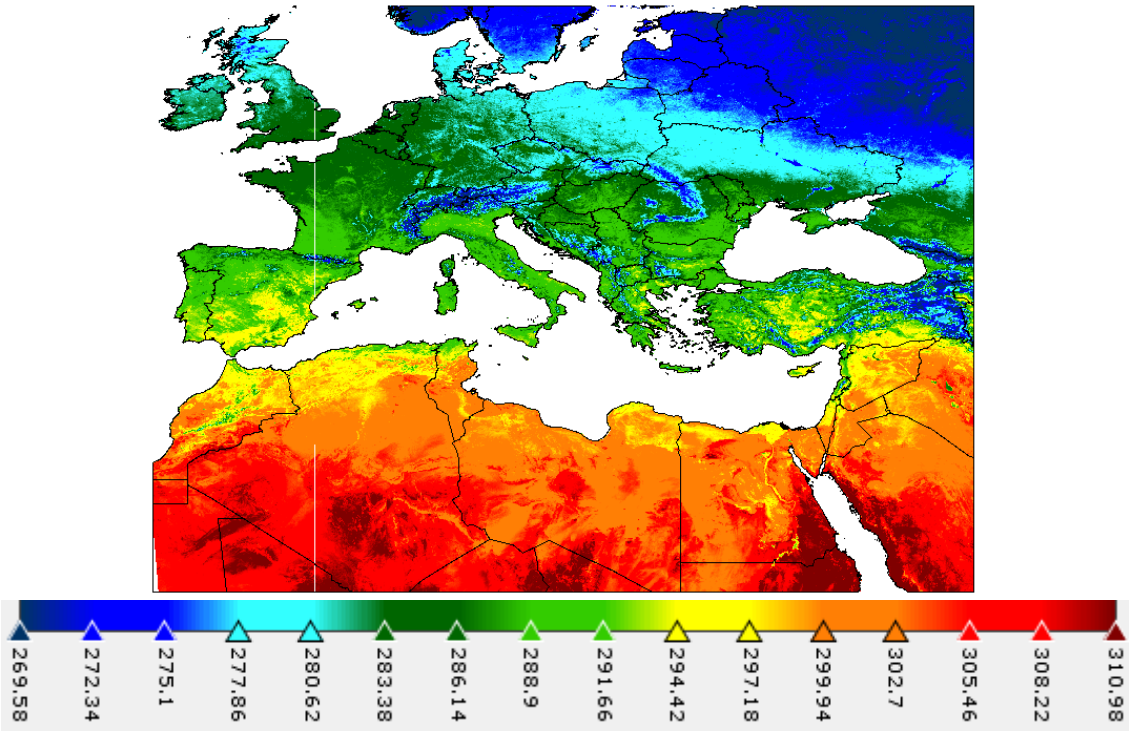
```
                end

                stan_dev1=(num1/count1)^0.5;
                stan_dev2=(num2/count2)^0.5;
                stan_dev3=(num3/count3)^0.5;
                stan_dev4=(num4/count4)^0.5;
                stan_dev5=(num5/count5)^0.5;
                stan_dev6=(num6/count6)^0.5;
                stan_dev7=(num7/count7)^0.5;
                stan_dev8=(num8/count8)^0.5;
                stan_dev9=(num9/count9)^0.5;
                stan_dev10=(num10/count10)^0.5;
                stan_dev11=(num11/count11)^0.5;
                stan_dev12=(num12/count12)^0.5;
                stan_dev13=(num13/count13)^0.5;
                stan_dev14=(num14/count14)^0.5;
                stan_dev15=(num15/count15)^0.5;
                stan_dev16=(num16/count16)^0.5;
                stan_dev17=(num17/count17)^0.5;
                stan_dev18=(num18/count18)^0.5;
                stan_dev19=(num19/count19)^0.5;
                stan_dev20=(num20/count20)^0.5;
                stan_dev21=(num21/count21)^0.5;
end
```

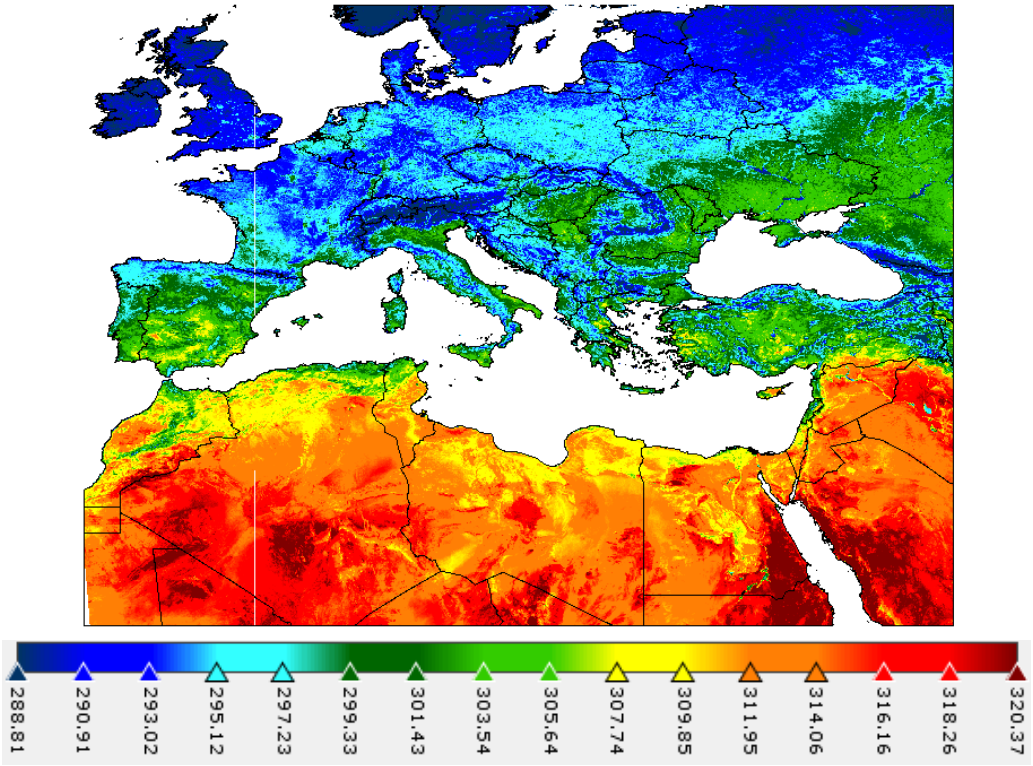
Παράρτημα ΙΙ



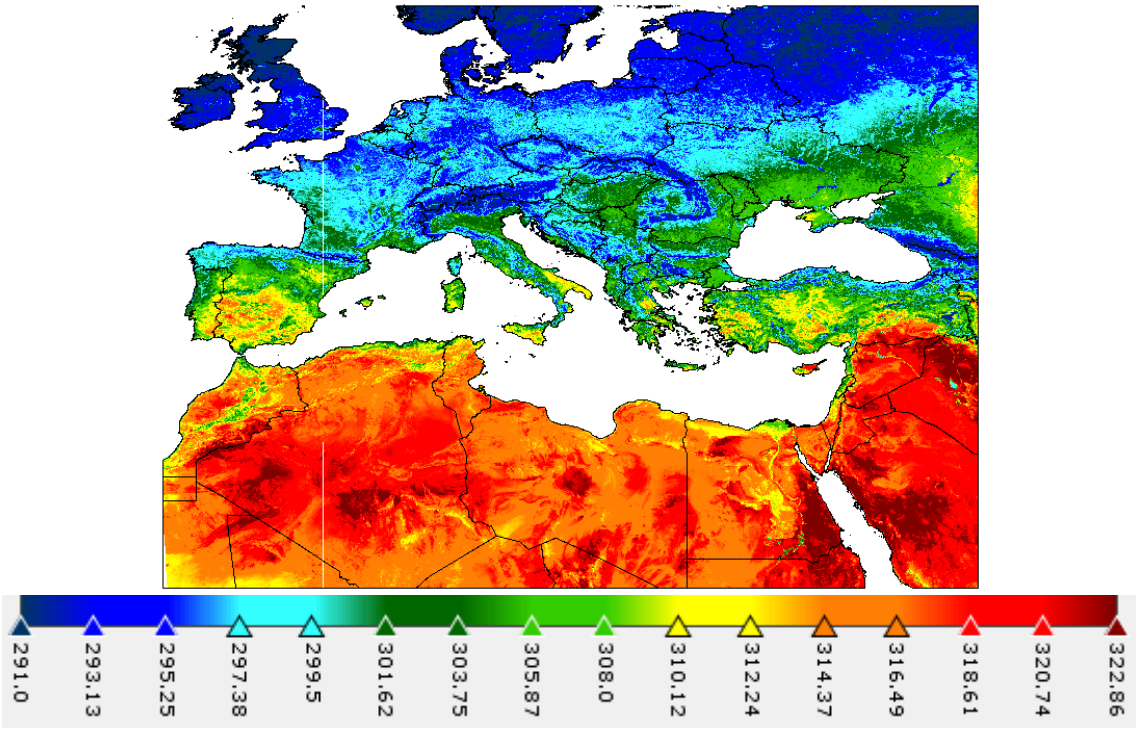
Εικόνα 2: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Φεβρουάριο



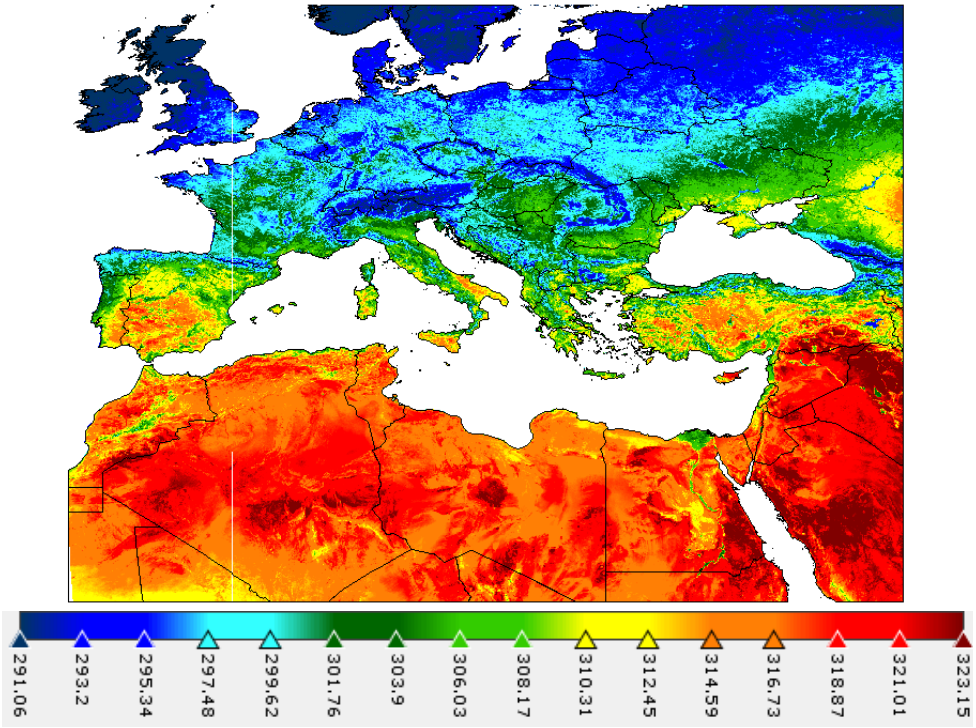
Εικόνα 3: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Μάρτιο



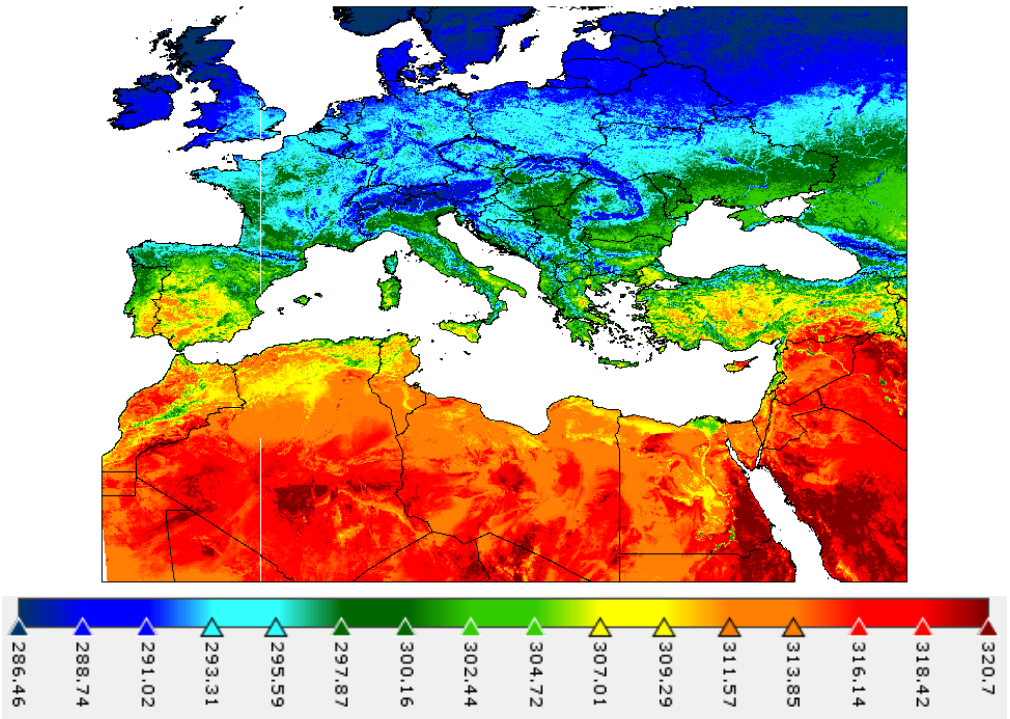
Εικόνα 4: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Μάιο



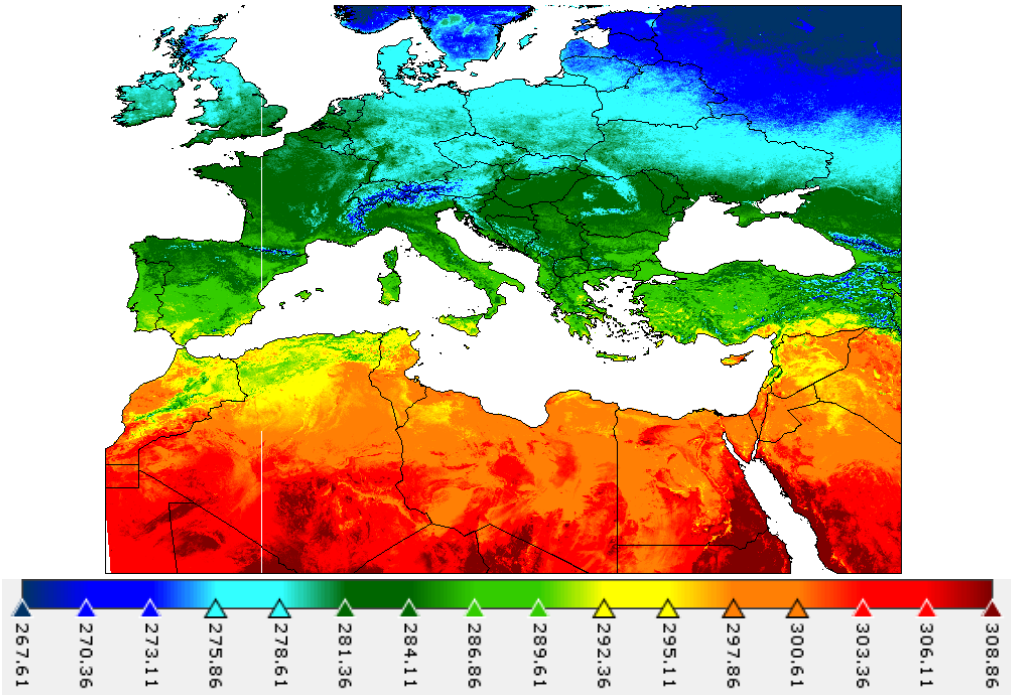
Εικόνα 5: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Ιούνιο



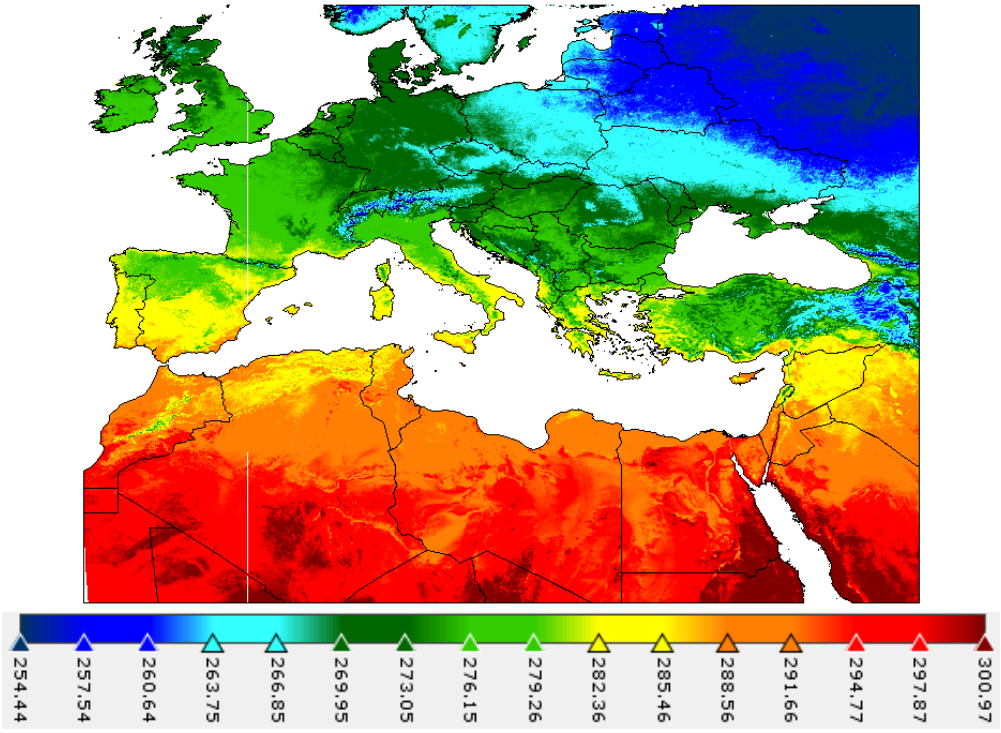
Εικόνα 6: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Αύγουστο



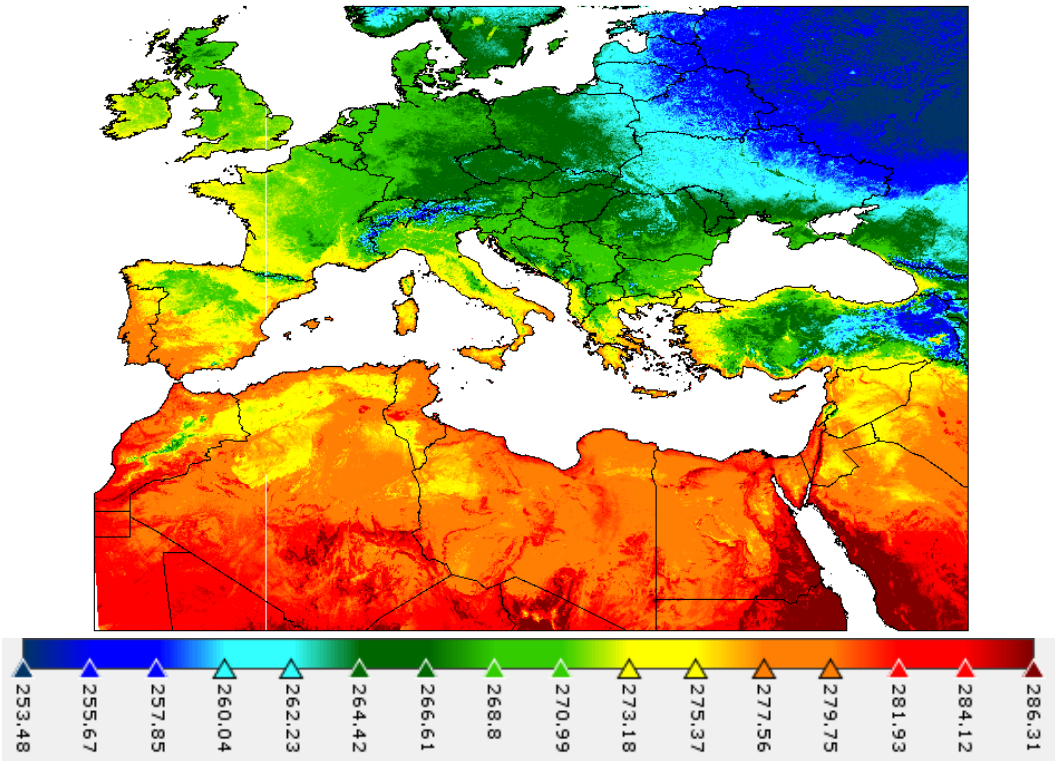
Εικόνα 7: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Σεπτέμβριο



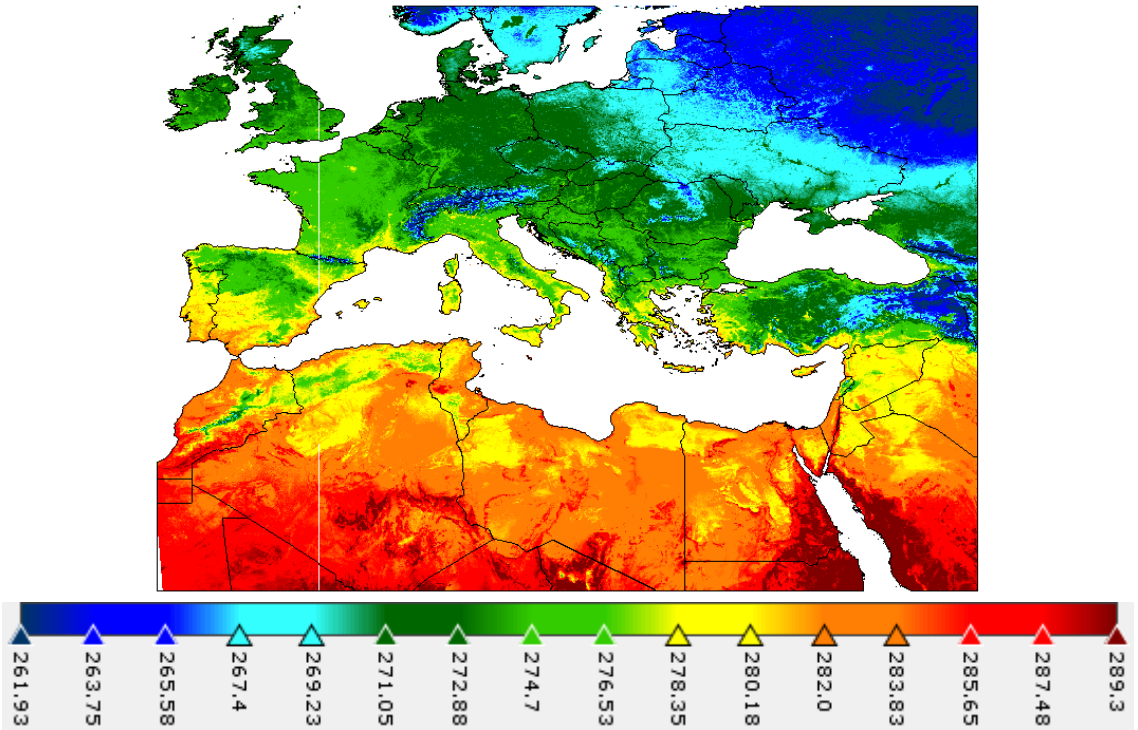
Εικόνα 8: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Νοέμβριο



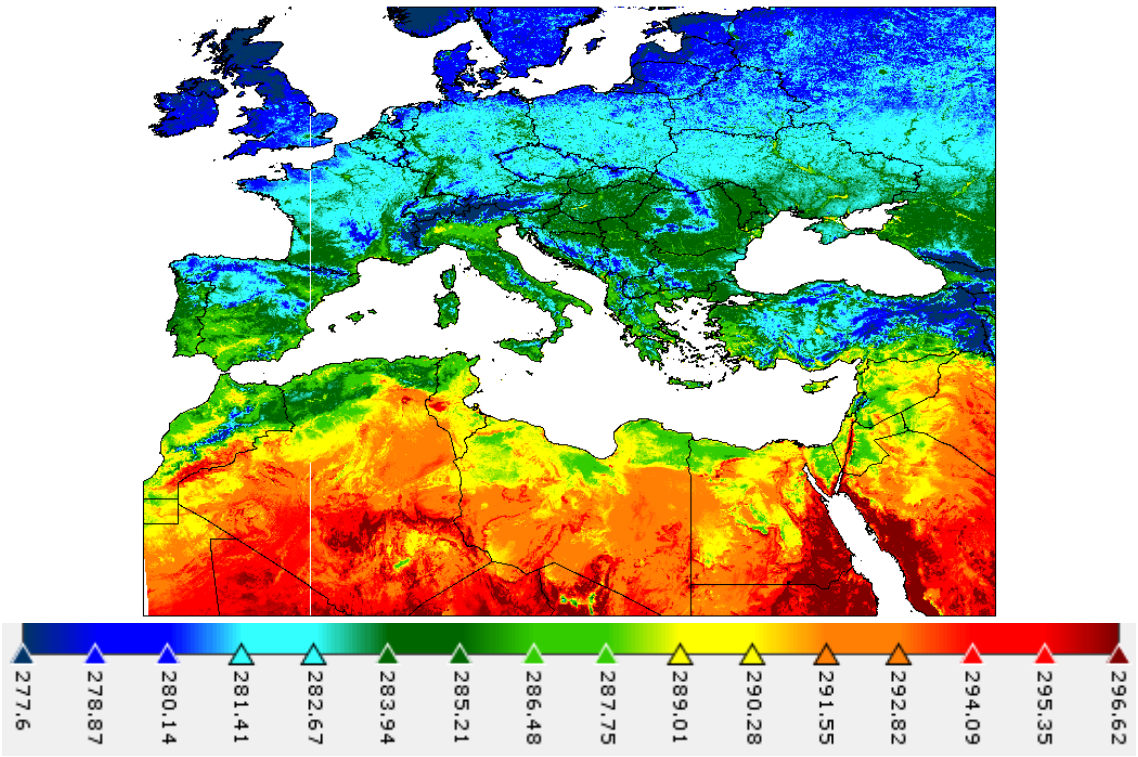
Εικόνα 9: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Δεκέμβριο



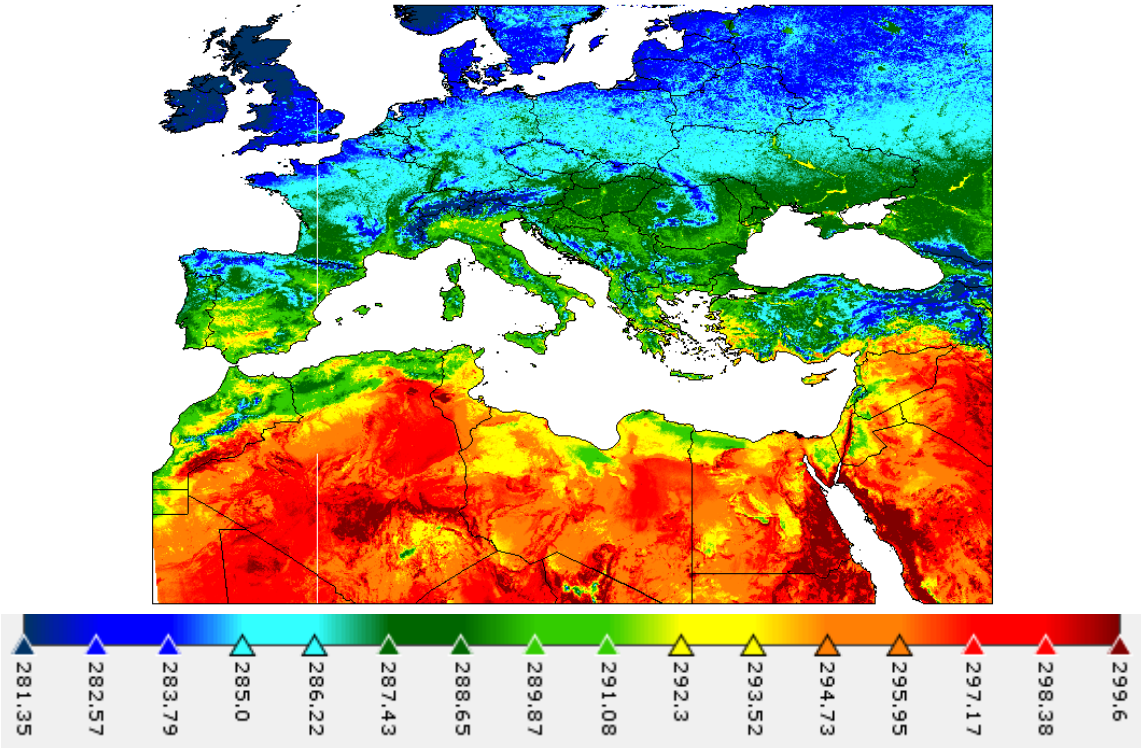
Εικόνα 10: : Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Φεβρουάριο



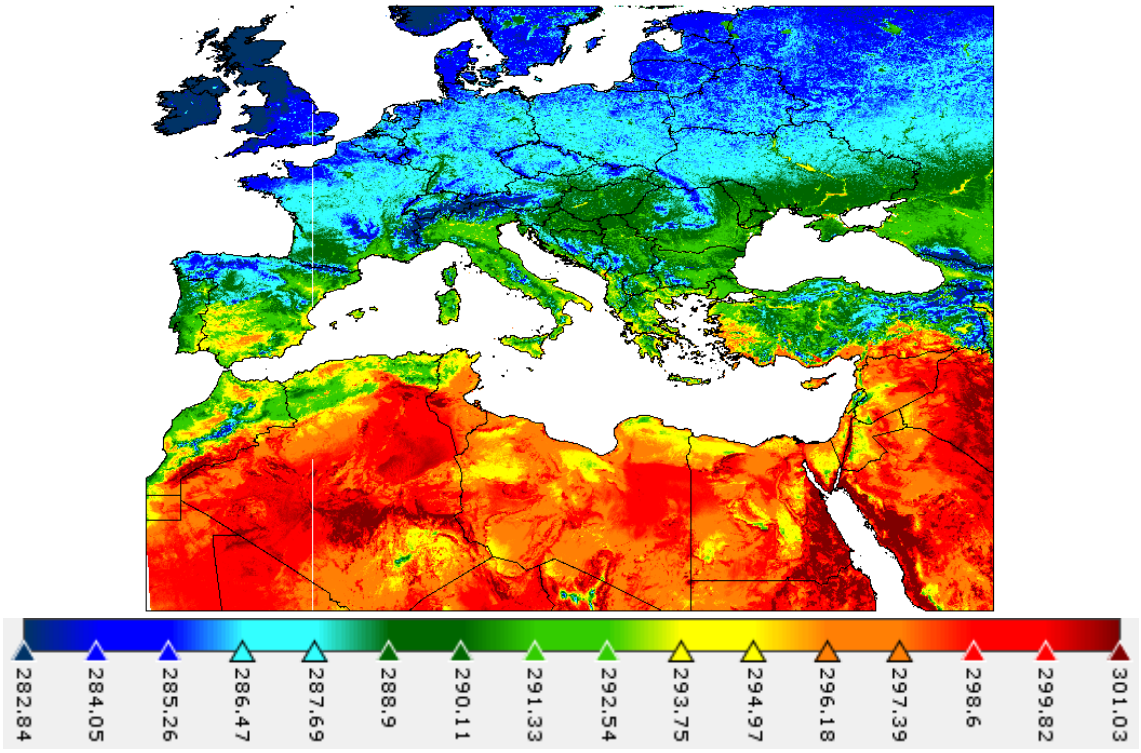
Εικόνα 11: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Μάρτιο



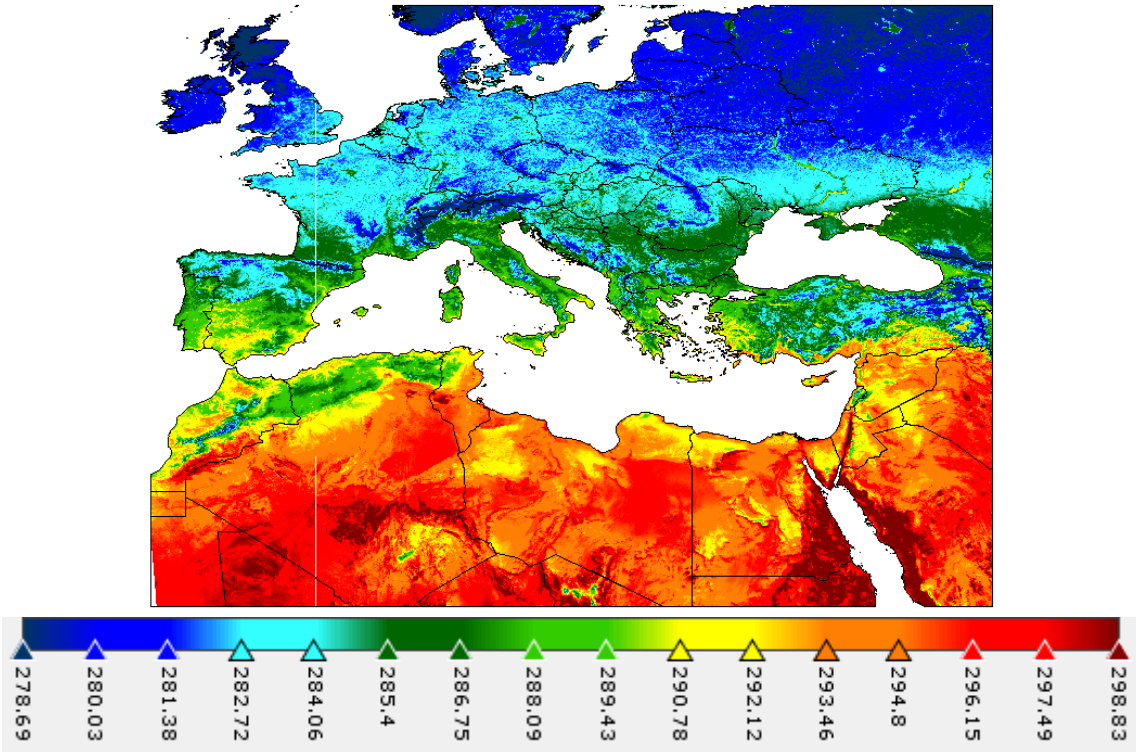
Εικόνα 12: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Μάιο



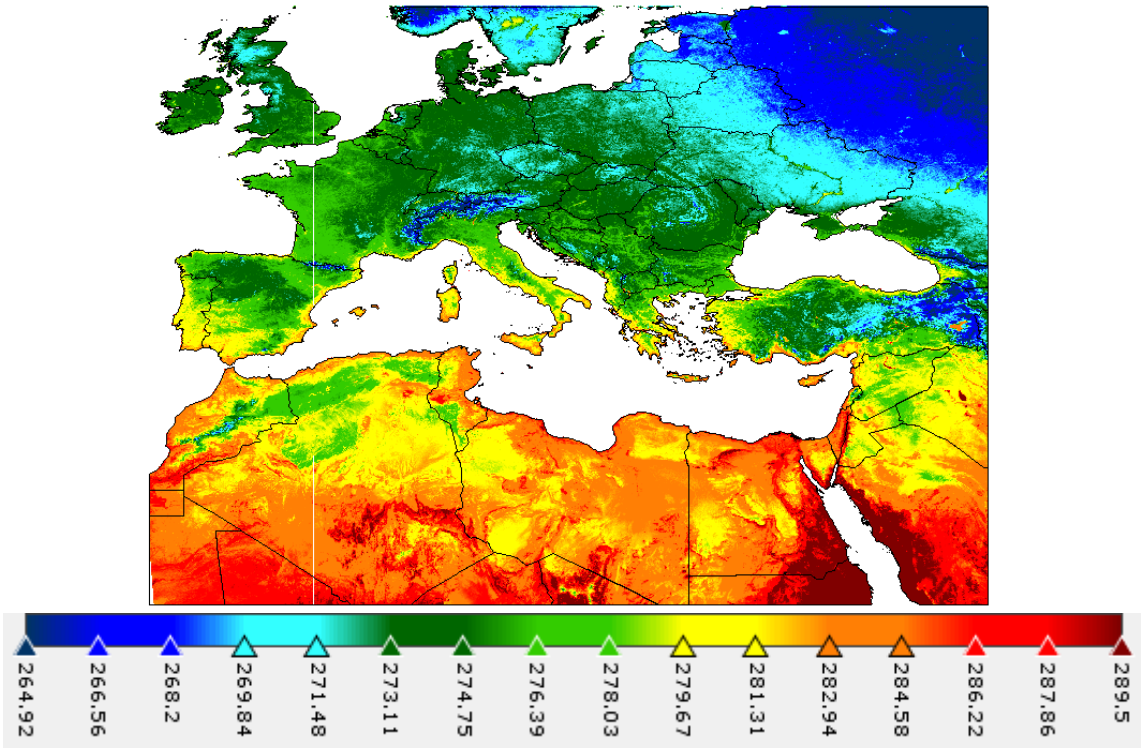
Εικόνα 13: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Ιούνιο



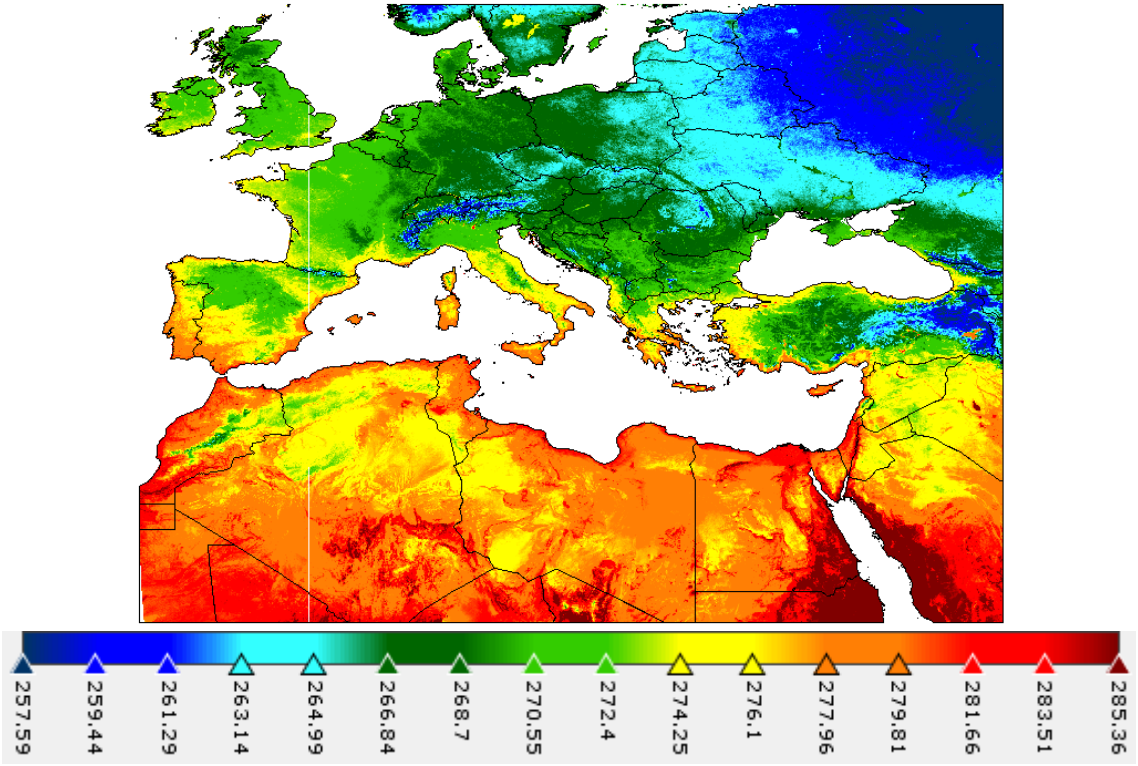
Εικόνα 14: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Αύγουστο



Εικόνα 15: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Σεπτέμβριο

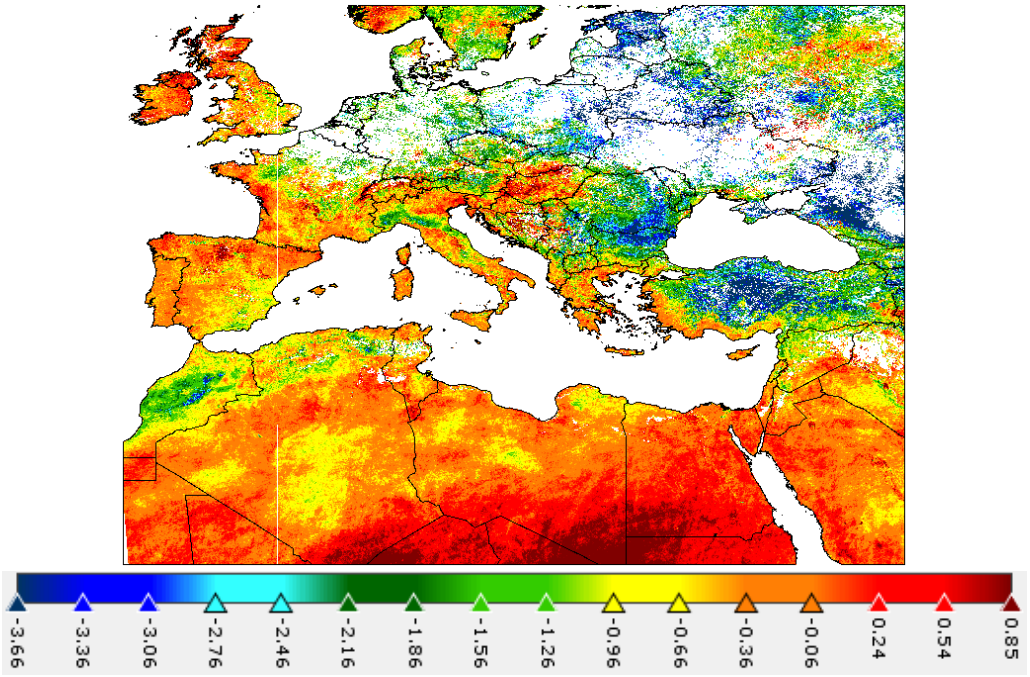


Εικόνα 16: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Νοέμβριο

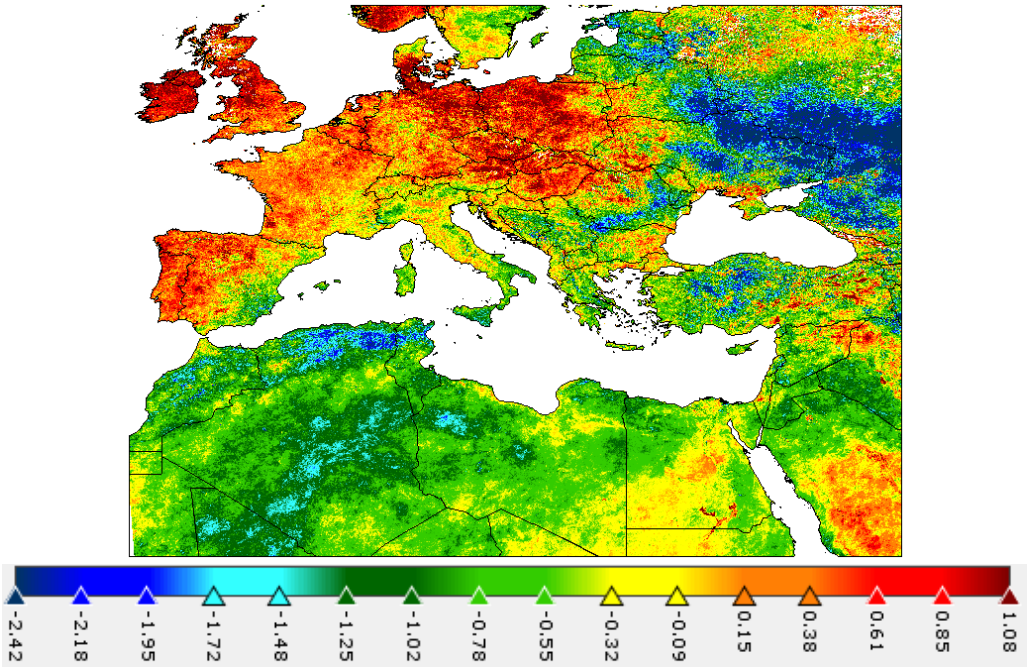


Εικόνα 17: Ενδο-ετήσια εποχική διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Δεκέμβριο

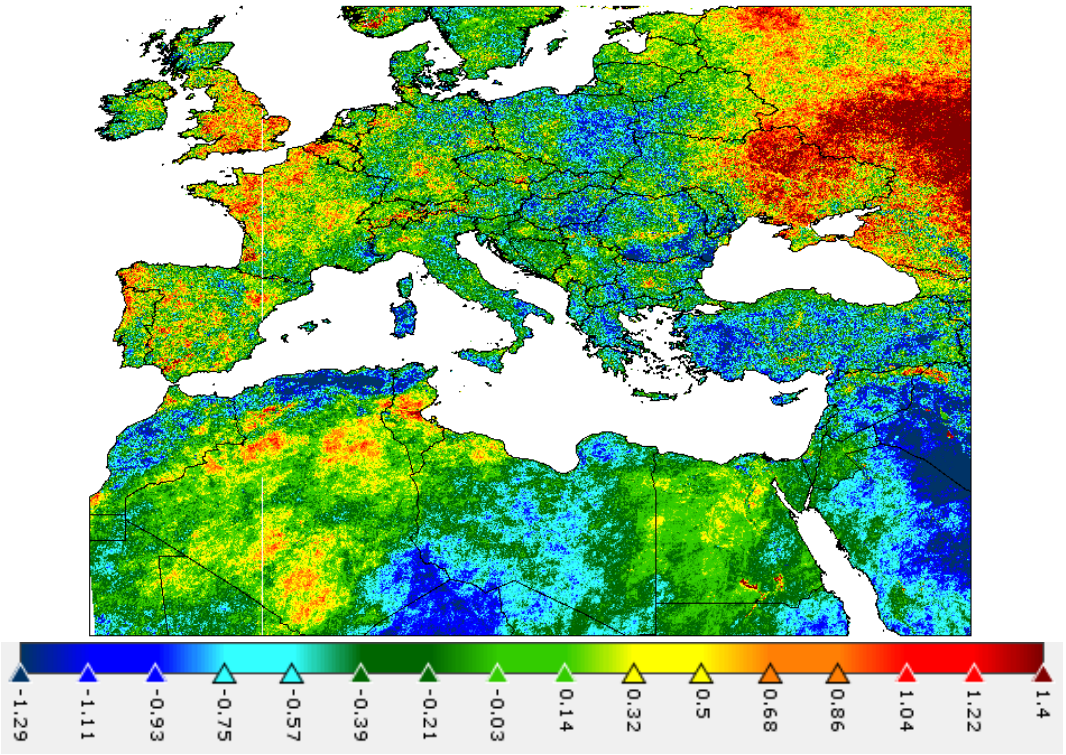
Μακρόχρονες τάσεις - Trends



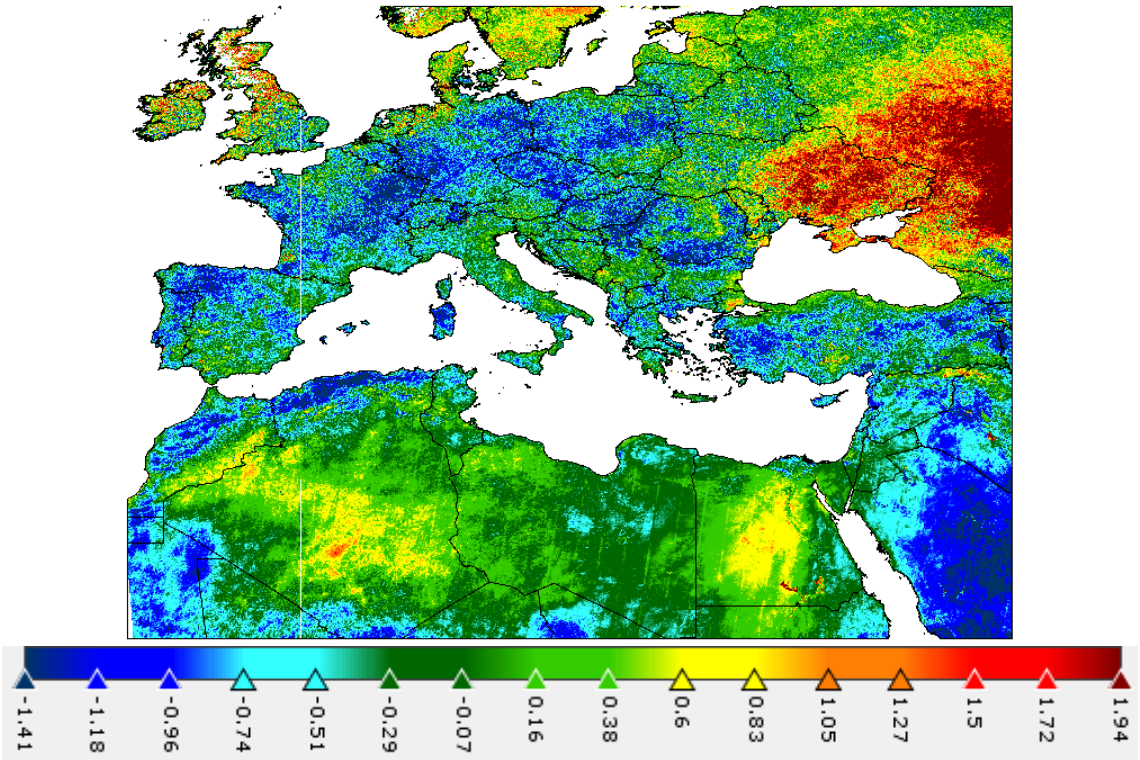
Εικόνα 1: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Φεβρουάριο



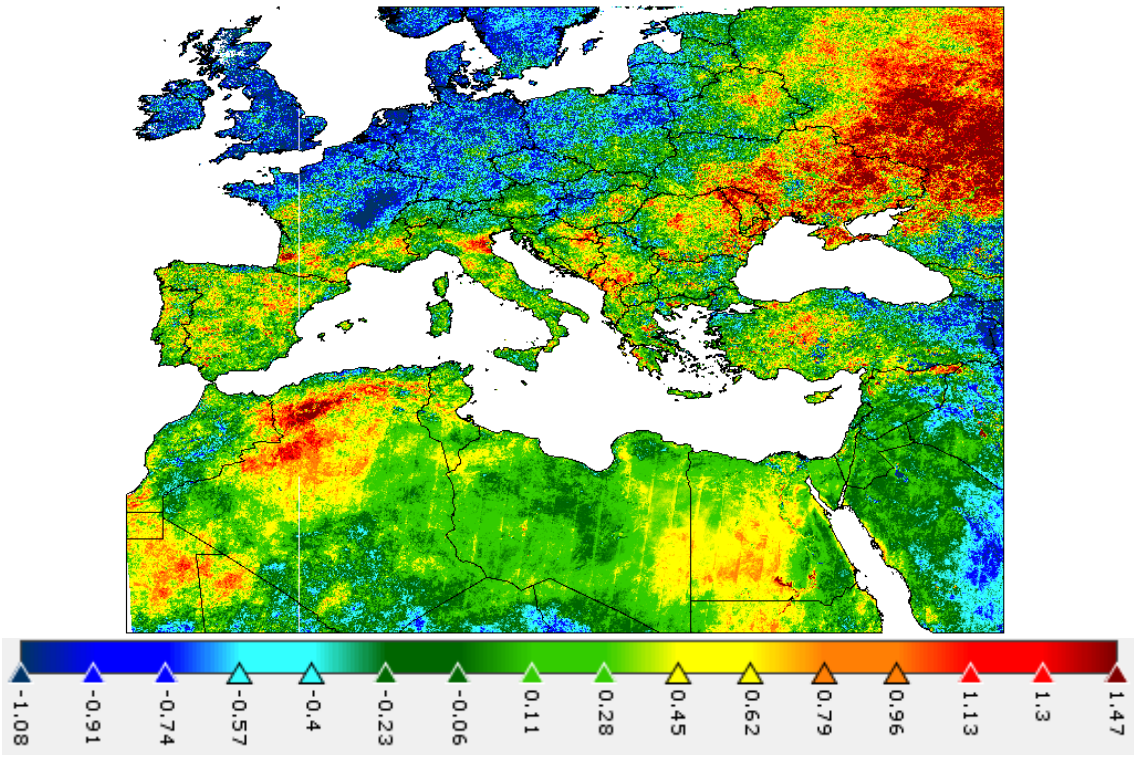
Εικόνα 2: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Μάρτιο



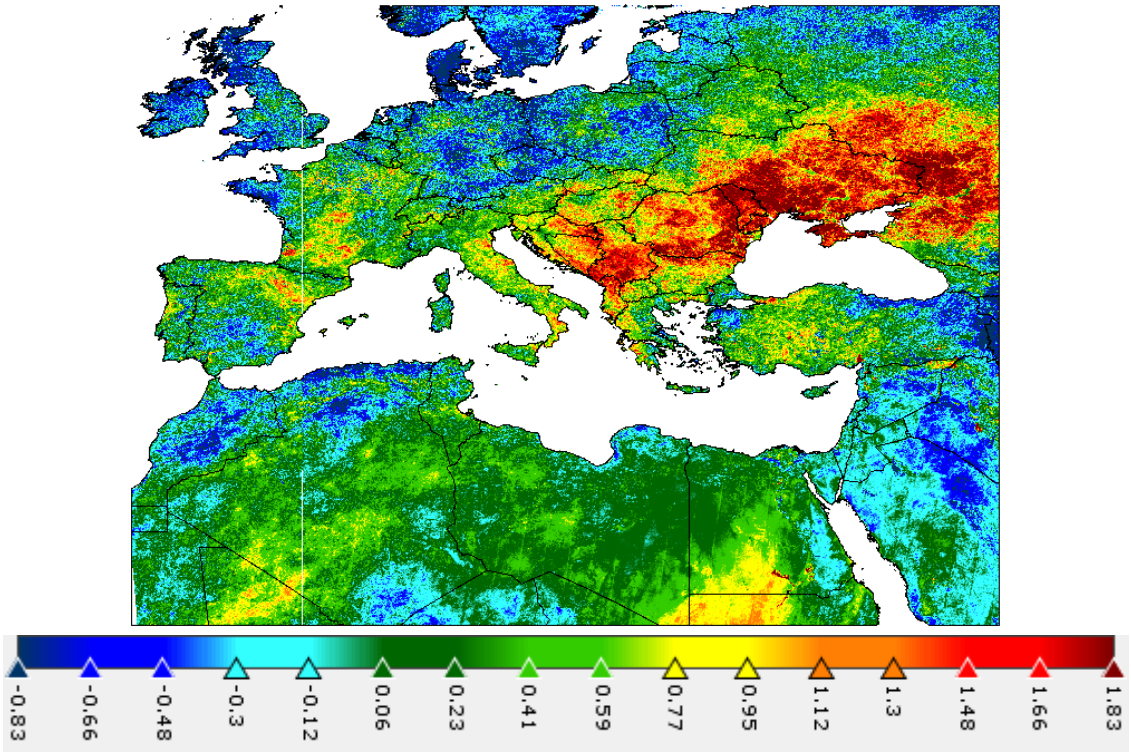
Εικόνα 3: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Μάιο



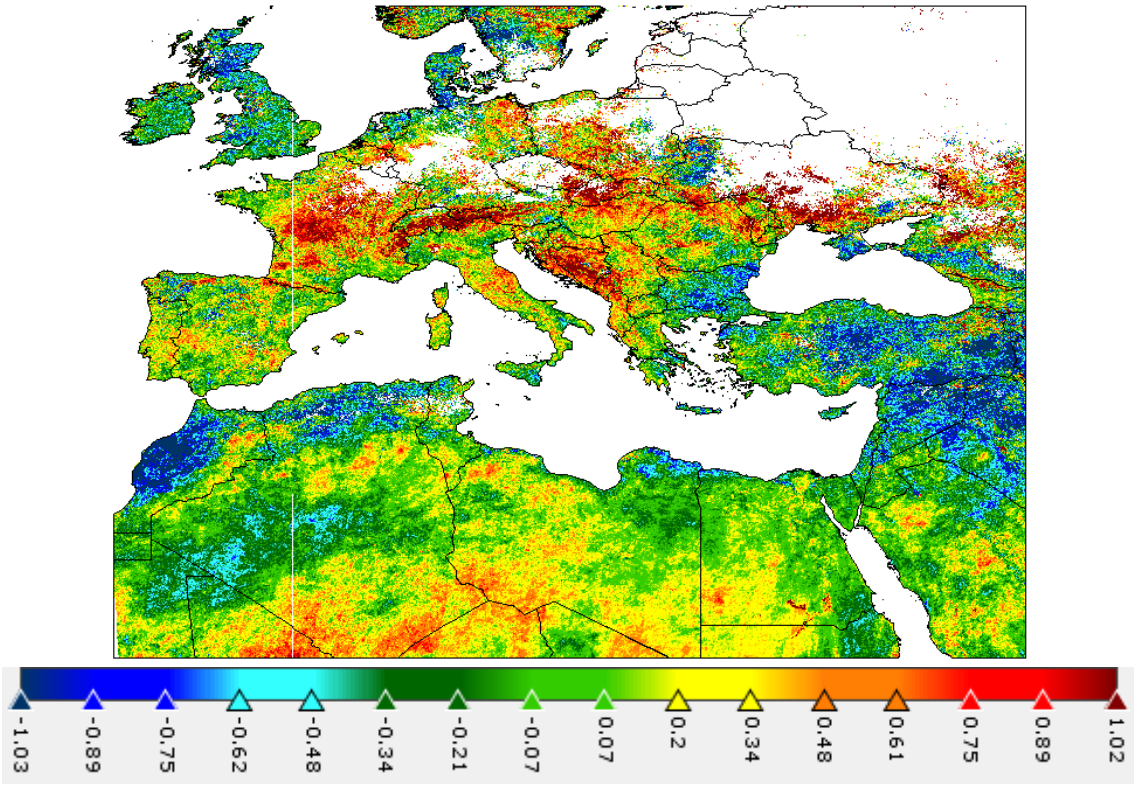
Εικόνα 4: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Ιούνιο



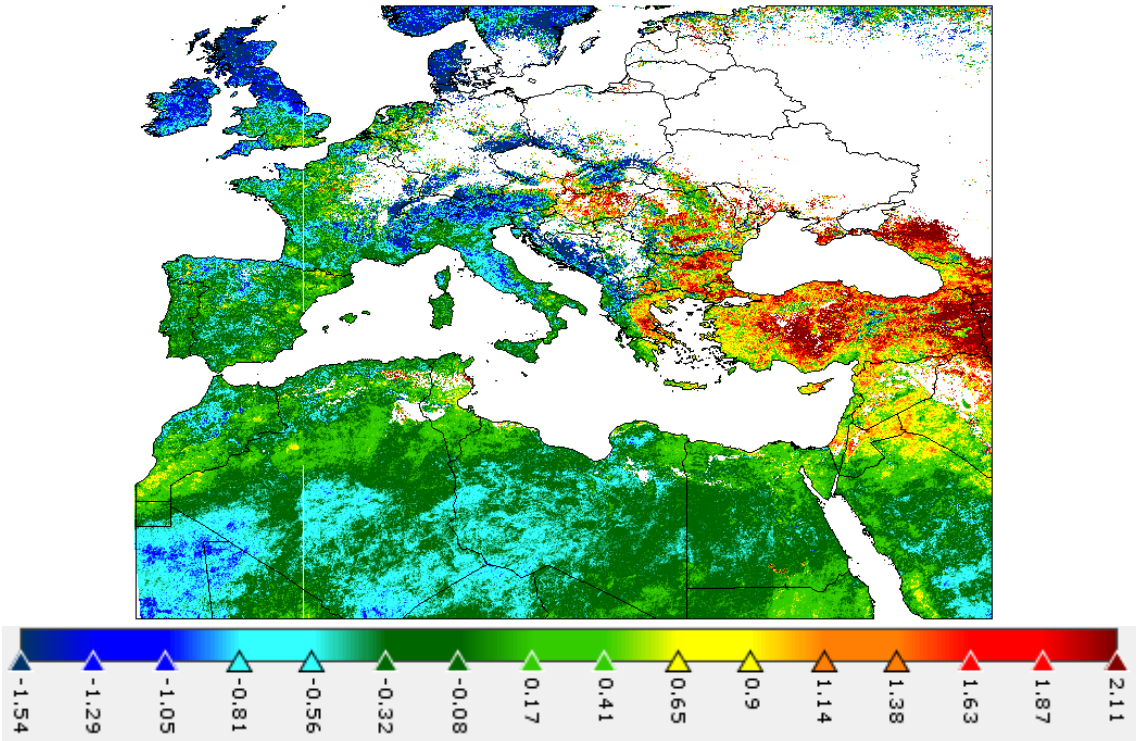
Εικόνα 5: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Αύγουστο



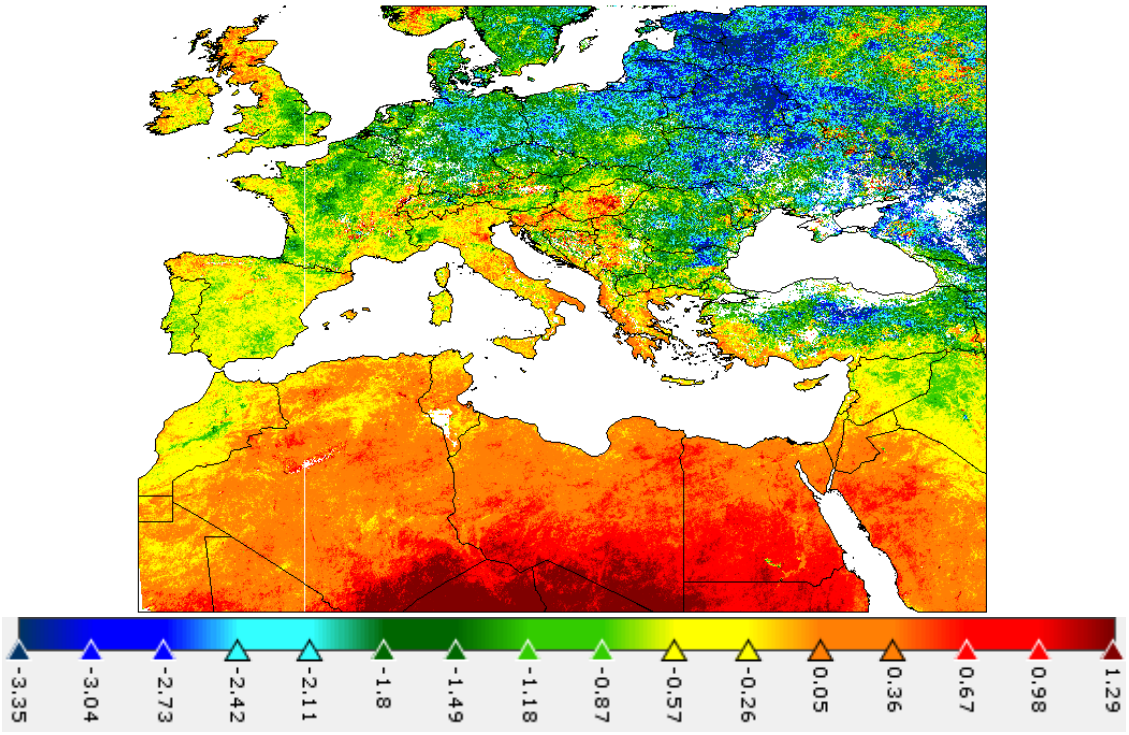
Εικόνα 6: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Σεπτέμβριο



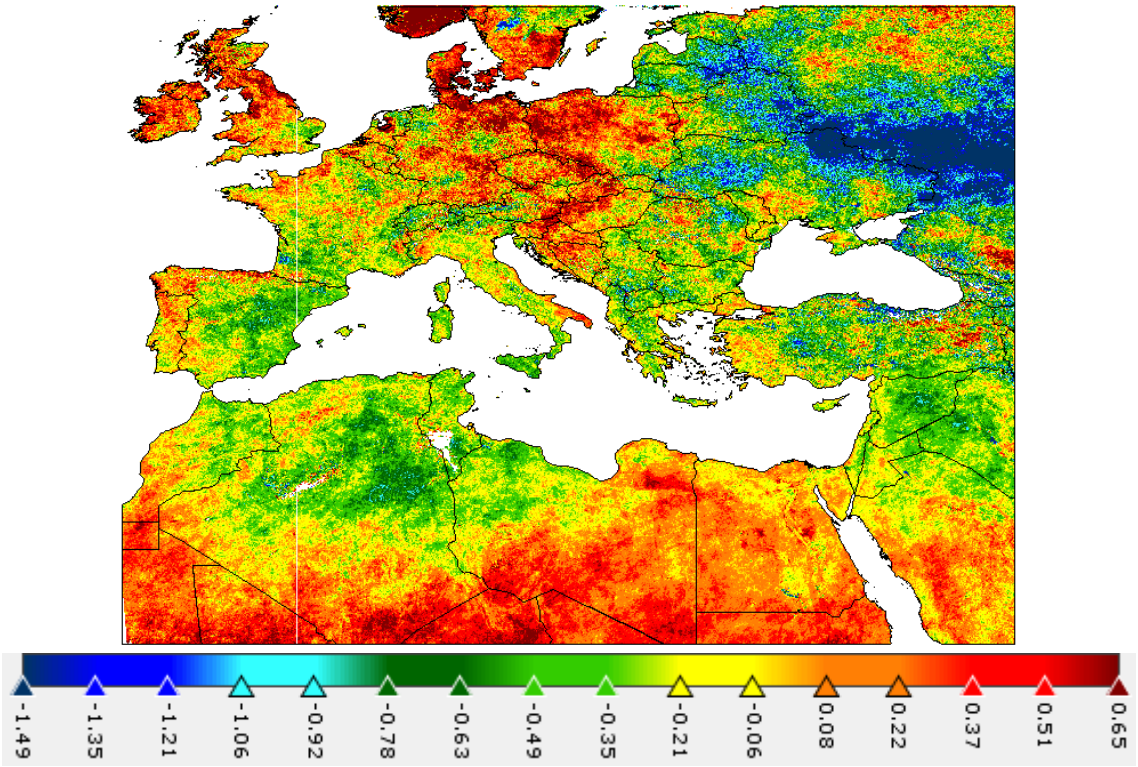
Εικόνα 7: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Νοέμβριο



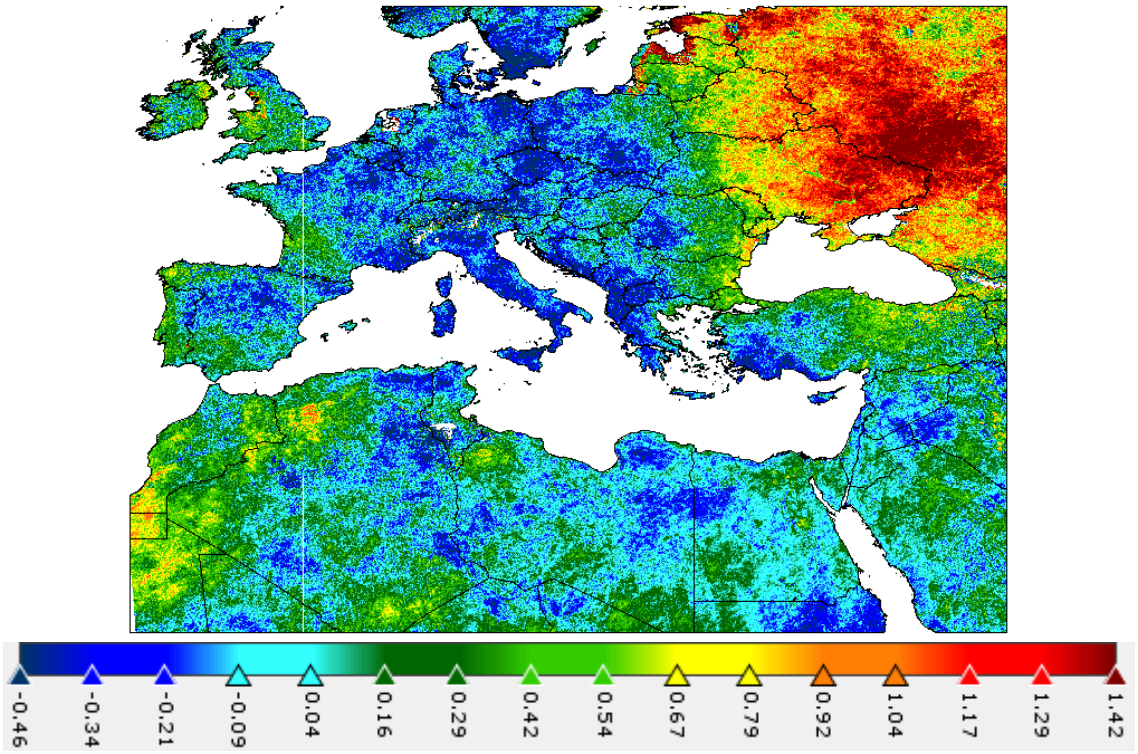
Εικόνα 8: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για την ημέρα το μήνα Δεκέμβριο



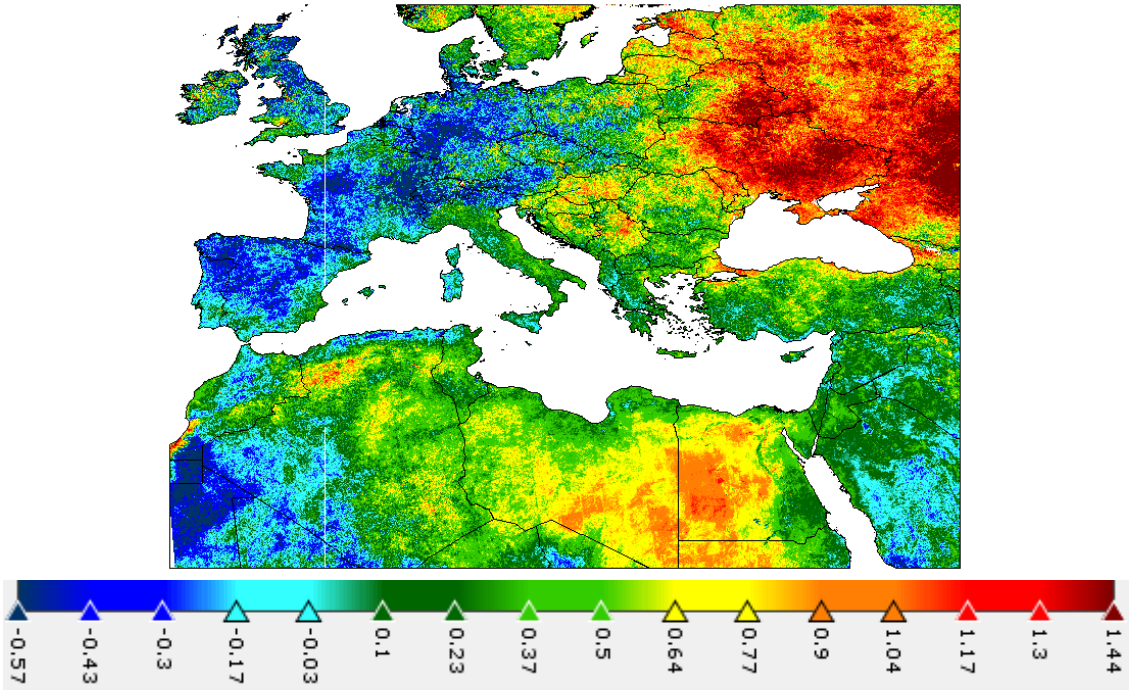
Εικόνα 9: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Φεβρουάριο



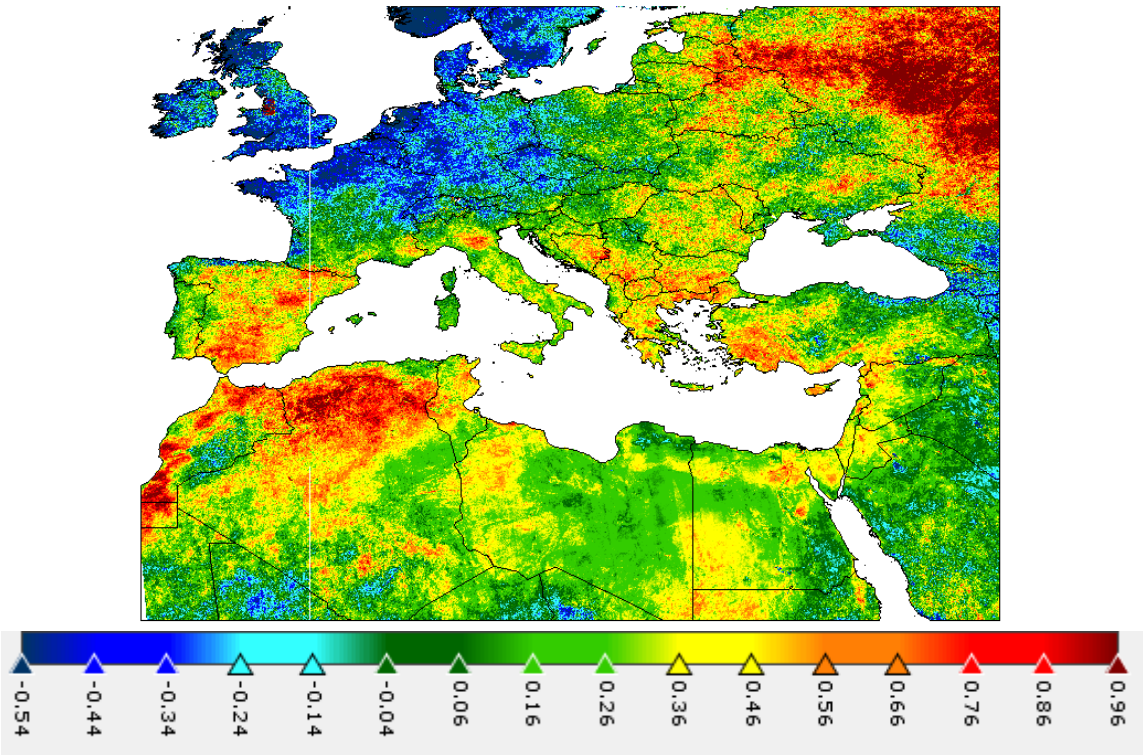
Εικόνα 10: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Μάρτιο



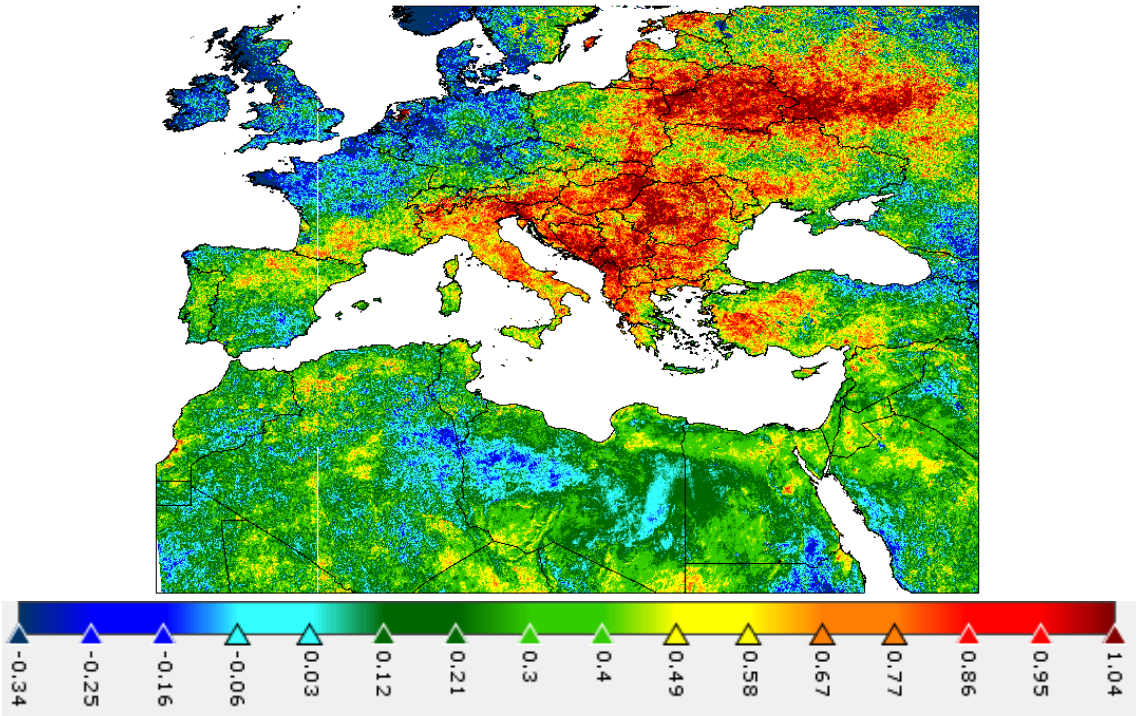
Εικόνα 11: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Μάιο



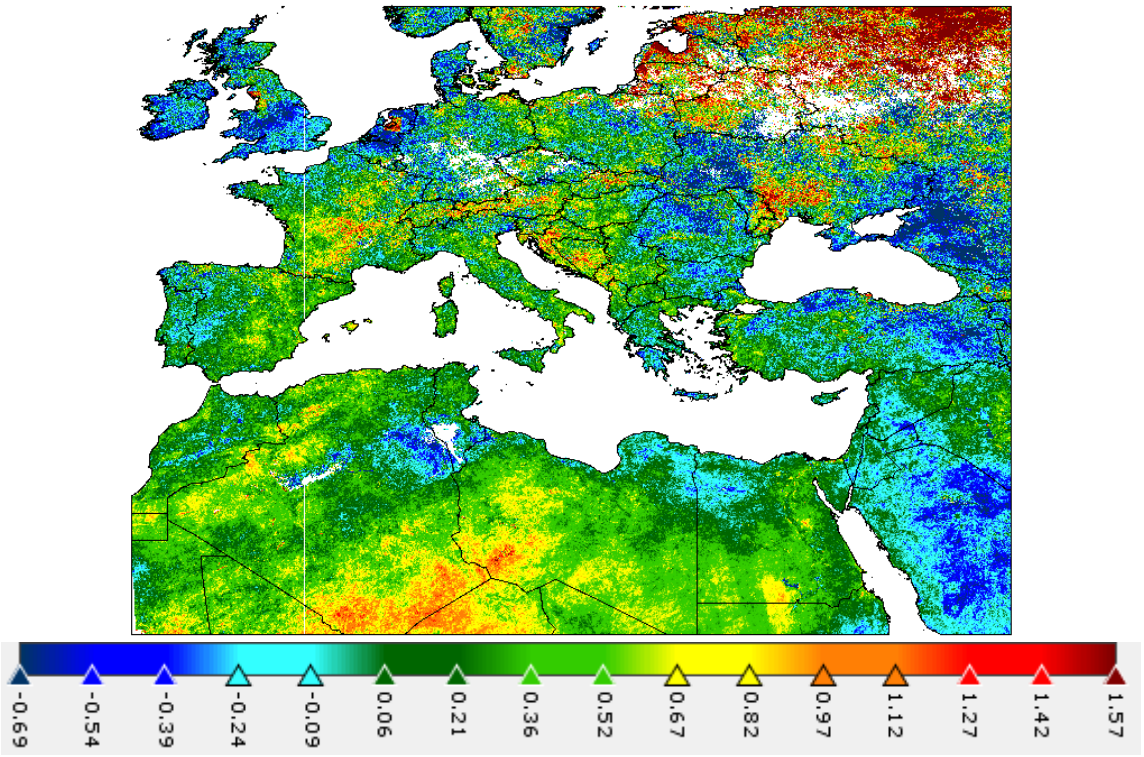
Εικόνα 12: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Ιούνιο



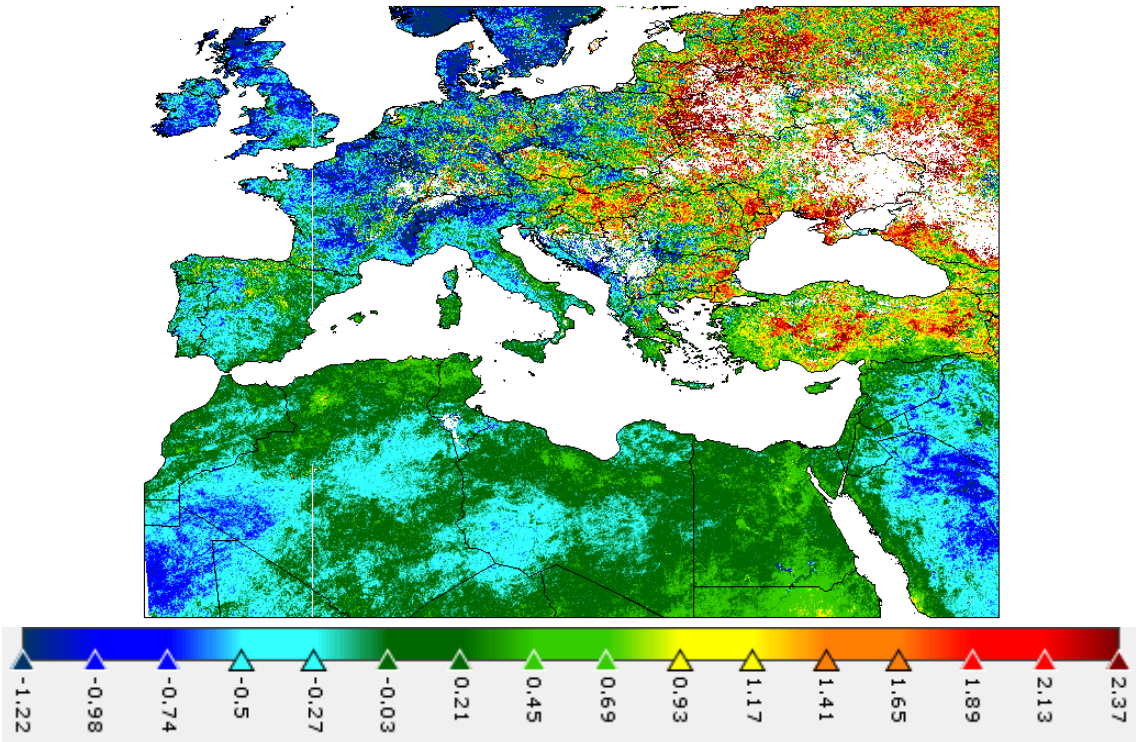
Εικόνα 13: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Αύγουστο



Εικόνα 14: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Σεπτέμβριο



Εικόνα 15: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Νοέμβριο



Εικόνα 16: Μακρόχρονες τάσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους για τη νύχτα το μήνα Δεκέμβριο