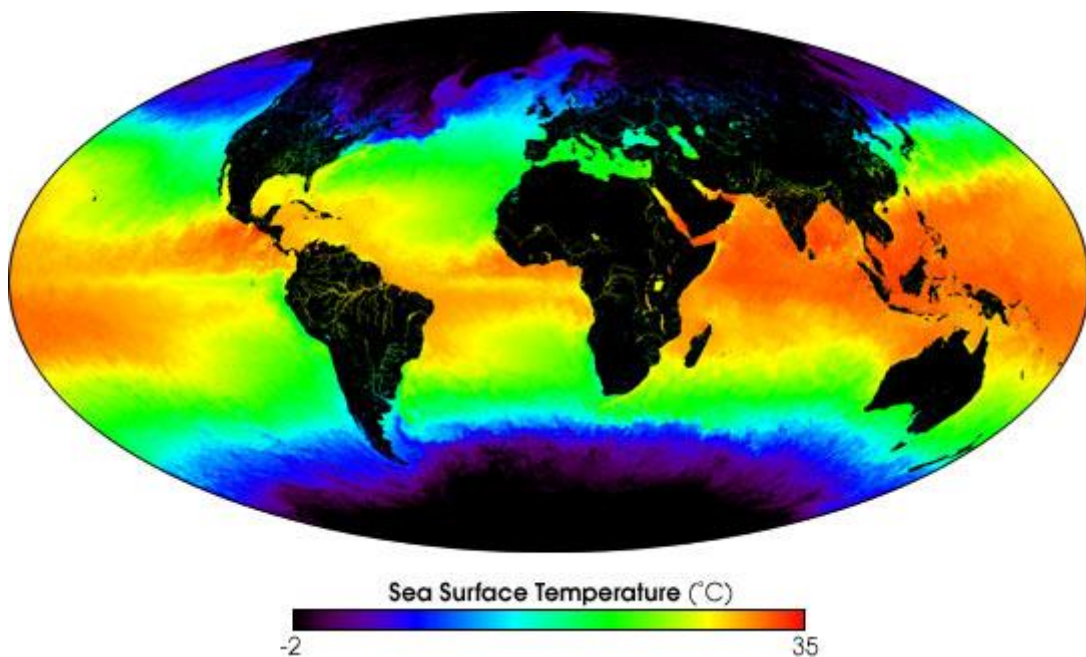


Τίτλος

Μελέτη Διακυμάνσεων Επιφανειακής Θερμοκρασίας Θαλάσσιας Περιοχής Μεσογείου με Χρήση Δορυφορι- κών Δεδομένων



Λάης Αλέξανδρος

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Διδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΠΜΣ)

Διαστημικές Τεχνολογίες, Εφαρμογές και Υπηρεσίες»

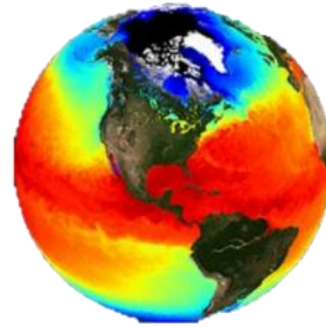
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
2.1 Αντικείμενο της Μελέτης	2
2.2 Σκοπός και Στόχοι της Μελέτης	2
3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	3
3.1 Δεδομένα	3
3.1.1 Δορυφόροι NOAA.....	5
3.2 Μεθοδολογία.....	6
3.2.1 Εργαλεία	6
3.2.2 Στάδια – Βήματα Μελέτης	7
4. ΑΝΑΛΥΣΗ	8
4.1 Ανάλυση Μελέτης	8
4.2 Ανάλυση διαγραμμάτων	11
4.3 Ανάλυση Χαρτών GEE	16
4.3.1 Έτος 2012	16
4.3.2 Σύγκριση μηνών καλοκαιριού ετών 2012 με 2015	18
4.3.3 Σύγκριση τιμών θερμοκρασιών μηνός Αυγούστου 2010 με 2020.....	20
4.3.4 Αποτύπωση μεταβολών μέσων τιμών θερμοκρασίας για τα έτη 2010, 2012, 2016, 2020 κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο για δειγματοληπτικές περιοχές Ανατολικής, Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου.....	21
4.3.5 Αποτύπωση μέσων τιμών θερμοκρασίας πενταετίας 2010 – 2015.....	22
4.3.6 Αποτύπωση μέσων τιμών θερμοκρασίας πενταετίας 2015 – 2020.....	23
4.4 Συμπεράσματα.....	24
5. ΚΩΔΙΚΑΣ GOOGLE EARTH ENGINE.....	28

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	31
-----------------------	----

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η θερμοκρασία του ωκεανού είναι η μέτρηση της ενέργειας που οφείλεται στην κίνηση των μορίων στον ωκεανό. Τα δορυφορικά συστήματα καθιστούν δυνατή τη μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (Sea Surface Temperature - SST) από περίπου 10 μm κάτω από την επιφάνεια (ζώνες υπερύθρων) έως και βάθος 1 mm (ζώνες μικροκυμάτων), χρησιμοποιώντας ραδιόμετρα. Τα χωρικά πρότυπα του SST αποκαλύπτουν τη δομή της υποκείμενης δυναμικής του ωκεανού όπως τα μέτωπα του ωκεανού, τα νερά, τις παράκτιες αυξήσεις και τις ανταλλαγές μεταξύ του παραθαλάσσιου ορίου και του ανοιχτού ωκεανού. Το SST είναι ένα ζωτικό συστατικό του κλιματικού συστήματος καθώς ασκεί σημαντική επιρροή στις ανταλλαγές ενέργειας, ορμής και αερίων μεταξύ του ωκεανού και της ατμόσφαιρας. Οι ανταλλαγές θερμότητας και υγρασίας είναι ο κύριος μοχλός των παγκόσμιων καιρικών συστημάτων και των κλιματικών προτύπων.



Από τη δεκαετία του 1980 και έπειτα, οι περισσότερες πληροφορίες για το παγκόσμιο SST προέρχονται από δορυφορικές παρατηρήσεις. Όργανα όπως το φασματοσκοπικό μετρητή μέσης ανάλυσης επί του σκάφους (MODIS), στους δορυφόρους Terra και Aqua της NASA, περιστρέφονται γύρω από τη Γη περίπου 14 φορές την ημέρα επιτρέποντάς του να συλλέγει περισσότερα δεδομένα SST σε 3 μήνες από όλες τις άλλες συνδυασμένες μετρήσεις SST που έχουν ληφθεί πριν από την έλευση των δορυφόρων.

Ο ωκεανός όπως και τα περισσότερα αντικείμενα εκπέμπουν ακτινοβολία στο φάσμα του υπερύθρου καθώς και στα μήκη κύματος των μικροκυμάτων. Το πλάτος αυτών των μηκών κύματος ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία του ωκεανού και ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρησή του. Οι δορυφορικοί αισθητήρες μπορούν να μετρήσουν αυτές τις ζώνες από το διάστημα. Οι υπέρυθροι δορυφορικοί αισθητήρες έχουν καλύτερη χωρική ανάλυση όμως είναι πιο ευαίσθητοι στις παρεμβολές λόγω των νεφώσεων συγκριτικά με τα μικροκύματα. Αυτό οφείλεται στην απορρόφηση από τα σύννεφα, της υπέρυθρης ενέργειας που εκπέμπεται από τον ωκεανό.

Με δεδομένη τη ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη στον τομέα της διαστημικής αλλά και των οργάνων ραδιομέτρησης, η συλλογή και επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων συγκεκριμένα για τη μελέτη της μετεωρολογίας - κλιματικής αλλαγής του πλανήτη, είναι πιο προσιτή και εύκολη από ποτέ. Αρκεί να αναφερθεί πως αναλόγως τον αισθητήρα, οι μετρήσεις με χρήση δορυφορικών οργάνων είναι δυνατό να μας παράγουν μια δίχως προηγούμενο, παγκόσμια μέτρηση της θερμοκρασίας των ωκεανών ξεκινώντας από βάθος 10 μm από την θαλάσσια επιφάνεια.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 Αντικείμενο της Μελέτης

Με δεδομένη τη μοναδική τοπολογία της περιοχής της Μεσογείου αλλά και τα αξιοσημείωτα θαλάσσια ρεύματα που διασχίζουν το σύνολό της, αντικείμενο της παρούσης μελέτης είναι η επίδραση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής σε συνδυασμό με τα ακραία καιρικά φαινόμενα, πάνω στην επιφανειακή θερμοκρασία της θαλάσσιας επιφάνειας της Μεσογείου.

Η ραγδαία αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος αποτελεί πλέον επιστημονικό δεδομένο. Αυτή ακριβώς η αλλαγή έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή, εκτός όλων των άλλων, της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας των θαλασσών. Γιατί όμως αυτό είναι σημαντικό; Ενώ η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται και αναμιγνύεται σε όλο το βάθος του ωκεανού, η θερμοκρασία του νερού ακριβώς στην επιφάνεια της θάλασσας - όπου ο ωκεανός βρίσκεται σε άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα - παίζει σημαντικό ρόλο στον καιρό και το βραχυπρόθεσμο κλίμα. Όπου οι θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας είναι υψηλές, σχετικά μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας και υγρασίας εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας μερικές φορές ισχυρές καταιγίδες. Αντίθετα, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας σημαίνουν λιγότερη εξάτμιση. Τα παγκόσμια μοτίβα των θερμοκρασιών της επιφάνειας της θάλασσας αποτελούν σημαντικό παράγοντα για τις καιρικές προβλέψεις και τις κλιματολογικές προοπτικές.

2.2 Σκοπός και Στόχοι της Μελέτης

Έχοντας αναφέρει όλα τα παραπάνω, μπορεί πλέον ο καθένας και αντιληφθεί το πόσο σημαντική είναι η αποτύπωση της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας καθώς και το πόσο σοβαρές μπορεί να είναι οι επιπτώσεις.

Βασικός σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η καταγραφή και απεικόνιση των αλλαγών που έχουν επέλθει στην επιφανειακή θερμοκρασία θαλάσσης εντός της λεκάνης της Μεσογείου, κατά το πέρασμα των χρόνων ξεκινώντας από το έτος 2010 μέχρι και το έτος 2020. Χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα στόχος είναι να αποτυπωθεί όσον το δυνατό ακριβέστερα το πως έχει επηρεαστεί η λεκάνη της Μεσογείου από την κλιματική αλλαγή του πλανήτη.

Στην όλη παραπάνω διαδικασία πρέπει να συμπεριληφθεί και η επίδραση των λεγόμενων φυσικών διακυμάνσεων του κλίματος, των κλιματικών ταλαντώσεων. Αυτές δεν οφείλονται άμεσα στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, αλλά αλληλοεπιδρούν με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και περιπλέκουν την ατμοσφαιρική επίδραση και την κυκλοφορία μέσα στη Μεσόγειο.

Η κυρίαρχη κυκλοφορία των νερών στη Μεσόγειο Θάλασσα θυμίζει μια “αντίστροφη εκβολή ποταμού” λόγω του ότι χάνει σταθερά νερό, καθώς οι απώλειες από εξάτμιση είναι πολύ μεγαλύτερες από την είσοδο νερού λόγω βροχής και ποταμίων. Επίσης αποβάλλει και θερμότητα προς την ατμόσφαιρα όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η αναπλήρωση του νερού γίνεται μέσω του στενού του Γιβραλτάρ όπου εμφανίζεται επιφανειακή εισροή νερών (με σχετικά χαμηλή αλατότητα) από τον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό. Τα νερά αυτά ταξιδεύουν ανατολικά και γίνονται πιο αλμυρά και ψυχρά λόγω

έντονης εξάτμισης και ψύξης. Η διεργασία αυτή δημιουργεί πυκνά νερά τα οποία βυθίζονται στις βαθιές λεκάνες της Μεσογείου, ενώ μέρος τους εκρέει μέσω των βαθύτερων σημείων του Γιβραλτάρ στον Ατλαντικό Ωκεανό. Τα βαθιά νερά, σε αντίθεση με τα επιφανειακά, δεν δέχονται την άμεση επίδραση της ατμόσφαιρας. Παρ' όλα αυτά παρατηρούνται κι εκεί έντονες και απότομες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κυρίως λόγω του μικρού μεγέθους της Μεσογείου. Στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρήθηκε απότομη αύξηση της θερμοκρασίας σε βάθη μεγαλύτερα των 500 μέτρων (ύστερα από μια περίοδο απότομης ψύξης).

3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Δεδομένα

Για τη πραγματοποίηση της μελέτης, τα κύρια δορυφορικά δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν είναι από την Εθνική Ωκεανογραφική και Ατμοσφαιρική Υπηρεσία (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) και ποιο συγκεκριμένα το Κέντρο Περιβαλλοντικών Πληροφοριών (National Centers for Environmental Information - NCEI).

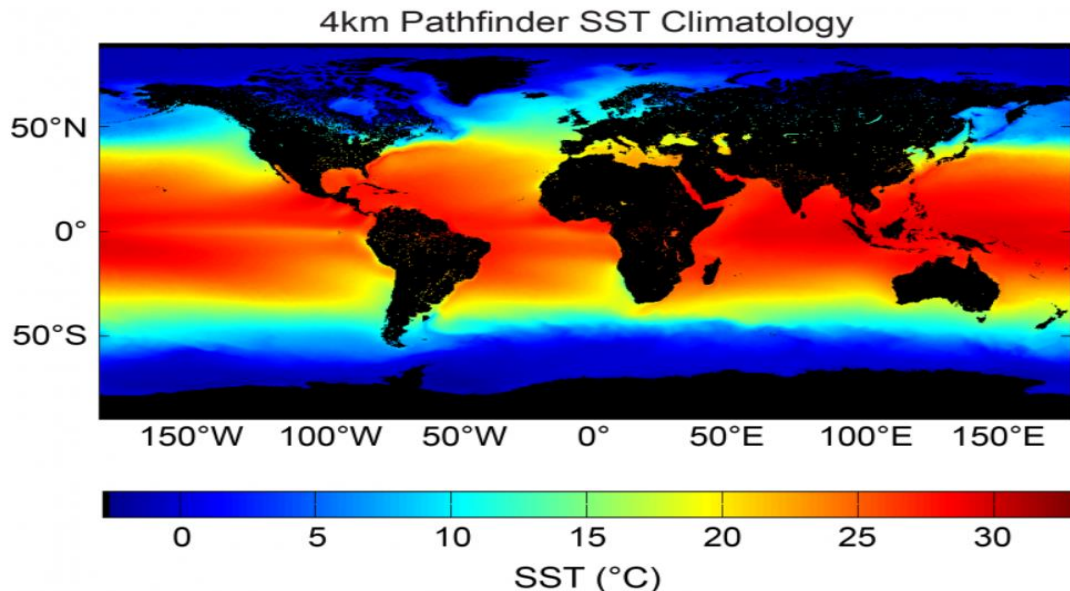
Τα κέντρα περιβαλλοντικών πληροφοριών της ωκεανογραφικής υπηρεσίας (NCEI), αναπτύσσουν και διατηρούν μακροπρόθεσμα και πολύ υψηλής ανάλυσης, κλιματικά δεδομένα της παγκόσμιας θερμοκρασίας της θάλασσας (Sea Surface Temperature) με την ονομασία Pathfinder SST. Αυτές οι τιμές SST παράγονται σε ανάλυση περίπου 4 χλμ χρησιμοποιώντας ραδιόμετρα υπερυψηλής ανάλυσης ονόματι AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), σε δορυφόρους NOAA οι οποίοι βρίσκονται σε πολική τροχιά.

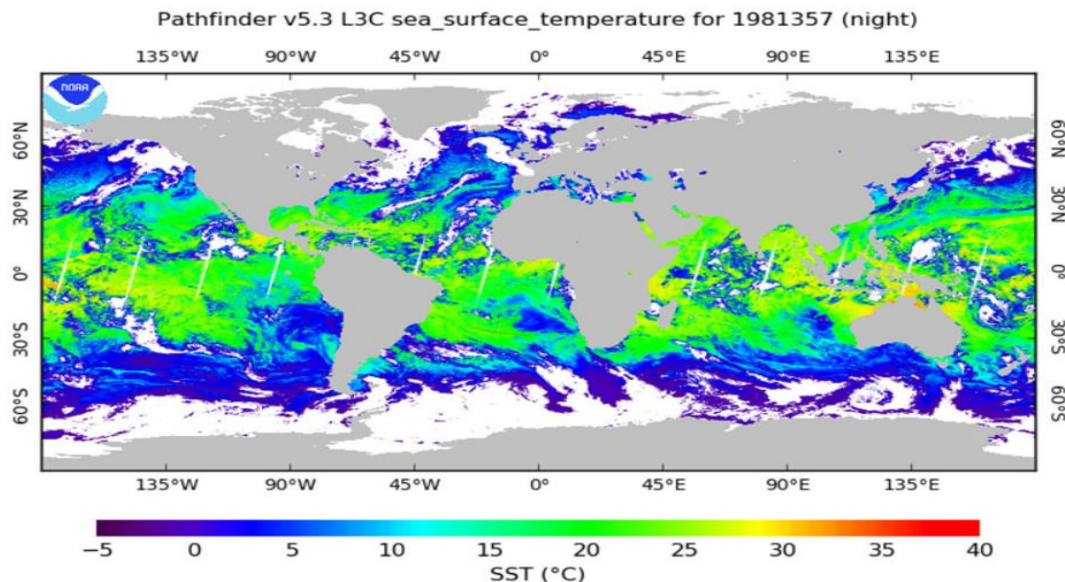
Το AVHRR Pathfinder Version 5.3 (PFV53) είναι η νεότερη κυκλοφορία των προϊόντων Pathfinder SST. Ο αλγόριθμος Pathfinder SST εφαρμόζεται σταθερά για όλη την χρονική περίοδο από τη πρώτη στιγμή λειτουργίας του και βασίζεται στον αλγόριθμο Non-Linear SST χρησιμοποιώντας το εκσυγχρονισμένο σύστημα ανάλυσης δεδομένων SeaWiFS (SeaDAS) της NASA.

Τα όργανα AVHRR μετρούν την ακτινοβολία της Γης σε 5 (ή 6) σχετικά ευρείες φασματικές ζώνες. Οι δύο πρώτες επικεντρώνονται γύρω από τις κόκκινες περιοχές (0,6 μικρόμετρα) και σχεδόν υπέρυθρες (0,9 μικρόμετρα), η τρίτη βρίσκεται περίπου 3,5 μικρόμετρα και τα δύο τελευταία δείγματα της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας, περίπου 11 και 12 μικρόμετρα, αντίστοιχα. Το παλαιό όργανο 5 ζωνών είναι γνωστό ως AVHRR / 2, ενώ η πιο πρόσφατη έκδοση, το AVHRR / 3 (που μεταφέρθηκε για πρώτη φορά στην πλατφόρμα NOAA-15), αποκτά δεδομένα σε ένα 6ο κανάλι που βρίσκεται στα 1,6 μικρόμετρα. Συνήθως, τα κανάλια 11 και 12 μικρομέτρων χρησιμοποιούνται για την παραγωγή SST μερικές φορές σε συνδυασμό με το κανάλι 3,5 μικρομέτρων. Για τον αλγόριθμο Pathfinder SST χρησιμοποιούνται μόνο τα κανάλια 11 και 12 μικρομέτρων. Οι δορυφόροι NOAA είναι κινούνται σε ηλιοσύγχρονες τροχιές και βλέπουν το ίδιο σημείο της γης δύο φορές την ημέρα (εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος) λόγω του σχετικά μεγάλου μήκους AVHRR περίπου 2400 km. Η υψηλότερη επίγεια ανάλυση που μπορεί να ληφθεί από τα τρέχοντα όργανα AVHRR είναι 1,1 χλμ. στο nadir. Αυτό το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων παράγεται από δεδομένα Global Area Coverage (GAC) που προέρχονται από ένα δείγμα επί του σκάφους κατά μέσο

όρο των παγκόσμιων δεδομένων AVHRR πλήρους ανάλυσης. Τέσσερα στα πέντε δείγματα κατά μήκος της γραμμής σάρωσης χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μέσης τιμής και τα δεδομένα από κάθε τρίτη γραμμή σάρωσης υποβάλλονται σε επεξεργασία, αποδίδοντας μια αποτελεσματική ανάλυση 4 km στο nadir. Η συλλογή των δορυφορικών πλατφορμών NOAA που χρησιμοποιούνται στις χρονοσειρές AVHRR Pathfinder SST περιλαμβάνει τα NOAA-7, NOAA-9, NOAA-11, NOAA-14, NOAA-16, NOAA-17 και NOAA-18. Αυτές οι πλατφόρμες περιέχουν απογευματινές τροχιές που έχουν έναν αύξοντα κόμβο της ημέρας μεταξύ 13:30 και 14:30 τοπικής ώρας (κατά τη στιγμή της εκτόξευσης), με εξαίρεση το NOAA-17 που έχει έναν ημερήσιο καθοδικό κόμβο περίπου 10:00 τοπική ώρα. Το SST AVHRR Pathfinder περιλαμβάνει ξεχωριστά σύνολα δεδομένων ημέρας και νύχτας καθημερινά, 5 ημερών, 8 ημερών, μηνιαία και ετήσια. Αυτό το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων αντιπροσωπεύει ημερήσιες μέσες παρατηρήσεις κατά μέσο όρο.

Sea Surface Temperature - Pathfinder





3.1.1 Δορυφόροι NOAA

Οι δορυφόροι του οργανισμού NOAA αποτελούν το πληρέστερο σύμπλεγμα μετεωρολογικών δορυφόρων που υπάρχει αυτή τη στιγμή στον πλανήτη με έναν στόλο από 9 σκάφη 4 από τα οποία βρίσκονται σε γεωστατική τροχιά (GOES 14, 15, 16, 17), 4 σε πολική τροχιά (NOAA 15, 18, 19, 20) και τέλος τον δορυφόρο DSCONR. Πέραν των ανωτέρω ο οργανισμός χειρίζεται ακόμη 7 δορυφόρους οι οποίοι έχουν κατασκευαστεί από άλλες χώρες. Είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς πόσο περίπλοκη είναι η καταγραφή και παρακολούθηση των μετεωρολογικών φαινομένων αλλά και τον τεράστιο όγκο δεδομένων τα οποία χρήζουν επεξεργασία.

Οι πέντε «θεμελιώδεις δραστηριότητες» του οργανισμού είναι:

- Παρακολούθηση και παρατήρηση συστημάτων Γης με όργανα και δίκτυα συλλογής δεδομένων.
- Κατανόηση και περιγραφή των συστημάτων της Γης μέσω έρευνας και ανάλυσης αυτών των δεδομένων.
- Αξιολόγηση και πρόβλεψη των αλλαγών σε αυτά τα συστήματα με την πάροδο του χρόνου.
- Συμμετοχή, παροχή συμβουλών και ενημέρωση του κοινού και των συνεργαζόμενων οργανισμών με σημαντικές πληροφορίες.
- Διαχείριση πόρων για τη βελτίωση της κοινωνίας, της οικονομίας και του περιβάλλοντος.



3.2 Μεθοδολογία

3.2.1 Εργαλεία

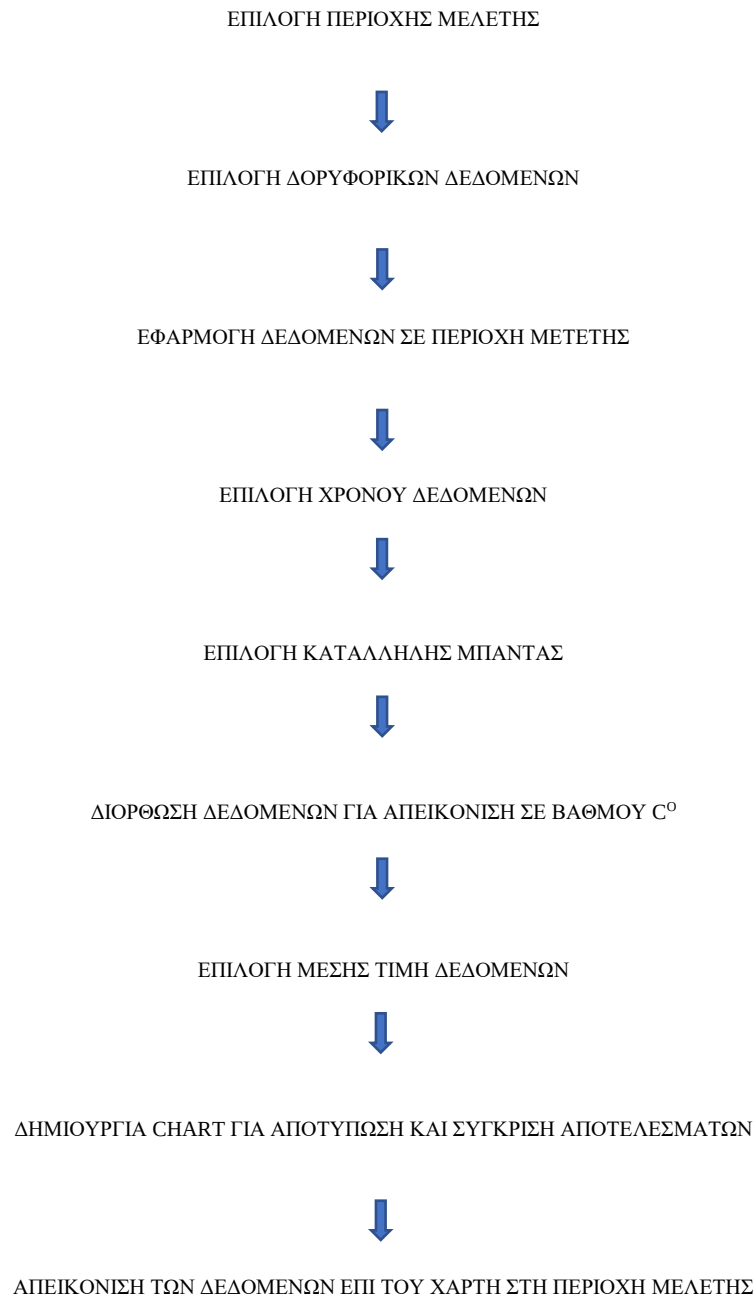
Για την καταγραφή των αλλαγών της επιφανειακή θερμοκρασίας θαλάσσης της λεκάνης της Μεσογείου θα χρησιμοποιηθεί ως βασικό εργαλείο το Google Earth Engine (GEE). Το Earth Engine είναι μια πλατφόρμα για επιστημονική ανάλυση και οπτικοποίηση γεωχωρικών συνόλων δεδομένων. Φιλοξενεί δορυφορικές εικόνες και τις αποθηκεύει σε ένα δημόσιο αρχείο δεδομένων που περιλαμβάνει ιστορικές εικόνες γης που ξεκινούν πάνω από σαράντα χρόνια πίσω. Οι εικόνες λαμβάνονται σε καθημερινή βάση και στη συνέχεια διατίθενται για εξόρυξη δεδομένων παγκόσμιας κλίμακας.

Τα δεδομένα όπως προαναφέρθηκε, θα είναι από την Εθνική Ωκεανογραφική και Ατμοσφαιρική Υπηρεσία (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) και ποιο συγκεκριμένα το Κέντρο Περιβαλλοντικών Πληροφοριών (National Centers for Environmental Information - NCEI). Η αναζήτηση στη πλατφόρμα του GEE θα εκτελεστεί με τον τίτλο: NOAA/CDR/SST_PATHFINDER/V53.

Τέλος να αναφερθεί πως για την χρωματική απεικόνιση των εξαγόμενων προϊόντων του GEE θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα QGIS. Το QGIS λειτουργεί ως λογισμικό συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), επιτρέποντας στους χρήστες να αναλύουν και να επεξεργάζονται χωρικές πληροφορίες, εκτός από τη σύνθεση και την εξαγωγή γραφικών χαρτών.

3.2.2 Στάδια – Βήματα Μελέτης

Τα βήματα που θα ακολουθηθούν κατά τη διαδικασία της μελέτης παρουσιάζονται συνοπτικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Η χρονική περίοδος της μελέτης θα εκτείνεται από **01 Ιαν 2010** έως **31 Δεκ 2020**, σε μια προσπάθεια αποτύπωσης της αλλαγής των θερμοκρασιών της επιφάνειας της θάλασσας στη περιοχή της Μεσογείου.

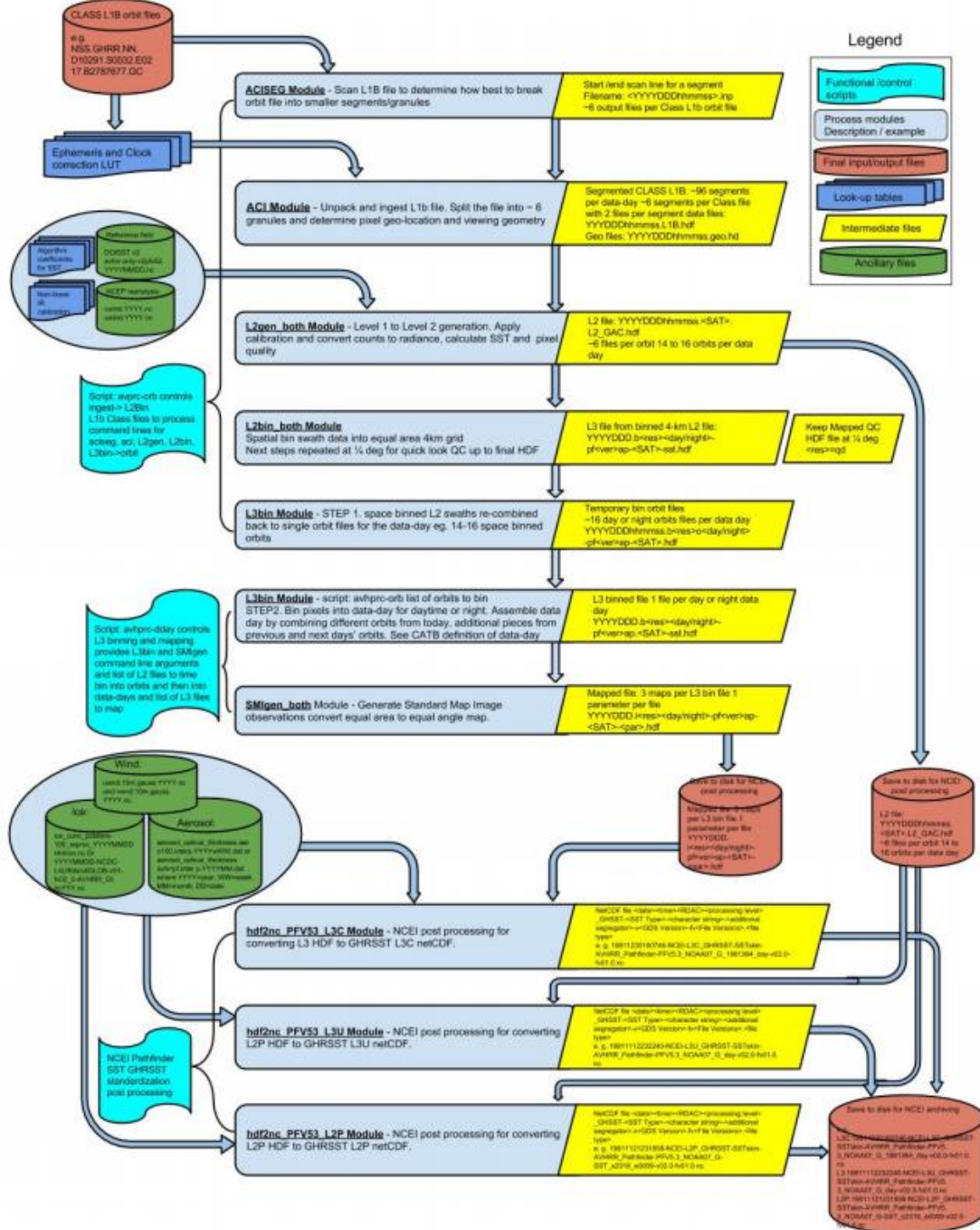
Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν είναι από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους του οργανισμού NOAA και συγκεκριμένα μέσω της σειράς αισθητήρων AVHRR Pathfinder Version 5.3 (PFV53). Οι λεπτομερής απεικόνιση των καναλιών του οργάνου που θα χρησιμοποιηθεί παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Table 1: AVHRR Spectral Channels, Resolution and S/N

Channel	Spectral Bandpass (micrometers)	Spatial Resolution at nadir (km)	Signal to Noise (S/N) or Noise Equivalent Delta Temperatures (NEΔT)	IFOV (mr)
1 (Visible)	0.580 - 0.68	1.1	9:1 at 0.5% Albedo	1.39
2 (Near IR)	0.725 - 1.00	1.1	9:1 at 0.5% Albedo	1.41
3A (Near IR)	1.580 - 1.64	1.1	20:1 at 0.5% Albedo	1.51
3B (IR)	3.550 - 3.93	1.1	0.12 K at 300 K	1.51
4 (IR)	10.300 - 11.3	1.1	0.12 K at 300 K	1.41
5 (IR)	11.500 - 12.5	1.1	0.12 K at 300 K	1.30

Το συνοπτικό διάγραμμα του τρόπου λειτουργίας και επεξεργασίας δεδομένων, του αλγορίθμου του οργάνου AVHRR Pathfinder Version 5.3 (PFV53) παρουσιάζεται παρακάτω:

Figure 1: PFSST V5.3 Data Processing



Η βασική αρχή λειτουργίας των αλγορίθμων υπολογισμού της επιφανειακή θερμοκρασίας της θάλασσας βασίζεται στον παρακάτω τύπο:

$$SST = \alpha T_i + \gamma(T_i - T_j) + c$$

όπου T_i και T_j είναι οι μετρήσεις θερμοκρασίας λαμπρότητας στα κανάλια i και j αντίστοιχα ενώ τα α και c είναι σταθερές. Ο όρος γ υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\gamma = (1 - \tau_i)/(\tau_i - \tau_j)$$

όπου τ είναι η διαπερατότητα της ατμόσφαιρας αντίστοιχα στα κανάλια i και j .

Στο σύνολό τους, όλοι οι αλγόριθμοι της σειράς AVHRR βασίζονται σε αυτές τις γενικές εξισώσεις αν και σημαντικές αλλαγές και βελτιώσεις έχουν επιτευχθεί με το πέρασμα των χρόνων.

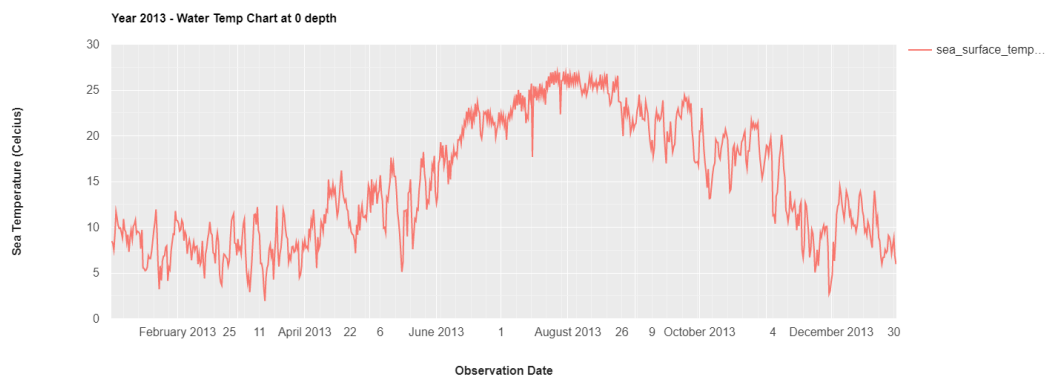
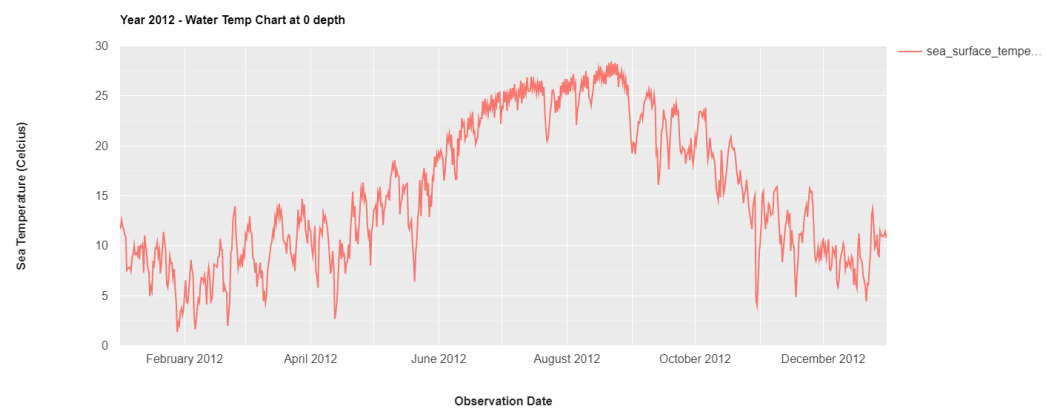
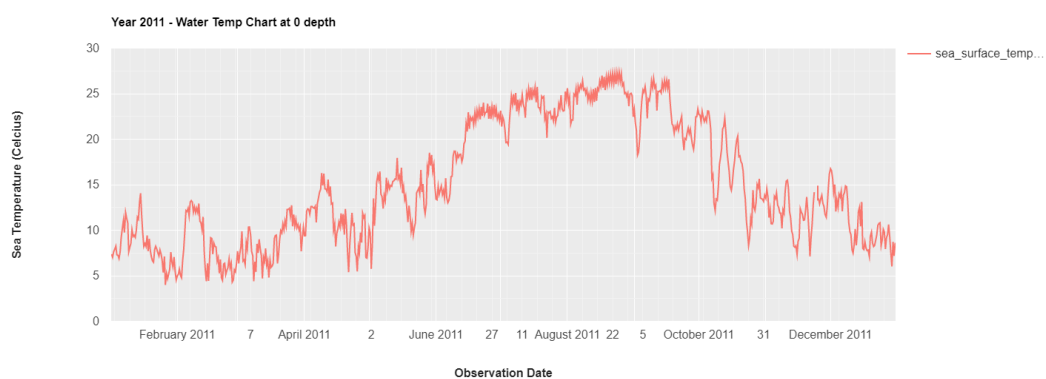
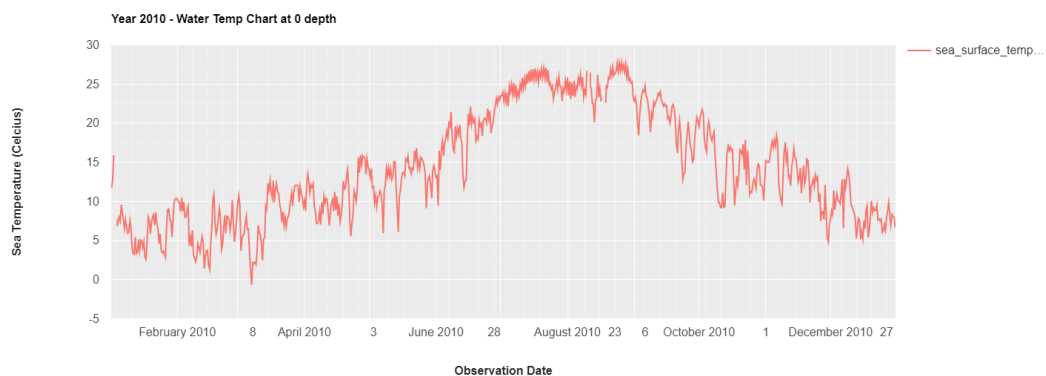
Οι διαθέσιμες μπάντες προς χρήση στο τελικό προϊόν που προσφέρει ο δορυφόρος παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα:

Resolution 4000 meters						
Bands						
Name	Units	Min	Max	Scale	Offset	Description
sea_surface_temperature	K	-300*	3999*	0.01	273.15	Skin temperature of the ocean
dt_analysis	K	-127*	127*	0.1		The difference between this SST and the previous day's.
wind_speed	m/s	0*	47*			These wind speeds were created by NCEP-DOE Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP-II) reanalysis (R-2) and represent winds at 10 metres above the sea surface.
sea_ice_fraction		8*	100*	0.01		Sea ice concentration data are taken from the EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility (OSISAF) Global Daily Sea Ice Concentration Reprocessing Data Set accession.nodc.noaa.gov/0068294 when these data are available. The data are reprojected and interpolated from their original polar stereographic projection at 10km spatial resolution to the 4km Pathfinder Version 5.3 grid. When the OSISAF data are not available for both hemispheres on a given day, the sea ice concentration data are taken from the sea_ice_fraction variable found in the L4 GHRSSST DailyOI SST product from NOAA/NCDC, and are interpolated from the 25km DailyOI grid to the 4km Pathfinder Version 5.3 grid.
aerosol_dynamic_indicator		-127*	127*	0.01	1.1	Aerosol optical thickness (100 KM) data are taken from the CLASS AERO100 products, which are created from AVHRR channel 1 optical thickness retrievals from AVHRR global area coverage (GAC) data. The aerosol optical thickness measurements are interpolated from their original 1 degree x 1 degree resolution to the 4km Pathfinder Version 5.3 grid.
quality_level		0	5			Note, the native Pathfinder processing system returns quality levels ranging from 0 to 7 (7 is best quality, -1 represents missing data) and has been converted to the extent possible into the six levels required by the GDS2 (ranging from 0 to 5, where 5 is best). Below is the conversion table: • GDS2 required quality_level 5 = native Pathfinder quality level 7 == best_quality • GDS2 required quality_level 4 = native Pathfinder quality level 4-6 == acceptable_quality • GDS2 required quality_level 3 = native Pathfinder quality level 2-3 == low_quality • GDS2 required quality_level 2 = native Pathfinder quality level 1 == worst_quality • GDS2 required quality_level 1 = native Pathfinder quality level 0 = bad_data • GDS2 required quality_level 0 = native Pathfinder quality level -1 = missing_data The original Pathfinder quality level is recorded in the optional variable pathfinder_quality_level.
pathfinder_quality_level		0	7			The native Pathfinder processing system quality levels, ranging from 0 to 7, where 0 is worst and 7 is best.
l2p_flags						Used to specify the type of input SST data and pass through native flags from the input L2 SST data set.

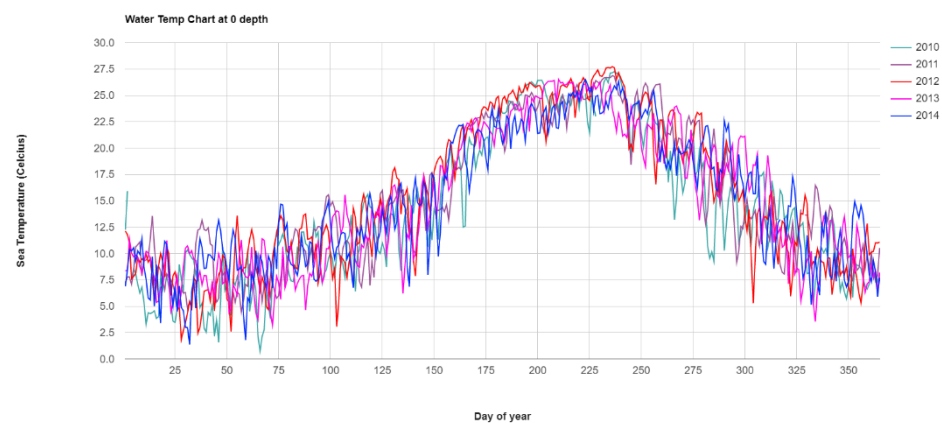
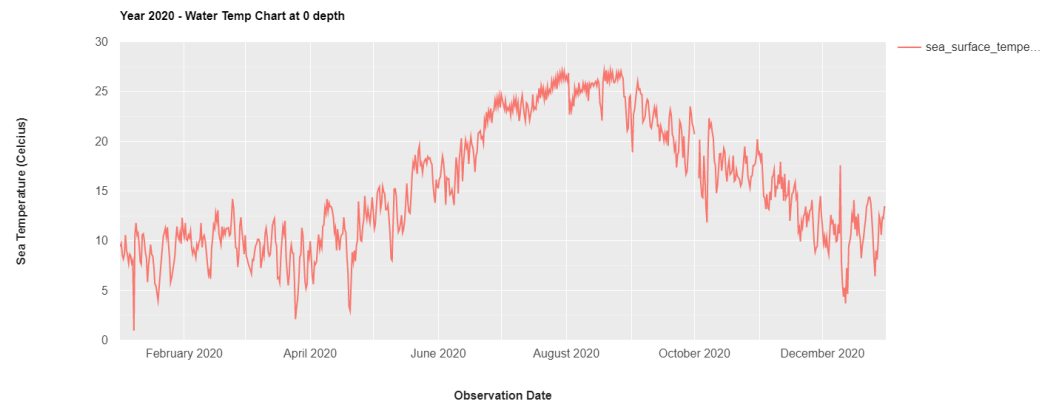
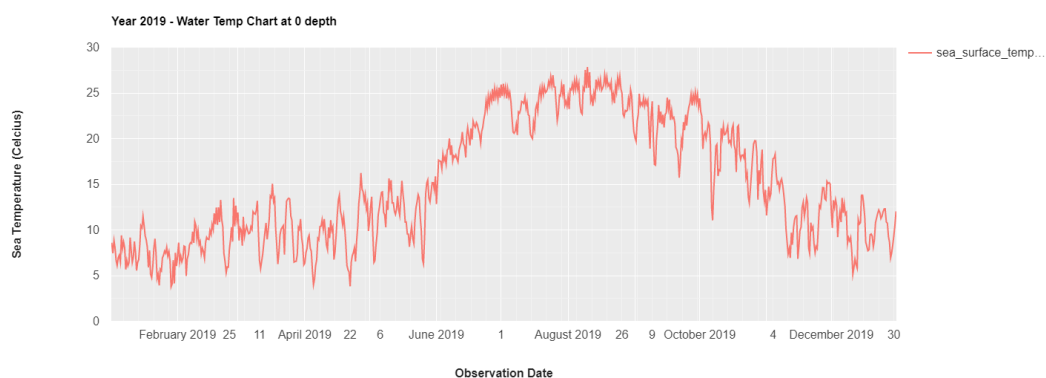
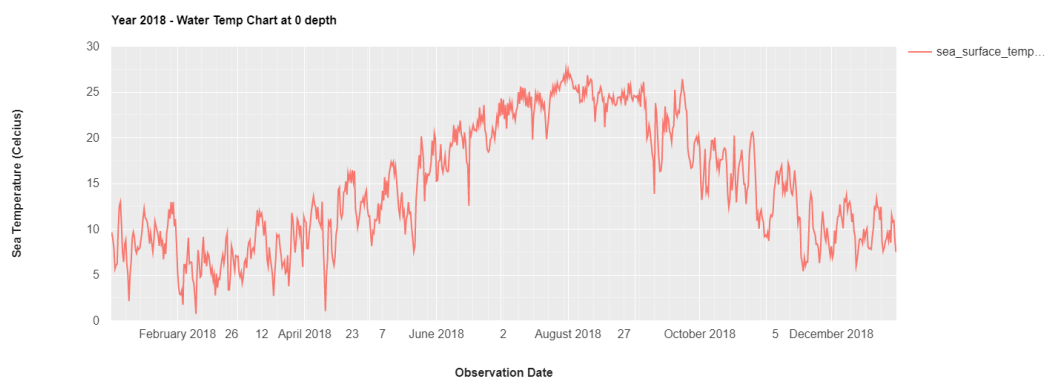
Για τη παρούσα μελέτη το κανάλι που θα χρησιμοποιηθεί είναι το sea_surface_temperature το οποίο θα μετασχηματιστεί για να δίνει τιμές σε βαθμούς Κελσίου καθώς στην αρχική του μορφή αποδίδει τα δεδομένα σε βαθμούς Κελβιν.

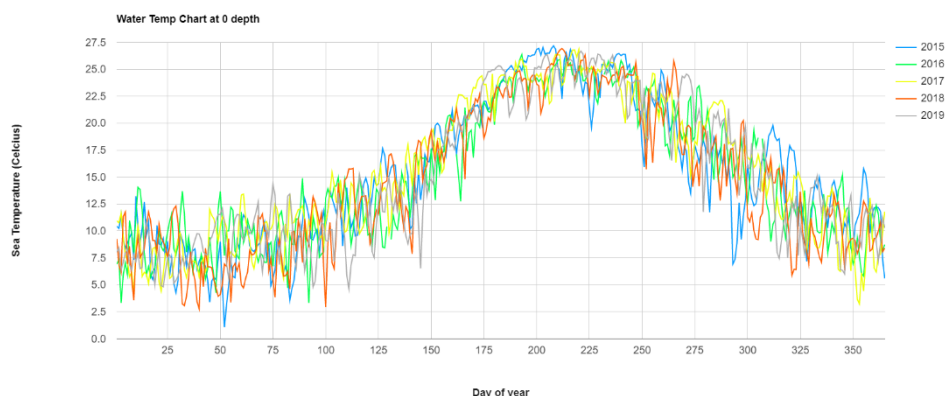
4.2 Ανάλυση διαγραμμάτων

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αναλυτικά διαγράμματα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας της θαλάσσιας επιφάνειας της Μεσογείου ανά έτος και εν συνεχεία ανά μήνα για το έτος με τη μεγαλύτερη μεταβολή.









Τα παραπάνω διαγράμματα (ανά έτος) απεικονίζουν τις μέσες τιμές θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας στη περιοχή της Μεσογείου. Όπως παρατηρούμε αποτυπώνονται με ακρίβεια καθόλη τη διάρκεια του έτους (ανά ημέρα), τα δεδομένα των δορυφόρων NOAA και μας δίνουν μια πολύ αναλυτική εικόνα των θερμοκρασιών και το πως αυτές μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους. Στα δύο τελευταία διαγράμματα απεικονίζονται ανά πενταετία οι ίδιες τιμές που αναφέραμε προηγουμένως με τη διαφορά ότι αποτυπώνονται σε ένα διάγραμμα για να είναι δυνατή η σύγκρισή τους.

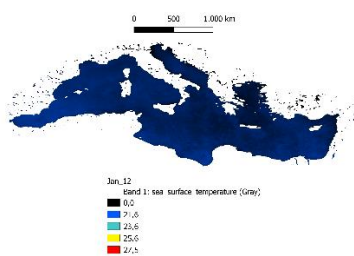
Έχοντας αναφέρει όλα τα παραπάνω, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι παρότι η υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας ($< 27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) σημειώνεται κατά το έτος 2012, κατά τη πενταετία 15 – 20 όλες οι μέγιστες τιμές κάθε έτους από την αρχή μέχρι το τέλος, παρουσιάζουν αύξηση συγκριτικά με την πενταετία 10 – 15. Αυτό συνάδει με όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες αναφορικά με τις αλλαγές στον πλανήτη λόγω της κλιματικής αλλαγής. Αξιοσημείωτη επίσης είναι η περίοδος Νοέμβριος – Δεκέμβριος του 2015 κατά την οποία σημειώθηκαν μέγιστες τιμές θερμοκρασιών έως και 20 βαθμούς κελσίου, θερμοκρασία η οποία ξεπερνά κατά πολύ τις μέσες τιμές της πενταετίας 10 – 15 κατά την ίδια περίοδο.

Σε συνέχεια των ανωτέρω και έχοντας πλέον μια σφαιρική άποψη αναφορικά με τις μεταβολές των επιφανειακών θερμοκρασιακών τιμών της θαλάσσιας περιοχής της Μεσογείου, θα επιλέξουμε τα έτη 2012 και 2015 για να απεικονίσουμε τις θερμοκρασιακές αλλαγές της λεκάνης της Μεσογείου ανά μήνα, με τη χρήση του εργαλείου Google Earth Engine.

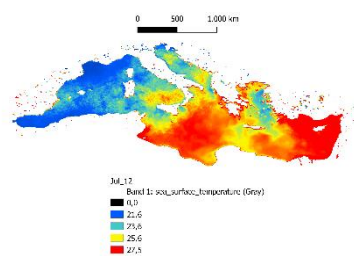
4.3 Ανάλυση Χαρτών GEE

4.3.1 Έτος 2012

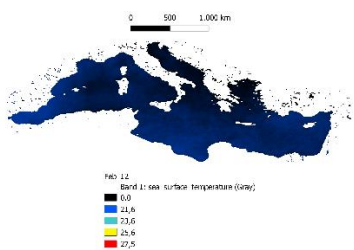
Ιανουάριος



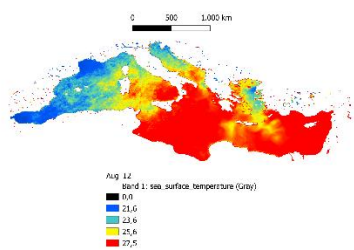
Ιούλιος



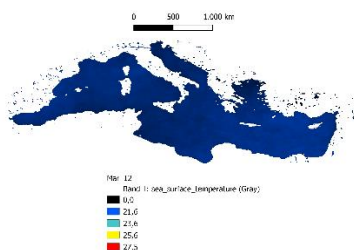
Φεβρουάριος



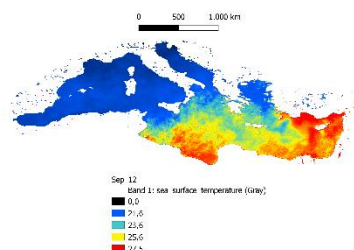
Αύγουστος



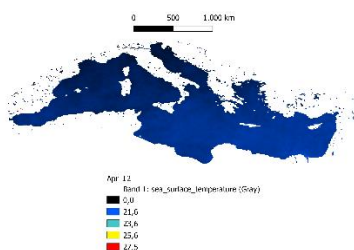
Μάρτιος



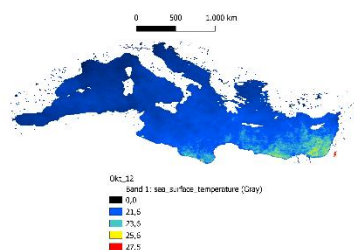
Σεπτέμβριος



Απρίλιος

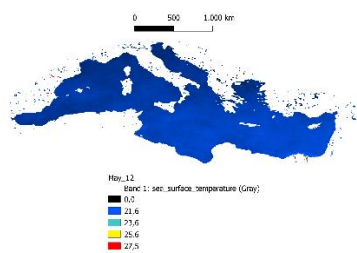


Οκτώβριος

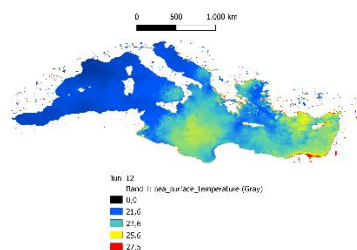


Μάιος

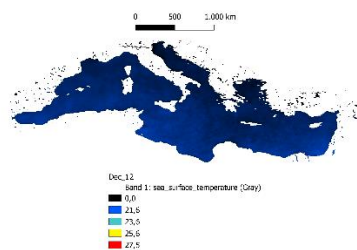
Νοέμβριος



Ιούνιος

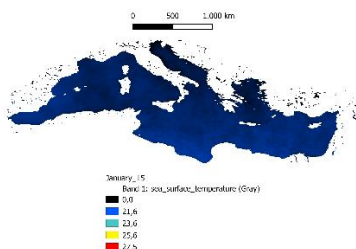


Δεκέμβριος

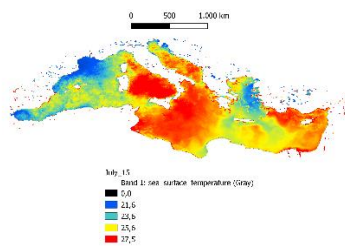


3.3.2 Έτος 2015

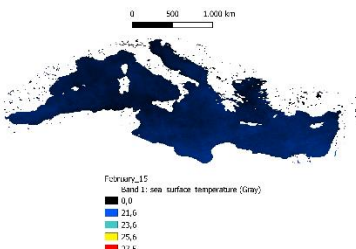
Ιανουάριος



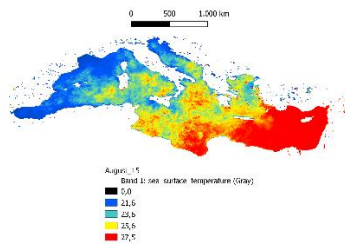
Ιούλιος



Φεβρουάριος

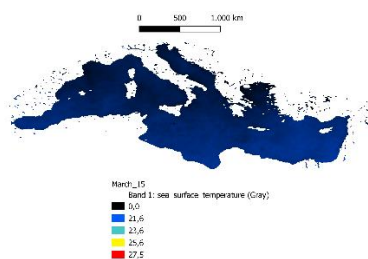


Αύγουστος

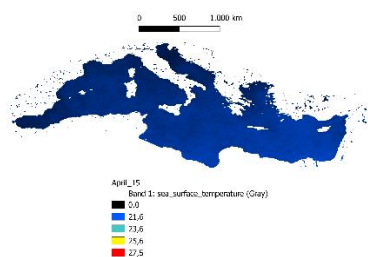


Μάρτιος

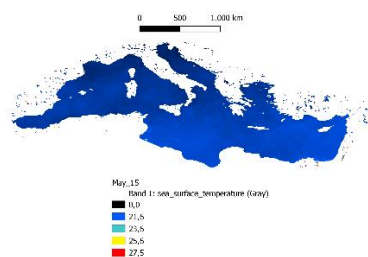
Σεπτέμβριος



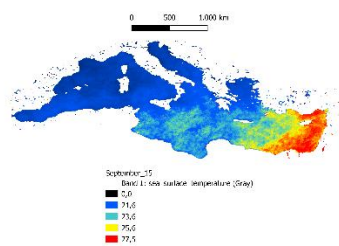
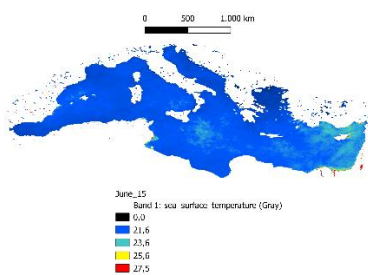
Απρίλιος



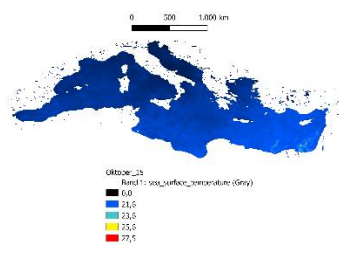
Μάιος



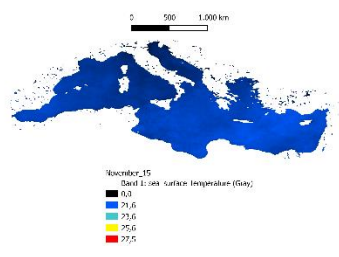
Ιούνιος



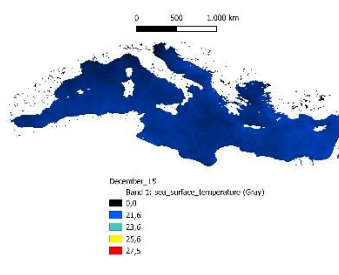
Οκτώβριος



Νοέμβριος



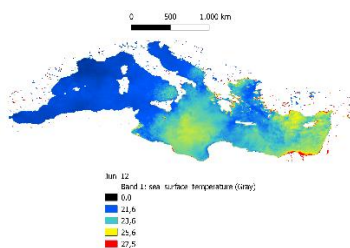
Δεκέμβριος



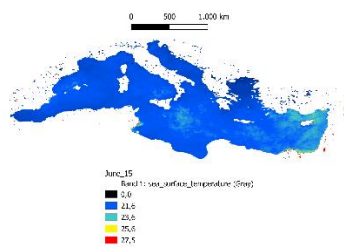
4.3.2 Σύγκριση μηνών καλοκαιριού ετών 2012 με 2015

Παρακάτω παρουσιάζονται οι θερμότεροι μήνες του καλοκαιριού κατά τα δύο έτη που μελετήθηκαν για σύγκριση των μέσων θερμοκρασιών.

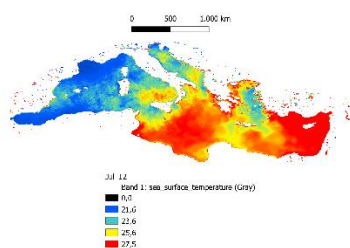
Ιούνιος 2012



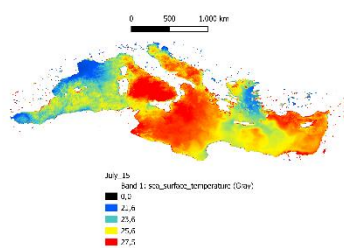
Ιούνιος 2015



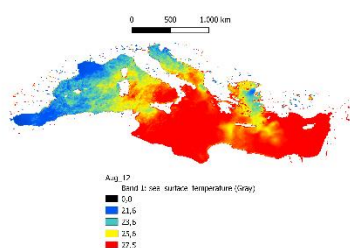
Ιούλιος 2012



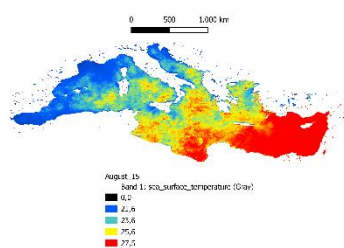
Ιούλιος 2015



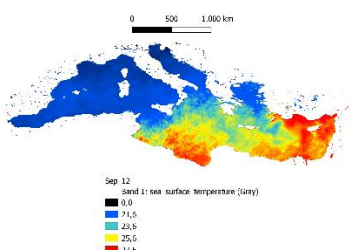
Αύγουστος 2012



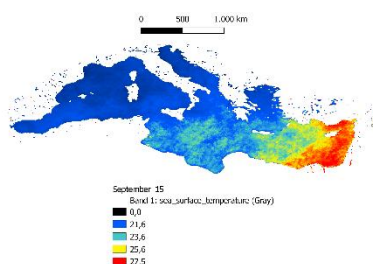
Αύγουστος 2015



Σεπτέμβριος 2012

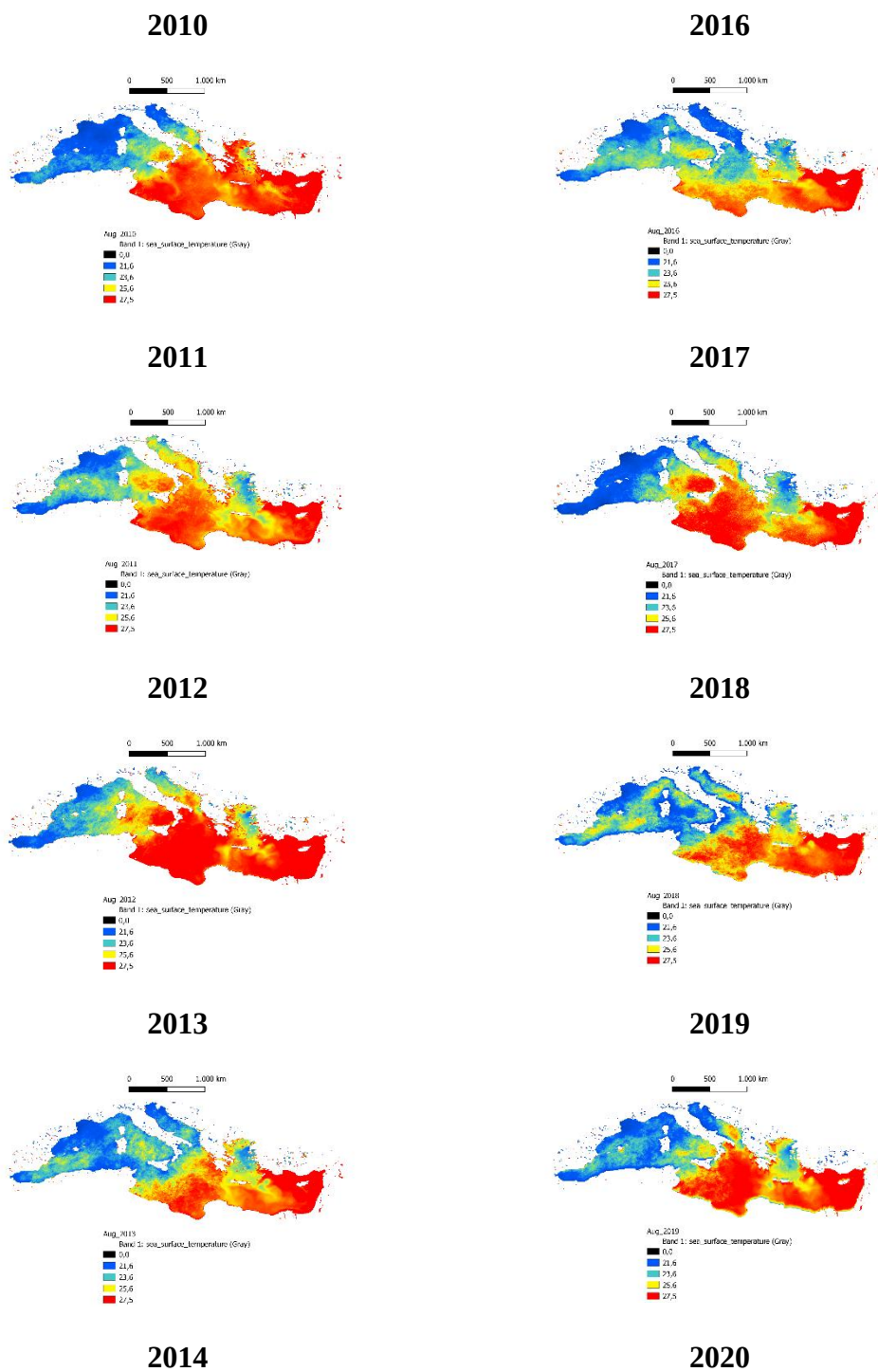


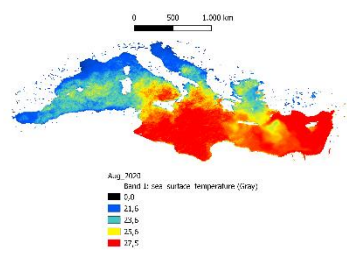
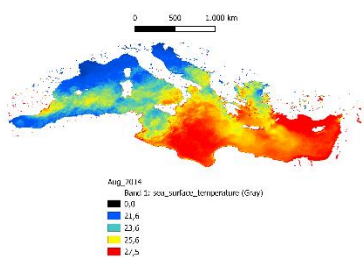
Σεπτέμβριος 2015



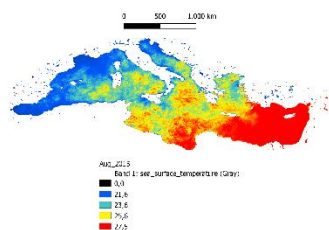
Στις παραπάνω απεικονίσεις είναι εμφανέστατη η μεγάλη διαφορά στις τιμές θερμοκρασιών που κατεγράφησαν κατά το έτος 2012 συγκριτικά με το 2015. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως η μεγάλη αύξηση των θερμοκρασιών ξεκίνησε νωρίτερα κατά τον μήνα Ιούνιο, παρουσίασε πολύ μεγαλύτερες τιμές και έκταση κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο ενώ διήρκησαν περισσότερο κατά τον μήνα Σεπτέμβριο.

4.3.3 Σύγκριση τιμών θερμοκρασιών μηνός Αυγούστου 2010 με 2020 Αύγουστος





2015



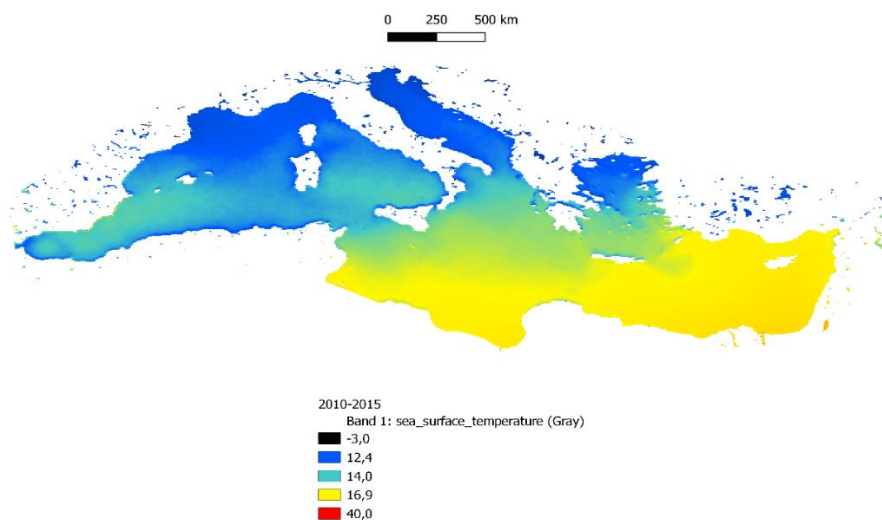
4.3.4 Αποτύπωση μεταβολών μέσων τιμών θερμοκρασίας για τα έτη 2010, 2012, 2016, 2020 κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο για δειγματοληπτικές περιοχές Ανατολικής, Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου

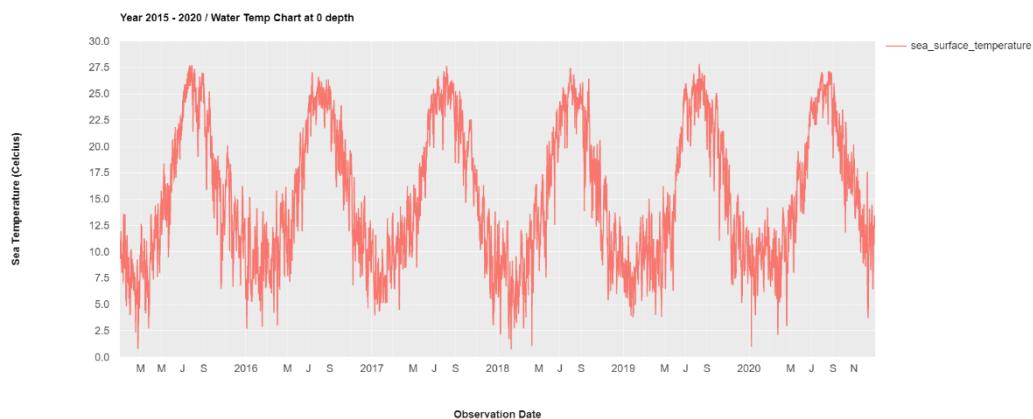


	Δυτική Μεσό- γειος	Κεντρική Μεσό- γειος	Ανατολική Μεσό- γειος
Ιούλιος 2010	25.82	26.48	23.50
Ιούλιος 2012	22.32	27.44	27.71
Ιούλιος 2016	21.98	26.08	26.89
Ιούλιος 2020	22.90	26.35	26.58

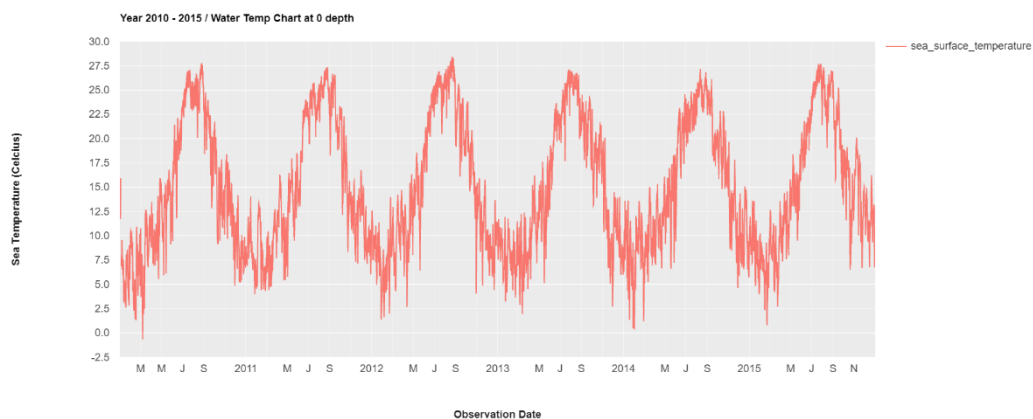
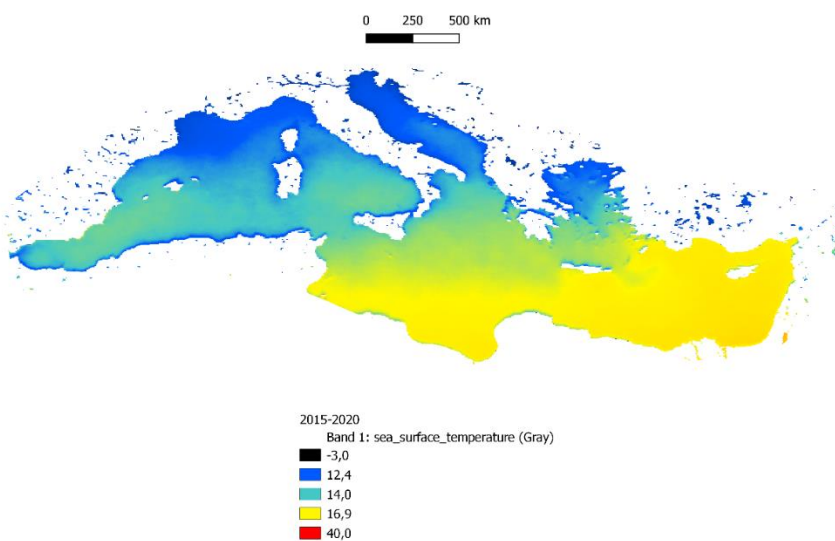
Αύγουστος 2010	22.45	27.05	27.15
Αύγουστος 2012	22.82	28.41	28.29
Αύγουστος 2016	23.90	24.84	27.36
Αύγουστος 2020	27.83	23.68	27.59
Σεπτέμβριος 2010	20.50	20.57	26.43
Σεπτέμβριος 2012	18.25	25.49	26.21
Σεπτέμβριος 2016	21.75	21.75	26.22
Σεπτέμβριος 2020	20.27	21.20	27.49

4.3.5 Αποτύπωση μέσω των τιμών θερμοκρασίας πενταετίας 2010 – 2015





4.3.6 Αποτύπωση μέσω των τιμών θερμοκρασίας πενταετίας 2015 – 2020



4.4 Συμπεράσματα

Σε συνέχεια όλων όσων παρουσιάστηκαν παραπάνω και με δεδομένο πως πλέον υπάρχουν διαθέσιμα πάρα πολλά δεδομένα προς ανάλυση, κυρίως λόγω της ανάπτυξης της επιστήμης του διαστήματος, μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Είναι πλέον γενικά αποδεκτό ότι το κλίμα αλλάζει σε παγκόσμια κλίμακα.
- Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει όλες τις περιοχές του κόσμου. Οι πάγοι στις πολικές περιοχές λιώνουν και η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει. Ορισμένες περιοχές πλήττονται συχνότερα από ακραία καιρικά φαινόμενα και βροχοπτώσεις, ενώ άλλες δοκιμάζονται από μεγάλης έντασης καύσωνες και ξηρασίες.
- Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται, η θερμοκρασία της θάλασσας αυξάνεται, οι παγετώνες λιώνουν και η τυπολογία των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων αλλάζει. Παρατηρούνται ακόμη ακραία καιρικά φαινόμενα - εντονότερα και πιο εντατικά.
- Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών, οι ανθρώπινες δραστηριότητες - κυρίως αυτές που έγκεινται στην καύση ορυκτών καυσίμων - έχουν προκαλέσει αύξηση των ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων -των λεγομένων «αερίων του θερμοκηπίου»-. Τα αέρια αυτά απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη Γη, αντί να της επιτραπεί η ελεύθερη διαφυγή στο διάστημα. Λόγω του κλιματικού αυτού φαινομένου παγιδεύεται επιπρόσθετη θερμότητα στα χαμηλότερα ατμοσφαιρικά στρώματα. Συγκεκριμένα, τα τελευταία 100 έτη η παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά 0.75 C περίπου, ενώ τα τελευταία 25 έτη, ο ρυθμός θέρμανσης του πλανήτη έχει αυξηθεί σε άνω των 0.18 C ανά δεκαετία.
- Εδώ και 30 χρόνια, το επιφανειακό στρώμα της θάλασσας (0-300 m) γίνεται ολοένα θερμότερο, αν και όχι με τον ίδιο ρυθμό σε όλα τα μέρη του κόσμου. Δυστυχώς, τα σημεία όπου το φαινόμενο είναι πιο έντονο συχνά βρίσκονται σε περιοχές όπου οι άνθρωποι εξαρτώνται στο μέγιστο βαθμό από τα ψάρια για την επισιτιστική ασφάλεια και το βιοπορισμό τους. Η ύπαρξη ενός θερμότερου επιφανειακού στρώματος προκαλεί μεγαλύτερη «στρωμάτωση» της θάλασσας. Αυτό γενικά σημαίνει ότι υπάρχει μικρότερη ανταλλαγή υδάτων ανάμεσα στα ανώτερα (πιο θερμά) και τα χαμηλότερα (πιο ψυχρά) στρώματα της υδάτινης στήλης, γεγονός που επηρεάζει άμεσα τις θρεπτικές ουσίες και το πλαγκτόν, καθώς και τα τεράστια τροφικά πλέγματα που αυτά συντηρούν.
- Παρατηρώντας τα αναλυτικά δεδομένα που παρουσιάστηκαν στη παρούσα μελέτη, ο γενικός μέσος όρος της επιφανειακής θερμοκρασίας τη θάλασσας παρουσιάζει αύξηση με σταθερό ρυθμό. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας στη περιοχή της ανατολική Μεσογείου η οποία από το 2010 έως το 2020 παρουσιάζει αύξηση της τάξεως 2,076 βαθμών κελσίου (μέσες τιμές κατά του μήνες του καλοκαιριού) τιμή η οποία είναι ιδιαίτερος υψηλή. Το ίδιο παρατηρείται και στην υπόλοιπη Μεσόγειο σε μικρότερο βαθμό.
- Παρατηρώντας επίσης και του χάρτες με τις μέσες τιμές θερμοκρασιών ανά πενταετία (2010-2015 & 2015-2020) πάλι είμαι εμφανής η διαφορά που υπάρχει στις μέσες τιμές θερμοκρασιών κάτι το οποίο συνηγορεί υπέρ των όσων έχουμε αναφέρει παραπάνω.

Στην διάσκεψη του Παρισιού για το κλίμα το 2015 οι επιστήμονες ξεκαθάρισαν ότι για να μπορέσει ο πλανήτης να αντέξει και να υπάρξει ελπίδα αντιστροφής της κατάστασης

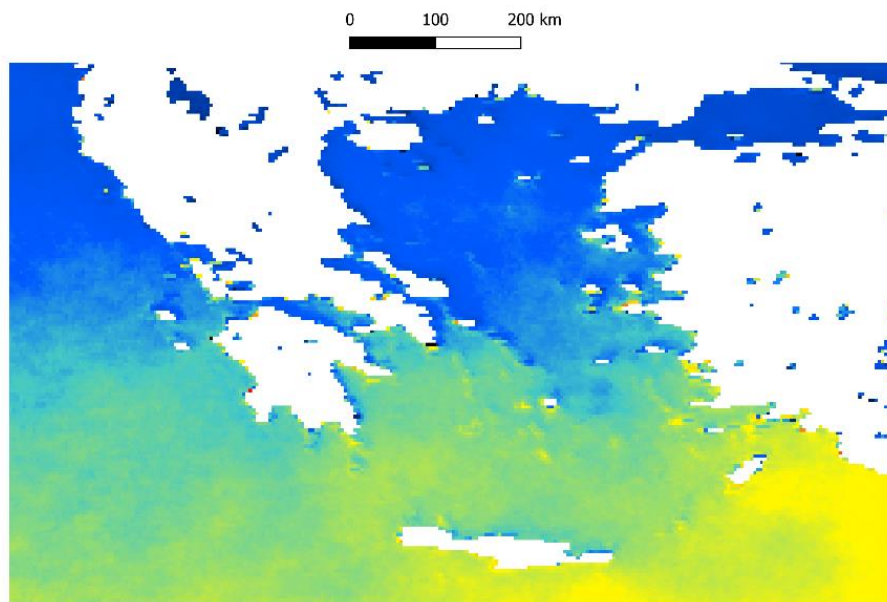
θα πρέπει η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας μέχρι το 2025 να μην ξεπεράσει τους 1,5 βαθμούς Κελσίου σε σχέση με την θερμοκρασία της προβιομηχανικής εποχής. Όμως ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός ο οποίος αποτελεί υπηρεσία του ΟΗΕ, στην νέα του έκθεση κρούει κάτι περισσότερο από καμπανάκι κινδύνου. Όπως αναφέρει η έκθεση υπάρχει 40% πιθανότητες το 2025 η μέση παγκόσμια θερμοκρασία να αυξηθεί περισσότερο από 1,5% με ότι αρνητικό αυτό συνεπάγεται.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού υπάρχει πιθανότητα 90% ένα από τα επόμενα χρόνια μέχρι το 2025 να είναι το πιο θερμό στην σύγχρονη ιστορία ή καλύτερα, από τότε που γίνονται οι σχετικές καταγραφές στα τέλη του 19ου αιώνα.

Αν η θερμοκρασία ξεπεράσει αυτό το όριο των 1,5 βαθμών Κελσίου το αποτέλεσμα θα είναι η εμφάνιση περισσότερων σε αριθμό αλλά και ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως ξηρασίες, βροχοπτώσεις, καταιγίδες, καύσωνες, καταστροφή κοραλλιογενών υφάλλων, αύξηση της στάθμης της θάλασσας κ.α.

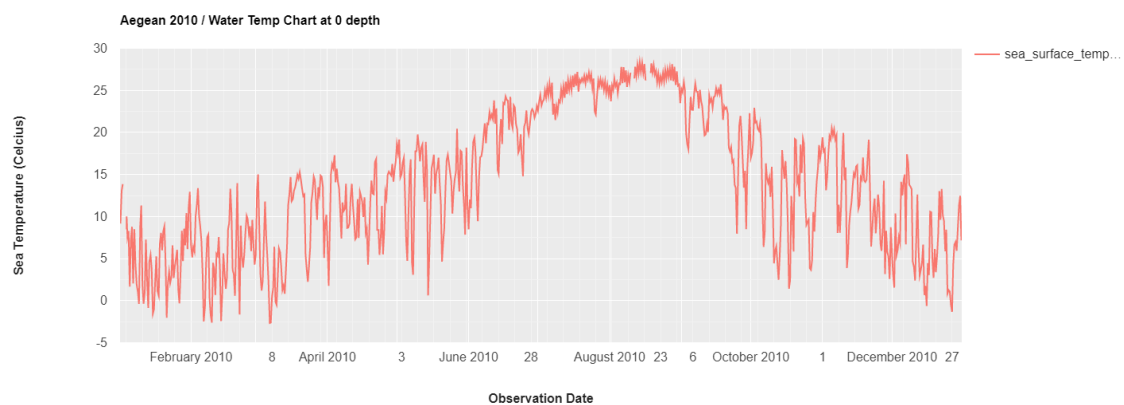
Κλείνοντας, ενδεικτικά να αναφέρουμε πως δεν αποτελεί εξαίρεση και η θάλασσα περιοχή του Αιγαίου πελάγους η οποία παρουσιάζει ακριβώς την ίδια εικόνα με την υπόλοιπη Μεσόγειο. Οι μέσες τιμές θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας παρουσιάζουν πολύ μεγάλη διαφορά κατά τη δεκαετία 2010 με 2020 όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες – διαγράμματα:

Αιγαίο Πέλαγος - περίοδος 01-01-2010 με 31-12-2010

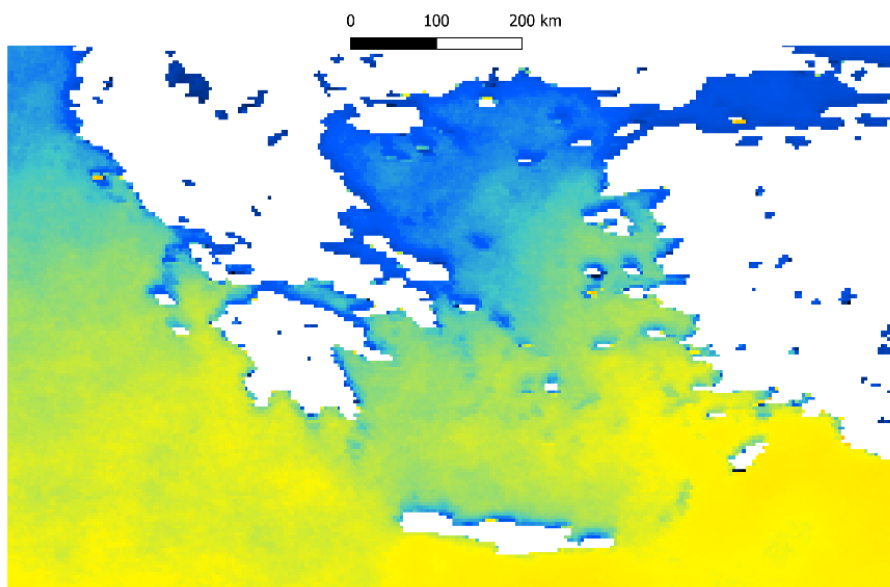


Aegean_2010
Band 1: sea_surface_temperature (Gray)

Black	-3,0
Blue	12,4
Teal	14,0
Yellow	16,9
Red	40,0

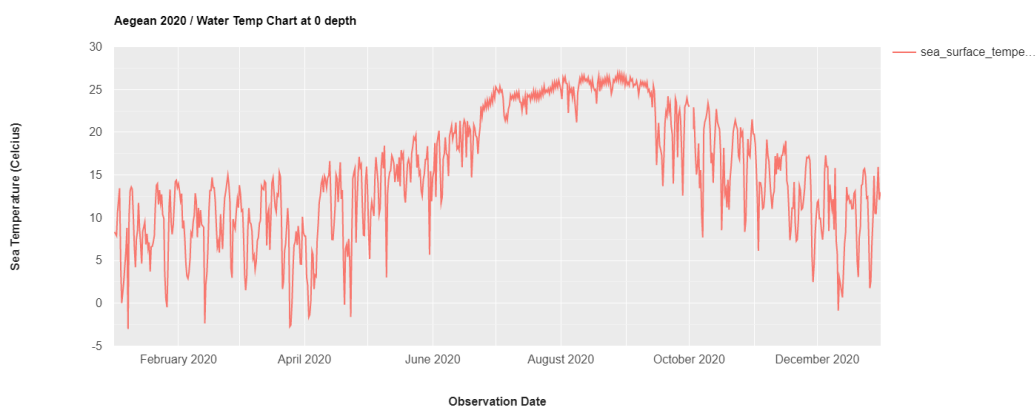


Αιγαίο Πέλαγος - περίοδος 01-01-2020 με 31-12-2020



Aegean_2020
Band 1: sea_surface_temperature (Gray)

Black	-3,0
Blue	12,4
Light Blue	14,0
Yellow	16,9
Red	40,0



5. Κώδικας Google Earth Engine

Επιλογή συντεταγμένων περιοχής παρακολούθησης:

```
var geometry =

/* color: #98ff00 */

/* shown: false */

ee.Geometry.Polygon(

  [[[-6.226200262409196, 38.43877017296775],

    [-5.523075262409196, 33.6811795493937],

    [8.099971612590803, 34.698970405961475],

    [19.789424737590803, 29.33695883562595],

    [34.4671591125908, 30.479713188275756],

    [39.0374716125908, 34.046085371160004],

    [38.1585653625908, 39.53182047764764],

    [27.523799737590803, 39.80244069606337],

    [25.678096612590803, 41.798163378730365],

    [16.361690362590803, 46.037227973926974],

    [8.099971612590803, 45.485383262910766],

    [1.771846612590804, 43.797092015057736]]]],

  central = /* color: #d63000 */ ee.Geometry.Polygon(

    [[16.174253226853608, 35.77345128392254],

      [16.284116508103608, 34.20745681653322],

      [17.448667289353608, 33.165345251023716],

      [17.294858695603608, 34.588193993748426],

      [16.987241508103608, 36.18241767223647],

      [16.459897758103608, 36.58926005759984]]]]);
```

Επιλογή προϊόντος και χρονικής περιόδου συλλογής αποτελεσμάτων:

```
var dataset = ee.ImageCollection('NOAA/CDR/SST_PATHFINDER/V53')
    .filter(ee.Filter.date('2011-07-01', '2011-08-01'))
    .filterBounds(geometry)
    .map(function(image){return image.clip(geometry)});
```

Επιλογή μπάντας και μετασχηματισμός σε βαθμούς κελσίου:

```
var seaSurfaceTemperature = dataset.select('sea_surface_temperature')
    .map(function(image) {
    return ee.Image(image).multiply(0.01)
    .copyProperties(ee.Image(image), ['system:time_start']);});
```

Παράμετροι χρωμάτων και απεικόνιση σε χάρτη:

```
var visParams = {
  min: -2.0,
  max: 34.0,
  palette: [
    '000000', '005aff', '43c8c8', 'fff700', 'ff0000' ],};
Map.setCenter(15.8, 38.68, 4);
Map.addLayer(seaSurfaceTemperature.mean(), visParams, 'Sea Surface Temperature');
```

Εξαγωγή χάρτη στο Drive:

```
Export.image.toDrive({image: seaSurfaceTemperature.mean(), description: 'Aug_2010', folder: 'images GEE', region:
geometry, scale: 1000, crs: 'EPSG:4326'});
```

Παράμετροι δημιουργίας διαγραμμάτων:

```
var chartStyle = {
  title: 'August 2010 / Water Temp Chart at 0 depth',
  titleTextStyle: {italic: false, bold: true},
  colors: ['F8766D'],
  hAxis: {
    title: 'Observation Date',
    titleTextStyle: {italic: false, bold: true},
    gridlines: {color: 'FFF'},
    baselineColor: 'FFF'
  },
  vAxis: {
```

```

title: 'Sea Temperature (Celcius)',
titleTextStyle: {italic: false, bold: true},
gridlines: {color: 'FFF'},
baselineColor: 'FFF'
},
chartArea: {backgroundColor: 'EBEBEB'}
};

```

Εκτύπωση διαγράμματος:

```
print(ui.Chart.image.series(seaSurfaceTemperature, geometry, ee.Reducer.mean(), 800).setOptions(chartStyle));
```

Εκτύπωση μέσων τιμών περιοχής κεντρικής Μεσογείου:

```

var centr = seaSurfaceTemperature.mean().reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  geometry: central,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e9
});
print('central',centr);

```


6. Βιβλιογραφία

<https://podaac.jpl.nasa.gov/SeaSurfaceTemperature> - Ocean Temperature.

<https://www.climate.gov/maps-data/data-snapshots/data-source-sea-surface-temperature> - Θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας (SST).

<https://www.kathimerini.gr/life/environment/1050007/ta-ydata-toy-aigaiou-sigovrazoyn-gia-dekaeties/> - Οι κλιματικές ταλαντώσεις της Μεσογείου.

<https://www.nodc.noaa.gov/satellitedata/pathfinder4km53/> - 4 km AVHRR Pathfinder Project.

<https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso> - AVHRR Pathfinder version 5.3 level 3 collated (L3C) global 4km sea surface temperature for 1981-Present.

<https://www.nesdis.noaa.gov/content/currently-flying> - Currently Flying.

https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/AVHRR_PATHFINDER_L3_SST_DAILY_DAYTIME_V5- AVHRR Pathfinder Level 3 Daily Daytime SST.

https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/sds/cdr/CDRs/Sea_Surface_Temperature_Pathfinder/AlgorithmDescription.pdf - CDR Program Master Template.

<https://m.naftemporiki.gr/story/1731956/i-klimatiki-allagi-exei-patisei-gkazi> - Η κλιματική αλλαγή έχει πατήσει γκάζι.