



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

---

**Μελέτη του φαινομένου της ωκεάνιας ανάβλυσης με τη  
χρήση δορυφορικών πολυφασματικών απεικονίσεων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Καλλιόπη Ι. Κουτάντου**

*Αθήνα, Ιούλιος 2017*





# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

---

## Μελέτη του φαινομένου της ωκεάνιας ανάβλυσης με τη χρήση δορυφορικών πολυφασματικών απεικονίσεων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κουτάντου Ι. Καλλιόπη**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Καραθανάση Βασιλεία, καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Ιούλιο του 2017

-----  
Β.Καραθανάση

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

-----  
Κ. Καραντζαλος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

-----  
Δ.Αργιαλάς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

*Αθήνα, Ιούλιος 2017*



Κουτάντου Ι. Καλλιόπη  
Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός  
Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Copyright© Καλλιόπη Ι. Κουτάντου, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

*Στους αγαπημένους μου γονείς*

*Γιάννη και Λιλή*

## ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία σημάνει και το τέλος των πενταετών μου σπουδών στο τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Οι σπουδές μου χαρακτηρίστηκαν από επιμονή και υπομονή, υπέρμετρη προσπάθεια και αγάπη για τα ενδιαφέροντα μονοπάτια της επιστήμης του μηχανικού. Φτάνοντας στο τέλος αυτής της μοναδικής διαδρομής, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους αξιαγάπητους συνοδοιπόρους μου σε αυτό το ταξίδι.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης - και επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής- κα Καραθανάση Βασιλεία, η οποία με μύησε στο μαγικό κόσμο της τηλεπισκόπησης μέσω του προπτυχιακού μαθήματος «Ειδικά κεφάλαια τηλεπισκόπησης» με την αγάπη, τις γνώσεις και τη λεπτομερή μεθοδικότητα της πάνω στο αντικείμενο αυτό, δρώντας ως καταπέλτης στην επιλογή του συγκεκριμένου επιστημονικού τομέα για την εκπόνησης της διπλωματικής αλλά και για το υπόλοιπο της επιστημονικής μου ζωής. Την ευχαριστώ επιπροσθέτως για την άρτια συνεργασία, τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωνε με τις χρήσιμες συμβουλές και συστάσεις της, τόσο για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για τη μετέπειτα ακαδημαϊκή μου πορεία μετά την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες αξίζουν και στον διδάσκοντα του εργαστηρίου τηλεπισκόπησης, κο Κολοκούση Πολυχρόνη(Πολ) ο οποίος με το χιούμορ, την απaráμιλλη υπομονή και επιμονή του, τις αξιοθαύμαστες βαθιές γνώσεις σε ό,τι αφορά τους ΗΥ και την τηλεπισκόπηση, συνέδραμε στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π Καραμβάση Κλεάνθη, για τις εύστοχες παρατηρήσεις και τη βοήθειά του.

Ευχαριστώ εν συνεχεία, τους συμφοιτητές και φίλους μου από τη σχολή, με τους οποίους συνεργάστηκα όλα αυτά τα χρόνια, αντάλλαξα σκέψεις, γνώσεις, σημειώσεις, αστεία ώστε να περάσουν όσο το δυνατόν καλύτερα αυτά τα πέντε σημαντικά χρόνια της ζωής μας.

Αυτά τα πέντε χρόνια δε θα περνούσαν τόσο ευχάριστα δίχως τη συμβολή των συγκολυμβητών μου, με τους οποίους περνούσα τις πιο ωραίες ώρες της ημέραςσυνεπικουρώντας στο να ξεφύγω από τους τετριμμένους δρόμους της σχολής και του διαβάσματος, με την πίστη που έδειξαν σε μένα και τις ικανότητές μου σε όλους τους τομείς. Μαζί κολυμπήσαμε, γελάσαμε, ταξιδέψαμε, ώστε ο φόρτος των μαθημάτων να γίνει πιο ελαφρύς και ξεκούραστος.

Τελευταίοι αλλά πιο άξιοι αναφοράς, είναι οι αγαπημένοι μου γονείς, Γιάννης και Λιλή, και ο αδερφός μου Γρηγόρης, οι οποίοι μου στέκονται αενάως σε κάθε βήμα της ζωής μου, υλικά και –κυρίως – ψυχικά, με την ανιδιοτελή βοήθειά τους, απαρτίζοντας το πιο γερό στήριγμά μου όλα αυτά τα χρόνια, στους οποίους οφείλω το μεγαλύτερο μερίδιο του τι είμαι σήμερα.

## Περίληψη

Το φαινόμενο της ωκεάνιας ανάβλυσης είναι η διαδικασία κατά την οποία το ψυχρό νερό προερχόμενο από τα βάθη των ωκεανών, ανέρχεται στην επιφάνεια μαζί με πληθώρα θρεπτικών ουσιών οι οποίες αποτελούν τροφή για φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς. Αυτό το δροσερό νερό αντικαθιστά το θερμότερο επιφανειακό στρώμα νερού, παρέχοντας στο φυτοπλαγκτόν την απαιτούμενη τροφή που χρειάζεται ώστε να παράγει την ενέργεια που θα αποδοθεί εν συνεχεία στην υπόλοιπη αλυσίδα θαλάσσιας ζωής. Οι περιοχές ανάβλυσης χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα πρωτογενούς παραγωγικότητας, καθιστώντας τες ισχυρά συστήματα αλιείας παγκοσμίως. Το φαινόμενο οφείλεται σε τρεις ισχυρούς παράγοντες (δυνάμεις Coriolis, άνεμοι, φαινόμενο μεταφοράς Ekman), ενώ συνδέεται αναντίρρητα με τρεις συνιστώσες: υψηλή συγκέντρωση χλωροφύλλης-α, χαμηλή θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας και πνέοντες άνεμοι παράλληλοι στην ακτή, οι οποίες μπορούν εύκολα να ανιχνευτούν με μεθόδους και τεχνικές της τηλεπισκόπησης. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το φαινόμενο της παράκτιας ωκεάνιας ανάβλυσης στις ακτές της Χιλής (Νότια Αμερική) και στις ακτές της Μπενγκουέλα (Νότια Αφρική) όπου το φαινόμενο παρουσιάζεται εποχιακά και όλο το χρόνο, αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα Landsat TM, Landsat 8, Sentinel 2 και Sentinel 3 για την παραγωγή χαρτών χλωροφύλλης και θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας. Δεδομένα Sentinel 3 χρησιμοποιήθηκαν εξαιτίας του ότι ο συγκεκριμένος δορυφόρος σκοπεύει να αντικαταστήσει τις παλιότερες αποστολές για τη μελέτη ωκεανών τα επρχόμενα χρόνια. Μελετήθηκαν τα έτη 2005-2016 μέσω δεδομένων Landsat, καθώς και η χρονιά 2017 μέσω δεδομένων Sentinel. Για την παραγωγή των χαρτών χλωροφύλλης –α μέσω δεδομένων Landsat, χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι ειδικά σχεδιασμένοι για τα δεδομένα αυτά, οι οποίοι στηρίζονται κυρίως σε επί τόπιες μετρήσεις. Για δεδομένα Sentinel, η εξαγωγή χλωροφύλλης έγινε με τη βοήθεια συγκεκριμένων δεικτών χλωροφύλλης-α οι οποίοι βρέθηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία. Η παραγωγή χαρτών θερμοκρασιών βασίστηκε στα θερμικά κανάλια των Landsat TM και Landsat 8 και στις χαρακτηριστικές εξισώσεις των Planck και Weng. Επιπροσθέτως κάναμε χρήση δεδομένων ανέμου από τα παγκόσμια προϊόντα της NASA και της NOAA ώστε να μελετηθεί και η συνιστώσα του ανέμου. Όλα τα παραχθέντα αποτελέσματα ελέγχθηκαν με τα προϊόντα της NASA που χρησιμοποιούν μέσες τιμές δεδομένων MODIS ανά 5 ημέρες. Ακολούθησε η επισήμανση παρατηρήσεων επί των εξαχθέντων αποτελεσμάτων (όπως η συσχέτιση του φαινομένου της ανάβλυσης με το φαινόμενο El Niño), η εξαγωγή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων και εξισώσεων ανά μήνα για όλα τα υπό μελέτη έτη, η σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις δυο υπό μελέτη περιοχές και καταληκτικά η εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων για περαιτέρω μελέτη και έρευνα του φαινομένου της ωκεάνιας ανάβλυσης.

**Λέξεις – κλειδιά:** ανάβλυση, ψυχρό νερό, θρεπτικά συστατικά, φυτοπλαγκτόν, παράκτια ανάβλυση, χλωροφύλλη-α, θερμοκρασία επιφάνεια θάλασσας, άνεμοι, Landsat TM, Landsat 8, Sentinel 2, Sentinel 3, αλγόριθμοι χλωροφύλλης, εξίσωση Planck, δείκτης χλωροφύλλης, El Niño



## Abstract

The «ocean upwelling» phenomenon is the process by which cold water deriving from the depths of the oceans, reaches the surface along with plenty of nutrients that feed on phytoplankton organisms. This cool water replaces the warmer surface layer of water, providing phytoplankton with the food it needs to produce the energy that will then be attributed to the rest of the marine life chain. The phenomenon is due to three powerful factors (Coriolis forces, winds, Ekman transport phenomenon) and is indisputably linked to three components: a high chlorophyll-a concentration, a Low Sea Surface Temperature and wind blowing parallel to the shore. These three components can be easily detected from the point of view of remote sensing. In this study, the phenomenon of the ocean coastal upwelling has been studied for the coasts of Chile (South America) and the coasts of Benguela (South Africa) where the phenomenon is seasonally and year-round, respectively. Landsat TM, Landsat 8, Sentinel 2 and Sentinel 3 data were used to produce chlorophyll and sea surface temperature maps. Sentinel 3 data were used once this satellite will replace previous satellite missions for ocean studies the upcoming years. Both regions were studied for the years 2005-2016 based on Landsat data, while the year 2017 was studied based on Sentinel data. For the case of Landsat data, we used algorithms based on in-situ data of each region, but designed exactly for Landsat missions. For Sentinel data the chl-a extraction was based on chlorophyll indices, attributing water processing through the specific Sentinel wavelengths. Temperature maps production was based on Landsat thermal channels as well as Planck's and Weng's characteristic equations. In addition, we used wind data from NASA and NOAA world products to study the wind component, as well. All produced results were compared with NASA global products which use MODIS data with the average of 5 days. Moreover, we mentioned any remarkable observation based on the results (such as the correlation between upwelling and El Niño phenomenon), we created aggregate diagrams and equations per month for all studied years and we compared the results for the two studied areas. Finally we conducted conclusions and we highlighted future work regarding remote sensing investigations for the ocean upwelling phenomenon.

**Key words:** ocean upwelling, cold water, nutrients, phytoplankton, coastal upwelling, chlorophyll-a, Sea Surface Temperature, winds, Landsat TM, Landsat 8, *Sentinel 2*, *Sentinel 3*, chl-a algorithms, chl-a indices, Planck equation, El Niño

## Περιεχόμενα

Λίστα εικόνων.....	12
Λίστα πινάκων .....	13
Λίστα διαγραμμάτων .....	15
Σύνοψη κεφαλαίων.....	18
Συνοτομογραφίες .....	20
1.Το φαινόμενο «Upwelling» .....	22
1.1 Ενίσχυση πρωτογενούς παραγωγικότητας περιοχών άμβλυσης.....	23
1.2 Μηχανισμοί ανάβλυσης .....	24
1.3 Ekman μεταφορά και δυνάμεις Coriolis.....	24
1.4 Είδη ανάβλυσης .....	26
1.4.1 Παράκτια ανάβλυση .....	26
1.4.2 Ανάβλυση στον ισημερινό .....	27
1.5 Ανίχνευση του φαινομένου με τηλεπισκοπικές μεθόδους και τεχνικές.....	28
1.5.1 Χαμηλή θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (Sea Surface Temperature - SST) .....	28
1.5.2 Δυνατοί άνεμοι.....	29
1.5.3 Μεγάλες συγκεντρώσεις φυτοπλαγκτόν .....	29
1.5.4 Δείκτης ανάβλυσης UI.....	29
2.Οι περιοχές μελέτης.....	30
2.1 Η περιοχή της Χιλής.....	30
2.2 Η περιοχή της Μπενγκουέλα .....	32
3.Θεωρητικό υπόβαθρο .....	37
3.1 Δορυφόροι Landsat TM και Landsat 8.....	37
3.1.1 Landsat Thematic Mapper (TM) .....	37
3.1.2 Landsat 8 .....	38
3.2 Δορυφόροι Sentinel 2 και Sentinel 3.....	40
3.2.1 Sentinel 2.....	40
3.2.2 Sentinel 3.....	43
3.3 Συγκέντρωση χλωροφύλλης-α.....	44
3.4 Τηλεανίχνευση χρώματος ωκεανού(ocean color remote sensing).....	45
3.5Μέθοδοι μέτρησης χλωροφύλλης .....	48

3.5.1 Μέτρηση συγκέντρωσης chlorophyll-a για δεδομένα Landsat 7 ETM+ .....	48
3.5.2 Μέτρηση συγκέντρωσης chlorophyll-a για δεδομένα Landsat 8 (OLI,TIRS) και LANDSAT TM .....	50
3.5.3 Μέτρηση συγκέντρωσης chlorophyll-a για δεδομένα MODIS .....	52
3.5.4 Μέτρηση χλωροφύλλης για δεδομένα Sentinel .....	54
4.Μεθοδολογία για τη Χιλή.....	57
4.1 Άντληση εικόνων Landsat TM και Landsat 8.....	57
4.2 Εξαγωγή χλωροφύλλης-α(chl-a) για δεδομένα Landsat TM.....	59
4.3 Εξαγωγή χλωροφύλλης-α(chl-a) για δεδομένα Landsat 8 .....	60
4.3.1 Υπολογισμός τιμών Rrs .....	62
4.3.2 Επεξεργασία στο περιβάλλον QGIS .....	63
4.4 Χάρτες χλωροφύλλης-α από εικόνες Landsat TM.....	69
4.5 Χάρτες Chlorophyll-a από δεδομένα Landsat 8 .....	85
4.6 Υπολογισμός θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας (SST) .....	97
4.6.1 Επεξεργασία στο περιβάλλον QGIS .....	97
4.7 Δεδομένα ανέμου .....	131
4.8 Επεξεργασία με δεδομένα Sentinel .....	140
4.8.1 Επεξεργασία δεδομένων Sentinel 3 .....	140
4.8.2 Επεξεργασία με δεδομένα Sentinel 2.....	153
5.Επεξεργασία φαινομένου στην Μπενγκουέλα .....	166
5.1 Άντληση εικόνων .....	166
5.2 Δεδομένα χλωροφύλλης-α .....	168
5.3 Δεδομένα θερμοκρασίας.....	172
5.4 Δεδομένα ανέμου .....	175
6.Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα.....	179
6.1 Παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων.....	180
6.1.1 Παρατηρήσεις για τη Χιλή.....	180
6.1.2 Παρατηρήσεις για την Μπενγκουέλα.....	182
6.2 Αποτελέσματα chl-a .....	182
6.2.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη Χιλή .....	182
6.2.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη Μπενγκουέλα .....	187
6.3 Αποτελέσματα SST.....	197
6.3.1 Αποτελέσματα για τη Χιλή .....	197
6.3.2 Αποτελέσματα για τη Μπενγκουέλα (2016) .....	202

6.4 Αποτελέσματα ανέμων .....	205
6.4.1 Χιλή .....	205
6.4.2 Μπενγκουέλα .....	207
6.5 Συμπεράσματα .....	207
6.5.1 Συμπεράσματα περί του φαινομένου upwelling .....	207
6.5.2 Αξιολόγηση των δορυφορικών δεδομένων .....	209
6.5.3 Αξιολόγηση των χρησιμοποιηθέντων αλγορίθμων, δεικτών και εξισώσεων .....	210
6.5.4 Προοπτικές για περαιτέρω μελέτη του φαινομένου .....	212
Βιβλιογραφία.....	213

## Λίστα εικόνων

Εικόνα 1: Άνεμοι σπρώχνουν το επιφανειακό νερό μακριά από την ακτή, και το βαθύτερο νερό αναδύεται για να καλύψει το κενό.....	22
Εικόνα 2: Το βαθύτερο, ψυχρό και πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά νερό των ωκεανών, ανέρχεται και αντικαθιστά το θερμότερο νερό της επιφάνειας . .....	23
Εικόνα 3: Τα διανύσματα που συνδράμουν στο φαινόμενο.....	24
Εικόνα 4: Το φαινόμενο της μεταφοράς Ekman.....	25
Εικόνα 5: Σπιράλ Ekman κατά τη στήλη νερού.....	25
Εικόνα 6: Το φαινόμενο της παράκτιας ανάβλυσης (coastal upwelling).....	26
Εικόνα 7: Οι σημαντικότερες περιοχές ανάβλυσης.....	27
Εικόνα 8: Το φαινόμενο της ανάβλυσης στον ισημερινό.....	28
Εικόνα 9: Περιοχή μελέτης Χιλή .....	31
Εικόνα 10 (α) Περιοχή μελέτης, (β) χάρτης βαθών με αναγραφόμενες τις χερσονήσους, τα ποτάμια και τα νησιά . Η άσπρη διακεκομμένη γραμμή αναπαριστά τα όρια της upwelling περιοχής, σε απόσταση 100 χλμ από την ακτή (b) .....	31
Εικόνα 11: Η πόλη της Benguela στην Αγκόλα, Νότια Αφρική.....	33
Εικόνα 12: Πολυφασματική εικόνα SeaWIFS, έτους 1997, απεικονιζόμενη τη θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας (SST) στην ευρύτερη περιοχή μελέτης . Με κόκκινο είναι οι ψυχρές θερμοκρασίες και με μπλε οι θερμές . .....	34

Εικόνα 13:Με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζεται το θερμό ρεύμα της <i>Agulha</i> κατά μήκος της ανατολικής ακτής ,ενώ με μπλε το ψυχρό ρεύμα της <i>Benguela</i> κατά μήκος της δυτική ακτής	35
Εικόνα 14:Θερμοκρασία επιφάνειας νερού στις 3/2/2008	35
Εικόνα 15:Παγκόσμιο προϊόν χλωροφύλλης για την περιοχή της Μπενγκουέλας,2003	36
Εικόνα 16: <i>Landsat 5</i>	37
Εικόνα 17: <i>Landsat 8</i>	39
Εικόνα 18: <i>Sentinel 2</i>	41
<b>Εικόνα 19:</b> Οι ακτινοβολίες <i>Lp,Ls,Lv</i> και <i>Lv</i>	47
Εικόνα 20:Χάρτης γεωγραφικών συντεταγμένων Χιλής	57
Εικόνα 21:Απεικόνιση των ακτίνων φωτός που συνδράμουν στην ανακλαστικότητα τηλεπισκόπησης, ή <i>remote-sensing reflectance Rrs</i> .	63
Εικόνα 22:Αρχείο μορφής .txt που συνόδευε την κάθε εικόνα	64
Εικόνα 23:Στιγμιότυπο εργασίας στο <i>QGIS</i> :Με πράσινο χρώμα απεικονίζεται το πολύγωνο-μάσκα, που καταλαμβάνει τη θάλασσα πλην των σύννεφων .Η μάσκα πρόκειται να εφαρμοστεί πάνω στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα του καναλιού <i>OLI3</i> .	66
Εικόνα 24: Στιγμιότυπα από την ατμοσφαιρική διόρθωση στο <i>i.atcorr</i> -εισαγωγή παραμέτρων	66
Εικόνα 25:Στιγμιότυπα από την ατμοσφαιρική διόρθωση στο <i>i.atcorr</i> -Τρέξιμο <i>6S</i> αλγορίθμου	67
Εικόνα 26:Αριστερά : Περιοχή 1 στη Χιλή , όπως οριοθετήθηκε στο προϊόν της <i>NASA</i> Δεξιά : Περιοχή 1 στη Χιλή , όπως απεικονίζεται στις εικόνες	69
Εικόνα 27:Αριστερά : Περιοχή 2 στη Χιλή , όπως οριοθετήθηκε στο προϊόν της <i>NASA</i> Δεξιά : Περιοχή 2 στη Χιλή , όπως απεικονίζεται στις εικόνες	70
Εικόνα 28:Εργαλείο « <i>statistics for rasters</i> » στο περιβάλλον <i>QGIS</i>	118
Εικόνα 29:Έκφραση στο <i>SNAP</i> για μασκάρισμα στεριάς, υδάτινων στοιχείων εντός στεριάς και σύννεφων	141
Εικόνα 30:Στιγμιότυπο από τη δημιουργία φίλτρου <i>11*11</i> στην πλατφόρμα <i>SNAP</i>	154
Εικόνα 31:Δεύτερη περιοχή μελέτης, <i>Μπενγκουέλα</i>	167
Εικόνα 32:Στιγμιότυπο περιοχής μελέτης από το προϊόν της <i>NASA</i> ,για το Νοέμβριο του 2015	180
Εικόνα 33: Μέση τιμή ανωμαλίας <i>SST</i> για το 2015, μήνες Οκτώβρης και Νοέμβριος	181
Εικόνα 34:Σχηματική απεικόνιση της μετακίνησης των ζεστών ρευμάτων προς τη Νότια Αμερική	182

## Λίστα πινάκων

Πίνακας 1: Φασματικά κανάλια του <i>Landsat TM (Thematic Mapper)</i>	38
Πίνακας 2:Φασματικά κανάλια <i>Landsat 8 (OLI, TIRS)</i>	40
Πίνακας 3: <i>Sentinel 2 spatial resolution and bands (ESA)</i>	41
Πίνακας 4:Πίνακας καναλιών του αισθητήρα <i>OLCI</i> , μαζί με τα χαρακτηριστικά του κάθε καναλιού	44
Πίνακας 5: Κανάλια <i>MODIS</i>	53

Πίνακας 6: Πίνακας ημερομηνιών λήψης για τη Χιλή.....	59
Πίνακας 7: Τιμές σταθερών για τον αλγόριθμο OC3 .....	61
Πίνακας 8: Αλγόριθμοι chl-a για τον Landsat 8 OLI .....	62
Πίνακας 9: Παράμετροι i.atcorr στο περιβάλλον QGIS.....	64
Πίνακας 10: Γεωδαιτικές συντεταγμένες WGS84 περιοχής 1 .....	70
Πίνακας 11: Γεωδαιτικές συντεταγμένες WGS84 περιοχής 2 .....	70
Πίνακας 12: Chl-a για το 2005 .....	72
Πίνακας 13: Chl-a για το 2006 .....	75
Πίνακας 14: Chl-a για το 2007 .....	77
Πίνακας 15: Chl-a για το 2008 .....	79
Πίνακας 16: Chl-a για το 2009 .....	81
Πίνακας 17: Chl-a για το 2010 .....	83
Πίνακας 18: Chl-a για το 2011 .....	85
Πίνακας 19: Chl-a για το 2013 .....	88
Πίνακας 20: Chl-a για το 2014 .....	91
Πίνακας 21: Chl-a για το 2015 .....	94
Πίνακας 22: Chl-a για το 2016 .....	96
Πίνακας 23: Πίνακας τιμών σταθερών K1, K2 για εικόνες Landsat 5 TM .....	99
Πίνακας 24: Πίνακας τιμών συντελεστών εκπομπής e για διάφορες κατηγορίες επιφάνειας εδάφους .....	100
Πίνακας 25: SST για το 2005 .....	102
Πίνακας 26: SST για το 2006 .....	105
Πίνακας 27: Chl-a για το 2007 .....	107
Πίνακας 28: SST για το 2008 .....	109
Πίνακας 29: SST για το 2009 .....	111
Πίνακας 30: SST για το 2010 .....	113
Πίνακας 31: SST για το 2011 .....	115
Πίνακας 32: Πίνακας με τις τιμές των κεντρικών μήκων κύματος για τα κανάλια 10 και 11 του TIRS.....	117
Πίνακας 33: SST για το 2013 .....	122
Πίνακας 34: SST για το 2014 .....	125
Πίνακας 35: SST για το 2015 .....	128
Πίνακας 36: SST για το 2016 .....	130
Πίνακας 37: Δεδομένα έτους 2005 .....	131
Πίνακας 38: Δεδομένα έτους 2006 .....	132
Πίνακας 39: Δεδομένα έτους 2007 .....	132
Πίνακας 40: Δεδομένα έτους 2008 .....	133
Πίνακας 41: Δεδομένα έτους 2009 .....	133
Πίνακας 42: Δεδομένα έτους 2010 .....	134
Πίνακας 43: Τιμές των rixel που ελήφθησαν δειγματοληπτικά από τις 3 περιοχές της εικόνας .....	146
Πίνακας 44: Τιμές των rixel που ελήφθησαν δειγματοληπτικά από τις 3 περιοχές της εικόνας .....	147
Πίνακας 45: Τιμές των rixel που ελήφθησαν δειγματοληπτικά από τις 3 περιοχές της εικόνας .....	148

Πίνακας 46: Τιμές των <i>rixel</i> που ελήφθησαν δειγματοληπτικά από τις 3 περιοχές της εικόνας .....	150
Πίνακας 47: Τιμές <i>FLH/MCI, chl-a</i> για τα 15 επιλεγμένα <i>rixel</i> (31/01/2017) .....	151
Πίνακας 48: Τιμές <i>FLH/MCI</i> και <i>chl-a</i> (από το προϊόν της NASA) για τις 6/03/2017 .....	152
Πίνακας 49: Τιμές <i>MCI</i> και <i>chl-a</i> για καθένα από τα 15 <i>rixel</i> .....	157
Πίνακας 50: Τιμές <i>MCI, chl-a</i> για καθένα από τα 15 <i>rixel</i> .....	160
Πίνακας 51: Τιμές <i>NDCI/Chl-a</i> για καθένα από τα 15 <i>rixel</i> (18/02/2017) .....	163
Πίνακας 52: Πίνακας γεωδαιτικών συντεταγμένων φ,λ στο WGS84 για τη περιοχή της Μπενγκουέλα .....	168
Πίνακας 53: Συγκεντρωτικές τιμές <i>chl-a</i> για τη Χιλή, 2005-2016 .....	183
Πίνακας 54: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών <i>chl-a</i> της NASA για τα έτη 2005-2016 .....	183
Πίνακας 55: Συγκεντρωτικός πίνακας <i>chl-a</i> για τη Μπενγκουέλα για το 2016.....	188
Πίνακας 56: Δεδομένα για το 2015 (NASA product).....	191
Πίνακας 57: Δεδομένα για το 2014(NASA product).....	191
Πίνακας 58: Δεδομένα για το 2013(NASA product).....	192
Πίνακας 59: Δεδομένα για το 2011 (NASA product).....	192
Πίνακας 60: Δεδομένα για το 2010(NASA product).....	193
Πίνακας 61: Δεδομένα για το 2009(NASA product).....	193
Πίνακας 62: Δεδομένα για το 2008 (NASA product).....	194
Πίνακας 63: Δεδομένα για το 2007(NASA product).....	194
Πίνακας 64: Δεδομένα για το 2006(NASA product).....	195
Πίνακας 65: Δεδομένα για το 2005(NASA product).....	195
Πίνακας 66: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων τιμών χλωροφύλλης για τη Μπενγκουέλα.....	196
Πίνακας 67: Πίνακας μέσω τιμών <i>SST</i> για τη Χιλή .....	198
Πίνακας 68: Συγκεντρωτικοί πίνακες τιμών <i>SST</i> της NASA για τη Χιλή.....	199
Πίνακας 69: Πίνακας τιμών <i>SST</i> για τη Μπενγκουέλα(2016) .....	202
Πίνακας 70: Πίνακας τιμών εντάσεως ανέμου για τη Χιλή ,ανά μήνα .....	206
Πίνακας 71: Πίνακας χρησιμοποιηθέντων αλγορίθμων <i>chl-a</i> .....	210
Πίνακας 72: Πίνακας χρησιμοποιηθέντων εξισώσεων <i>SST</i> .....	211

## Λίστα διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Απορρόφηση νερού στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	48
Διάγραμμα 2: Φασματικές υπογραφές νερού και βλάστησης .....	48
Διάγραμμα 3: Φασματική υπογραφή της (υγιούς) βλάστησης.....	49
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό <i>chl-a</i> μέσω του αλγορίθμου OC3 για $chl < 3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ .....	68

Διάγραμμα 5:Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό chl-a μέσω του αλγορίθμου NDWI για $chl > 3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ .....	68
Διάγραμμα 6:Chl-a για το 2005 .....	72
Διάγραμμα 7:Chl-a για το 2006 .....	75
Διάγραμμα 8:Chl-a για το 2007 .....	77
Διάγραμμα 9:Chl-a για το 2008 .....	79
Διάγραμμα 10:Chl-a για το 2009 .....	81
Διάγραμμα 11:Chl-a για το 2010 .....	83
Διάγραμμα 12:Chl-a για το 2011 .....	85
Διάγραμμα 13: <b>Chl-a για το 2013</b> .....	88
Διάγραμμα 14:Chl-a για το 2014 .....	91
Διάγραμμα 15:Chl-a για το 2015 .....	94
Διάγραμμα 16:Chl-a για το 2016 .....	96
Διάγραμμα 17:Διάγραμμα ροής εργασιών στο QGIS για την εξαγωγή SST –Δεδομένα Landsat TM .....	100
Διάγραμμα 18:SST για το 2005 .....	102
Διάγραμμα 19:SST για το 2006 .....	105
Διάγραμμα 20:SST για το 2007 .....	107
Διάγραμμα 21:SST για το 2008 .....	109
Διάγραμμα 22:SST για το 2009 .....	111
Διάγραμμα 23:SST για το 2010 .....	113
Διάγραμμα 24:SST για το 2011 .....	115
Διάγραμμα 25:Διάγραμμα ροής εργασιών στο QGIS για την εξαγωγή SST –Δεδομένα Landsat 8 .....	119
Διάγραμμα 26:SST για το 2013 .....	122
Διάγραμμα 27:SST για το 2014 .....	125
Διάγραμμα 28:SST για το 2015 .....	128
Διάγραμμα 29:SST για το 2016 .....	130
Διάγραμμα 30:Δεδομένα έτους 2005 .....	132
Διάγραμμα 31:Δεδομένα έτους 2006 .....	132
Διάγραμμα 32:Δεδομένα έτους 2007 .....	133
Διάγραμμα 33:Δεδομένα έτους 2008 .....	133
Διάγραμμα 34:Δεδομένα έτους 2009 .....	134
Διάγραμμα 35:Δεδομένα έτους 2010 .....	134
Διάγραμμα 36:Διάγραμμα τιμών δείκτη MCI για όλα τα pixel ,για τις 31/01/2017.....	146
Διάγραμμα 37:Διάγραμμα τιμών δείκτη MCI για όλα τα pixel ,για τις 06/03/2017.....	147
Διάγραμμα 38:Διάγραμμα τιμών δείκτη MCI για όλα τα pixel ,για τις 22/04/2017.....	149
Διάγραμμα 39:Διάγραμμα τιμών δείκτη MCI για όλα τα pixel ,για τις 19/05/2017.....	150
Διάγραμμα 40: Παλινδρόμηση τιμών FLH/MCI και chl-a (από το παγκόσμιο προϊόν της NASA) για τις 31/01/2017 .....	151
Διάγραμμα 41: Παλινδρόμηση τιμών FLH/MCI και chl-a για τις 6/3/2017.....	152
Διάγραμμα 42:Παλινδρόμηση για την περιοχή 1 .....	158
Διάγραμμα 43:Παλινδρόμηση για την περιοχή 2 .....	158
Διάγραμμα 44:Διάγραμμα MCI (18/02/2017) .....	159
Διάγραμμα 45: Παλινδρόμηση για την περιοχή 1 .....	160



Διάγραμμα 46: Παλινδρόμηση για τη 2 <sup>η</sup> περιοχή.....	161
Διάγραμμα 47: Διάγραμμα MCI(22/04/2017).....	161
Διάγραμμα 48: Παλινδρομήσεις ανά περιοχή .....	164
Διάγραμμα 49: Ραβδόγραμμα ελαχίστων τιμών .....	184
Διάγραμμα 50: Ραβδόγραμμα μεγίστων τιμών.....	184
Διάγραμμα 51: Τιμές chl-a από Ιανουάριο –Δεκέμβριο που προέκυψαν από τις δικές μας επεξεργασίες .....	185
Διάγραμμα 52: Τιμές chl-a από Οκτώβρη –Σεπτέμβρη που προέκυψαν από τις δικές μας επεξεργασίες .....	186
Διάγραμμα 53: Τιμές chl-a από Οκτώβρη – Σεπτέμβρη που αντιστοιχούν στη NASA.....	186
Διάγραμμα 54: Συγκεντρωτικό διάγραμμα .....	187
Διάγραμμα 55 : Τιμές chl-a από Φλεβάρη –Δεκέμβρη που προέκυψαν από τις δικές μας επεξεργασίες(2016) .....	188
Διάγραμμα 56: Τιμές chl-a από Φλεβάρη-Δεκέμβρη που αντιστοιχούν στη NASA(2016) ...	189
Διάγραμμα 57: Αραχνοειδές διάγραμμα ελαχίστων τιμών chl-a(2016).....	190
Διάγραμμα 58: Αραχνοειδές διάγραμμα μεγίστων τιμών chl-a(2016).....	190
Διάγραμμα 59: Διάγραμμα τιμών chl-a για όλα τα έτη 2005-2016.....	196
Διάγραμμα 60: Συγκεντρωτικό διάγραμμα Benguela-Chile.....	197
Διάγραμμα 61: Καμπύλες SST .....	199
Διάγραμμα 62: Καμπύλες SST δεδομένων NASA.....	199
Διάγραμμα 63: Ραβδόγραμμα ελαχίστων τιμών .....	200
Διάγραμμα 64: Ραβδόγραμμα μεγίστων τιμών.....	201
Διάγραμμα 65: Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεγίστων και ελαχίστων SST για τη Χιλή.....	202
Διάγραμμα 66: Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεγίστων και ελαχίστων για τη Μπενγκουέλα(2016) .....	203
Διάγραμμα 67: Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεγίστων και ελαχίστων από δεδομένα της NASA(2016).....	203
Διάγραμμα 68: Αραχνοειδές διαγράμματα ελαχίστων(min) .....	204
Διάγραμμα 69: Αραχνοειδές διάγραμμα μεγίστων (max) .....	204
Διάγραμμα 70: Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεγίστων και ελαχίστων SST για τη Μπενγκουέλα .....	205
Διάγραμμα 71: Διάγραμμα τιμών εντάσεως ανέμου για τη Χιλή .....	206

## Σύνοψη κεφαλαίων

Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο του υπό μελέτη φαινομένου της ωκεάνιας ανάβλυσης (coastal upwelling) σχετικά με τη φύση του φαινομένου, τις δυνάμεις που το προκαλούν, καθώς επίσης και τις συνιστώσες του οι οποίες αποτέλεσαν το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** αποτελεί μια περιγραφή των δύο περιοχών μελέτης: της Χιλής (Νότια Αμερική) και της Μπενγκουέλα (Νότια Αφρική). Περιγράφεται το πώς παρουσιάζεται το φαινόμενο στις δύο αυτές περιοχές μιας και στην περίπτωση της Χιλής είναι εποχιακό, ενώ στην περίπτωση της Μπενγκουέλα βρίσκεται σε έξαρση όλο το χρόνο.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται συνοπτικά οι δορυφόροι των οποίων δεδομένα χρησιμοποιήσαμε: Landsat 4-5 TM, Landsat 8, Sentinel 2 και Sentinel 3. Αναφέρεται η μορφή των δεδομένων τους, η χωρική και ραδιομετρική τους ανάλυση καθώς και πληροφορίες γενικότερες όσον αφορά τους δορυφόρους αλλά και τους αισθητήρες των οποίων δεδομένα επεξεργαστήκαμε (OLI, TIRS, MSI, OLCI). Επίσης γίνεται μια θεωρητική αναφορά των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή δεδομένων χλωροφύλλης κυρίως από δεδομένα MODIS, SeaWiFS και Landsat ETM+, αλλά και των δεικτών για δεδομένα Sentinel. Επιπρόσθετα αναφέρονται κάποιοι βασικοί λόγοι καναλιών για την εκτίμηση της χλωροφύλλης –α.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** αναφέρεται στην επεξεργασία του φαινομένου της ωκεάνιας ανάβλυσης για τη Χιλή. Αναλύεται η μεθοδολογία άντλησης εικόνων, η όλη επεξεργασία στο QuantumGIS, οι χρησιμοποιηθέντες αλγόριθμοι και εξισώσεις για την εξαγωγή χαρτών χλωροφύλλης-α (chl-a) και θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας (SST) από τα δεδομένα Landsat, και παρατίθενται οι χάρτες που κατασκευάστηκαν. Παρατίθεται επιπροσθέτως και ξεχωριστό εδάφιο για την εξαγωγή δεικτών ανίχνευσης χλωροφύλλης από δεδομένα Sentinel σε περιβάλλον SNAP. Γίνεται τέλος, παρουσίαση των δεδομένων ανέμου τόσο για το μέτρο εντάσεώς τους όσο και για τα διανύσματά τους τις συγκεκριμένες ημερομηνίες λήψης που μελετήσαμε.

Το **πέμπτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την επεξεργασία για τη δεύτερη περιοχή μελέτης (Μπενγκουέλα). Αναλύεται ομοίως η διαδικασία άντλησης εικόνων, η επεξεργασία στο QGIS, η εξαγωγή τιμών chl-a, SST και δεδομένων ανέμων.

Το **έκτο** και τελευταίο **κεφάλαιο** συνοψίζει όλα τα παραπάνω, και εξάγει σημαντικά συμπεράσματα που αφορούν το φαινόμενο της ωκεάνιας ανάβλυσης, τόσο στην εποχιακή του διάσταση, όσο και στην περίπτωση που παρατηρείται όλο το χρόνο. Επισημαίνονται παρατηρήσεις που προέκυψαν κατά τη διάρκεια επεξεργασίας των δεδομένων, παρατίθενται συγκεντρωτικά διαγράμματα και εξισώσεις που εξήχθησαν από τα αποτελέσματα της εργασίας, γίνεται η σύγκριση των δυο υπό μελέτη περιοχών και επισημαίνονται κάποια σημαντικά συμπεράσματα που αφορούν τους χρησιμοποιηθέντες

δορυφόρους, τους αλγορίθμους, εξισώσεις και δείκτες που εφαρμόστηκαν, καθώς επίσης και προτάσεις για μελλοντική επεξεργασία και έρευνα του φαινομένου της ανάβλυσης.

## Συντομογραφίες

**chl-a** χλωροφύλλη-α

**NASA** National Aeronautics and Space Administration

**ESA** European Space Agency

**Rrs** Remote Sensing Reflectance

**OLI** Landsat 8 Operational Land Imager

**TIRS** Landsat 8 Thermal Infrared Sensor

**OLI1** Κανάλι 1 του αισθητήρα OLI που φέρει ο δορυφόρος Landsat 8

**OLI2** Κανάλι 2 του αισθητήρα OLI που φέρει ο δορυφόρος Landsat 8

**OLI3** Κανάλι 3 του αισθητήρα OLI που φέρει ο δορυφόρος Landsat 8

**SST** Sea surface temperature

**TM** Landsat Thematic Mapper

**TM6** Κανάλι 6 του θεματικού χαρτογράφου

**TIRS10** Κανάλι 10 που φέρει ο θερμικός υπέρυθρος αισθητήρας του Landsat 8

**TIRS11** Κανάλι 11 που φέρει ο θερμικός υπέρυθρος αισθητήρας του Landsat 8

**NOAA** National Oceanic and Atmospheric Administration

**CUZ** Coastal Upwelling Zone

**CTZ** Coastal Transition Zone

**NIR** Near Infrared –εγγύς υπέρυθρο

**SWIR** Short Wave Infrared- μέσο υπέρυθρο

**TIR** Thermal Infrared –θερμικό υπέρυθρο

**S2** Δορυφόρος Sentinel 2

**S3** Δορυφόρος Sentinel 3

**MSI** Multi spectral Instrument –αισθητήρας του Sentinel 2

**OLCI** Ocean and Land Color Instrument-αισθητήρας του Sentinel 3

**TOA** Top Of the Atmosphere, αναφερόμενο στην ανακλαστικότητα

**BOA** Bottom Of the Atmosphere, αναφερόμενο στην ανακλαστικότητα

**SNAP** Sentinels Application Platform

**QGIS** Quantum GIS

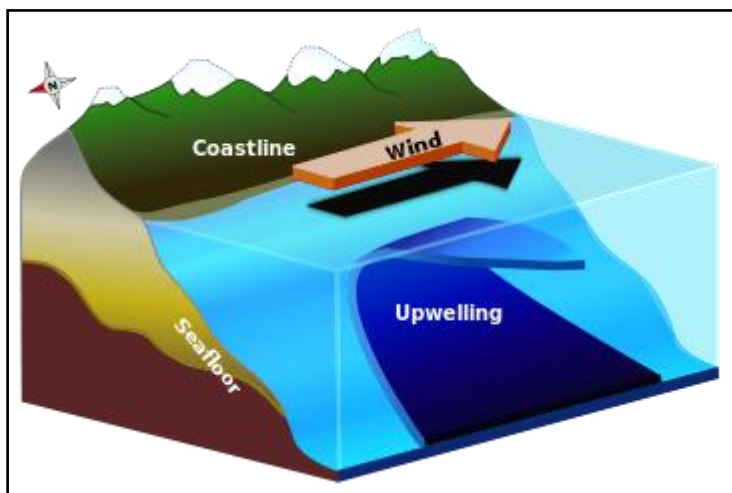
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

## 1.Το φαινόμενο «Upwelling»

Το φαινόμενο upwelling ή αλλιώς «ανάβλυση», είναι ένα ωκεανογραφικό φαινόμενο που περιλαμβάνει την προκαλούμενη από τον άνεμο κίνηση των πυκνών, ψυχρών και πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά νερών στην επιφάνεια του ωκεανού, αντικαθιστώντας έτσι τα πιο ζεστά και με λιγότερο θρεπτικά συστατικά επιφανειακά. Πιο συγκεκριμένα, τα αναβλύζοντα ύδατα οδηγούνται προς την επιφάνεια σε περιοχές με μέγεθος κλίμακας δεκάδων έως εκατοντάδων χιλιομέτρων.

Πιο συγκεκριμένα, τα ψυχρά ύδατα από τα βάθη των ωκεανών ανέρχονται στην επιφάνεια μαζί με πληθώρα θρεπτικών συστατικών σπρώχνοντας τα ζεστά μακριά από τη στεριά. Το αναδυόμενο αυτό ψυχρό νερό, διεγείρει την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή πρωτογενών παραγωγών, όπως του φυτοπλαγκτόν. Οι θρεπτικές ουσίες που μεταφέρουν μαζί τους στην επιφάνεια, δρουν σαν τροφή για το φυτοπλαγκτόν του οποίου η συγκέντρωση αυξάνεται στα νερά αυτά, το φυτοπλαγκτόν δρα σαν τροφή για το ζωοπλαγκτόν, αυτό για τα ψάρια κ.ο.κ

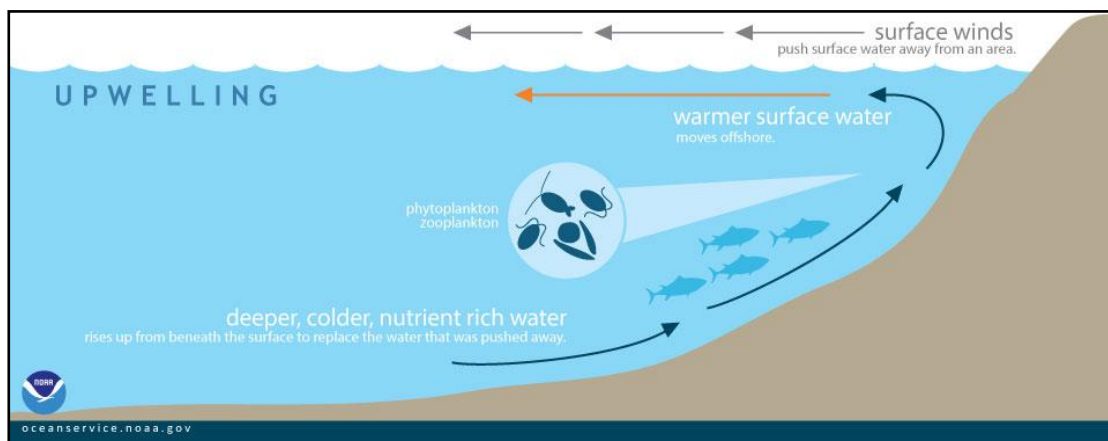


Εικόνα 1: Άνεμοι σπρώχνουν το επιφανειακό νερό μακριά από την ακτή, και το βαθύτερο νερό αναδύεται για να καλύψει το κενό.

Πηγή: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)

Λόγω της βιομάζας του φυτοπλαγκτόν, καθώς και της παρουσίας δροσερού νερού στις περιοχές ανάβλυσης (upwelling zones), αυτές μπορούν να αναγνωριστούν από την χαμηλή θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (Sea Surface Temperature (SST)) και τις υψηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης.

Μια ικανοποιητικότερη απεικόνιση του φαινομένου μας δίνει ο διεθνής ωκεανογραφικός και ατμοσφαιρικός οργανισμός (NOAA):



**Εικόνα 2:** Το βαθύτερο, ψυχρό και πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά νερό των ωκεανών, ανέρχεται και αντικαθιστά το θερμότερο νερό της επιφάνειας.

Πηγή: [oceanservice.noaa.gov](http://oceanservice.noaa.gov)

## 1.1 Ενίσχυση πρωτογενούς παραγωγικότητας περιοχών άμβλυσης

Οι περιοχές ανάβλυσης χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα πρωτογενούς παραγωγικότητας και κατά συνέπεια της αλιείας. Με τον όρο «πρωτογενής παραγωγικότητα» εννοούμε τη φωτοχημική ενέργεια ως παράγωγο του ηλιακού φωτός και της φωτοσύνθεσης, που δεσμεύεται από τα φυτά σε μορφή οργανικών ενώσεων.

Αν και γεωγραφικά περιορισμένο φαινόμενο, η αιολική επαγόμενη ανάβλυση αποτελεί μια πολύ σημαντική διαδικασία με παγκόσμιας κλίμακας ωκεανογραφική επίπτωση, με σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις στη συγκομιδή βιολογικών πόρων του ωκεανού. Με άλλα λόγια αποτελεί αναντίρρητα τη βάση της τροφικής αλυσίδας που υποστηρίζει τα υψηλότερα τροφικά επίπεδα και είναι ζωτικής σημασίας για τα θαλάσσια οικοσυστήματα.

Οι θρεπτικές ουσίες που ανέρχονται στην επιφάνεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το φυτοπλαγκτόν, και σε συνδυασμό με το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και την ενέργεια από τον ήλιο παράγονται οργανικές ενώσεις μέσω της φωτοσύνθεσης. Το φυτοπλαγκτόν με τη σειρά του χρησιμεύει ως η απόλυτη ενεργειακή βάση για τους μεγάλους πληθυσμούς ζώων οι οποίοι βρίσκονται υψηλότερα στην τροφική αλυσίδα, παρέχοντας τροφή για τα ψάρια, τα θαλάσσια θηλαστικά, τα θαλασσοπούλια και άλλα πλάσματα.

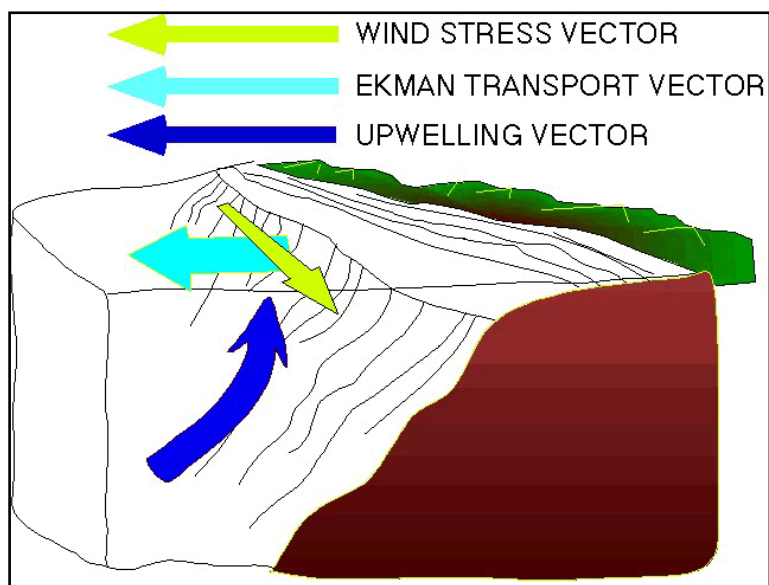
Εξαιτίας αυτού παράκτια οικοσυστήματα ανάβλυσης όπως κατά μήκος της δυτικής ακτής των ΗΠΑ, είναι μερικά από τα πιο παραγωγικά οικοσυστήματα στον κόσμο και υποστηρίζουν πολλά από τα πιο σημαντικά συστήματα αλιείας παγκοσμίως. Επίσης, αξιοσημείωτη είναι και η αλιεία σαρδέλας στα ανοικτά των ακτών του Περού και της Χιλής στη Βραζιλία. Αξίζει σε αυτό το σημείο να επισημανθεί πως παρά το γεγονός ότι οι περιοχές παράκτιας ανάβλυσης αντιπροσωπεύουν μόνο το 1% της επιφάνειας του ωκεανού, συνεισφέρουν περίπου σε ποσοστό μέχρι και 50 % των αλιευτικών εκφορτώσεων του κόσμου. Αυτός είναι και ο κυρίαρχος λόγος που αποτελεί σημαντικό φαινόμενο παγκοσμίως, το οποίο και κληθήκαμε να μελετήσουμε λόγω των ισχυρών διαστάσεων του.

Η πορεία της τροφικής αλυσίδας παρατίθεται σχηματικά ακολούθως :

Φυτοπλαγκτόν → Ζωοπλαγκτόν → Αρπακτικό ζωοπλαγκτόν → Αρπακτικά ψάρια → Θαλάσσια πτηνά ,θαλάσσια θηλαστικά

## 1.2 Μηχανισμοί ανάβλυσης

Οι τρεις βασικοί μηχανισμοί που προκαλούν το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι ο άνεμος, οι δυνάμεις Coriolis και η μεταφορά Ekman.



Εικόνα 3: Τα διανύσματα που συνδράμουν στο φαινόμενο

Πηγή: [www.pfeg.noaa.gov](http://www.pfeg.noaa.gov)

Όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα ο άνεμος πνέει παράλληλα στην ακτή (κίτρινο διάνυσμα), τα αναβλύζοντα ύδατα ανεβαίνουν προς την επιφάνεια (μπλε διάνυσμα) με αποτέλεσμα να προκύπτει μετακίνηση του επιφανειακού νερού υπό γωνία σε σχέση με τον άνεμο (γαλάζιο διάνυσμα).

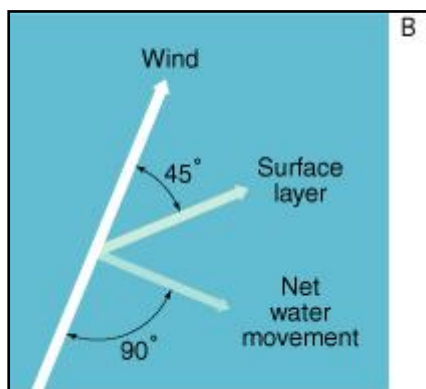
## 1.3 Ekman μεταφορά και δυνάμεις Coriolis

Η "Ekman μεταφορά" ως μέρος της θεωρίας κίνησης Ekman, ερευνήθηκε για πρώτη φορά το 1902 από Vagn Walfrid Ekman. Είναι ο όρος που δίνεται για την καθαρή μεταφορά του επιφανειακού στρώματος του υγρού (το στρώμα που επηρεάζονται από τον άνεμο) από τον αέρα, υπό γωνία  $90^\circ$ . Η θεωρία του Ekman εξηγεί τη θεωρητική κατάσταση της κυκλοφορίας, αν τα ρεύματα νερού οδηγούνταν μόνο με τη μεταφορά της ορμής από τον άνεμο. Στον φυσικό κόσμο αυτό είναι δύσκολο να παρατηρηθεί εξαιτίας των επιδράσεων πολλών ταυτόχρονων κινητήριων δυνάμεων του ρεύματος (για παράδειγμα διακυμάνσεις πίεσης και πυκνότητας). Επομένως, η γωνία των  $90$  μοιρών είναι μια θεωρητική γωνία που θα λάμβανε το νερό αν δεχόταν μόνο τη δύναμη του ανέμου, πράγμα το οποίο δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα (Πηγή:



[https://en.wikipedia.org/wiki/Ekman\\_transport](https://en.wikipedia.org/wiki/Ekman_transport)). Στη φυσική η δύναμη Coriolis είναι μια αδρανειακή δύναμη που δρα σε αντικείμενα που βρίσκονται σε κίνηση σε σχέση με ένα περιστρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς.

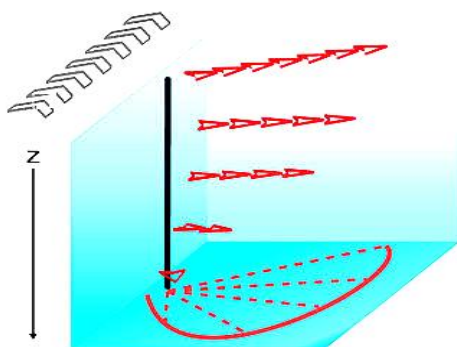
Η Ekman μεταφορά λοιπόν, σε πραγματικές συνθήκες που λαμβάνουν χώρα στη φύση, αναγκάζει το επιφανειακό στρώμα του νερού να κινηθεί σε μια γωνία  $45^\circ$  από την κατεύθυνση του ανέμου, εξαιτίας των δυνάμεων Coriolis και των δυνάμεων έλξης που παράγονται από τον άνεμο και το νερό (Vagn Walfrid Ekman, 1902).



Εικόνα 4: Το φαινόμενο της μεταφοράς Ekman

Πηγή :oceanmotion.org

Αυτό οδηγεί σε ένα φαύλο κύκλο της κίνησης του νερού κάτω από τη στήλη του νερού. Στη συνέχεια, οι δυνάμεις Coriolis υπαγορεύουν τον τρόπο με τον οποίο το νερό θα κινηθεί: στο βόρειο ημισφαίριο το νερό μεταφέρεται στα δεξιά της κατεύθυνσης του ανέμου, ενώ στο νότιο ημισφαίριο το νερό μεταφέρεται στα αριστερά του ανέμου. Επακόλουθο είναι το “spiral Ekman”: στον πυθμένα η γωνία μεταξύ ανέμου και νερού είναι ίση με  $90$  μοίρες, ενώ όσο ανεβαίνουμε προς την επιφάνεια, η γωνία μικραίνει, και ακριβώς πάνω στην επιφάνεια φτάνει τις  $45$  μοίρες. Σχηματικά το σπινάλ αυτό φαίνεται παρακάτω:



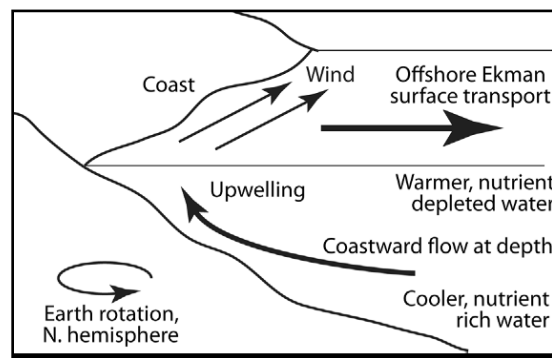
Εικόνα 5: Σπινάλ Ekman κατά τη στήλη νερού

## 1.4 Είδη ανάβλυσης

Υπάρχουν δυο είδη ανάβλυσης : η παράκτια ανάβλυση (coastal upwelling) και η ανάβλυση στον Ισημερινό (equatorial upwelling).

### 1.4.1 Παράκτια ανάβλυση

Στην παράκτια ανάβλυση ο άνεμος πνέει παράλληλα στην ακτή ή έστω μια κύρια συνιστώσα είναι παράλληλη. Η κατεύθυνσή του πρέπει να είναι τέτοια ώστε κατά τη ροή του να έχει στα αριστερά του την ακτή στο βόρειο ημισφαίριο και στα δεξιά του στο νότιο. Απόρροια είναι η μεταφορά Ekman και η εγγύτητα του φαινομένου στις ακτές εξαρτάται από τη δύναμη και την απόσταση του ανέμου. Αποτελεί το πιο διαδεδομένο είδος ανάβλυσης λόγω της καθοριστικής σημασίας του στις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως αυτή της αλιείας.



Εικόνα 6: Το φαινόμενο της παράκτιας ανάβλυσης (coastal upwelling)

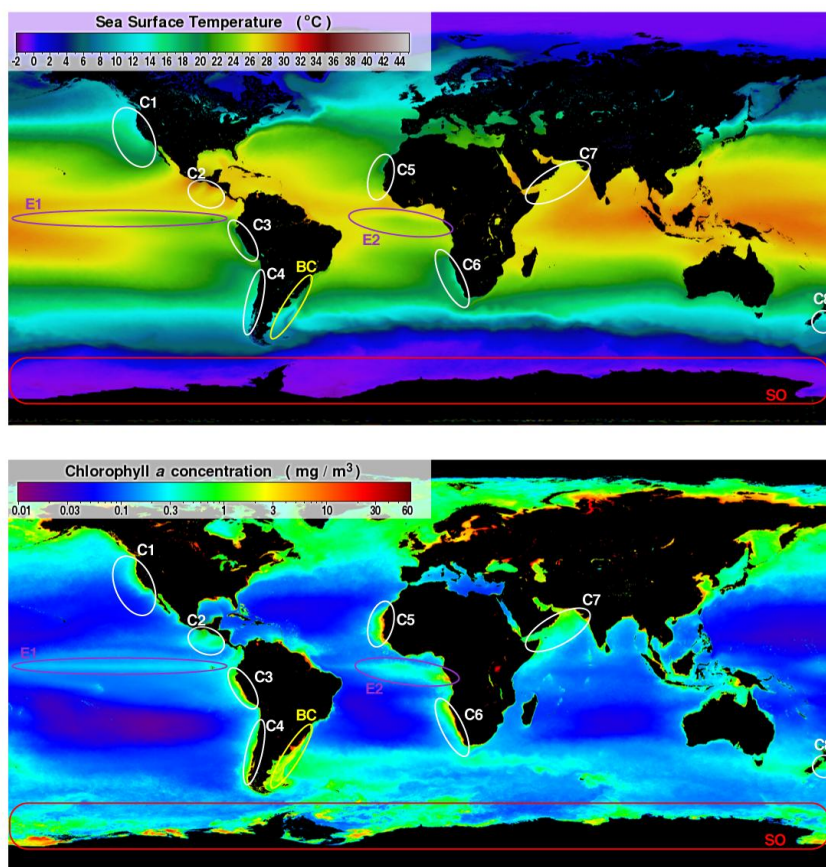
Πηγή : Ian. S. Robinson

Τα κύρια συστήματα παράκτιας ανάβλυσης είναι τα ακόλουθα :

- ✓ The **Canary Current** upwelling system
- ✓ The **Benguela** Current upwelling system
- ✓ The **California** Current upwelling system
- ✓ The **Peru** Current upwelling system

Υπάρχουν ωστόσο και άλλες μικρότερες περιοχές ανάβλυσης. Τα προαναφερθέντα μεγάλα θαλάσσια οικοσυστήματα απειλούνται όλο και περισσότερο από κινδύνους όπως η υπερεκμετάλλευση, η ρύπανση και οι τροποποιήσεις, με κυριότερο απειλούμενο σύστημα αυτό της Μπενγκουέλα.

Ακολουθεί χάρτης που περιλαμβάνει όλες τις περιοχές στις οποίες εμφανίζεται το φαινόμενο. Σε μερικές από αυτές το φαινόμενο παρατηρείται μόνο κατά συγκεκριμένες περιόδους του χρόνου (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες νοτίου ημισφαιρίου), ενώ σε κάποιες άλλες όλο το χρόνο. Έτσι η ευρύτερη ακτογραμμή του Oregon, της California, των ακτών της Χιλής θεωρείται ότι εμφανίζει εποχιακή ανάβλυση (seasonal upwelling).



Εικόνα 7: Οι σημαντικότερες περιοχές ανάβλυσης

C1: California; C2: Pacific Central American coast; C3: Peru; C4: Chile; C5: West Africa; C6: Benguela; C7: Arabian Sea; C8: Eastern New Zealand; E1; Equatorial Pacific; E2; Equatorial Atlantic; BC: Brazil Current/Malvinas Current interaction zone. SO: Southern Ocean

Πηγή : <http://www.seos-project.eu>

#### 1.4.2 Ανάβλυση στον ισημερινό

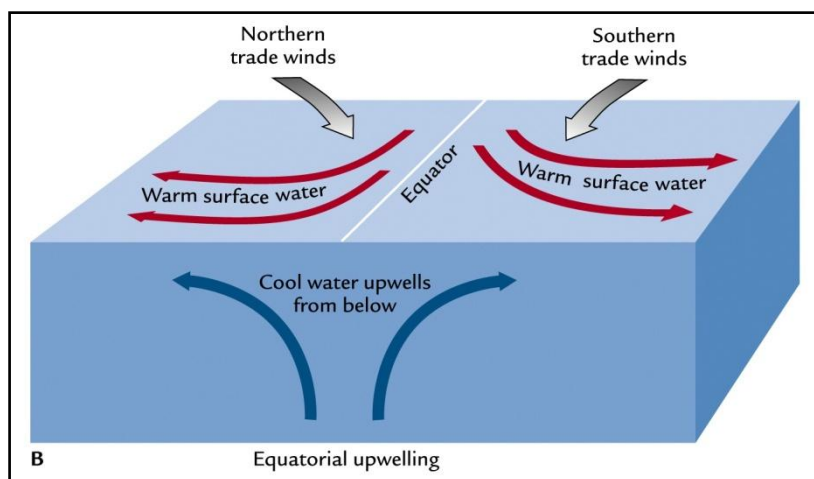
Πλην της ανάβλυσης σε παράκτιες περιοχές υφίσταται και το φαινόμενο της ανάβλυσης στον ισημερινό, ένα λιγότερο διαδεδομένο φαινόμενο.

Η ανάβλυση στον Ισημερινό συνδέεται με την Ενδοτροπικής Ζώνη Σύγκλισης (ITCZ), η οποία στην πραγματικότητα κινείται και κατά συνέπεια συχνά βρίσκεται ακριβώς βόρεια ή νότια του ισημερινού. Ανατολικοί άνεμοι πνέουν από τα βορειοανατολικά και νοτιοανατολικά και συγκλίνουν κατά μήκος του ισημερινού για να σχηματίσουν το ITCZ. Αν και οι δυνάμεις Coriolis είναι μηδενικές κατά μήκος του ισημερινού και χαμηλές σε περιοχές με πολύ μικρό γεωγραφικό πλάτος, η ανάβλυση οφείλεται στο γεγονός πως η παράμετρος  $f$  της δύναμης Coriolis αλλάζει πρόσημο κατά μήκος του Ισημερινού.

Έτσι, το φαινόμενο εμφανίζεται ακριβώς βόρεια και νότια του ισημερινού: για τους ανατολικούς ανέμους η μεταφορά Ekman στο βόριο μέρος του ισημερινού είναι προς τα βόρεια, ενώ στο νότιο τμήμα του ισημερινού είναι προς τα νότια. Ενώ γενικότερα όταν το φαινόμενο της μεταφοράς Ekman λαμβάνει χώρα στον ανοιχτό ωκεανό, και όχι παράκτια (όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο εδάφιο) δεν προκαλείται ανάβλυση, δε συμβαίνει το ίδιο στον ισημερινό όπου η αλλαγή της κατεύθυνσης της ροής Ekman σε όλο τον ισημερινό

δημιουργεί μια απόκλιση που απαιτεί την ανάβλυση ώστε να διατηρηθεί η ροή. Αυτή η απόκλιση είναι πυκνότερη, πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και αναδύεται από κάτω, και έχει ως αποτέλεσμα το αξιοσημείωτο γεγονός ότι η ισημερινή περιοχή του Ειρηνικού ωκεανού μπορεί να ανιχνευθεί από το διάστημα λόγω της υψηλής συγκέντρωσης φυτοπλαγκτόν σε μια ευρεία ζώνη.

Οι αποκλίνουσες ροές κοντά στην επιφάνεια του νερού δημιουργούν μια χωρίστρα κατά μήκος του ισημερινού όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (B. Geerts, E. Linarce, 2015):



Εικόνα 8: Το φαινόμενο της ανάβλυσης στον ισημερινό

Πηγή: [www.sonoma.edu](http://www.sonoma.edu)

Η ανάβλυση που προκύπτει από τα βάθη όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές παράγει μια σειρά από δροσερότερο νερό στον ισημερινό. Η χαμηλότερη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας προκαλεί δύο θερμικά ατμοσφαιρικά μέτωπα κυκλοφορίας, ένα σε κάθε ημισφαίριο: με καθίζηση και καταστολή μεταφοράς στον ισημερινό, και ένα δεύτερο με ανάταση και ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας (Ενδοτροπική Ζώνη Σύγκλισης).

## 1.5 Ανίχνευση του φαινομένου με τηλεπισκοπικές μεθόδους και τεχνικές

Η ανίχνευση του φαινομένου μέσω τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών έγκειται σε κάποιους πολύ συγκεκριμένους παράγοντες οι οποίοι αναλύονται ακολούθως:

### 1.5.1 Χαμηλή θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (Sea Surface Temperature -SST)

Όπως αναμένουμε, στις περιοχές άμβλυσης η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι ιδιαίτερα χαμηλή λόγω του φαινομένου που αναλύθηκε παραπάνω. Όπως απεικονίζεται και σε σχετικούς χάρτες, οι θερμοκρασίες των υδάτων σε παράκτιες ζώνες όπου παρατηρείται το φαινόμενο είναι πολύ πιο χαμηλές από τις θερμοκρασίες στα ανοιχτά των ωκεανών ή στις περιοχές που δεν παρατηρείται το φαινόμενο. Η SST μετράται

εύκολα, σε γενικές περιπτώσεις, μέσω υπέρυθρων αισθητήρων χωρικής ανάλυσης περίπου 1 χλμ, επαρκούς να παρακολουθεί τη λεπτομερή δομή των μετώπων του κρύου νερού. Η SST αποτελεί ομολογουμένως την πιο άμεση ένδειξη ύπαρξης του φαινομένου.

### **1.5.2 Δυνατοί άνεμοι**

Οι άνεμοι που φυσούν στις περιοχές όπου παρουσιάζεται το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα ισχυροί, καθώς επίσης πνέουν προς τη σωστή κατεύθυνση. Οι ταχύτητες των ανέμων απεικονίζονται αναλυτικώς σε διαγράμματα διασποράς (scatterometers) με δεδομένα ανά ημέρα ή δις ημερησίως.

### **1.5.3 Μεγάλες συγκεντρώσεις φυτοπλαγκτόν**

Στις περιοχές χαμηλών SST οι συγκεντρώσεις φυτοπλαγκτόν άρα και χλωροφύλλης είναι ιδιαίτερα υψηλές. Και αυτό διότι όπως περιγράψαμε σε προηγούμενο εδάφιο, οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί ανέρχονται στην επιφάνεια και αποτελούν σπουδαία τροφή για οργανισμούς ανώτερης τροφικής βαθμίδας. Ειδικά οπτικά όργανα πάνω σε δορυφόρους είναι ικανά να μετρήσουν τις συγκεντρώσεις βιομάζας του φυτοπλαγκτόν στους ωκεανούς για μελέτες της πρωτογενούς παραγωγής.

Η χλωροφύλλη εντοπίζεται και αυτή σε υψηλές συγκεντρώσεις οι οποίες μπορούν να ανιχνευθούν μέσω ειδικών αισθητήρων (ocean color senses) όπως τους Aqua Modis, OLCI, με αισθητήρες ιδιαίτερα υψηλής χωρικής ανάλυσης κοντά στα 2 μέτρα (Quickbird), καθώς και με τη χρήση δεικτών χλωροφύλλης (NDVI, NDCI κ.α). Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία η κύρια παράμετρος που λάβαμε υπόψη για το φαινόμενο της ανάβλυσης είναι οι συγκεντρώσεις chl-a.

### **1.5.4 Δείκτης ανάβλυσης UI**

Ο δείκτης UI ο οποίος μελετήθηκε από το τμήμα ερευνών περιβάλλοντος (ERD) του Διεθνούς ωκεανογραφικού και ατμοσφαιρικού οργανισμού στην Αμερική (NOAA), πρόκειται για τον δείκτη που υποδεικνύει σε ποιο βαθμό είναι ικανός ο άνεμος να προκαλέσει το φαινόμενο. Ορίζεται ως η «προς την ακτή μεταφορά Ekman» ανά μονάδα μήκους (Lathuilliere et al., 2008).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

---

## 2.Οι περιοχές μελέτης

Η πρώτη περιοχή μελέτης του φαινομένου της παράκτιας ανάβλυσης είναι η περιοχή της Χιλής της Νοτίου Αμερικής. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται εποχιακά, δηλαδή εμφανίζεται κατά συγκεκριμένους μήνες του έτους, ιδίως από τον μήνα Οκτώβρη ως το μήνα Ιανουάριο ενώ κατευνάζει κατά του χειμερινούς μήνες νοτίου ημισφαιρίου.

Σε δεύτερο στάδιο, προκειμένου να αναδείξουμε τη διαφορετικότητα μεταξύ εποχιακής και ολικής(καθόλης της διάρκειας του χρόνου εκδήλωσης του φαινομένου), μελετήσαμε και τη περιοχή της Μπενγκουέλα της Νοτίου Αφρικής κοντά στο Cape Town όπου το φαινόμενο είναι σε έξαρση όλο το χρόνο. Οι δυο περιοχές μελέτης παρουσιάζονται παρακάτω.

### 2.1 Η περιοχή της Χιλής

Η **Χιλή** ή επίσημα Δημοκρατία της Χιλής, είναι χώρα της Νότιας Αμερικής που καταλαμβάνει στενή παραλιακή λωρίδα μεταξύ των Άνδεων και του Ειρηνικού ωκεανού. Συνορεύει ανατολικά με την Αργεντινή, βορειοανατολικά με τη Βολιβία και βόρεια με το Περού. Η έκτασή της είναι 756.102 τ.χλμ. και ο πληθυσμός της ανέρχεται σε 18.373.917 κατοίκους σύμφωνα με επίσημες εκτιμήσεις για το 2017. Η πρωτεύουσα είναι το Σαντιάγο το οποίο συγκεντρώνει το ένα τρίτο του συνολικού πληθυσμού της χώρας. Μεγάλες πόλεις επίσης είναι το Βαλπαραΐσο, η Αντοφαγάστα και το Κονσεπσιόν.

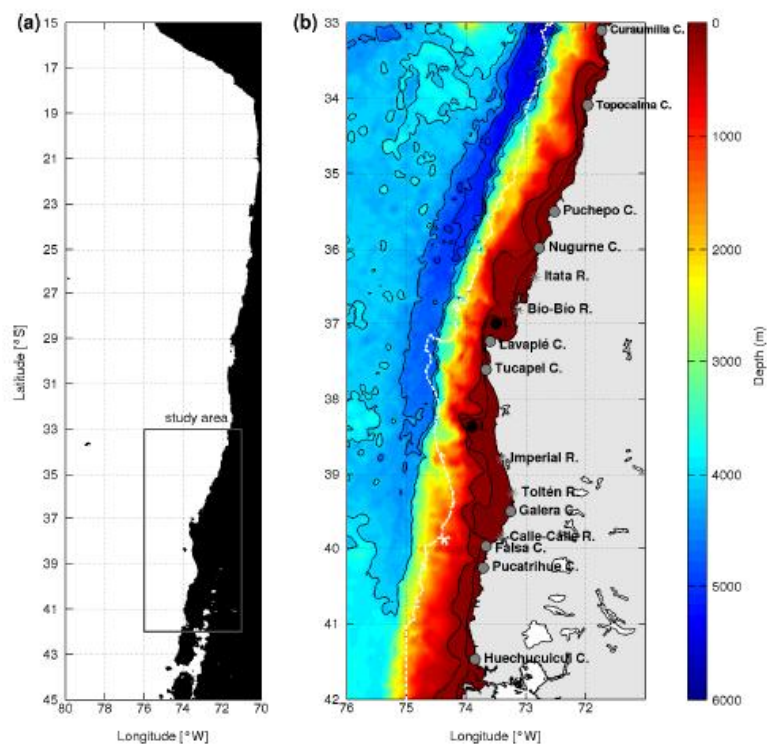
Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή που μελετήθηκε είναι αυτή της κεντρικής και νότιας Χιλής (30-40°S) κοντά στον κόλπο της πόλης Κονσεπσιόν.

Η περιοχή μελέτης-  
κόλπος Κονσεπσιόν



Εικόνα 9: Περιοχή μελέτης Χιλή

Πηγή :googlemaps



Εικόνα 10 (α) Περιοχή μελέτης, (β) χάρτης βαθών με αναγραφόμενες τις χερσονήσους, τα ποτάμια και τα νησιά. Η άσπρη διακεκομμένη γραμμή αναπαριστά τα όρια της upwelling περιοχής, σε απόσταση 100 χλμ από την ακτή (b)

Πηγή: <http://www.mdpi.com/journal/remotesensing>

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται στα αριστερά η περιοχή μελέτης (περιοχή εντός μαύρου πολυγώνου) και στα δεξιά η αντίστοιχη περιοχή με τη βαθυμετρία της. Ακριβώς πάνω στον κόλπο Κονσεπσιόν το βάθος είναι περίπου 300-500 μέτρα. Όσο προχωράμε προς τον Νότιο Ειρηνικό Ωκεανό τα βάθη εμφανώς αυξάνονται. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθούμε στην λευκή διακεκομμένη γραμμή που απεικονίζεται στην παραπάνω εικόνα. Είναι ουσιαστικά το «παράκτιο όριο ανάβλυσης» κατά το οποίο διαχωρίζει την περιοχή που παρουσιάζει ανάβλυση από τον υπόλοιπο ωκεανό: τα 100 πρώτα χλμ από την ακτή καθορίζουν την περιοχή ανάβλυσης Coastal Upwelling Zone (CUZ), ενώ πέρα από τα 100 χλμ επεκτείνεται η ζώνη παράκτιας μετάβασης ονομαζόμενη ως Coastal Transition Zone (CTZ). Αυτές οι δυο ορολογίες CUZ και CZT θα αναφερθούν και στη συνέχεια σε παρακάτω κεφάλαιο, μιας και μέσω αυτών οριοθετείται η περιοχής εμφάνισης του φαινομένου.

Η παράκτια περιοχή της κεντρικής και νοτίου Χιλής εμφανίζει έξαρση του υπό μελέτη φαινομένου από τα μέσα Σεπτέμβρη ως τα μέσα Μαρτίου.

Η μέση τάση του ανέμου καθώς και η συστροφή του είναι δύο πολύ ευνοϊκοί παράγοντες για το βόρειο τμήμα της Χιλής, ενώ τα φαινόμενα ανάβλυσης παρατηρούνται στο νότιο τμήμα της το οποίο μελετήσαμε. Σε ετήσια συχνότητα, η παράκτια κατανομή των τιμών chl-a παρουσιάζει έντονες ασυνέχειες με ελάχιστες τιμές γύρω από τα κέντρα που παρατηρείται το φαινόμενο της ανάβλυσης (37και 40 °S ) και υψηλότερες τιμές –άνω των 2 mg\*m<sup>-3</sup>-στα ενδιάμεσα (από 37-40 °S) (Carmen E. Morales et. al.,2013)<sup>[1]</sup>.

Επιπλέον αναμένεται η θερμοκρασία επιφάνειας της θάλασσας να μη συνδέεται απαραίτητως με τον ετήσιο κύκλο χλωροφύλλης κοντά στη ξηρά.

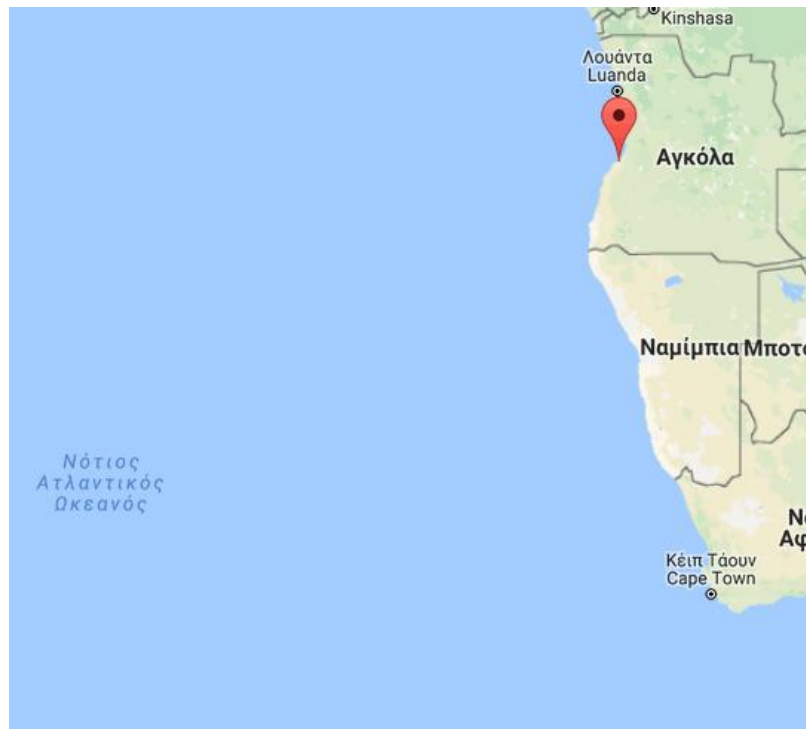
Η εποχικότητα του φαινομένου παρατηρείται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες ανά τον κόσμο, σε συγκεκριμένες περιόδους του έτους όταν ο επικρατέστερος άνεμος φυσάει προς τη σωστή κατεύθυνση(Ian S. Robinson,2010).<sup>[2]</sup>

Στα επόμενα κεφάλαια παρατίθεται αναλυτικώς η μελέτης της παραπάνω περιοχής, καθώς μελετήθηκαν λεπτομερώς οι τρεις κύριες συνιστώσες του φαινομένου: χλωροφύλλη, θερμοκρασία και άνεμοι. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν αναμένεται να ταυτίζονται με τα όσο προαναφέρθηκαν στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.

## 2.2 Η περιοχή της Μπενγκουέλα

Η **Μπενγκουέλα** είναι πόλη στη δυτική Αγκόλα, νότια της Λουάντα και πρωτεύουσα της επαρχίας Benguela. Βρίσκεται σε έναν κόλπο με το ίδιο όνομα και αποτελεί μια από τις πολυπληθέστερες πόλεις της Αγκόλα. Περιβρέχεται δυτικά από τον νότιο Ατλαντικό Ωκεανό.



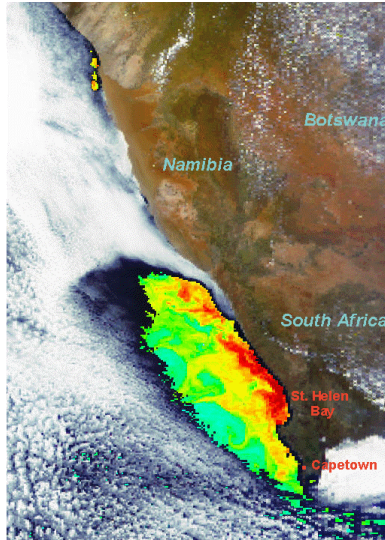


Εικόνα 11: Η πόλη της Benguela στην Αγκόλα, Νότια Αφρική

Πηγή: *googlemaps*

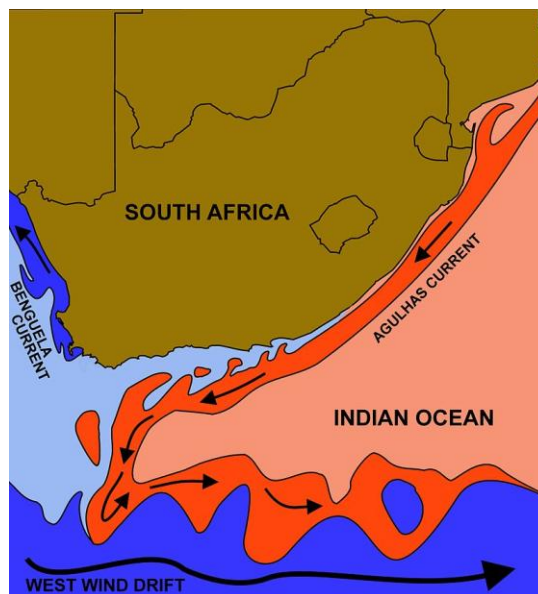
Το ρεύμα της Μπενγκουέλα είναι το ευρύ, βόρειο ρέον ωκεάνιο ρεύμα\* που αποτελεί το ανατολικό τμήμα του γύρου του Νότου του Ατλαντικού Ωκεανού. Το ρεύμα εκτείνεται περίπου από το Cape Point στα νότια μέχρι τη θέση του Angola-Benguela στο βορρά. Παράκτια του «Benguela Current», οι νοτιοανατολικοί άνεμοι οδηγούν στο φαινόμενο της παράκτιας άμβλυσης σχηματίζοντας το «Benguela Upwelling System» (Marié Smith, 2016)<sup>[9]</sup>. Τα κρύα, πλούσια σε θρεπτικά ύδατα νερά που ξεπερνούν τα βάρη περίπου 200-300 μέτρων με τη σειρά τους, τροφοδοτούν υψηλά ποσοστά ανάπτυξης φυτοπλαγκτόν-όπως και σε κάθε περιοχή που αναπτύσσεται το συγκεκριμένο φαινόμενο- και διατηρούν το παραγωγικό οικοσύστημα της Μπενγκουέλα (Vittorio Barale, Martin Gade, 2014)<sup>[10]</sup>.

\*με τον όρο ρεύμα εννοούμε τη συνεχή κίνηση του (θαλάσσιου) νερού προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση (Πηγή: [https://el.wikipedia.org/wiki/Θαλάσσιο\\_ρεύμα](https://el.wikipedia.org/wiki/Θαλάσσιο_ρεύμα))



**Εικόνα 12:** Πολυφασματική εικόνα SeaWiFS, έτους 1997, απεικονιζόμενη τη θερμοκρασία επιφανειακής θάλασσας (SST) στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Με κόκκινο είναι οι ψυχρές θερμοκρασίες και με μπλε οι θερμές.

Τα νερά που προέρχονται από την περιοχή της Μπενγκουέλα, συμπεριλαμβανομένων των κρύων υδάτων από τα βάθη του Ατλαντικού ωκεανού κοντά στη ξηρά, συνδέονται λίγο πιο μακριά από τη στεριά με τα παράκτια θρεπτικά ύδατα που έχουν διασχίσει τον Νότιο Ατλαντικό από τη Νότια Αμερική. Το ζεστό ρεύμα Agulhas του νότιου Ινδικού ωκεανού κατά μήκος της ανατολικής ακτής της νοτίου Αφρικής (βλέπε πορτοκαλί χρώμα στον επόμενο χάρτη), κάνει το γύρο του ακρωτηρίου «Καλή Ελπίδα». Τονίζουμε ότι το ρεύμα Μπενγκουέλα δεν προέρχεται από τα νερά της Ανταρκτικής στον Νότιο Ατλαντικό Ωκεανό, αλλά από την ανάδυση του νερού από τα κρύα βάθη του Ατλαντικού Ωκεανού ενάντια στη δυτική ακτή της ηπείρου. Τα δύο ρεύματα δεν «συναντώνται» πουθενά κατά μήκος της νότιας ακτής της Αφρικής. Η κίνηση των δυο αυτών ρευμάτων φαίνεται σχηματικά παρακάτω (Wolfgang Fennel, 1998)<sup>[3]</sup>:

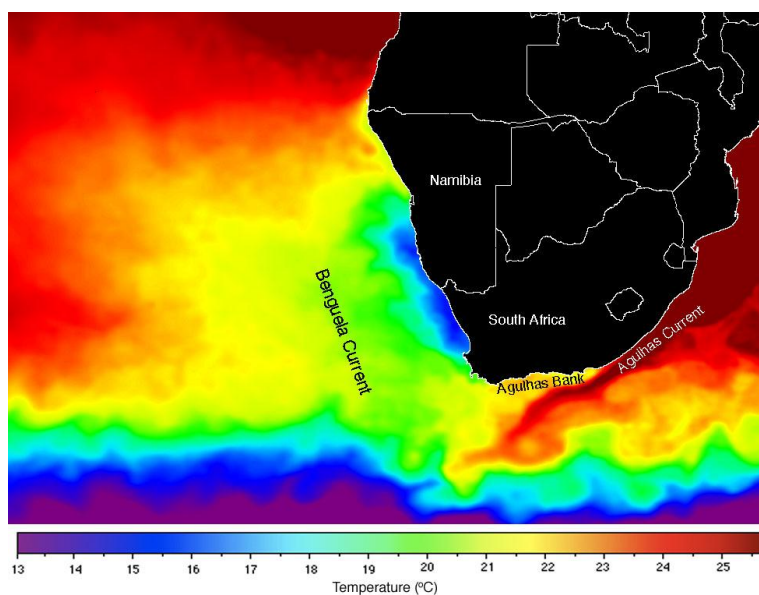


**Εικόνα 13:** Με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζεται το θερμό ρεύμα της *Agulha* κατά μήκος της ανατολικής ακτής, ενώ με μπλε το ψυχρό ρεύμα της *Benguela* κατά μήκος της δυτικής ακτής

Πηγή: <https://en.wikipedia.org>

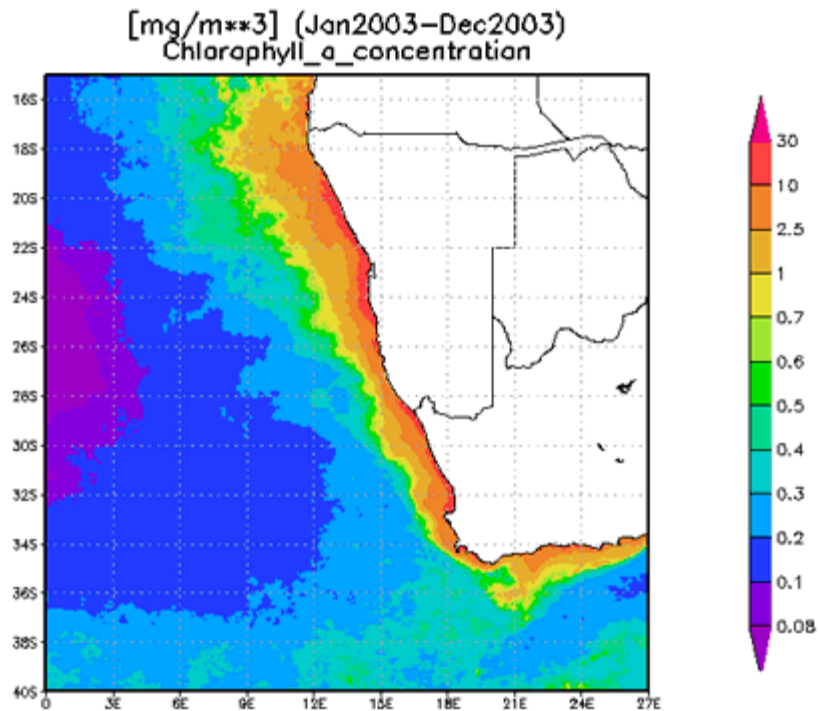
Το ρεύμα της Μπενγκουέλα έχει πλάτος από 200 έως 300 χιλιόμετρα ρέοντας από νότο προς βορά. Η δυτική άκρη του είναι ασαφής με πολλές προσωρινές και εποχιακές βροχοπτώσεις και μαιάνδρες. Ωστόσο, υπάρχει ένα καλά καθορισμένο θερμικό μέτωπο μεταξύ των υδάτων που συνδέονται με το «Benguela Upwelling System» και εκείνων των ανατολικών ρευμάτων Ατλαντικού ρεύματος που δεν εκτρέπονται προς βορρά από την αφρικανική ήπειρο.

Το συγκεκριμένο φαινόμενο παρατηρείται όλη τη διάρκεια του χρόνου, ευρισκόμενο σε έξαρση, με τα νερά που βρίσκονται κοντά στην ακτή να έχουν χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας από ότι τα νερά στα ανοιχτά του Ατλαντικού Ωκεανού. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης είναι επίσης πολύ υψηλές παράκτια όλο το χρόνο (βλέπε επόμενη εικόνα) γύρω στα  $6-7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Λεπτομέρειες αναγράφονται σε παρακάτω εδάφιο στο οποίο αναλύεται η επεξεργασία εικόνων Landsat 8 για το 2016.



**Εικόνα 14:** Θερμοκρασία επιφάνειας νερού στις 3/2/2008

Πηγή: <http://www.seos-project.eu>



Εικόνα 15: Παγκόσμιο προϊόν χλωροφύλλης για την περιοχή της Μπενγκουέλας, 2003

Πηγή: <https://disc.gsfc.nasa.gov>

Το συγκεκριμένο σύστημα ανάβλυσης είναι το ισχυρότερο παγκοσμίως στηρίζοντας μια πλούσια αλιεία με αλιεύματα αστακού, μπακαλιάρου, σαρδέλας, με πάνω από ένα εκατομμύριο τόνους ετησίως. Ωστόσο ανά δέκα χρόνια εμφανίζεται το φαινόμενο “Benguela Niño” κατά το οποίο εισέρχονται στο ρεύμα της Μπενγκουέλα θερμά ύδατα από τον Ανταρκτικό ωκεανό, με αποτέλεσμα τη καταστολή του φαινομένου της ωκεάνιας ανάβλυσης, καθώς και την ελάττωση των αλιευμάτων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

## 3.Θεωρητικό υπόβαθρο

Το κεφάλαιο 3 περιλαμβάνει πληροφορίες που σχετίζονται τόσο με τους δορυφόρους που χρησιμοποιήσαμε για την εκπόνηση της εργασίας, όσο με τους αλγόριθμους και τους δείκτες που είναι γνωστοί για την εξαγωγή τιμών χλωροφύλλης. Οι αλγόριθμοι αυτοί αφορούν δεδομένα SeaWiFS, MODIS, Landsat TM, Landsat 8, Landsat ETM+, Sentinel 2, Sentinel 3 ενώ οι δείκτες είναι λίγο πιο απλοποιημένοι, κάνοντας χρήση συγκεκριμένων καναλιών. Επιπρόσθετα αναφέρονται κάποια σημαντικά στοιχεία για τη μελέτη της χλωροφύλλης-α όπως και για τη μελέτη του χρώματος των ωκεανών.

### 3.1 Δορυφόροι Landsat TM και Landsat 8

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο δεδομένα των δορυφόρων LandsatTM και Landsat 8(OLI,TIRS) για τα έτη 2005-2016. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές βασικές πληροφορίες σχετικές με την ιστορία του εκάστοτε δορυφόρου, τις λήψεις του, καθώς και το είδος και τη μορφή των δεδομένων τους.

#### 3.1.1 Landsat Thematic Mapper (TM)

Ο θεματικός χαρτογράφος μεταφερόταν στις αποστολές των δορυφόρων Landsat 4-5, τις χρονιές από τον Ιούλιο του 1982 μέχρι τον Μάιο του 2012 με λήψεις ανά 16 μέρες. Ο δορυφόρος τέθηκε εκτός λειτουργίας από τον Ιανουάριο του 2013, ενώ μονάχα λίγες εικόνες είναι διαθέσιμες από το χρονικό διάστημα Νοέμβριος 2011 – Μάιος 2012. Στην εργασία μας δε συμπεριλάβαμε καθόλου το 2012 και χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Landsat TM από τον Ιανουάριο του 2005 μέχρι τον Δεκέμβριο του 2011.



Εικόνα 16:Landsat 5

Πηγή: <https://landsat.usgs.gov/landsat-5-history>

Οι εικόνες Landsat 4-5 TM έχουν υποστεί επεξεργασία μέσω του συστήματος LPGS(Level 1 product generation system ) με τις ακόλουθες βασικές παραμέτρους:

- Μορφή εξόδου αρχείων GeoTIFF
- Κυβική συνέλιξη ως μέθοδος δειγματοληψίας
- Μέγεθος pixel 30 μέτρα για τα κανάλια 1-7, ενώ πριν τον Φεβρουάριο του 2010, το θερμικό κανάλι ήταν στα 60 μέτρα .Εκ τότε, ενώ οι εικόνες λήφθηκαν για το κανάλι 6 στα 120 μέτρα χωρική ανάλυση, έγινε νέα δειγματοληψία για 30 μέτρα.
- Παγκόσμια μερκατορική προβολή , ως προβολικό σύστημα αναφοράς (UTM)
- Πολική Στερεογραφική προβολή για εικόνες με κέντρο το σημείο γεωγραφικού πλάτους μεγαλύτερου ή ίσου με -63,0 βαθμούς
- Ελλειψοειδές αναφοράς το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα WGS84
- Ο προσανατολισμός των εικόνων γίνεται με τον βορά προς τα πάνω

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα φασματικά κανάλια και τη χωρική ανάλυση του θεματικού χαρτογράφου:

Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM)	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Blue	0.45-0.52	30
	Band 2 - Green	0.52-0.60	30
	Band 3 - Red	0.63-0.69	30
	Band 4 - Near Infrared (NIR)	0.76-0.90	30
	Band 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55-1.75	30
	Band 6 - Thermal	10.40-12.50	120* (30)
	Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.08-2.35	30

\* TM Band 6 was acquired at 120-meter resolution, but products are resampled to 30-meter pixels.

**Πίνακας 1:** Φασματικά κανάλια του Landsat TM (Thematic Mapper)

Πηγή: [landsat.usgs.gov](http://landsat.usgs.gov)

### 3.1.2 Landsat 8

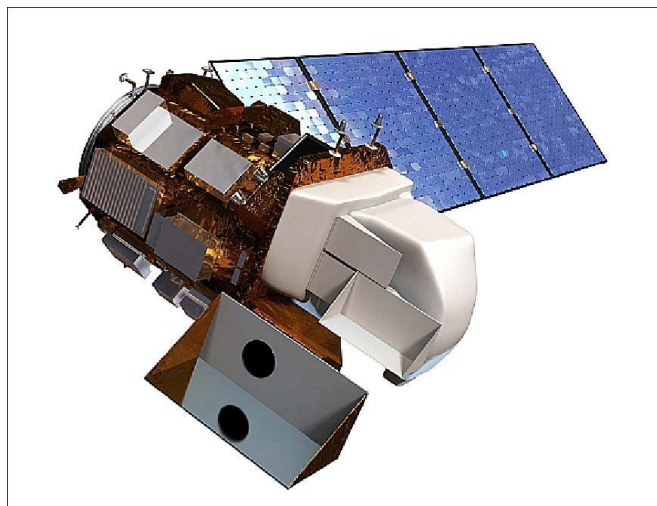
Ο δορυφόρος Landsat 8 κάνει λήψεις ανά τη Γη, ανά 16 ημέρες ,μεταφέροντας δυο όργανα-αισθητήρες: τον OLI (*Operational Land Imager*) και τον αισθητήρα θερμικού υπέρυθρου TIRS(*Thermal Infrared Sensor*).

Ο OLI διαθέτει τρία νέα κανάλια: ένα στη φασματική ζώνη 0,435-0,451 μm για μελέτες παράκτιων περιοχών και αεροζόλ(Band 1), ένα κανάλι ανίχνευσης ποιότητας(QA Band)\* και ένα κανάλι στο μέσο υπέρυθρο, για την ανίχνευση των σύννεφων και ειδικότερα των θυσάνων (κανάλι 9).

Ο TIRS παρέχει δυο θερμικά κανάλια (Band 10 ,Band 11) στη ζώνη 10,6 – 12,51 μm.

Και οι δυο αισθητήρες παρέχουν καλύτερη ραδιομετρική ανάλυση και τα προϊόντα τους παραδίδονται σαν 16 – bit εικόνες με 55.000 αποχρώσεις του γκρι, σε αντιδιαστολή με τα προηγούμενα όργανα 8-bit τα οποία παρείχαν μόνο 256 αποχρώσεις του γκρι. Αυτό αιτιολογεί πλήρως και το μεγάλο μέγεθος αρχείων Landsat 8.

\*Το κανάλι ανίχνευσης ποιότητας του Landsat 8 (QA Band) είναι ένα αρχείο το οποίο περιέχει τιμές που αντιπροσωπεύουν συνδυασμούς της επιφάνειας, της ατμόσφαιρας καθώς και πληροφορίες για την κατάσταση του δέκτη που μπορούν να επηρεάσουν την συνολική χρησιμότητα ενός δεδομένου pixel σε μία σκηνή(Πηγή: <https://landsat.usgs.gov/what-landsat-8-quality-assessment-qa-band-and-how-it-used>)



Εικόνα 17:Landsat 8

Πηγή: <https://directory.eoportal.org>

Τα χαρακτηριστικά των προϊόντων Landsat 8 είναι ίδια με αυτά του Landsat TM όπως αυτά καταγράφονται παραπάνω, με μόνη διαφορά τις 16-bit τιμές των pixel, καθώς και το –κατά πολύ–μεγαλύτερο μέγεθος αρχείων, που φτάνει τα 2GB ασυμπίεστο, και 1 GB συμπιεσμένο. Όσον αφορά τη χωρική ανάλυση, αυτή ανέρχεται για τα πολυφασματικά κανάλια 1-7 του OLI στα 30 μέτρα, ενώ βελτιώνεται για το παγχρωματικό κανάλι 8, μιας και φτάνει τα 15 μέτρα. Τα κανάλια 10-11 του TIRS κατέγραφαν στα 100 μέτρα, αλλά έπειτα από νέα δειγματοληψία, η χωρική ανάλυση είναι και εδώ 30 μέτρα, ώστε να ταυτίζεται με το μέγεθος εικονοστοιχείων των πολυφασματικών καναλιών του OLI.

Landsat-8 OLI and TIRS Bands ( $\mu\text{m}$ )		
30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

**Πίνακας 2:** Φασματικά κανάλια Landsat 8 (OLI, TIRS)

Πηγή : [landsat.gsfc.nasa.gov](http://landsat.gsfc.nasa.gov)

## 3.2 Δορυφόροι Sentinel 2 και Sentinel 3

### 3.2.1 Sentinel 2

Ο Sentinel 2 είναι δορυφόρος πλασματικών αποστολών της ESA (European Space Agency), υποστηρικτής των μελετών του προγράμματος Copernicus, υψηλής ανάλυσης και ευρέους λωρίδας. Χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της βλάστησης, του εδάφους, των υδάτων κάλυψης, καθώς και την παρατήρηση εσωτερικών πλωτών οδών και παράκτιων περιοχών. Απαρτίζεται από δύο πανομοιότυπους δορυφόρους: τον Sentinel -2A και τον Sentinel- 2B. Οι δορυφόροι Sentinel-2 θα φέρουν ένα μεμονωμένο όργανο πολλαπλών φάσεων (MSI) με 13 φασματικά κανάλια στη φασματική περιοχή υπεριωδών ακτινών (VNIR) και στην υπέρυθρη ακτινοβολία μικρού κύματος (SWIR).

Ο Sentinel Multispectral Instrument (MSI) καταγράφει σε 13 φασματικές ζώνες: 4 κανάλια με χωρική διακριτική ικανότητα 10 μέτρων, 6 κανάλια στα 20 μέτρα και 3 κανάλια στα 60 μέτρα. Αυτός ο ανιχνευτής MSI(push-broom) έχει τέτοιο σχεδιασμό που έχει οδηγήσει στις μεγάλες απαιτήσεις των 290 χλμ (180 μιλίων), μαζί με τις υψηλές γεωμετρικές και φασματικές επιδόσεις που απαιτούνται για τις μετρήσεις. Έχει διάφραγμα 150 mm (6 in) και σχεδίαση αντιασμάτωσης τριών κατόπτρων με εστιακή απόσταση περίπου 600 mm (24 in). Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο είναι περίπου 21 μοίρες κατά 3,5 μοίρες. Οι καθρέφτες είναι ορθογώνιοι και κατασκευάζονται από καρβίδιο του πυριτίου, παρόμοια τεχνολογία με εκείνες της αποστολής Gaia.





Εικόνα 18: Sentinel 2

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1 – Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 – Blue	0.490	10
Band 3 – Green	0.560	10
Band 4 – Red	0.665	10
Band 5 – Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 – Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 – Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 – NIR	0.842	10
Band 8A – Narrow NIR	0.865	20
Band 9 – Water vapour	0.945	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1.375	60
Band 11 – SWIR	1.610	20
Band 12 – SWIR	2.190	20

Πίνακας 3: Sentinel 2 spatial resolution and bands (ESA)

Παρακάτω ακολουθούν λεπτομερώς οι φασματικές ζώνες:

- τέσσερις ζώνες στα 10 m: 490 nm (B2), 560 nm (B3), 665 nm (B4), 842 nm (B8)
- έξι ζώνες σε 20 m: 705 nm (B5), 740 nm (B6), 783 nm (B7), 865 nm (B8a), 1 610 nm (B11), 2 190 nm (B12)
- τρεις ζώνες στα 60 m: 443 nm (B1), 945 nm (B9) και 1 375 nm (B10).

Συνήθως η ραδιομετρία εκφράζεται σε αριθμό bit, μεταξύ 8-16. Η ραδιομετρική ανάλυση του Sentinel MSI είναι 12bit, επιτρέποντας στην εικόνα να είναι διαθέσιμη σε εύρος που κυμαίνεται από 0-4095 πιθανές τιμές φωτός, με ραδιομετρική ακρίβεια 5% (στόχος που έχει τεθεί το 3%). Επιπλέον, η ανάλυση εξαρτάται και από τον λόγο του σήματος προς το θόρυβο που καταγράφει ο ανιχνευτής (SNR).

Τα δεδομένα του Sentinel 2, είναι συμπληρωματικά προς τις υπάρχουσες αποστολές, όπως αυτές του LANDSAT και του SPOT, και σχεδιασμένα ώστε να τροποποιηθούν και να προσαρμοστούν στους χρήστες που ενδιαφέρονται για τα ακόλουθα σηματικά θεματικά πεδία:

- Χωροταξικός σχεδιασμός
- Παρακολούθηση αγρο-περιβάλλοντος
- Παρακολούθηση υδάτων
- Παρακολούθηση δασών και βλάστησης
- Παρακολούθηση άνθρακα εδάφους και φυσικών πόρων
- Συνολική παρακολούθηση καλλιεργειών

### ***Προϊόντα Sentinel 2***

Τα προϊόντα Sentinel 2 τα οποία είναι ελεύθερα στους χρήστες είναι τα Level 1-C και Level 2-A. Το πρώτο περιέχει τις τιμές της ανακλαστικότητας της γήινης επιφάνειας (TOA) όπως αυτές διαμορφώνονται αφού εξέλθουν από την ατμόσφαιρα (Top of the Atmosphere Reflectance) με χαρτογραφική προβολή και το δεύτερο περιέχει τις τιμές της ανακλαστικότητας της γήινης επιφάνειας (Bottom of the Atmosphere Reflectance), δηλαδή αυτές που είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένες, επίσης σε χαρτογραφική προβολή. Το μέγεθος και των δύο ειδών αρχείων δεν ξεπερνάει τα 600 MB, πράγμα που διευκόλυνε αισθητά το κατέβασμα των εικόνων στην παρούσα διπλωματική. Τα προϊόντα είναι ένα σύνολο τμημάτων σταθερού μεγέθους της απεικόνισης της γήινης επιφάνειας για κάθε τροχιά.

Για τα προϊόντα Level-1C και Level-2A, τα τμήματα αυτά, τα οποία ονομάζονται επίσης “πλάκες”, είναι ορθο-εικόνες 100x100km<sup>2</sup> σε προβολή UTM / WGS84. Το σύστημα UTM (Universal Transverse Mercator) χωρίζει την επιφάνεια της Γης σε 60 ζώνες. Κάθε ζώνη UTM έχει κατακόρυφο πλάτος 6° γεωγραφικού μήκους και οριζόντιο πλάτος 8° γεωγραφικού πλάτους. Οι “πλάκες” έχουν μέγεθος περίπου 500 MB και μπορούν να καλύπτονται πλήρως ή μερικώς από δεδομένα εικόνας.

Το προϊόν Level-1C αποτελείται από “πλάκες” 100x100 km<sup>2</sup> (ορθο-εικόνες σε προβολή UTM/WGS84). Το προϊόν Level-1C προκύπτει από τη χρήση ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) για την προβολή της εικόνας σε χαρτογραφική γεωμετρία. Οι ραδιομετρικές μετρήσεις ανά εικονοστοιχείο παρέχουν τιμές TOA, καθώς επίσης και τις παραμέτρους για

να μετατραπούν σε τιμές ακτινοβολίας. Στα προϊόντα Level-1C οι συντεταγμένες των εικονοστοιχείων αναφέρονται στην επάνω αριστερή γωνία του εικονοστοιχείου.

### 3.2.2 Sentinel 3

Ο Sentinel 3 αποτελεί -κατά κύριο λόγο- μια αποστολή για τους ωκεανούς, ωστόσο είναι σε θέση να παρέχει εφαρμογές για την ατμόσφαιρα και τη στεριά. Η αποστολή παρέχει δεδομένα σε συνέχεια των αποστολών ERS, Envisat και SPOT. Μεταφέρει τους εξής αισθητήρες: SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer), OLCI (Ocean and Land Colour Instrument), SRAL (SAR Altimeter), DORIS και MWR (Microwave Radiometer).

#### Sentinel 3 OLCI

Τα προϊόντα του OLCI κατανέμονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Level 1-B προϊόν, το οποίο προέρχεται από την επεξεργασία του OLCI Level-1
- Level-1 προϊόν, το οποίο παρέχει ακτινοβολίες (τιμές σε radiance)
- Level-2 προϊόντα για τη γη (land products), αποτέλεσμα της επεξεργασίας των OLCI Level-2. Το συγκεκριμένο προϊόν διαθέτει γεωφυσικές παραμέτρους για τη στεριά και την ατμόσφαιρα, υπολογιζόμενες σε πλήρη και μειωμένη ανάλυση
- Level-2 προϊόντα νερού (water products), απόρροια της επεξεργασίας των OLCI Level-2. Διαθέτουν με τη σειρά τους γεωφυσικές παραμέτρους για το νερό και την ατμόσφαιρα, υπολογιζόμενες σε πλήρη και μειωμένη ανάλυση

Όσον αφορά τη χωρική ανάλυση του S3, ο OLCI μετρά την εκπεμπόμενη από την επιφάνεια της γης ακτινοβολία, καταγράφοντάς την σε 21 φασματικά κανάλια, με δυο διαφορετικές χωρικές αναλύσεις, όπως περιγράφονται παρακάτω:

- Πλήρης χωρική ανάλυση-Full Resolution (FR) στα 300 μέτρα

Για να απλοποιήσει τις λειτουργίες του ο OLCI, για να μεγιστοποιήσει την αυτονομία τους καθώς επίσης και να προσφέρει τη μέγιστη ευελιξία στην επεξεργασία των δεδομένων του, λειτουργεί πάντοτε –τόσο για τη στεριά όσο και για τους ωκεανούς– σε λειτουργία πλήρους ανάλυσης.

- Μειωμένη χωρική ανάλυση-Reduced Resolution(RR) στα 1,2 χιλιόμετρα

Από τα προϊόντα Level-1B και μετά τα προϊόντα του OLCI παρέχονται σε μορφή υποδειγματοληψίας, σε ανάλυση τέσσερις φορές χειρότερη, στα 1,2 χιλιόμετρα. Αυτή η μειωμένη ανάλυση(RR) προκύπτει από το μέσο όρο σήματος 16 εικονοστοιχείων πλήρους ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται τέσσερα γειτονικά εικονοστοιχεία στην τροχιά για τέσσερις διαδοχικές γραμμές εικονοστοιχείων κατά μήκος της διαδρομής.

Όσον αφορά τη ραδιομετρική ανάλυση, καταγράφει σε 21 φασματικά κανάλια, από το ορατό μέχρι το εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος (400nm ως 1020 nm):

Band	$\lambda$ centre (nm)	Width (nm)	Function
Oa1	400	15	Aerosol correction, improved water constituent retrieval
Oa2	412.5	10	Yellow substance and detrital pigments (turbidity)
Oa3	442.5	10	Chl absorption max., biogeochemistry, vegetation
Oa4	490	10	High Chl, other pigments
Oa5	510	10	Chl, sediment, turbidity, red tide
Oa6	560	10	Chlorophyll reference (Chl minimum)
Oa7	620	10	Sediment loading
Oa8	665	10	Chl (2nd Chl abs. max.), sediment, yellow substance/vegetation
Oa9	673.75	7.5	For improved fluorescence retrieval and to better account for smile together with the bands 665 and 680 nm
Oa10	681.25	7.5	Chl fluorescence peak, red edge
Oa11	708.75	10	Chl fluorescence baseline, red edge transition
Oa12	753.75	7.5	O2 absorption/clouds, vegetation
Oa13	761.25	2.5	O2 absorption band/aerosol corr.
Oa14	764.375	3.75	Atmospheric correction
Oa15	767.5	2.5	O2A used for cloud top pressure, fluorescence over land
Oa16	778.75	15	Atmos. corr./aerosol corr.
Oa17	865	20	Atmos. corr./aerosol corr., clouds, pixel co-registration
Oa18	885	10	Water vapour absorption reference band. Common reference band with SLSTR instrument. Vegetation monitoring
Oa19	900	10	Water vapour absorption/vegetation monitoring (max. reflectance)
Oa20	940	20	Water vapour absorption, atmos./aerosol corr.
Oa21	1 020	40	Atmos./aerosol corr.

**Πίνακας 4:** Πίνακας καναλιών του αισθητήρα OLCI, μαζί με τα χαρακτηριστικά του κάθε καναλιού

Πηγή: <https://sentinel.esa.int>

### 3.3 Συγκέντρωση χλωροφύλλης-α

Οι χλωροφύλλες είναι οι κύριες φωτοσυνθετικές χρωστικές ουσίες που υπάρχουν σε πολλούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των φυκιών και ορισμένων βακτηρίων. Η πιο άφθονη μορφή χλωροφύλλης- εντός του φωτοσυνθετικού οργανισμού- είναι η χλωροφύλλη-α (YSI, 2016). Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες μορφές χλωροφύλλης, που κωδικοποιούνται ως b, c, και d οι οποίες αυξάνουν το συνολικό σήμα φθορισμού. Όλοι οι τύποι χλωροφύλλης μπορεί να υπάρχουν σε όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, αλλά ποικίλουν σε συγκέντρωση.

Αν και είναι δύσκολο να ανιχνευθούν με το γυμνό ανθρώπινο μάτι, λόγω μικροσκοπικού μεγέθους, δεν ισχύει το ίδιο με την ανίχνευσή τους από δορυφορικούς δέκτες.

Η συγκέντρωση χλωροφύλλης είναι ουσιαστικά η μέτρηση της αφθονίας του φυτοπλαγκτόν. Το φυτοπλαγκτόν μπορεί πολλές φορές να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την υγεία των υδάτινων μαζών (YSI, 2016). Η παρακολούθηση της χλωροφύλλης είναι ο

πλέον άμεσος τρόπος παρακολούθησης της ανάπτυξης του φυκιού. Τα επιφανειακά ύδατα που έχουν υψηλή συγκέντρωση χλωροφύλλης είναι συνήθως υψηλά σε θρεπτικά συστατικά και προκαλούν την ανάπτυξη ή την άνθιση των φυκών. Ωστόσο, είναι δύσκολο να μετρηθεί άμεσα το φυτοπλαγκτόν λόγω του μικροσκοπικού μεγέθους του. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό του φυτοπλαγκτόν γίνονται οι φασματικές μετρήσεις. Υπάρχουν διάφορα εργαλεία για τη μέτρηση Chla όπως τα φασματοφωτόμετρα, η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC), οι φθορισμομετρικοί αισθητήρες και οι δορυφορικοί αισθητήρες τηλεπισκόπησης όπως MODIS, SeaWiFS, OCM κ.λπ. (Tilstone, et al., 2011, Yunus et al., 2015; Zhang and Han, 2015, NASA, 2016 και YSI, 2016). Παρακολούθηση της κατανομής του φυτοπλαγκτόν με βάση την παρακολούθηση της Chla είναι λιγότερο δαπανηρή από τη συχνή συλλογή επί τόπου δειγμάτων(in situ), η οποία απαιτεί δαπανηρή εργαστηριακή ανάλυση (YSI, 2016). Η διερεύνηση της κατανομής του φυτοπλαγκτόν στην ωκεάνια και την παράκτια περιοχή μπορεί να βοηθήσει στην εκτίμηση και πρόβλεψη των θανατηφόρων ανθών. Η άνθιση της άλγης\* μπορεί να δημιουργήσει τοξικές συνθήκες για τα ψάρια, την άγρια πανίδα, το ζωικό κόσμο, και εν συνεχεία το ανθρώπινο ον. Επιπλέον, οι ανθοφόροι θάνατοι θα μπορούσαν να οδηγήσουν τον ευτροφισμό του υδατικού σώματος και να προκαλέσουν μαζική θανάτωση των ψαριών (YSI, 2016).

\*η άλγη είναι οι φυτικοί μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται σε υδάτινο περιβάλλον(Πηγή: <https://el.wiktionary.org/wiki/άλγη>)

### **3.4 Τηλεανίχνευση χρώματος ωκεανού(ocean color remote sensing)**

Η μελέτη του ωκεάνιου χρώματος ξεκίνησε με μελέτη της μοριακής σκέδασης φωτός στο νερό και του χρώματος της θάλασσας από τον Raman (1922). Ο Raman εξήγησε ότι το μπλε χρώμα του ωκεανού οφείλεται στη διάχυση του φωτός από τα μόρια του νερού. Το χρώμα των ωκεανών τροποποιείται από την παρουσία ποικίλης συγκέντρωσης χρωστικών ουσιών του φυτοπλαγκτόν, αιωρούμενων ιζημάτων και κίτρινων ουσιών του ωκεάνιου νερού. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορα όργανα για τη μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων του νερού και τη βελτίωση των μελετών του ωκεάνιου χρώματος. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί βιο-οπτικοί αλγόριθμοι. Το πρώτο όργανο μέτρησης του ωκεάνιου χρώματος (Gordon et al., 1983, Morel και Prieur ,1977) ήταν το επί του σκάφους CZCS(Coastal Zone Color scanner) τα τέλη του 1978,το οποίο εισήγαγε η NASA.

Πρόκειται για ένα ραδιόμετρο το οποίο καταγράφει το φως του ήλιου από τον ωκεανό κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε τέσσερα κανάλια του ορατού, ένα στο εγγύς υπέρυθρο(NIR) και ένα στο θερμικό υπέρυθρο (TIR)(Gordon, Vos ,2004). Η τηλεανίχνευση του χρώματος του ωκεανού υλοποιήθηκε με αισθητήρα με στενό οπτικό πεδίο για την παρακολούθηση της

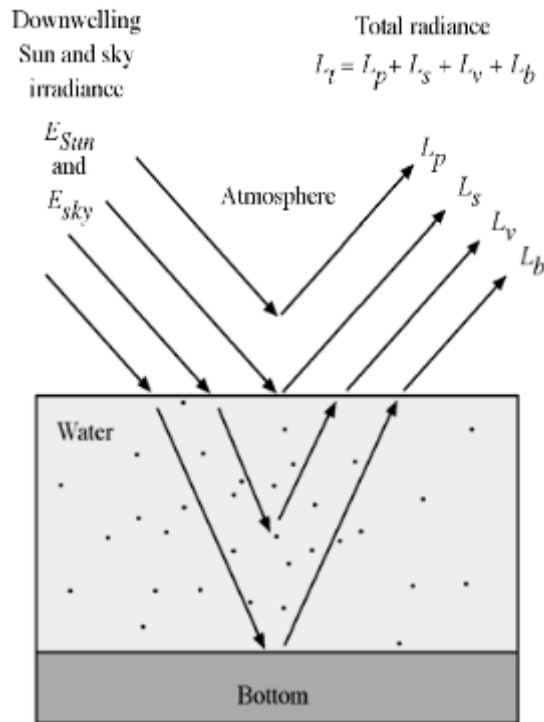
ραδιομετρικής ροής. Η ροή φτάνει στον αισθητήρα σε διάφορα επιλεγμένα μήκη κύματος, από ορατές έως σχεδόν υπέρυθρες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Κατά τη διαδικασία ανίχνευσης του χρώματος των ωκεανών, η συνολική ακτινοβολία που καταγράφεται από τον δέκτη  $L_t$  (total radiance) είναι απόρροια τεσσάρων πηγών και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση (Bukata et al., 1995; Legleiter and Roberts, 2005):

$$L_t = L_p + L_s + L_v + L_b$$

- $L_p$  είναι η ακτινοβολία που καταγράφεται από τον αισθητήρα, προερχόμενη από την κατερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την ατμοσφαιρική ακτινοβολία, αλλά η οποία δε φτάνει ποτέ στην υδάτινη επιφάνεια. Αποτελεί ένα είδος ατμοσφαιρικού θορύβου και μπορεί να θεωρηθεί ως “ανεπιθύμητη ακτινοβολία ατμοσφαιρικής διαδρομής”
- $L_s$  είναι η ακτινοβολία η οποία προκύπτει από την κατερχόμενη ηλιακή και ατμοσφαιρική ακτινοβολία, φθάνει στην διεπιφάνεια αέρα-νερού (στρώμα ελεύθερης επιφάνειας) και εν συνεχεία ανακλάται από την επιφάνεια του νερού
- $L_v$  είναι η ακτινοβολία η οποία προέρχεται από την κατερχόμενη ηλιακή και ατμοσφαιρική ακτινοβολία, διαπερνάει την επιφάνεια του νερού, αλληλεπιδρά τόσο με το νερό όσο και με τα ανόργανα/οργανικά συστατικά του και εν συνεχεία εξέρχεται από την υδατική στήλη χωρίς να συναντήσει τον πυθμένα
- $L_b$  είναι η ακτινοβολία η οποία όπως και η  $L_v$  προέρχεται από την κατερχόμενη ηλιακή και ατμοσφαιρική ακτινοβολία, διαπερνάει την επιφάνεια του νερού και φτάνει στον πυθμένα, αναμεταδίδεται μέσω της υδάτινης στήλης και εντέλει εξέρχεται από αυτήν. Ο διαχωρισμός των  $L_v$  και  $L_b$  θεωρείται αρκετά δύσκολος

Οι τέσσερις αυτές ακτινοβολίες παρίστανται σχηματικά παρακάτω:



Εικόνα 19: Οι ακτινοβολίες  $L_p, L_s, L_v$  και  $L_b$

Πηγή: [http://gers.uprm.edu/geol6225/pdfs/09\\_rs\\_water.pdf](http://gers.uprm.edu/geol6225/pdfs/09_rs_water.pdf)

Το φως που φεύγει από την επιφάνεια του νερού εξασθενεί λόγω απορρόφησης και σκέδασης από την ατμόσφαιρα. Εκτός αυτού, η κατοπτρική ανάκλαση στην επιφάνεια του ωκεανού φτάνει επίσης στον αισθητήρα μαζί με την ανοδική ακτινοβολία. Επομένως, απαιτείται ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών δεδομένων. Τα σήματα επηρεάζονται από αιωρούμενα και διαλυμένα υλικά που υπάρχουν στο νερό κατά τη διαδικασία απορρόφησης και σκέδασης. Ωστόσο, σε ρηχά νερά, ένα σημαντικό μέρος του φωτός μπορεί να φτάσει στον αισθητήρα αφού ανακλαστεί από τον πυθμένα. Δεδομένου ότι η ανακλαστικότητα προέρχεται και από τις ουσίες που υπάρχουν στο νερό, η ακριβής μέτρηση της ακτινοβολίας του νερού είναι εξαιρετικά σημαντική για την παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας του νερού. Οι ημι-αναλυτικοί αλγόριθμοι και οι εμπειρικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν απλή στατιστική παλινδρόμηση της ανακλαστικότητας από δεδομένα δορυφόρου ή ραδιομέτρου, σε αντιδιαστολή με τις επιτόπιες μετρήσεις των παραμέτρων ποιότητας του νερού, χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάπτυξη μοντέλων για εκτίμηση της chl-a, όπως έγινε και στην περίπτωση της παρούσας εργασίας.

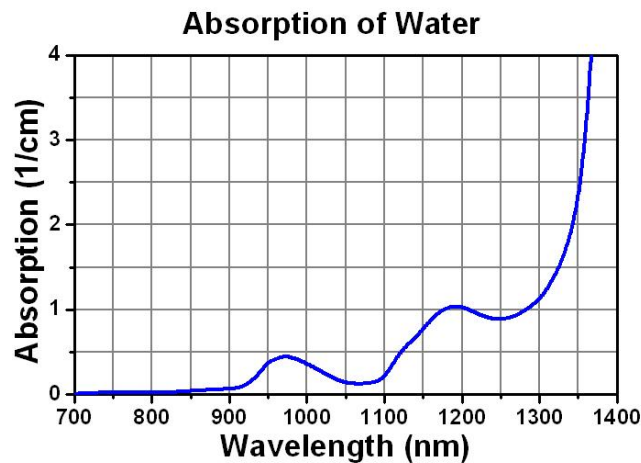
Συνοψίζοντας λοιπόν τα παραπάνω, η τηλεπισκόπηση των ωκεανών αποτελεί σημαντικό παράγοντα ανίχνευσης του φυτοπλαγκτόν, το οποίο εμπεριέχει ισχυρές ποσότητες χλωροφύλλης.

### 3.5 Μέθοδοι μέτρησης χλωροφύλλης

#### 3.5.1 Μέτρηση συγκέντρωσης chlorophyll-a για δεδομένα Landsat 7 ETM+

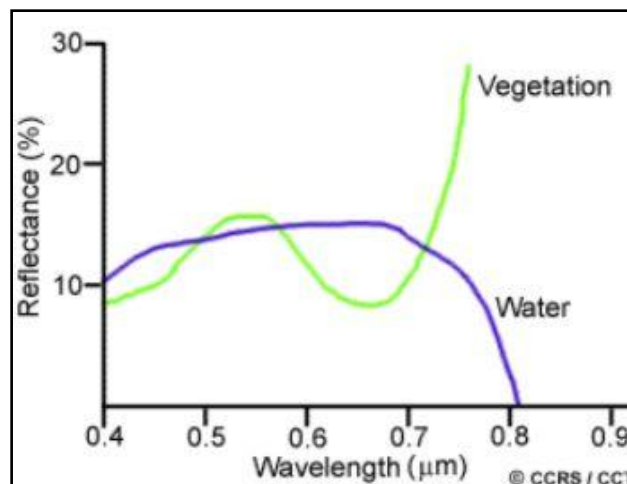
Οι συμβατικές μέθοδοι μέτρησης χλωροφύλλης με επί τόπου μετρήσεις (in situ), είναι δαπανηρές και χρονοβόρες. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα περιορίζουν κατά πολύ τα προβλήματα χώρου και χρόνου, παρέχοντας μια συνοπτική εικόνα της περιοχής μελέτης.

Το καθαρό νερό παρουσιάζει υψηλή απορρόφηση στο κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Ωστόσο, η φασματική απόκριση του νερού μεταβάλλεται με τα οπτικώς ενεργά συστατικά του, όπως οι χρωστικές ουσίες, η οργανική και ανόργανη ύλη και οργανικές διαλυμένες ουσίες. Η απορροφητικότητα του νερού παρατίθεται ακολούθως:



Διάγραμμα 1: Απορρόφηση νερού στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Πηγή: <http://www.keyword-suggestions.com>



Διάγραμμα 2: Φασματικές υπογραφές νερού και βλάστησης

Πηγή: [geol-amu.org](http://geol-amu.org)

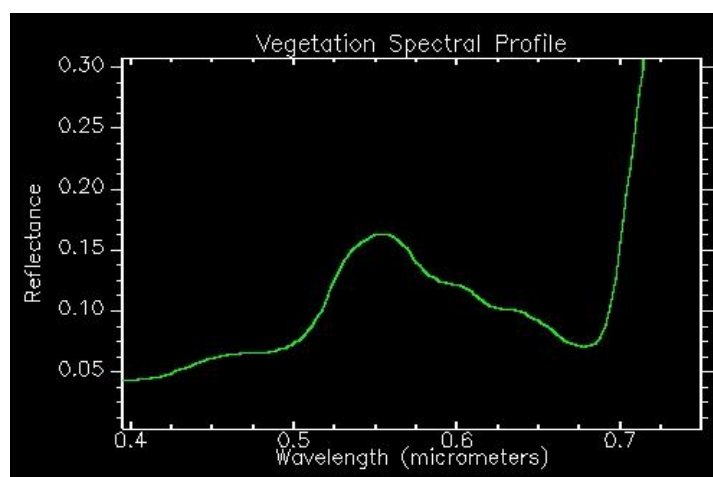
Η μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά, αποβλέποντας στην ανάδειξη της συγκέντρωσης χλωροφύλλης μέσω δεδομένων Landsat 7 ETM+, είναι η αναλογία καναλιών (band ratioing).



Οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί είναι μονοκύτταροι οργανισμοί οι οποίοι υφίστανται μετακίνηση από το νερό. Βρίσκονται κυρίως στις εκβολές των ποταμών, και συνδράμουν σημαντικά στη συνολική πρωτογενή παραγωγή. Περιέχουν τους χλωροπλάστες (συγκεκριμένα η χλωροφύλλη συγκεντρώνεται στους χλωροπλάστες των φυτικών κυττάρων), οι οποίοι με τη σειρά τους απορροφούν το φως του ηλίου και το χρησιμοποιούν για την παραγωγή υδατανθρακών (Teshale Tadesse Danbara, 2014)<sup>[11]</sup>.

Η chlorophyll-a είναι κοινή σε όλους τους φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς, ωστόσο δυο κυρίαρχες ομάδες φυτοπλαγκτόν- οι πράσινες και οι καφέ – περιέχουν και chlorophylls-b και -c. Επομένως, όπως επάγεται από τα προαναφερθέντα, η chlorophyll-a είναι δείκτης αφθονίας φυτοπλαγκτόν στο νερό, με τα εξής φασματικά χαρακτηριστικά:

- Υψηλή απορρόφηση της ακτινοβολίας στα 400-500 nm (μπλε τμήμα του φάσματος) και στα 680 nm (κόκκινο τμήμα)
- Πίκα ανάκλασης στα 550 nm (πράσινο τμήμα)
- Μεγιστοποίηση ανακλαστικότητας στα 900 nm (εγγύς υπέρυθρο)



Διάγραμμα 3:Φασματική υπογραφή της (υγιούς)βλάστησης

Πηγή: [el.wikipedia.org](http://el.wikipedia.org)

Για τη μέτρηση της chlorophyll-a, λοιπόν, έχουν αναπτυχθεί κατά το παρελθόν διάφοροι αλγόριθμοι, εκ των οποίων οι λόγοι(αναλογίες) καναλιών, είναι σύμφωνα με τον Jensen οι πλέον αποτελεσματικοί. Επιπροσθέτως, τα χαρακτηριστικά της σκέδασης και της απορρόφησης της χλωροφύλλης -α, μπορούν να μελετηθούν μόνο όταν χρησιμοποιούνται παραπάνω από ένα κανάλια(J.R. Jensen,2000)<sup>[12]</sup>.

Το πιο χαρακτηριστικό εύρος μήκος κύματος για τη μελέτη της χλωροφύλλης είναι από 400 έως 900 nm, επομένως τα κανάλια που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται για την ανίχνευσή της είναι τα κανάλια του μπλε, πράσινου, κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου(NIR). Η χωρική ανάλυση του Landsat 7 ETM+ σε αυτά τα κανάλια είναι 30 μέτρα.

Πιο συγκεκριμένα, όσο περισσότερο αυξάνεται η χλωροφύλλη, τόσο μειώνεται η ανακλαστικότητα σε αυτά τα δύο κανάλια. Ο ρυθμός μείωσης στο κόκκινο κανάλι του ETM+ είναι πολύ μεγαλύτερος από το ρυθμό μείωσης στο μπλε κανάλι. Ωστόσο, μιας και η

ανακλαστικότητα στο κανάλι 3 (0.63-0,69 μm) επηρεάζεται επίσης από ανόργανα αιωρούμενα ιζήματα και διαλυμένη οργανικών ύλη, η αναλογία του ETM + 1 και ETM + 3 μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά στην εκτίμηση χλωροφύλλης-α, μόνο όταν η συγκέντρωση χλωροφύλλης-α είναι υψηλότερη από ένα ορισμένο επίπεδο και η θολότητα του νερού είναι σχετικά χαμηλή (Janet W. Campbell, 2003)<sup>[13]</sup>.

Σύμφωνα με σχετική βιβλιογραφία, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τις ζώνες του κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου για την εκτίμηση της χλωροφύλλης μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικοί στα εσωτερικά και παράκτια ύδατα, από αλγόριθμους που χρησιμοποιούν μπλε και πράσινα κανάλια. Το εύρος μήκος κύματος από 400-850 nm επιλέγεται συχνότερα, με σκοπό την εκτίμηση παραμέτρων που σχετίζονται με το νερό (Lalu Muhamad et al., 2016)<sup>[4]</sup>.

### 3.5.2 Μέτρηση συγκέντρωσης chlorophyll-a για δεδομένα Landsat 8 (OLI, TIRS) και LANDSAT TM

Μιας και γνωρίζουμε ότι η χλωροφύλλη απορροφά περισσότερη ενέργεια στα μήκη κύματος της μπλε και κόκκινης ακτινοβολίας, και εκπέμπει περισσότερη στο εγγύς υπέρυθρο, μια καλή μέθοδος μέτρησης της chlorophyll-a είναι οι δείκτες βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και NDWI (Normalized Difference Water Index).

#### NDVI

Αποτελεί τον πιο διαδεδομένο και ευρέως χρησιμοποιημένο δείκτη βλάστησης. Με μαθηματικούς όρους, ο τύπος για τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI διατυπώνεται ως εξής:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

όπου NIR= υπέρυθρη ακτινοβολία

VIS =ορατή ακτινοβολία(κόκκινη)

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από -1 μέχρι +1, με την υγιή βλάστηση να λαμβάνει τιμές από 0,2-0,8.

#### NDWI

Με τη σειρά του, ο δείκτης NDWI είναι άμεσα συσχετιζόμενος με το περιεχόμενο σε νερού των φύλλων της βλάστησης, κάνοντας χρήση των καναλιών του εγγύς (NIR) και μέσου υπέρυθρου (SWIR). Η ανακλαστικότητα στο μέσο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, αντανακλά τις αλλαγές στην βλάστηση που περιέχονται στο νερό, καθώς επίσης και αυτές που αναφέρονται στη σπογγώδη μεσοφυλλική δομή των φυτών. Επομένως, η ποσότητα του νερού που εμπεριέχεται στα φύλλα ελέγχει σε μεγάλο βαθμό την ανακλαστικότητα στο συγκεκριμένο τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Εντούτοις, η ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο σχετίζεται με τη συνολική εσωτερική δομή των φύλλων, και όχι με την ύπαρξη νερού.

$$NDWI_t = \frac{NIR_t - SWIR_t}{NIR_t + SWIR_t}$$

*Gao, 1996*

Ένας δεύτερος δείκτης NDWI, πιο συνηθισμένος, είναι ο ακόλουθος, ο οποίος ανιχνεύει αλλαγές στην περιεκτικότητα νερού στα υδάτινα οικοσυστήματα, κάνοντας χρήση του πράσινου και εγγύς υπέρυθρου τμήματος του φάσματος:

$$NDWI = \frac{(X_{green} - X_{nir})}{(X_{green} + X_{nir})} \quad McFeeters (1996)$$

#### **ARVI**

Ο δείκτης ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index), είναι μια βελτίωση του NDVI, και είναι αρκετά ανθεκτικός σε ατμοσφαιρικούς παράγοντες όπως το αεροζόλ. Λειτουργεί χρησιμοποιώντας μετρήσεις ανάκλασης που γίνονται στα μπλε μήκη κύματος, για τη διόρθωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων σκέδασης που καταχωρούνται στο κόκκινο φάσμα. Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι πιο χρήσιμος σε περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση αεροζόλ. Η σχέση είναι η ακόλουθη:

$$ARVI = ((NIR) - (2RED - BLUE)) / ((NIR) + (2RED - BLUE))$$

Οι τιμές και για τον συγκεκριμένο δείκτη είναι  $-1 < ARVI < 1$ , με την πράσινη, υγιή βλάστηση να κυμαίνεται από 0,2-0,8.

#### **Λόγοι TM1/TM2 και TM2/TM3**

Οι λόγοι καναλιών του θεματικού χαρτογράφου είναι έντονα συσχετιζόμενοι με τη χλωροφύλλη (chl<sub>a</sub>). Συγκεκριμένα, έπειτα από πειράματα που έχουν γίνει μεγαλύτερη συσχέτιση έχει ο λόγος TM1/TM2 (μπλε προς πράσινο) ο οποίος είναι και ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης για χαμηλή συγκέντρωση χλωροφύλλης (*Gordon et al., 1983; Kirk, 1986*).

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α ποικίλει ανάλογα με τον λόγο καναλιών TM2/TM3 (πράσινο προς κόκκινο) του θεματικού χαρτογράφου, ο οποίος είναι σύμφωνος με τις οπτικές ιδιότητες της χλωροφύλλης. Άρα, ισχυρή ύπαρξη χλωροφύλλης-α μεγιστοποιεί τον αριθμητή και ελαχιστοποιεί τον παρανομαστή, ενώ η έλλειψή της το ακριβώς ανάποδο.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή χαρτών chl-a από εικόνες Landsat TM στη συγκεκριμένη εργασία, είναι ο εξής:

$$CIa = 0.143314 + 0.208373 * TM2 \quad (Maycira Pereira, 2008)^{[5]}$$

Ο προαναφερθέν αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της μελέτης των παραλιακών υδάτων στην Ubatuba, μιας πόλης στο Σάο Πάολο της Βραζιλίας. Κάνει χρήση μόνο του καναλιού 2 (πράσινο). Η χρήση ενός μόνο καναλιού μπορεί να αιτιολογηθεί, λαμβάνοντας υπόψη πως ο Landsat TM έχει χαμηλή φασματική ανάλυση και δεν έχει σχεδιαστεί για τη μελέτη υδάτινου περιβάλλοντος.

Μιας και η περιοχή λοιπόν που πραγματεύεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι η νότια περιοχή της Χιλής, στη νότιο Αμερική, ο προαναφερθέντος αλγόριθμος μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τις εικόνες Landsat TM, για τις χρονιές 2005-2011. Πριν χρησιμοποιηθεί για το σύνολο των εικόνων, ελέγχθηκε για τα αποτελέσματά του για ένα μικρό δείγμα εικόνων, με βάση το παγκόσμιο προϊόν χλωροφύλλης της Nasa (*Podaac, State of the Ocean (SOTO)*).

### 3.5.3 Μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a για δεδομένα MODIS

Η χωρική ανάλυση των δεδομένων MODIS είναι 250 m για τα κανάλια 1-2, 500 m για τα κανάλια 3-7, καθώς και 1000 m για τα κανάλια 8-36. Τα κανάλια από 8-16 ενδείκνυνται για μελέτη ωκεανών και χλωροφύλλης .

Band nr.	Bandwidth (nm)	Spectral domain	Spatial res. (m)
1	620 – 670	Shortwave / VIS	250
2	841 – 876	Shortwave / NIR	250
3	459 – 479	Shortwave / VIS	500
4	545 – 565	Shortwave / VIS	500
5	1230 - 1250	Shortwave / NIR	500
6	1628 - 1652	Shortwave infrared/ SWIR	500
7	2105 - 2155	Shortwave infrared/ SWIR	1000
8	405 - 420	Shortwave / VIS	1000
9	438 - 448	Shortwave / VIS	1000
10	483 - 493	Shortwave / VIS	1000
11	526 - 536	Shortwave / VIS	1000
12	546 - 556	Shortwave / VIS	1000
13	662 - 672	Shortwave / VIS	1000
14	673 - 683	Shortwave / VIS	1000
15	743 - 753	Shortwave / VIS	1000
16	862 - 877	Shortwave / NIR	1000
17	890 - 920	Shortwave / NIR	1000
18	931 - 941	Shortwave / NIR	1000
19	915 - 965	Shortwave / NIR	1000
20	3660 – 3840	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
21	3929 – 3989	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
22	3929 - 3989	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
23	4020 – 4080	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
24	4433 – 4498	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
25	4482 – 4549	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
26	1360 – 1390	Shortwave / NIR	1000
27	6535 - 6895	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
28	7175 - 7475	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
29	8400 - 8700	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
30	9580 - 9880	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
31	10780 - 11280	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
32	11770 - 12270	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
33	13185 - 13485	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
34	13485 - 13785	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
35	13785 - 14085	Longwave thermal infrared/ TIR	1000
36	14085 - 14385	Longwave thermal infrared/ TIR	1000

**Πίνακας 5: Κανάλια MODIS**

Πηγή: *modis.gsfc.nasa.gov*

Υφίστανται δυο κυρίαρχοι αλγόριθμοι για τα δεδομένα MODIS: Ο αλγόριθμος MODIS και ο SeaWIFS αλγόριθμος (πιο ιδανικός για δεδομένα SeaWIFS), οι οποίοι και παρατίθενται με τη σειρά από κάτω:

- Αλγόριθμος MODIS(OC3M):

$$\log_{10}(\text{CHL}) = 0.283 - 2.753R + 1.457R^2 + 0.659R^3 - 1.403R^4$$

όπου

$$R = \log_{10}[\max(R_{rs}(443), R_{rs}(488)) / R_{rs}(551)]$$

Ο λόγος (443/551) είναι πάντοτε μέγιστος στα μπλε ύδατα, όπου η συγκέντρωση χλωροφύλλης είναι μικρή, μιας και η ανακλαστικότητα της είναι ελάχιστη στο μπλε τμήμα του φάσματος. Ωστόσο, όταν η χλωροφύλλη αυξάνεται, ο παραπάνω λόγος μειώνεται λόγω της υψηλής απορρόφησής της στα 443 nm και συνεπώς ο λόγος 488/551 γίνεται ο μεγαλύτερος εκ των δυο.

- Αλγόριθμος SeaWIFS(OC4.v4):

$$\log_{10}(\text{CHL}) = 0.366 - 3.067R + 1.930R^2 + 0.649R^3 - 1.532R^4$$

όπου

$$R = \log_{10}[\max(R_{rs}(443), R_{rs}(490), R_{rs}(510)) / R_{rs}(555)]$$

Ο αλγόριθμος SeaWifs OC4.v4 συγκριτικά με τον προηγούμενο έχει ένα επιπλέον λόγο καναλιών, τον 510/555. Διαιρεί την ανάκλαση της μέγιστης τιμής πολλών μηκών κύματος (443, 490, ή 510 nm), με την ανάκλαση στα 550 nm.

Έχουμε ουσιαστικά δύο αναλογίες μπλε φωτός προς πράσινο φως (οι δυο πρώτοι λόγοι), και μια αναλογία πράσινου φωτός για δυο διαφορετικούς τιμές του μήκους κύματος (510,555).

Ο συντελεστής ανάκλασης R ο οποίος προκύπτει από τον αλγόριθμο αυτόν, χρησιμοποιείται εν συνεχεία σε ένα κυβικό πολυώνυμο, που σχετίζει την αναλογία καναλιών με τη χλωροφύλλη, και έτσι προκύπτει η ζητούμενη ποσότητα χλωροφύλλης

- the O'Reilly band ratio OCx (2000)

$$\log_{10}(\text{chlor}_a) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \left( \log_{10} \left( \frac{R_{rs}(\lambda_{blue})}{R_{rs}(\lambda_{green})} \right) \right)^i,$$

Ο αλγόριθμος OCx είναι μια 4ου βαθμού πολυωνυμική σχέση μεταξύ αναλογίας ανακλαστικότητας και χλωροφύλλης – α. Ο συντελεστής R εισέρχεται σε μια λογαριθμική σχέση που χρησιμοποιεί το μέγιστο λόγο μεταξύ συγκεκριμένων καναλιών(μπλε και πράσινο κανάλι), και οι σταθερές  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  διαφέρουν ανάλογα με τον δέκτη. Η χλωροφύλλη υπολογίζεται σε  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αποτελεί ένα εκ των δυο αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται από τη Nasa, για την παραγωγή του παγκόσμιου προϊόντος χλωροφύλλης.

### 3.5.4 Μέτρηση χλωροφύλλης για δεδομένα Sentinel

Για δεδομένα Sentinel 3, έχει αναπτυχθεί ο δείκτης FLH/MCI για την εξαγωγή τιμών χλωροφύλλης-α.

Το ύψος της γραμμής φθορισμού(FLH)καθώς και ο μέγιστος δείκτης χλωροφύλλης(MCI), εκμεταλλεύονται το ύψος μιας μέτρησης σε μια συγκεκριμένη φασματική ζώνη, πάνω από μια γραμμή βάσης(baseline), η οποία διέρχεται από 2 ή και περισσότερα φασματικά κανάλια. Ο πιο ευρέως γνωστός αλγόριθμος, είναι ο FLH, καθώς η φθορίωση της χλωροφύλλης στα 680,5 nm μετριέται, και υπολογίζεται το ύψος της πάνω από τη συγκεκριμένη γραμμή βάσης, η οποία διέρχεται από τα 664 και 708 nm. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται εν συνεχεία σαν δείκτες βιολογικής δραστηριότητας του φυτοπλαγκτόν. Η γενική εξίσωση για τη γραμμή βάσης είναι η εξής(J.F.R Gower,R.Doerffer,G.A Borstad,1999)<sup>(8)</sup>:

$$\text{LineHeight} = L_2 - L_1 - (L_3 - L_1) \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)}{(\lambda_3 - \lambda_1)}$$

όπου οι δείκτες 1 και 3 είναι τα κανάλια που συντελούν στη γραμμή βάσης(baseline), και ο δείκτης 2 είναι το μέγιστο μήκος κύματος(peak wavelength). Επίσης L=water-leaving radiance. Στην περίπτωση του παραπάνω δείκτη για την εξαγωγή χλωροφύλλης, τα κανάλια της γραμμής βάσης είναι το 10 και 8, ενώ ο δείκτης 2 αναφέρεται στο κανάλι 9, στο οποίο γίνεται και η μέτρηση φθορισμού της χλωροφύλλης.

Ο αλγόριθμος που υπολογίζει τον δείκτη FLH/MCI περιέχει και έναν συντελεστή(k\*)για την εξάλειψη των λεπτών σύννεφων:

$$FLH = L_2 - k * \left( L_1 + (L_3 - L_1) \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_1} \right) \quad (\text{J.F.R Gower, February 2003})$$

Ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε για τις εικόνες Sentinel 2 στην παρούσα εργασία, ήταν ο Maximum Chlorophyll Index(MCI). Ο συγκεκριμένος δείκτης μετράει την τιμή της ανακλαστικότητας σε ένα συγκεκριμένο κανάλι, πάνω από μια γραμμή βάσης, η οποία διέρχεται από άλλα 2 κανάλια. Στην περίπτωση του Sentinel 2, πιο κατάλληλα κανάλια για τη δημιουργία της γραμμής βάσης(baseline), είναι τα κανάλια 4 και 6 του MSI, στα 665 και 740 nm, αντίστοιχα. Η σχέση που δίνει τη γραμμή βάσης, είναι η εξής:

$$LineHeight = L_2 - L_1 - (L_3 - L_1) \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)}{(\lambda_3 - \lambda_1)}$$

G.F.R Gower et.al.,2003

Όπου L=Water-Leaving Radiance, και λ=μέγιστο μήκος κύματος. Οι δείκτες 1 και 3 αναφέρονται στα κανάλια 4 και 6(κανάλια γραμμής βάσης), αντίστοιχως, ενώ ο δείκτης 2, στο κανάλι 5, στο οποίο γίνεται η μέτρηση της ανακλαστικότητας.

Ο δείκτης MCI, παρατίθεται ακολούθως. Σημειώνουμε πως, όπως και ο δείκτης FLH/MCI, εμπεριέχει τον συντελεστή k, για την εξάλειψη των λεπτών σύννεφων των εικόνων:

$$MCI = L_2 - k \times \left( L_1 + (L_3 - L_1) \times \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_1} \right)$$

G.F.R Gower et.al.,2003

Άλλοι σημαντικοί δείκτες για την εκτίμηση της χλωροφύλλης για δεδομένα Sentinel 2 είναι οι εξής(Πηγή: <http://www.sentinel-hub.com/apps/wms/wms-parameters/EOproducts/>):

- **Simple Ratio Index (SR)**=BAND8/BAND4
  - **SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)**= 1.5 \* (BAND8 - BAND4) / (BAND8 + BAND4 + 0.5)
- Red edge NDVI=(BAND8-BAND6)/(BAND8+BAND6)
- **S2REP (Sentinel-2 Red-Edge Position)**= 705 + 35 \* (0.5 \* (BAND7 + BAND4) - BAND5) / (BAND6 - BAND5)
  - **NDVI-GREEN (Normalized Difference Vegetation Index - Green)**= BAND3 \* (BAND8 - BAND4) / (BAND8 + BAND4)
  - **NDCI (Normalized Difference Chlorophyll Index)**=(BAND5-BAND4)/(BAND5+BAND4)

Ο τελευταίος δείκτης(NDCI) χρησιμοποιήθηκε στην προσπάθειά μας να επεξεργαστούμε τα δεδομένα Sentinel 2 στο QGIS, προτού καταφύγουμε στην πλατφόρμα SNAP για υπολογισμό του δείκτη MCI. Αν και ήταν εύκολος στην εφαρμογή του, κάνοντας χρήση των καναλιών του κόκκινου και της red-edge\* περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, λόγω του θορύβου των εικόνων δεν οδήγησε σε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

*\*με το όρο red edge(περιοχή κόκκινης αιχμής) εννοούμε εκείνη την περιοχή του φάσματος που παρατηρείται ραγδαία(ξαφνική) αύξηση της ανακλαστικότητας της χλωροφύλλης στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος(Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_edge](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_edge))*



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## 4.Μεθοδολογία για τη Χιλή

Στο τρέχον κεφάλαιο αναπτύσσεται λεπτομερώς όλη η διαδικασία επεξεργασία για την Χιλή στα περιβάλλοντα QGIS και SNAP, για τις εικόνες Landsat και Sentinel, αντίστοιχα. Επιπλέον παρατίθενται οι χάρτες με τα αποτελέσματα χλωροφύλλης και θερμοκρασίας βασιζόμενοι σε δεδομένα Landsat TM και Landsat 8 για τα έτη 2005-2016, καθώς και οι δείκτες χλωροφύλλης για τις χρησιμοποιηθείσες εικόνες Sentinel για συγκεκριμένες ημερομηνίες του 2017. Παρατέθηκαν επιπλέον στιγμιότυπα από το παγκόσμιο προϊόν της NASA που περιείχε διανύσματα ανέμων(για τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας), για να μελετήσουμε και την συνιστώσα του ανέμου.

### 4.1 Άντληση εικόνων Landsat TM και Landsat 8

Οι εικόνες Landsat TM και Landsat 8 OLI/TIRS για την περιοχή της Χιλής, κατέβηκαν από τις ιστοσελίδες [Erthexplorer](#) και το [Landsatlook](#) της Nasa όπου ο χρήστης ήταν σε θέση να ορίσει στο πρόγραμμα αισθητήρα, περιοχή και ημερομηνία. Οι εικόνες κατέβηκαν γεωμετρικά και ραδιομετρικά διορθωμένες, άρα δεν υπέστησαν κάποια αρχική διόρθωση. Οι εικόνες αντιστοιχούν σε δυο συγκεκριμένες περιοχές, με τη δεύτερη περιοχή να είναι λίγο πιο πάνω γεωγραφικά από την άλλη, αλλά απεικονίζουν σχεδόν το ίδιο τμήμα της Χιλής. Η χρονοσειρά δεδομένων είναι 2005-2016 πλην του 2012, όπου υπάρχει έλλειψη δεδομένων Landsat.



Εικόνα 20:Χάρτης γεωγραφικών συντεταγμένων Χιλής

Τα προϊόντα είναι Level-1 (Pre collection L1T με τις εξής επεξεργασίες, όπως αυτές περιγράφονται στον ιστότοπο της USGS:

- Ραδιομετρικά διορθωμένες εικόνες
- Ορθοανοιγμένες με τη χρήση σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων (Ground Control Points (GCP)), και ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Elevation Model (DEM)) για επίτευξη τοπογραφικής ακρίβειας

Αποτελούν τα καλύτερης ποιότητας προϊόντα για επεξεργασία ανάλυσης επιπέδου pixel.

Κάθε εικόνα Landsat συνοδεύεται και από αρχείο μεταδεδομένων σε μορφή txt (MTL.txt) με απαραίτητα στοιχεία για συστηματική αναζήτηση και αρχειοθέτηση δεδομένων. Τα μεταδεδομένα περιγράφουν επιμέρους παραμέτρους που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων επεξεργασίας κάθε σκηνής. Οι τιμές που είναι σημαντικές για την ενίσχυση των δεδομένων Landsat (όπως μετατροπή σε ανακλαστικότητα και ακτινοβολία) περιλαμβάνονται επίσης σε αυτό το αρχείο.

Η όλη επεξεργασία δεδομένων Landsat έγινε στο πρόγραμμα Quantum QIS το οποίο ενδείκνυται για επεξεργασία πολυφασματικών εικόνων, καθώς και την εξαγωγή ποσοτικών πληροφοριών όπως στην περίπτωση μας χλωροφύλλης και θερμοκρασίας νερού.

Παρακάτω ακολουθεί διάγραμμα με τις ακριβείς ημερομηνίες λήψης των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν. Στα δεξιά κελιά αναγράφονται ποια από τις 2 περιοχές αντιστοιχεί στην εκάστοτε ημερομηνία.

<b>2005</b>		<b>2008</b>		<b>2013</b>		<b>2015</b>	
7-Ιαν	Περιοχή 1	16-Ιαν	Περιοχή 1	21-Μαΐ	Περιοχή 1	3-Ιαν	Περιοχή 1
24-Φεβ	Περιοχή 1	28-Σεπ	Περιοχή 1	6-Ιουν	Περιοχή 1	4-Φεβ	Περιοχή 1
22-Οκτ	Περιοχή 1	17-Δεκ	Περιοχή 1	24-Ιουλ	Περιοχή 1	25-Απρ	Περιοχή 1
<b>2006</b>		<b>2009</b>		9-Αυγ	Περιοχή 1	19-Νοε	Περιοχή 1
26-Ιαν	Περιοχή 1	18-Ιαν	Περιοχή 2	31-Δεκ	Περιοχή 1	<b>2016</b>	
27-Φεβ	Περιοχή 2	7-Μαρ	Περιοχή 2	<b>2014</b>		22-Ιαν	Περιοχή 1
22-Αυγ	Περιοχή 1	24-Απρ	Περιοχή 1	1-Φεβ	Περιοχή 1	23-Φεβ	Περιοχή 1
25-Οκτ	Περιοχή 1	<b>2010</b>		22-Απρ	Περιοχή 2	18-Σεπ	Περιοχή 1
28-Δεκ	Περιοχή 1	21-Ιαν	Περιοχή 2	12-Αυγ	Περιοχή 1	23-Δεκ	Περιοχή 1
<b>2007</b>		26-Μαρ	Περιοχή 2	31-Οκτ	Περιοχή 1		

					1
29-Ιαν	Περιοχή 1	18-Σεπ	Περιοχή 2	18-Δεκ	Περιοχή 1
21-Μαΐ	Περιοχή 1	<b>2011</b>			
9-Αυγ	Περιοχή 1	8-Ιαν	Περιοχή 1		
		29-Μαρ	Περιοχή 2		

Πίνακας 6: Πίνακας ημερομηνιών λήψης για τη Χιλή

Κάπου εδώ κρίνεται αναγκαίο να αναφέρουμε πως είναι οι εποχές στο νότιο ημισφαίριο:

- Ο Χειμώνας έχει τρεις μήνες: Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο και ξεκινάει αστρονομικά με το χειμερινό ηλιοστάσιο στις 21 Ιουνίου, τελειώνοντας κατά την εαρινή ισημερία στις 21 Σεπτεμβρίου.
- Η άνοιξη περιλαμβάνει τους μήνες Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος, ξεκινώντας με την εαρινή ισημερία στις 21 Σεπτέμβρη, ολοκληρώνοντας με το θερινό ηλιοστάσιο στις 21 Δεκέμβρη.
- Οι μήνες του καλοκαιριού είναι ο Δεκέμβρης, Ιανουάριος και Φεβρουάριος. Ξεκινάει με το θερινό ηλιοστάσιο στις 21 Δεκέμβρη και ολοκληρώνεται στις 21 Μάρτη κατά τη φθινοπωρινή ισημερία.
- Το φθινόπωρο περιλαμβάνει τους μήνες Μάρτιος, Απρίλιος και Μάιος.

Επομένως είναι σημαντικό να διευκρινίσουμε πως στην τρέχουσα διπλωματική εργασία θα μιλάμε με εποχές νοτίου ημισφαιρίου και όχι βορείου όπως έχουμε συνηθίσει στον Ελλαδικό χώρο.

## 4.2 Εξαγωγή χλωροφύλλης-α(chl-a) για δεδομένα Landsat TM

Οι 8 bit εικόνες Landsat TM με εύρος ψηφιακών τιμών 0-255 (0<DN<255) εισήχθησαν σαν raster δεδομένα στο QGIS. Η επεξεργασία που ακολουθεί έγινε ανά χρονιά, για τα έτη από 2005 έως 2011.

Έγινε χρήση του αλγορίθμου **Chl-a = 0.143314 + 0.208373 \* TM2** (Maycira Pereira de Farias Costa, 2008)<sup>[5]</sup> ο οποίος δέχεται τις ψηφιακές τιμές (DN) των εικόνων κάνοντας χρήση μόνο του καναλιού 2 (πράσινη περιοχή του φάσματος). Θυμίζουμε πως ο θεματικός χαρτογράφος δεν ενδείκνυται για μελέτη φαινομένων περιβάλλοντος, ιδίως θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ωστόσο όπως θα δούμε και παρακάτω, εξήχθησαν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Κατά την απόδοση του Level-1 προϊόντος τα εικονοστοιχεία μετατρέπονται σε μονάδες απόλυτης ακτινοβολίας, χρησιμοποιώντας υπολογισμούς με κινητά σημεία 32-bit. Οι τιμές των εικονοστοιχείων κλιμακώνονται στη συνέχεια σε τιμές byte πριν την έξοδο.

Ο προαναφερθέντας αλγόριθμος χαρακτηρίζεται πρωτίστως από την ευκολία στην εφαρμογή του, μιας και δε χρειάστηκε η μετατροπή των τιμών από ψηφιακές σε radiance και reflectance.

### 4.3 Εξαγωγή χλωροφύλλης-α(chl-a) για δεδομένα Landsat 8

Οι εικόνες για τα έτη 2013-2016 ήταν από τον Landsat 8, με τις ψηφιακές τιμές των εικόνων να λαμβάνουν τιμές από 0 έως 65535. Για τον υπολογισμό των τιμών χλωροφύλλης-α για τα δεδομένα των συγκεκριμένων ημερομηνιών, κάναμε χρήση ενός εκ των δυο αλγορίθμων που χρησιμοποιεί η NASA στο παγκόσμιο προϊόν χλωροφύλλης που παράγει.

Πιο συγκεκριμένα, οι δύο αλγόριθμοι που χρησιμοποιεί είναι οι ακόλουθοι :

#### Hu Color index (CI) algorithm

Ο CI αλγόριθμος κάνει χρήση της διαφοράς ανακλαστικότητας τριών καναλιών, με το να χρησιμοποιεί τη διαφορά μεταξύ ανακλαστικότητας Rrs στο πράσινο κανάλι, και την γραμμικά σχηματιζόμενη αναφορά της Rrs ανακλαστικότητας στο μπλε και κόκκινο κανάλι. Ο CI αλγόριθμος έχει την ακόλουθη μορφή:

$$CI = R_{rs}(\lambda_{green}) - [R_{rs}(\lambda_{blue}) + (\lambda_{green} - \lambda_{blue}) / (\lambda_{red} - \lambda_{blue}) * (R_{rs}(\lambda_{red}) - R_{rs}(\lambda_{blue}))]$$

όπου  $\lambda_{blue}$ ,  $\lambda_{green}$  και  $\lambda_{red}$  είναι τα ειδικά μήκη κύματος του αισθητήρα, κοντινότερα στα 443, 555 και 670 nm αντιστοίχως.

#### OCx algorithm

Αποτελεί τον δεύτερο αλγόριθμο που χρησιμοποιεί η NASA για την παραγωγή του παγκόσμιου προϊόντος χλωροφύλλης του οποίου η επακριβής ονομασία(μεταβλητή x) σχετίζεται με τον αισθητήρα που χρησιμοποιείται. Είναι πιο σύνθετος από τον CI καθώς αποτελεί μια 4<sup>ου</sup> βαθμού πολυωνυμική σχέση μεταξύ λόγου(αναλογίας) ανακλαστικότητας Rrs και chl-a σε  $mg \cdot m^{-3}$ :

$$\log_{10}(chlor\_a) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \left( \log_{10} \left( \frac{R_{rs}(\lambda_{blue})}{R_{rs}(\lambda_{green})} \right) \right)^i,$$

όπου ο αριθμητής Rrs είναι ο μεγαλύτερος ανάμεσα στις τιμές ανακλαστικότητας που αντιστοιχούν στο μπλε φάσμα, ανάλογα με τα μπλε κανάλια που χρησιμοποιεί ο κάθε αισθητήρας, ενώ ο παρονομαστής είναι η ανακλαστικότητα στο πράσινο κανάλι. Οι σταθερές  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  εξαρτώνται και αυτές από τον αισθητήρα που χρησιμοποιείται.

Λογαριθμίζοντας προκύπτει στο αριστερό μέλος η chl-a ως δύναμη του 10.

Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση του παραπάνω αλγορίθμου για τα δεδομένα Landsat 8 OLI/TIRS, ο οποίος μετονομάζεται OC2 και OC3, ανάλογα με το αν γίνεται χρήση του coastal band (κανάλι OLI1) στα 443 nm, οπότε και ονομάζεται OC3. Στην περίπτωση που δε

χρησιμοποιείται το κανάλι 1 ως αριθμητής, αλλά το μπλε κανάλι (κανάλι OLI2), ο αλγόριθμος ονομάζεται OC2.

Μια εναλλακτική έκφραση του OCX επιλέγει ως αριθμητή το μέγιστο εκ των Rrs των καναλιών OLI1 ,OLI2 προς το κανάλι OLI3. Έγιναν δοκιμές στην εργασία μας για την εύρεση του ποιο εκ των δυο καναλιών OLI1 και OLI2 παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή ώστε να αποφανθούμε αν θα πάρουμε τον OC2 είτε τον OC3. Παρατηρήθηκε πως στο 99% των εικόνων η μέγιστη τιμή(max value) στο κανάλι OLI1 ήταν υψηλότερη από τη μέγιστη τιμή στο κανάλι OLI2, συνεπώς υπολογίστηκαν οι λόγοι OLI1/OLI3, με άλλα λόγια ο αλγόριθμος OC3.

Ο αλγόριθμος OC3, όπως διατυπώθηκε πρώτη φορά το 2015 από τη NASA, και στην ακριβή μορφή που χρησιμοποιήθηκε στην τρέχουσα εργασία, είναι ο ακόλουθος:

$$OC3 \text{ (NASA, 2015)} : \\ Chla = 10^{(0.2412 - 2.0546 \times \log(\frac{OLI1}{OLI3}) + 1.1776 \times \log(\frac{OLI1}{OLI3})^2 - 0.5538 \times \log(\frac{OLI1}{OLI3})^3 - 0.457 \times \log(\frac{OLI1}{OLI3})^4)}$$

Οι σταθερές  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  αναφέρονται αυστηρά στον OLI και μας εστάλησαν από την ίδια τη NASA, όπως φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Μεταβλητή	Τιμή
$\alpha_0$	0,2412
$\alpha_1$	-2,0546
$\alpha_2$	1,1776
$\alpha_3$	-0,5538
$\alpha_4$	-0,457

Πίνακας 7: Τιμές σταθερών για τον αλγόριθμο OC3

Πηγή: NASA

Αξίζει να σημειωθεί πως ο OCX αλγόριθμος χρησιμοποιείται κυρίως για δεδομένα MODIS και SeaWiFS, αλλά με διαφορετικούς αριθμητές ανάλογα με τα αντίστοιχα κανάλια και διαφορετικές σταθερές, αντίστοιχα. Ο αλγόριθμος αυτός για χρήση του για δεδομένα MODIS και SeaWiFS αναπτύσσεται στο κεφάλαιο 2.

Για τον απαιτούμενο υπολογισμό της chl-a ο αλγόριθμος OC3 βρίσκει εφαρμογή μόνο για χαμηλές τιμές της χλωροφύλλης, για τιμές από 1-3 mg\*m<sup>-3</sup>. Αυτό συνεπάγεται την απαίτηση ενός δευτέρου αλγορίθμου με εφαρμογή στις τιμές μεγαλύτερες από 3 mg\*m<sup>-3</sup>.

Έπειτα από την εφαρμογή διαφόρων αλγορίθμων καταλήξαμε στην χρήση του NDWI αλγορίθμου αποκλειστικά για δεδομένα Landsat 8 OLI. Προτιμήθηκε για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που εξήγαγε, καθώς επίσης και για την απλότητά του, μιας και κάνει χρήση μονάχα των καναλιών OLI1 και OLI4. Σε αυτό το σημείο αξίζει να υπενθυμίσουμε πως ο δείκτης NDWI εντοπίζει την ύπαρξη ή απουσία νερού και συνδράμει στην εξαγωγή δεδομένων χλωροφύλλης εντός υδάτων.

Παρακάτω ακολουθεί πίνακας με όλους τους αλγορίθμους για δεδομένα Landsat 8 ενώ από τον επικείμενο πίνακα εμείς επιλέξαμε τον OC3 (7) και τον NDWI(8) (Emi Yati, 2016).

Algorithm and Functional form	
OC2 (NASA, 2015) :	
$Chla = 10^{(0.1977 - 1.8117 \times \log(\frac{OLI2}{OLI3}) + 1.9743 \times \log(\frac{OLI2}{OLI3})^2 - 2.5635 \times \log(\frac{OLI2}{OLI3})^3 - 0.72181 \times \log(\frac{OLI2}{OLI3})^4)}$	(6)
OC3 (NASA, 2015) :	
$Chla = 10^{(0.2412 - 2.0546 \times \log(\frac{OLI1}{OLI3}) + 1.1776 \times \log(\frac{OLI1}{OLI3})^2 - 0.5538 \times \log(\frac{OLI1}{OLI3})^3 - 0.457 \times \log(\frac{OLI1}{OLI3})^4)}$	(7)
NDWI (Zhang & Hang, 2015) :	$Chla = 17.878 \times \frac{OLI4 - OLI1}{OLI4 + OLI1} + 5.636$
	(8)
LMR (Zhang & Hang, 2015) :	
$Chla = -0.006 \times OLI2 + 0.013 \times OLI3 + 0.003 \times OLI4 - 0.168$	(9)
SB (Yunus et al., 2015) :	$Chla = 1319.3 \times OLI3 - 34.47$
	(10)
BR (Yunus et al., 2015) :	$Chla = 1020 \times (\frac{OLI2}{OLI3})^2 - 3268.3 \times (\frac{OLI2}{OLI3}) + 2631.6$
	(11)

Πίνακας 8: Αλγόριθμοι chl-a για τον Landsat 8 OLI

Όλοι οι προαναφερθέντες αλγόριθμοι είναι σχετικά απλοί στην εφαρμογή τους, εκτός από τους δυο πρώτους που είναι ομολογουμένως λίγο πιο σύνθετοι.

Συμπερασματικά, οι αλγόριθμοι που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία είναι ο OC3 και ο NDWI (για τα δεδομένα Landsat 8), ενώ η λεπτομερής περιγραφή των όσων υλοποιήθηκαν σε περιβάλλον GIS ακολουθεί αμέσως, τόσο περιγραφικά όσο και διαγραμματικά.

#### 4.3.1 Υπολογισμός τιμών Rrs

Στους δύο παραπάνω αλγόριθμους (OC3, NDWI) η ποσότητα που χρησιμοποιείται είναι η Rrs, ονομαζόμενη ως «φασματική ανακλαστικότητα τηλεπισκόπησης» η οποία προκύπτει έπειτα από ατμοσφαιρικές διορθώσεις που αποσκοπούν στην εξάλειψη σφαλμάτων που οφείλονται στα μόρια αέρος, στον ήλιο καθώς και σε επιφανειακές μορφές του εδάφους.

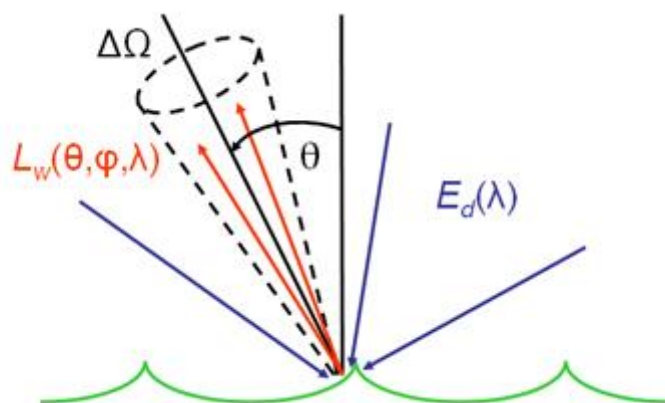
Οι αισθητήρες των δορυφορικών αποστολών μετράνε την ανακλαστικότητα στην κορυφή της ατμόσφαιρας (TOA) η οποία είναι στην ουσία το φως που ανακλάται από τα μόρια του αέρα και τα αερολύματα μέσα στην ατμόσφαιρα. Οι συνεισφορές αυτές πρέπει να διαμορφώνονται με ακρίβεια και να απομακρύνονται από το παρατηρούμενο σήμα.

Ομοίως, πρέπει να εκτιμηθούν και να αφαιρεθούν οι επιφανειακές συνεισφορές από λευκές κηλίδες και λάμψη από τον ήλιο καθώς επίσης και η κατοπτρική ανάκλαση του ήλιου στο οπτικό πεδίο του αισθητήρα.

Τέλος πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις της απορρόφησης των ατμοσφαιρικών αερίων και των απωλειών σκέδασης λόγω της διαπερατότητας της ακτινοβολίας μέσω της ατμόσφαιρας. Εν ολίγοις οφείλουν να υλοποιηθούν όλες οι κατάλληλες ατμοσφαιρικές διορθώσεις ώστε από την TOA radiance να υπολογίσουμε την water-leaving radiance  $L_w$  και την ακτινοβολία Rrs.

Η USGS παρέχει στον ιστότοπο “earthexplorer” ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες, ωστόσο επιλέξαμε τα προϊόντα να είναι μη ατμοσφαιρικά διορθωμένα, τα οποία και υπέστησαν επεξεργασία εν συνεχεία στο λογισμικό QGIS με σκοπό την τελική παραγωγή ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων με τιμές Rrs.

Σημειώνουμε πως η μετατροπή αυτή έγινε μονάχα για τον υπολογισμό των προϊόντων χλωροφύλλης.



Εικόνα 21: Απεικόνιση των ακτίνων φωτός που συνδράμουν στην ανακλαστικότητα τηλεπισκόπησης, ή remote-sensing reflectance Rrs.

#### 4.3.2 Επεξεργασία στο περιβάλλον QGIS

Σε πρώτο βήμα οι εικόνες εισήχθησαν στο πρόγραμμα και πιο συγκεκριμένα τα κανάλια OLI1, OLI3 και OLI4, τα οποία και ήταν η βάση για την εφαρμογή των αλγορίθμων όπως αναλύουμε παρακάτω. Ακολούθησε η ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων, προτού ξεκινήσει η εφαρμογή των αλγορίθμων για τους λόγους που αναφέραμε στο προηγούμενο εδάφιο περί ανάγκης ατμοσφαιρικής διόρθωσης των δορυφορικών εικόνων από παρεμβολές της ατμόσφαιρας.

##### 4.3.2.1 Ατμοσφαιρική διόρθωση εικόνων στο i.atcorr

Η ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων έγινε στο QGIS και συγκεκριμένα στο i.atcorr που παρέχει ελεύθερα το GRASS GIS και μπορεί κανείς να βρει κάποιος εύκολα ενσωματωμένο στο QGIS πρόσφατης έκδοσης. Η λεπτομερής περιγραφή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης παρατίθεται στο αμέσως παρακάτω εδάφιο καθώς εντάσσεται στην διαδικασία επεξεργασίας στο QGIS.

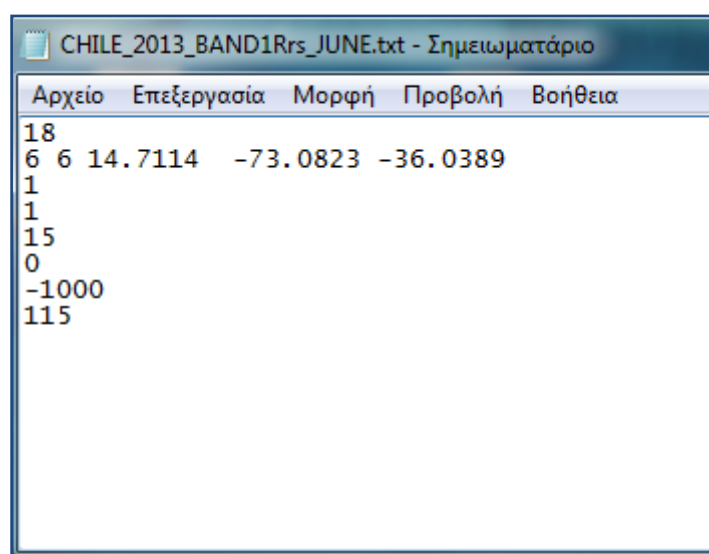
Το πρόγραμμα i.atcorr χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο 6S της NASA. Απαιτούμενη προϋπόθεση για να τρέξει το πρόγραμμα ήταν η δημιουργία αρχείου .txt για το εκάστοτε κανάλι. Το αρχείο αυτό—όπως δείχνουμε παρακάτω—περιελάμβανε σημαντικές πληροφορίες σχετιζόμενες με την ώρα λήψης της εικόνας, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του κέντρου της εικόνας, τον δορυφόρο, τον αισθητήρα καθώς και δεδομένα για την κατάσταση της

ατμόσφαιρας τη στιγμή λήψης. Όλα αυτά τα δεδομένα αντλήθηκαν από το αρχείο μεταδεδομένων (.MTL) που συνόδευε την κάθε μια εικόνα.

parameter	Parameter kind
1 <sup>st</sup> parameter	Geometrical conditions
2 <sup>nd</sup> parameter	Month day hh.ddd longitude latitude
3 <sup>rd</sup> parameter	atmospheric mode
4 <sup>th</sup> parameter	Aerosols models
5 <sup>th</sup> parameter	visibility [km] (aerosol model concentration)
6 <sup>th</sup> parameter	mean target elevation above sea level [km]
7 <sup>th</sup> parameter	sensor height
8 <sup>th</sup> parameter	Band/sensor

Πίνακας 9: Παράμετροι *i.atcorr* στο περιβάλλον QGIS

Η παρακάτω εικόνα αποτελεί ένα από τα αρχεία μορφής .txt που δημιουργήσαμε ώστε να υλοποιηθεί η ατμοσφαιρική διόρθωση. Η εικόνα που υπέστη διόρθωση είναι της Χιλής, έτους 2013, το κανάλι OLI1, μηνός Ιουνίου. Τα εν λόγω αρχεία που δημιουργήθηκαν τοποθετήθηκαν στον ίδιο φάκελο με τις εικόνες, ώστε να διαβαστούν σωστά από το πρόγραμμα.



Εικόνα 22: Αρχείο μορφής .txt που συνόδευε την κάθε εικόνα

Το πρόγραμμα ζητούσε επιπλέον το εύρος ψηφιακών τιμών των εικόνων πριν τη διόρθωση (αρχικές εικόνες), το οποίο γνωρίζουμε ότι κυμαίνεται από 0-65535 για τις εικόνες Landsat 8. Εφόσον επρόκειτο να εξαχθούν τιμές ανακλαστικότητας, το εύρος τιμών των διορθωμένων (τελικών) εικόνων επιλέχθηκε 0-1. Εξήχθησαν λοιπόν οι εικόνες σαν καινούργια αρχεία raster.

#### 4.3.2.2 Περικοπή-μασκάρισμα εικόνων

Εφόσον απαιτούμενο ήταν ο υπολογισμός της chl-a για τα παράκτια ύδατα της Χιλής έπρεπε οι τιμές των εικονοστοιχείων που αναφέρονται στη στεριά να αποκλειστούν από την εφαρμογή του αλγορίθμου διότι θα οδηγούμασταν σε λανθασμένα αποτελέσματα. Σε



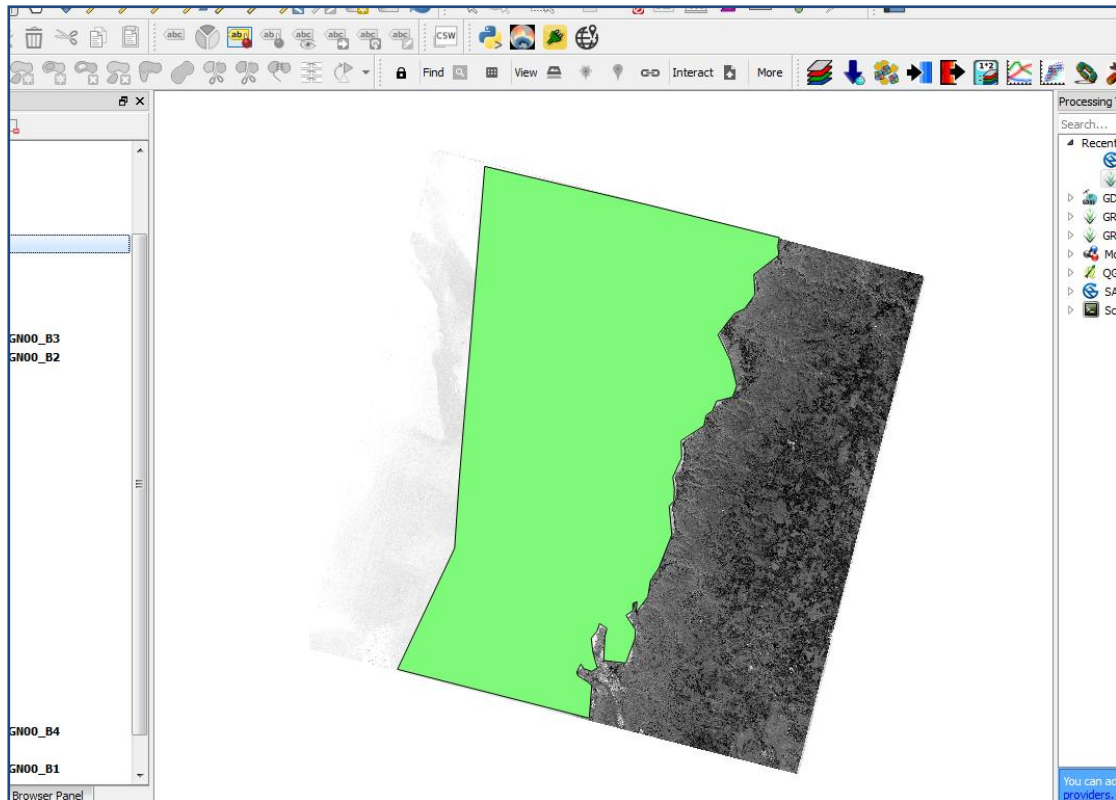
περιπτώσεις που επιλεγόντουσαν rixels της ξηράς στον υπολογισμό, τα αποτελέσματα ήταν πολύ μεγαλύτερα από τα επιθυμητά.

Συνεπώς μασκαρίστηκε η ξηρά, δηλαδή έγινε περικοπή των εικόνων με τη βοήθεια πολυγώνου ίδιου συστήματος αναφοράς με το σύστημα αναφοράς της εικόνας. Οι εικόνες είναι στο σύστημα αναφοράς WGS 84(World Geodetic System 1984), κάνοντας χρήση της εγκάρσιας μερκατορικής προβολής (Universal Transverse Mercator coordinate system) στη ζώνη 18N. Ομοίως και τα πολύγωνα σε μορφή .shapefile που κατασκευάστηκαν με σκοπό το μασκάρισμα της ξηράς.

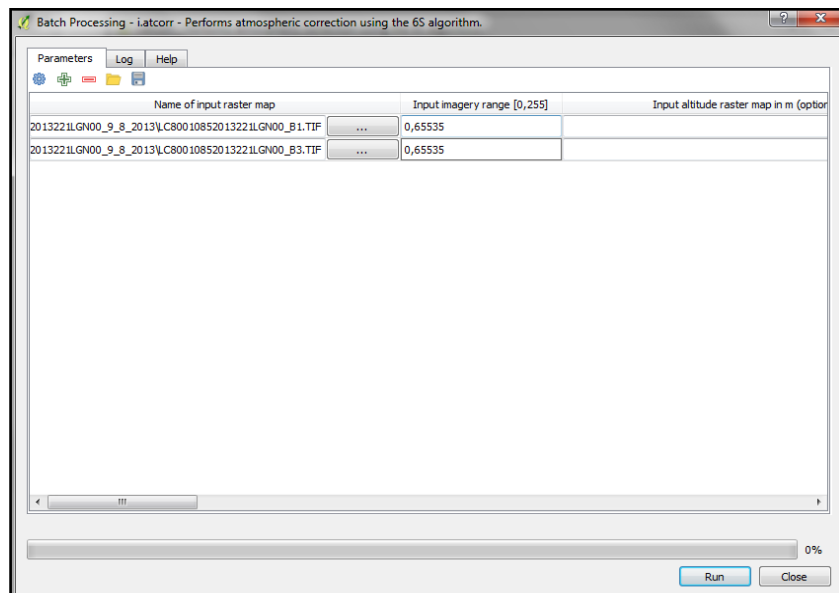
Σε επόμενο βήμα η μάσκα που είχαμε δημιουργήσει για το χερσαίο τμήμα της περιοχής μελέτης εφαρμόστηκε για τα κανάλια OLI1, OLI3 και OLI4. Επομένως καταφέραμε για τα συγκεκριμένα κανάλια να απομονώσουμε τα rixel του νερού, ώστε να μπορέσουν να εφαρμοστούν οι δύο επιλεχθέντες αλγόριθμοι.

Σε πολλές εικόνες η παρουσία σύννεφων ήταν αισθητή και μεγαλύτερη από 3% παρά την αρχική επιλογή που δίναμε για κατέβασμα εικόνων χωρίς κάλυψη από σύννεφα. Όπως είναι προφανές, υπολογισμός χλωροφύλλης συμπεριλαμβανομένης τιμών εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε σύννεφα θα οδηγούσε σε λάθος τιμές τελικού προϊόντος. Πράγματι, τυχόν rixel που είχαμε αμελήσει να μασκάρουμε και εφαρμόζαμε τον αλγόριθμο chl-a αποκτούσαν τιμές chl-a πολύ υψηλές, κοντά στα  $7-9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Έτσι μασκάρουμε εξ αρχής την εικόνα, κάνοντας περικοπή της περιοχής του ωκεανού που περιείχε σύννεφα.

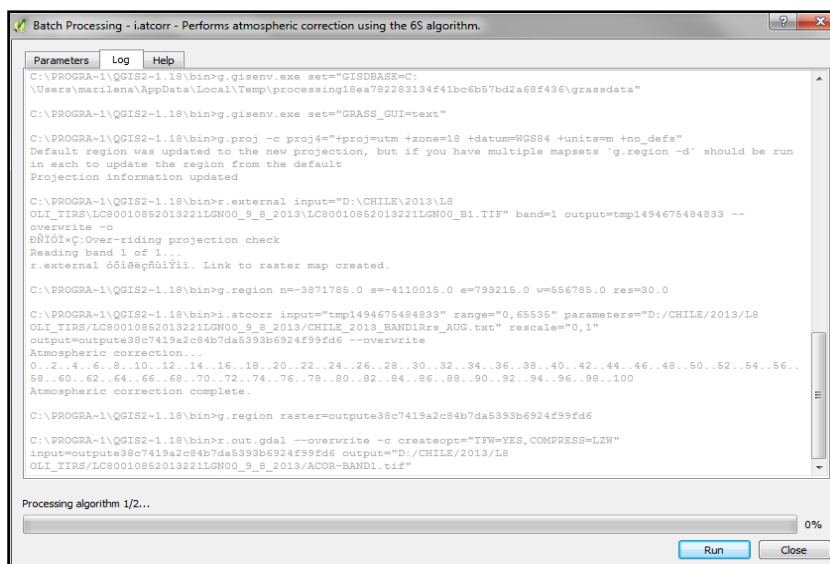
Εντέλει οι εικόνες με τις οποίες επρόκειτο εν συνεχεία να εργαστούμε, περιείχαν καθαρά και μόνο θάλασσα, ήταν πλέον ατμοσφαιρικά διορθωμένες με το κάθε rixel πλέον να έχει όχι τιμή DN, αλλά Rrs .



**Εικόνα 23:** Στιγμιότυπο εργασίας στο QGIS: Με πράσινο χρώμα απεικονίζεται το πολύγωνο-μάσκα, που καταλαμβάνει τη θάλασσα πλην των σύννεφων. Η μάσκα πρόκειται να εφαρμοστεί πάνω στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα του καναλιού OLI3.



**Εικόνα 24:** Στιγμιότυπα από την ατμοσφαιρική διόρθωση στο i.atcorr-εισαγωγή παραμέτρων



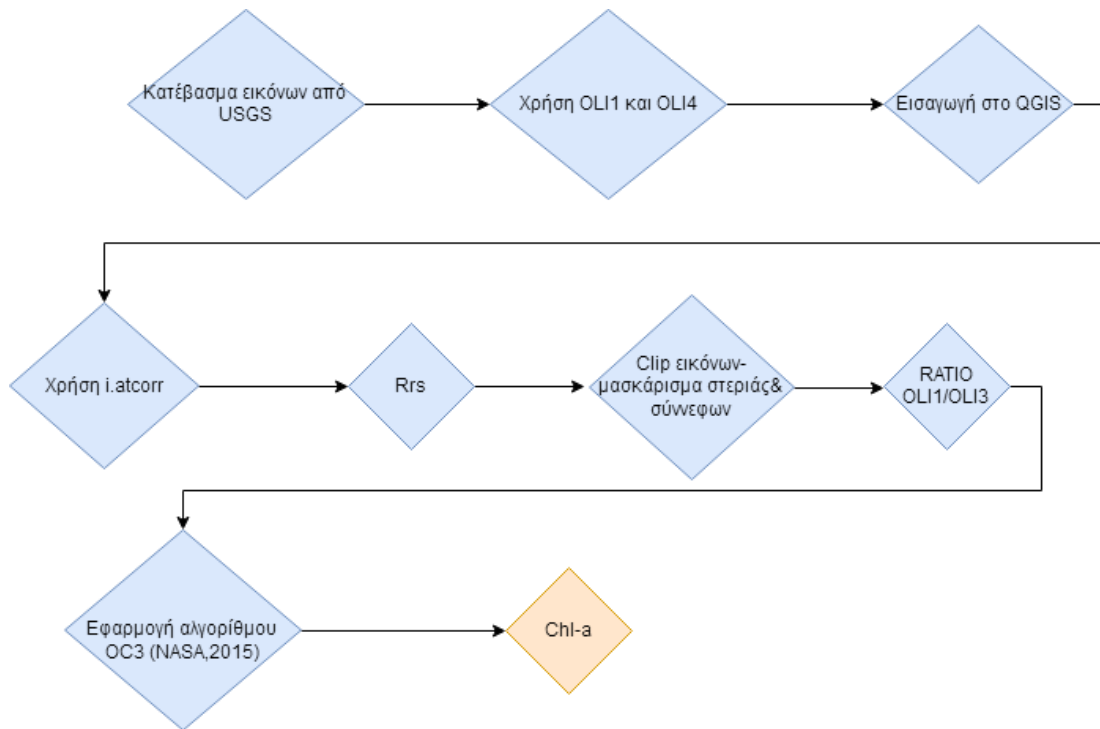
Εικόνα 25:Στιγμιότυπα από την ατμοσφαιρική διόρθωση στο *i.atcorr*-Τρέξιμο 6S αλγορίθμου

#### 4.3.2.3 Εφαρμογή των αλγορίθμων χλωροφύλλης

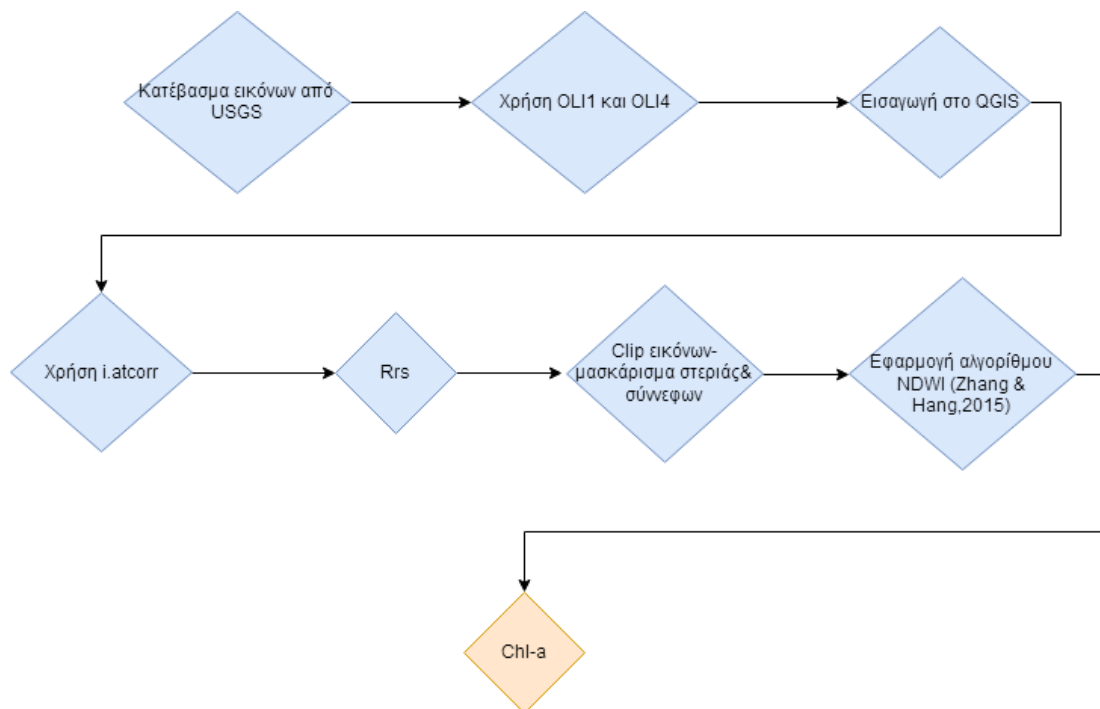
Ακολούθησε η επιλογή των αλγορίθμων ανάλογα με τις τιμές chl-a. Για μικρότερες τιμές κάναμε χρήση του OC3, ενώ για μεγαλύτερες του NDWI. Ο έλεγχος γινόταν με βάση το παγκόσμιο προϊόν της NASA το οποίο μας κατεύθυνε ως προς την ορθότητα των υπολογιζόμενων τιμών, μιας και παρέχει δεδομένα ημερησίως. Όταν εφαρμόζαμε τον OC3 σε εικόνες που έπρεπε να παρουσιάζουν μεγάλες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης, ο αλγόριθμος οδηγούσε σε μη ορθά και πολύ μικρά αποτελέσματα, επομένως αποφαινόμασταν πως δεν ενδείκνυται η χρήση του OC3, αλλά του NDWI.

Επιπλέον ο OC3, όπως αναφέρει χαρακτηριστικά η NASA στη σχετική [ιστοσελίδα](#) της, εφαρμόζεται για τιμές άνω των  $0,2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  αν και εμείς δεν εξάγαμε καμία τόσο χαμηλή τιμή.

Τέλος, τα προϊόντα χλωροφύλλης ήταν έτοιμα, και για την καλύτερη οπτική απεικόνιση επιλέξαμε και κατάλληλη παλέτα χρωμάτων.



**Διάγραμμα 4:** Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό chl-a μέσω του αλγορίθμου OC3 για  $chl < 3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$



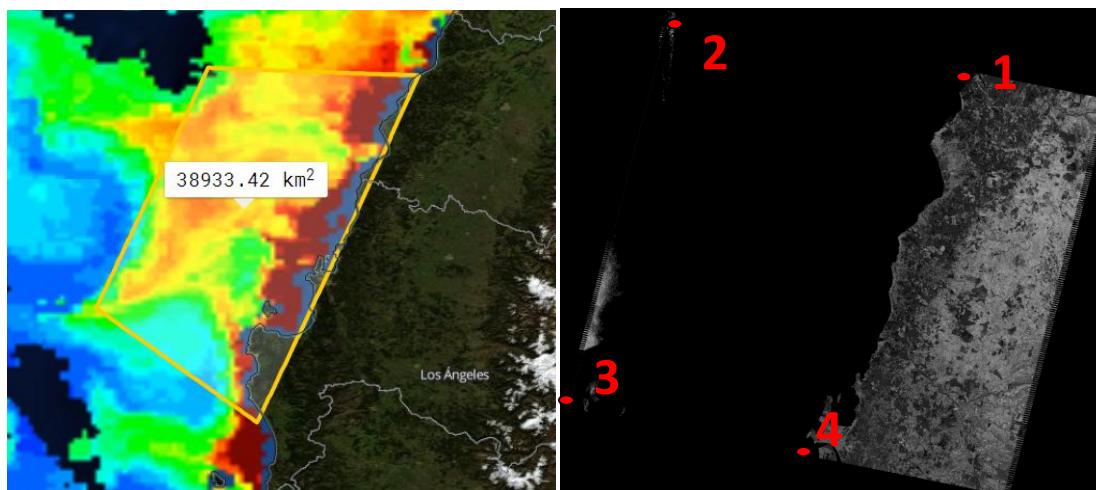
**Διάγραμμα 5:** Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό chl-a μέσω του αλγορίθμου NDWI για  $chl > 3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$

#### 4.4 Χάρτες χλωροφύλλης-α από εικόνες Landsat TM

Στο συγκεκριμένο εδάφιο παρατίθενται οι χάρτες που κατασκευάστηκαν στο QGIS, βασιζόμενοι πάνω στη μεθοδολογία που προ-περιγράφηκε. Παρουσιάζονται ανά μήνα και χρονολογία για όλες τις διαθέσιμες εικόνες.

Επιπλέον, κατασκευάστηκαν πίνακες και διαγράμματα ώστε πλην της οπτικής εικόνας να έχουμε και μια εικόνα με αριθμούς και διαγράμματα. Εκτός όμως από τις τιμές που εξήχθησαν από τη δική μας επεξεργασία-μεθοδολογία, στις στήλες παρατίθενται και οι τιμές από το παγκόσμιο προϊόν της NASA ώστε να δούμε κατά πόσο συνάδουν με τα δικά μας αποτελέσματα.

Όσον αφορά τη χλωροφύλλη το [παγκόσμιο προϊόν της NASA](#) χρησιμοποιεί δεδομένα Aqua MODIS, χωρικής ανάλυσης 4 km, με μέσο όρο 5 ημερών. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας παρέχει ποσοτικά δεδομένα πάνω σε βιο-οπτικές ιδιότητες που αφορούν τους παγκόσμιους ωκεανούς, οι οποίες εξετάζουν παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν με τη σειρά τους παγκόσμια φαινόμενα. Για την περιοχή της Χιλής που πραγματεύεται δυο περιοχές (τη μια γεωγραφικά λίγο πιο πάνω από την άλλη), οριοθετήθηκε συγκεκριμένη περιοχή στο προϊόν της NASA, με ακριβώς τις ίδιες γεωγραφικές συντεταγμένες (φ,λ). Η οριοθέτηση αυτή ήταν απαιτούμενη, καθώς οι εικόνες Landsat TM και Landsat 8 έχουν μέγεθος pixel 30 μέτρα, σε αντιδιαστολή με τη χωρική ανάλυση 4 χλμ του προϊόντος της NASA.



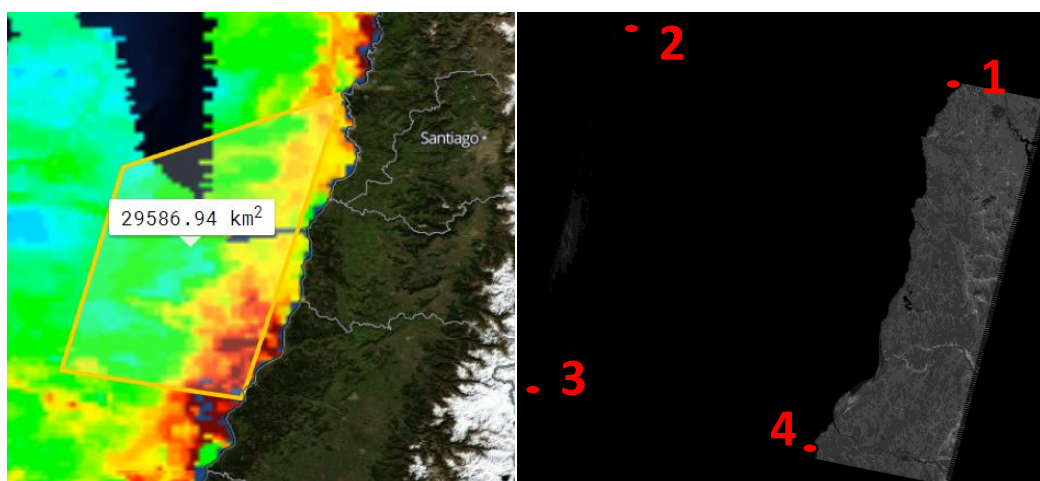
Εικόνα 26: Αριστερά : Περιοχή 1 στη Χιλή , όπως οριοθετήθηκε στο προϊόν της NASA Δεξιά : Περιοχή 1 στη Χιλή , όπως απεικονίζεται στις εικόνες

Με βάση την αρίθμηση της πάνω δεξιά εικόνας παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα οι γεωδαιτικές συντεταγμένες με ακρίβεια δύο δεκαδικών των τεσσάρων σημείων (για την περιοχή 1), με βάση τις οποίες οριοθετήσαμε και την περιοχή στο προϊόν της NASA.

Αριθμός Σημείου	Γεωδαιτικές συντεταγμένες WGS84 (φ,λ)
1	(-72.43 , -35.31)
2	(-73.96 , -35.08)
3	(-74.44 , -36.67)
4	(-73.15 , -36.86)

Πίνακας 10:Γεωδαιτικές συντεταγμένες WGS84 περιοχής 1

Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήθηκε για τη δεύτερη περιοχή της Χιλής:



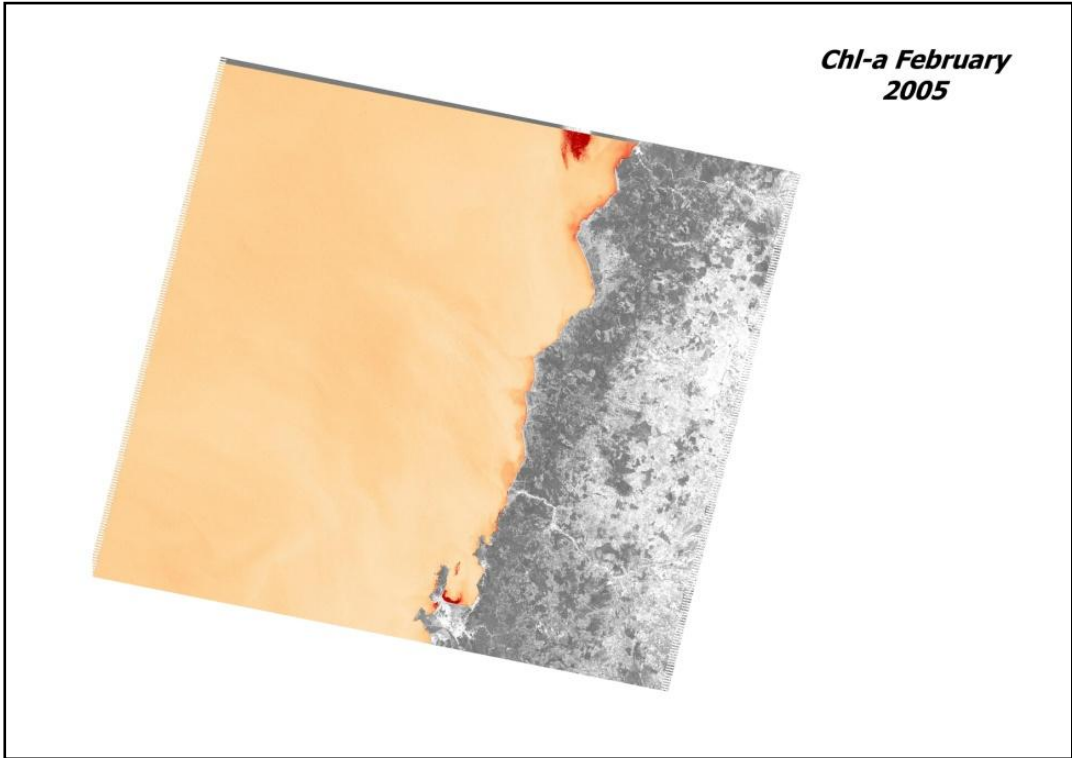
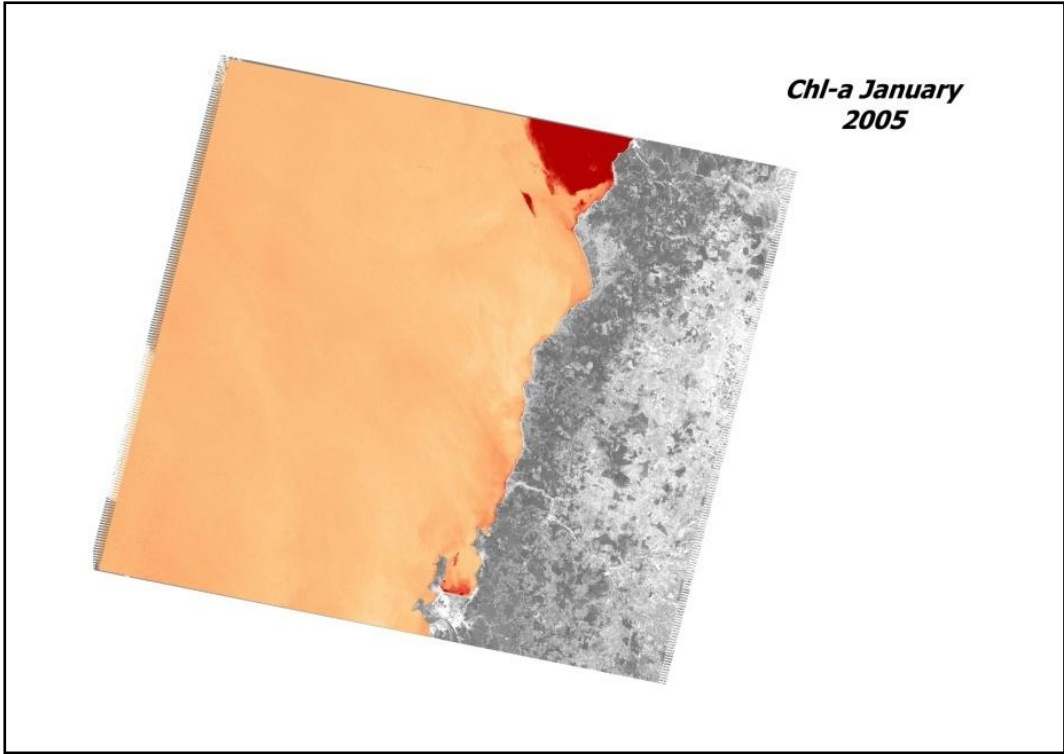
Εικόνα 27:Αριστερά : Περιοχή 2 στη Χιλή , όπως οριοθετήθηκε στο προϊόν της NASA Δεξιά : Περιοχή 2 στη Χιλή , όπως απεικονίζεται στις εικόνες

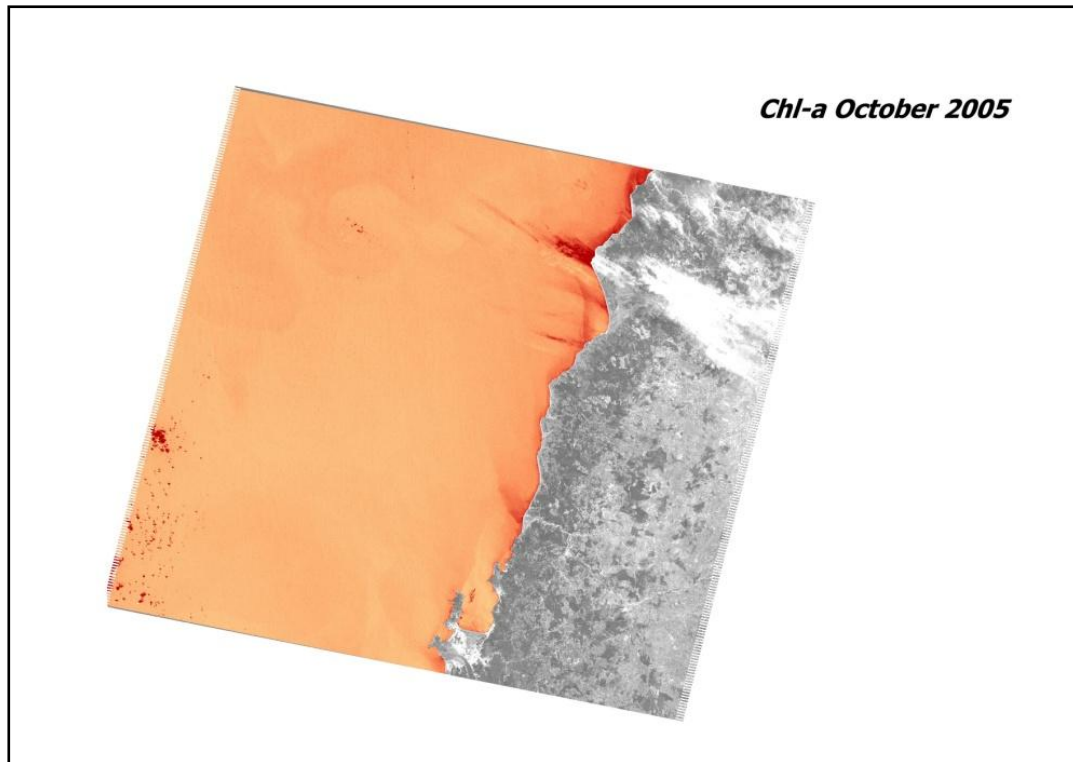
Αριθμός Σημείου	Γεωδαιτικές συντεταγμένες WGS84 (φ,λ)
1	(-71.85 , -33.90)
2	(-73.51 , -33.66)
3	(-73.97 , -35.23)
4	(-72.49 , -35.46)

Πίνακας 11:Γεωδαιτικές συντεταγμένες WGS84 περιοχής 2

Ακολουθούν οι χάρτες που κατασκευάστηκαν στο QGIS για δεδομένα Landsat TM.

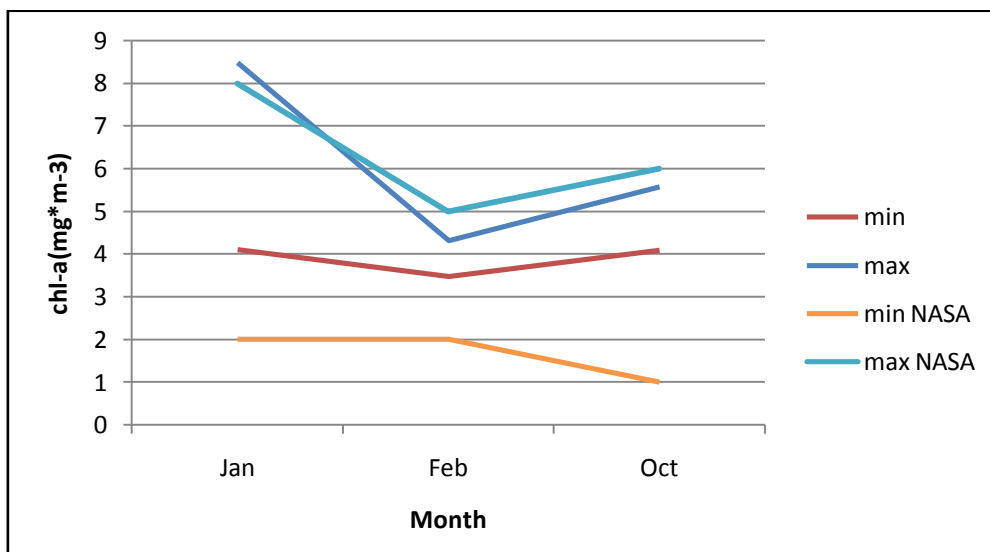
- Αλγόριθμος:  $Chl-a = 0.143314 + 0.208373 * TM2$
- Χρονολογίες εικόνων: 2005-2011





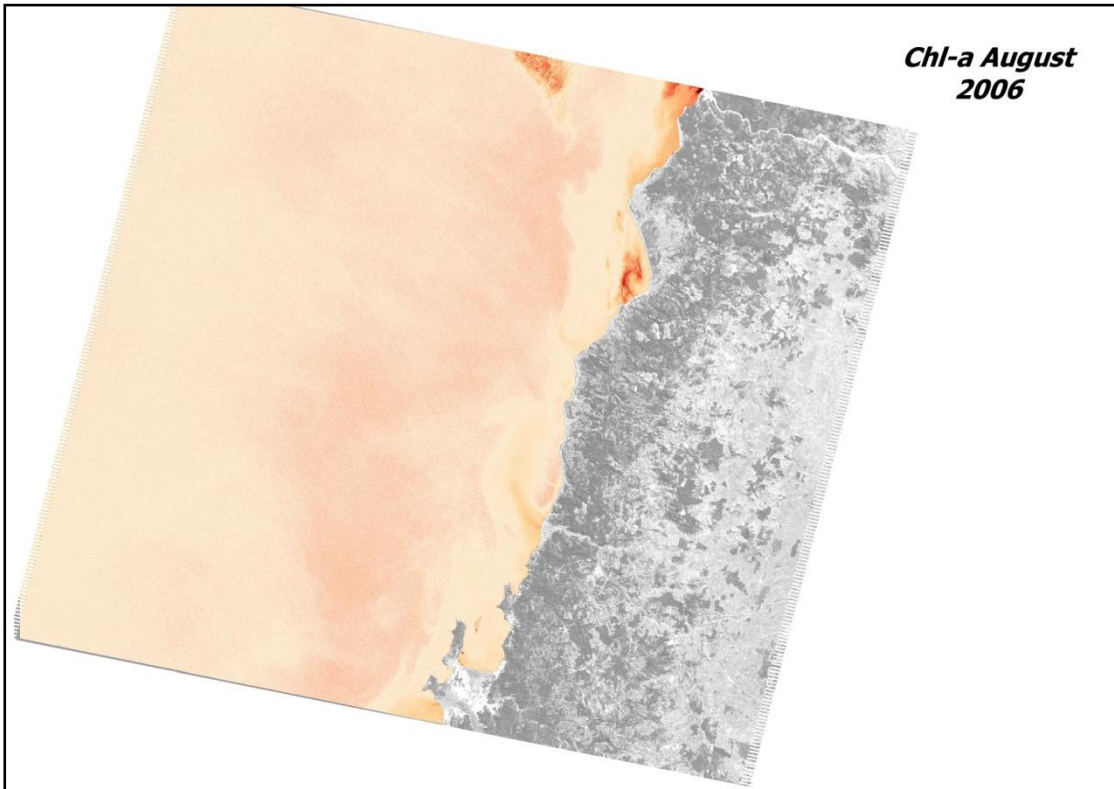
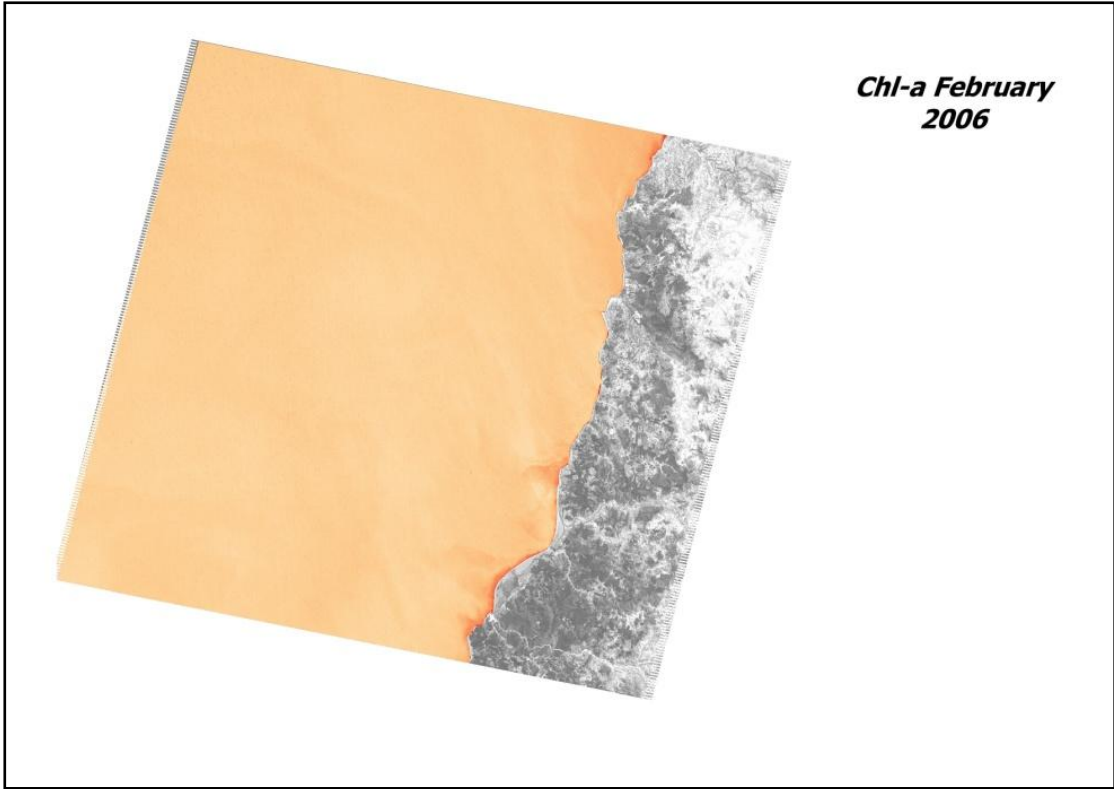
Month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	4,1024	8,47823	6,290315	2	8
Feb	3,47937	4,31077	3,89507	2	5
Oct	4,08365	5,57643	4,83004	1	6

Πίνακας 12: Chl-a για το 2005

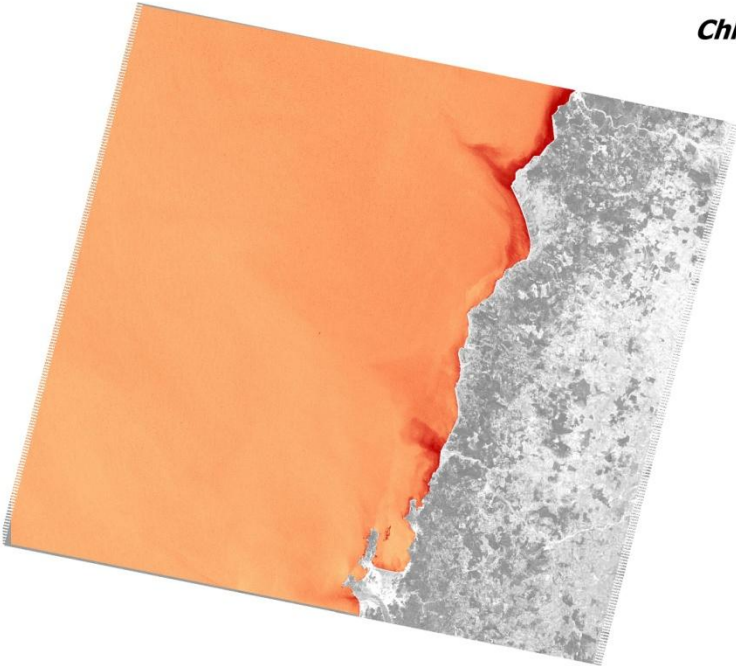


Διάγραμμα 6: Chl-a για το 2005

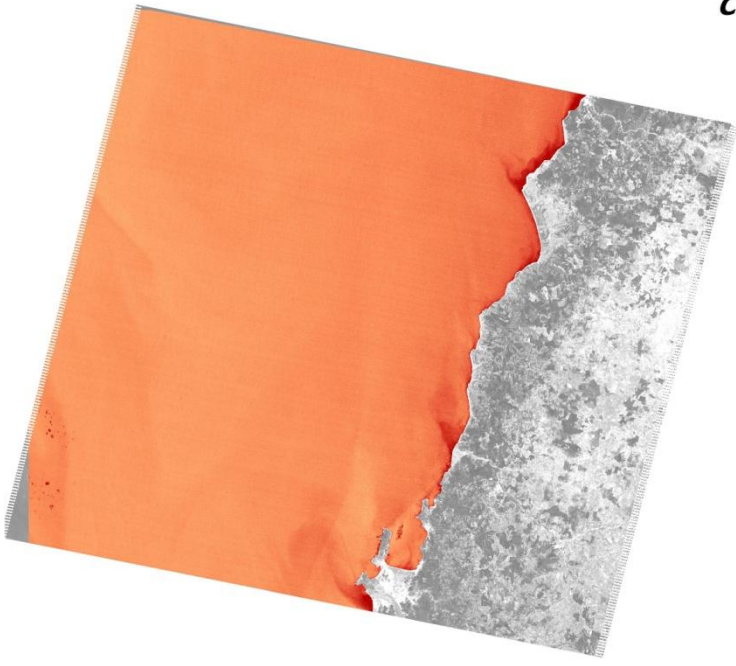




*Chl-a October 2006*

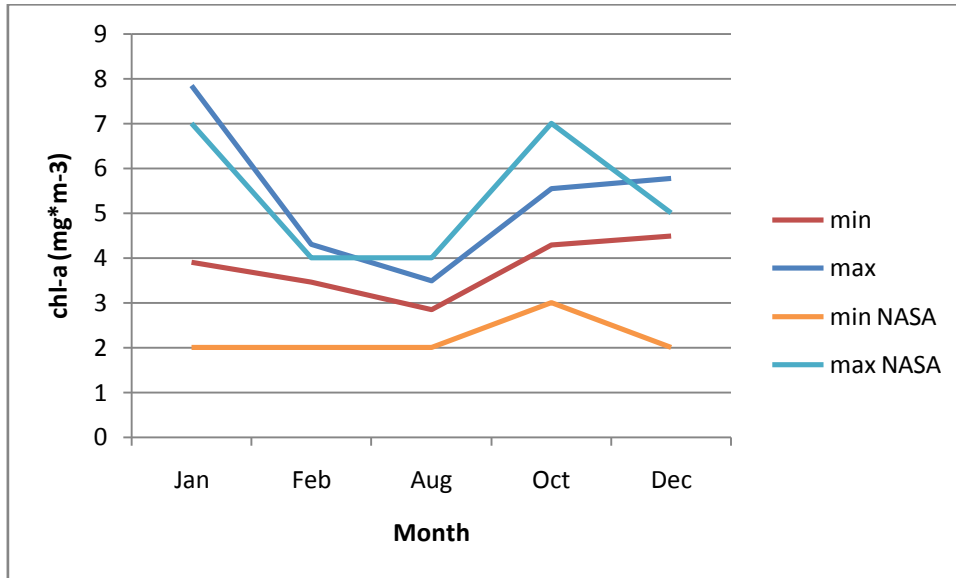


*Chl-a December 2006*



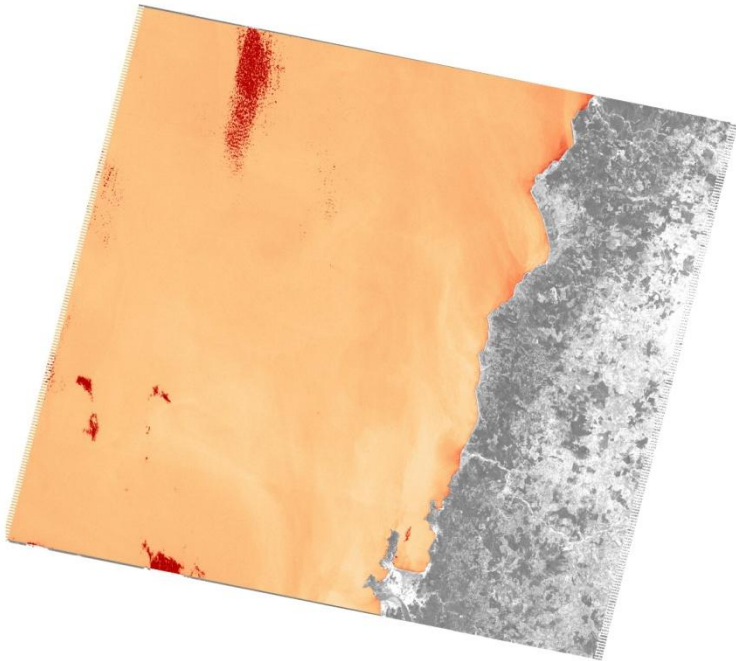
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	3,90236	7,85249	5,877425	2	7
Feb	3,45478	4,30494	3,87986	2	4
Aug	2,84133	3,4852	3,163265	2	4
Oct	4,28869	5,54518	4,916935	3	7
Dec	4,49518	5,77668	5,13593	2	5

Πίνακας 13: Chl-a για το 2006

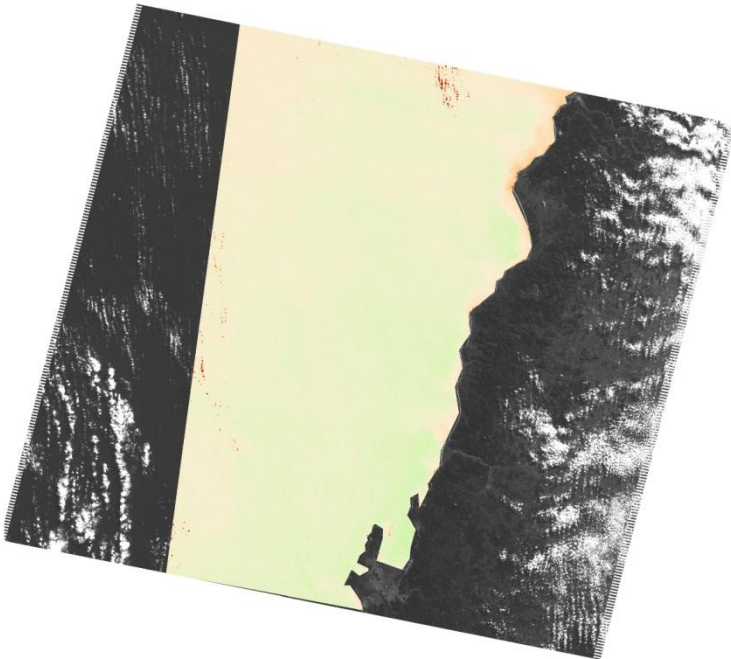


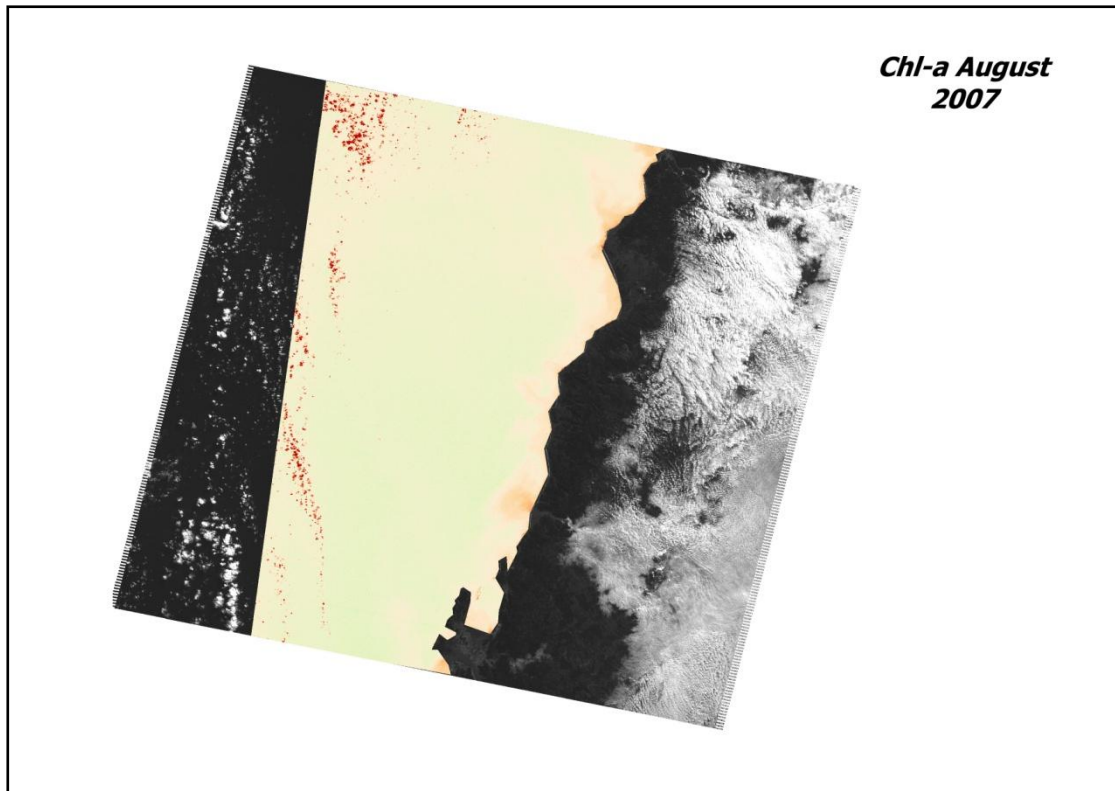
Διάγραμμα 7: Chl-a για το 2006

*Chl-a January  
2007*



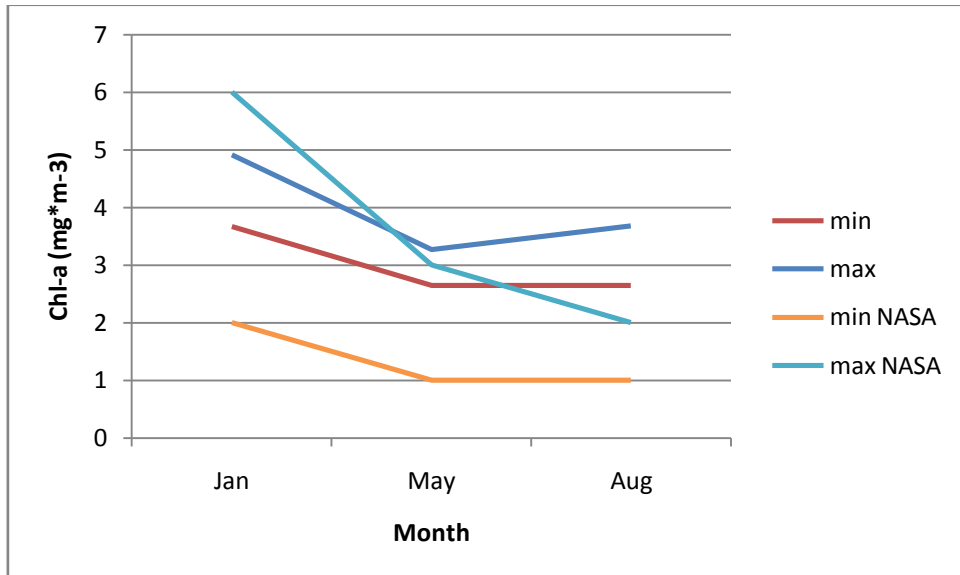
*Chl-a May 2007*



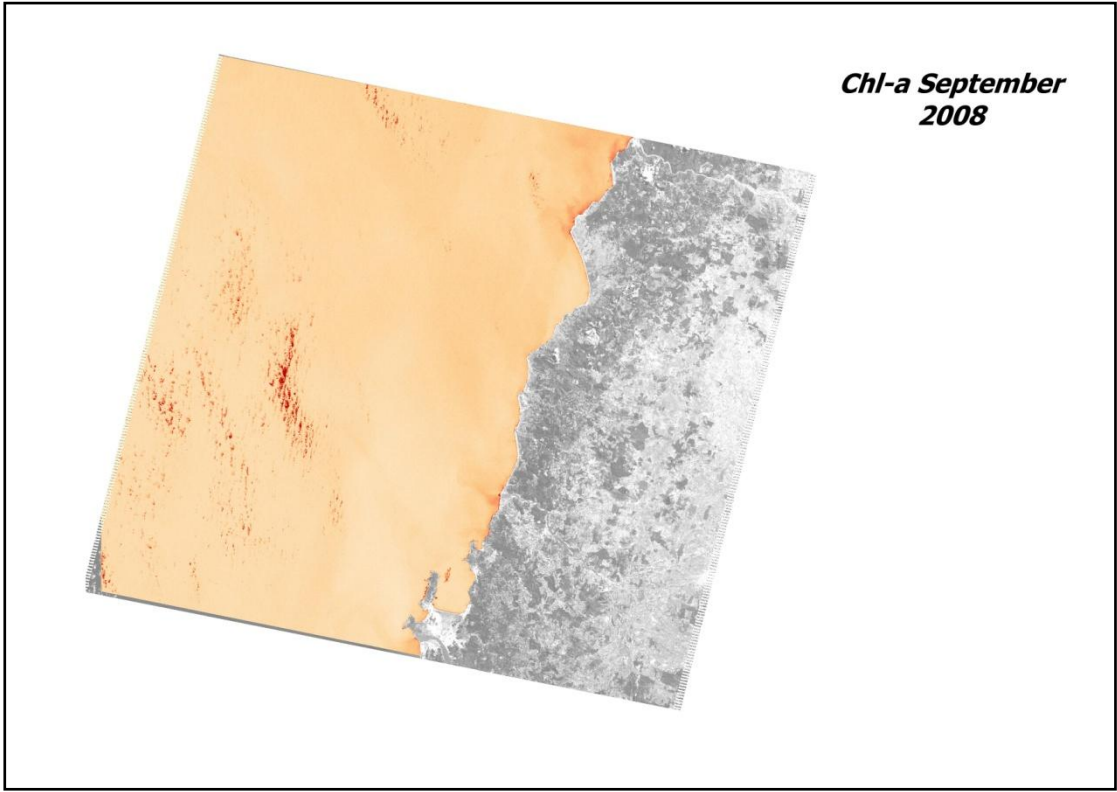
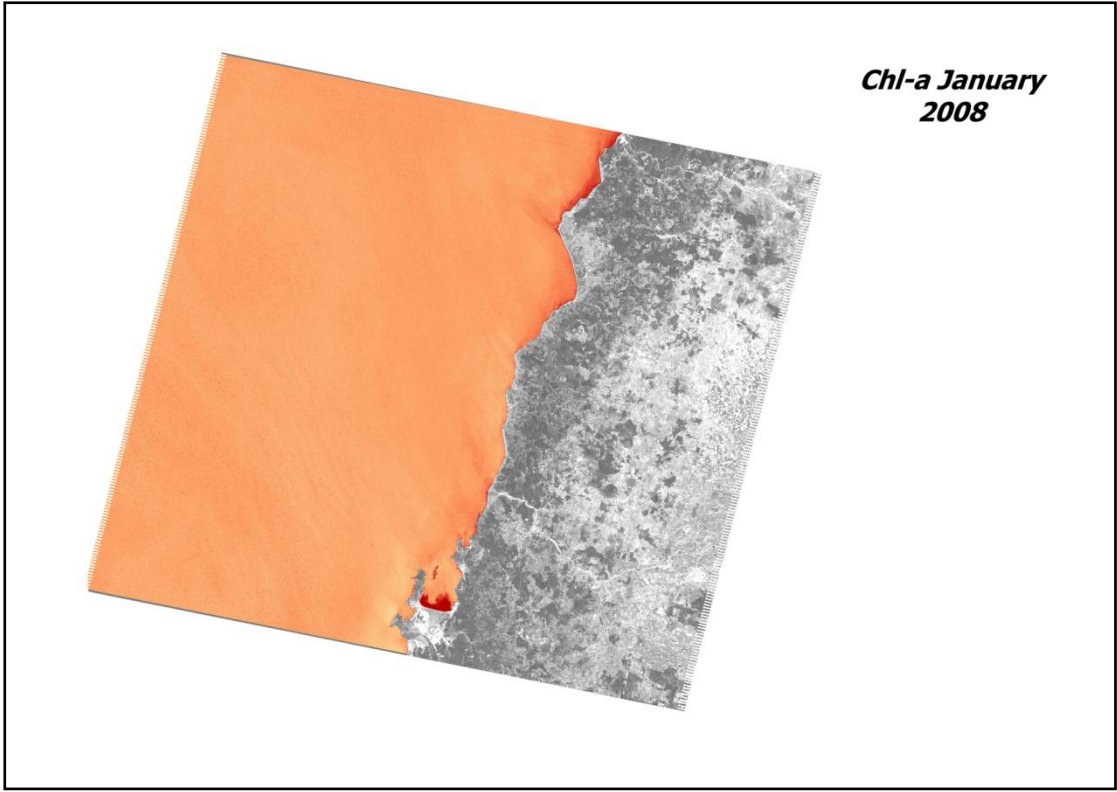


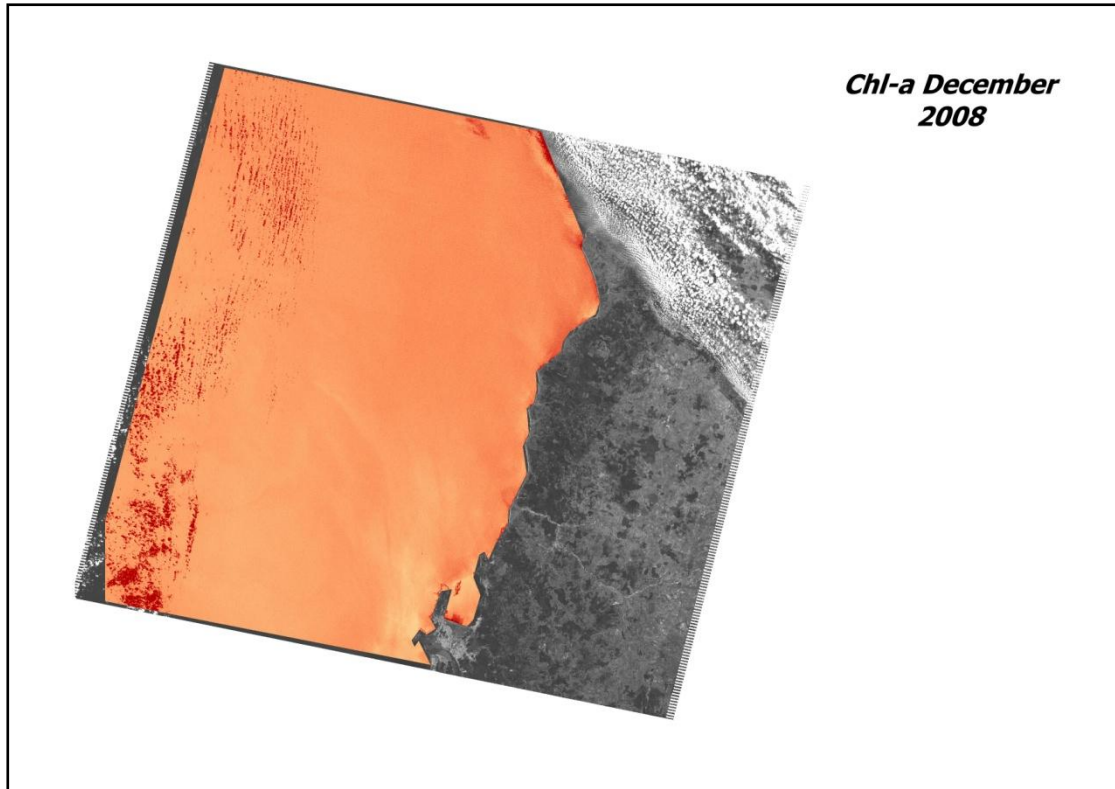
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	3,66899	4,91297	4,29098	2	6
May	2,64692	3,26995	2,958435	1	3
Aug	2,65067	3,67628	3,163475	1	2

Πίνακας 14: Chl-a για το 2007



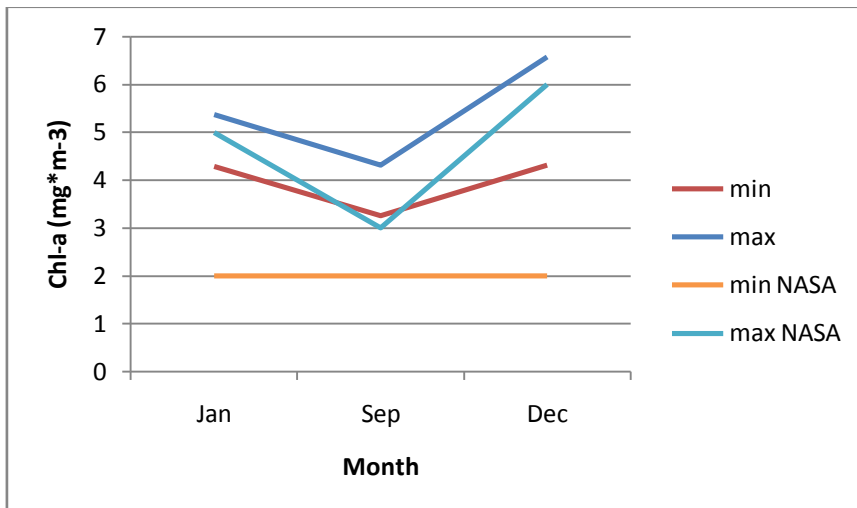
Διάγραμμα 8: Chl-a για το 2007





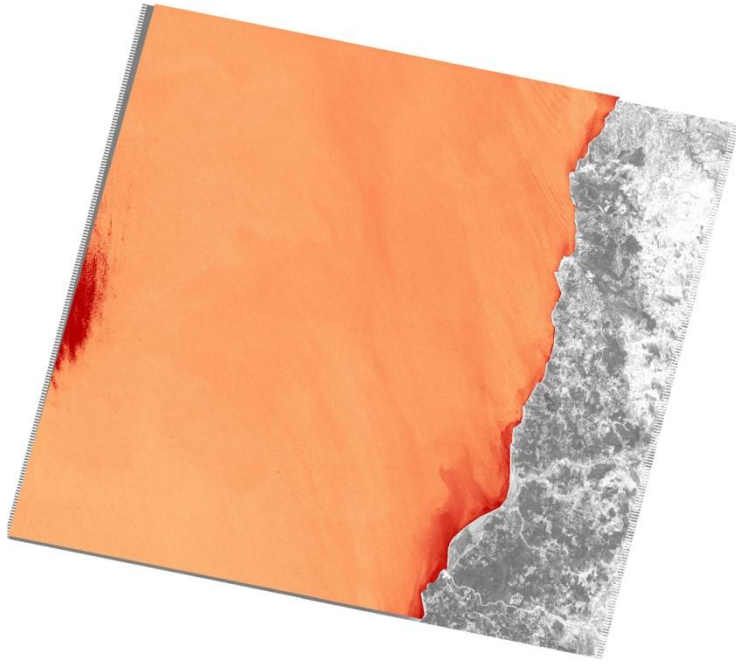
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	4,29181	5,36639	4,8291	2	5
Sep	3,25057	4,30827	3,77942	2	3
Dec	4,31327	6,57537	5,44432	2	6

Πίνακας 15: Chl-a για το 2008

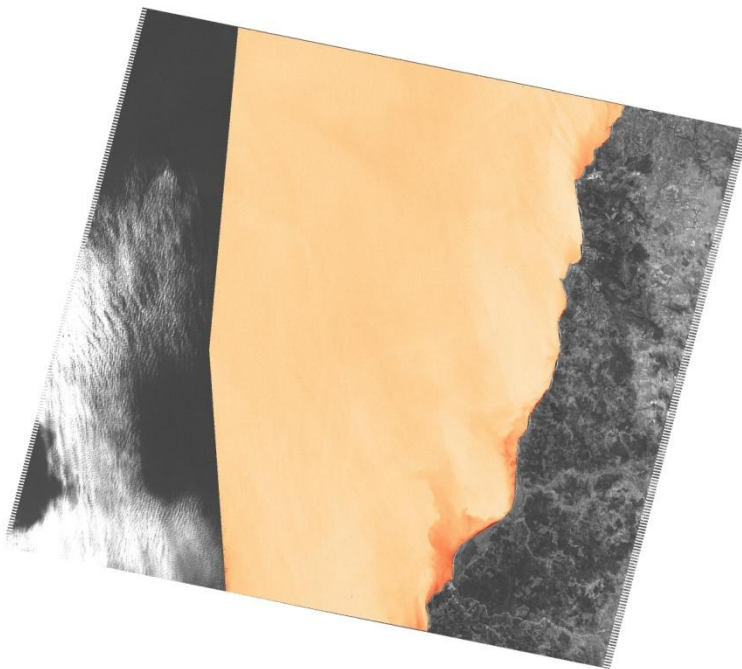


Διάγραμμα 9: Chl-a για το 2008

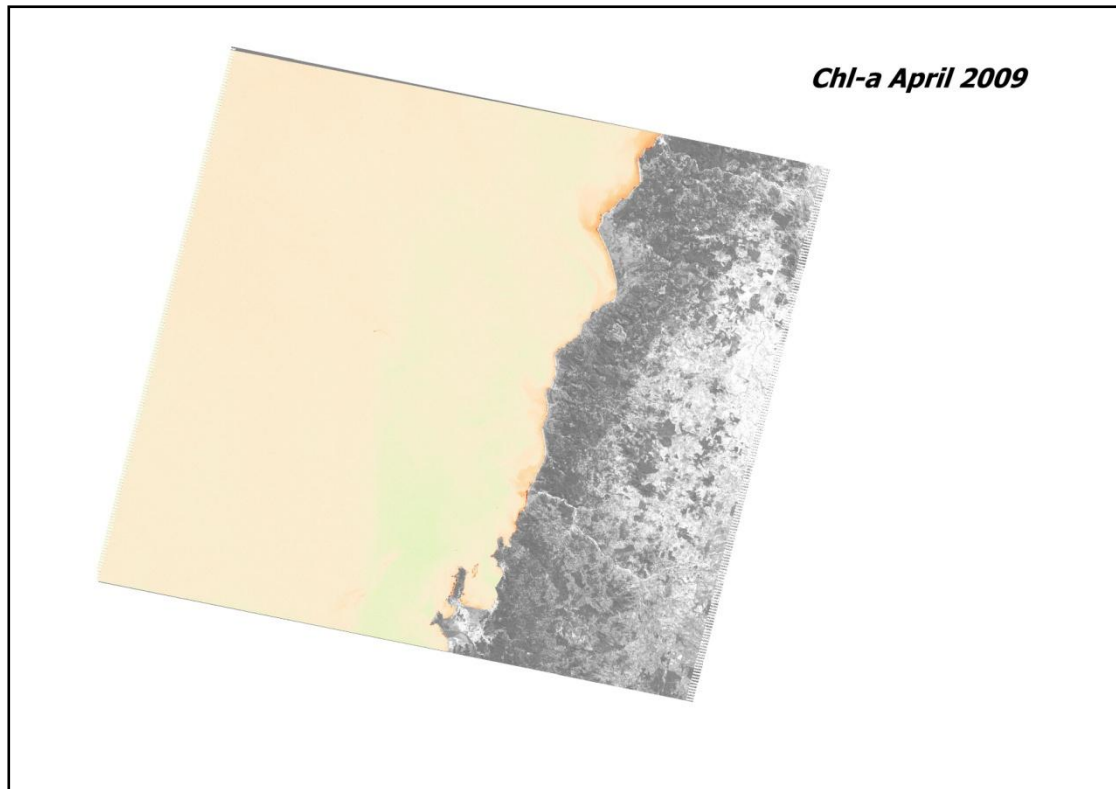
***Chl-a January  
2009***



***Chl-a March  
2009***

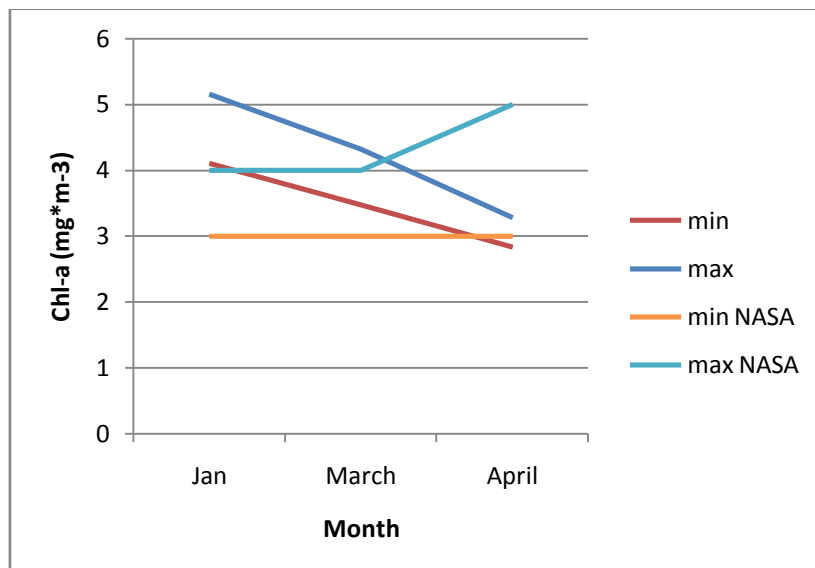




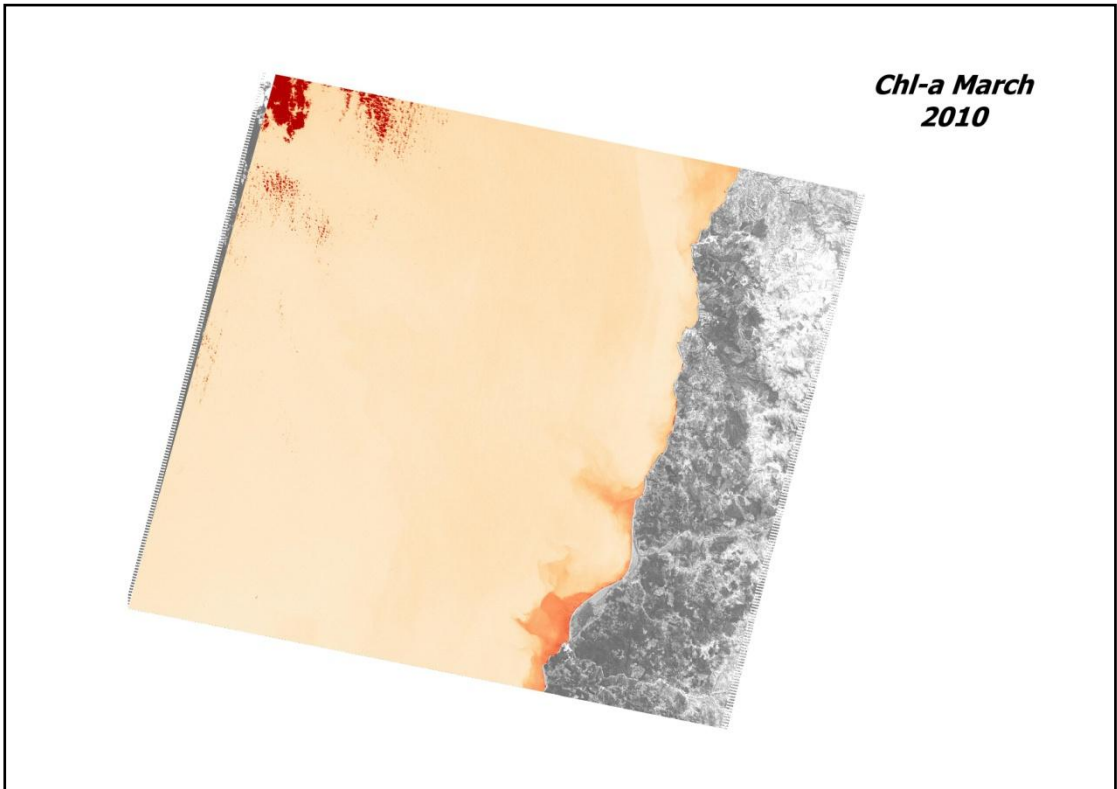
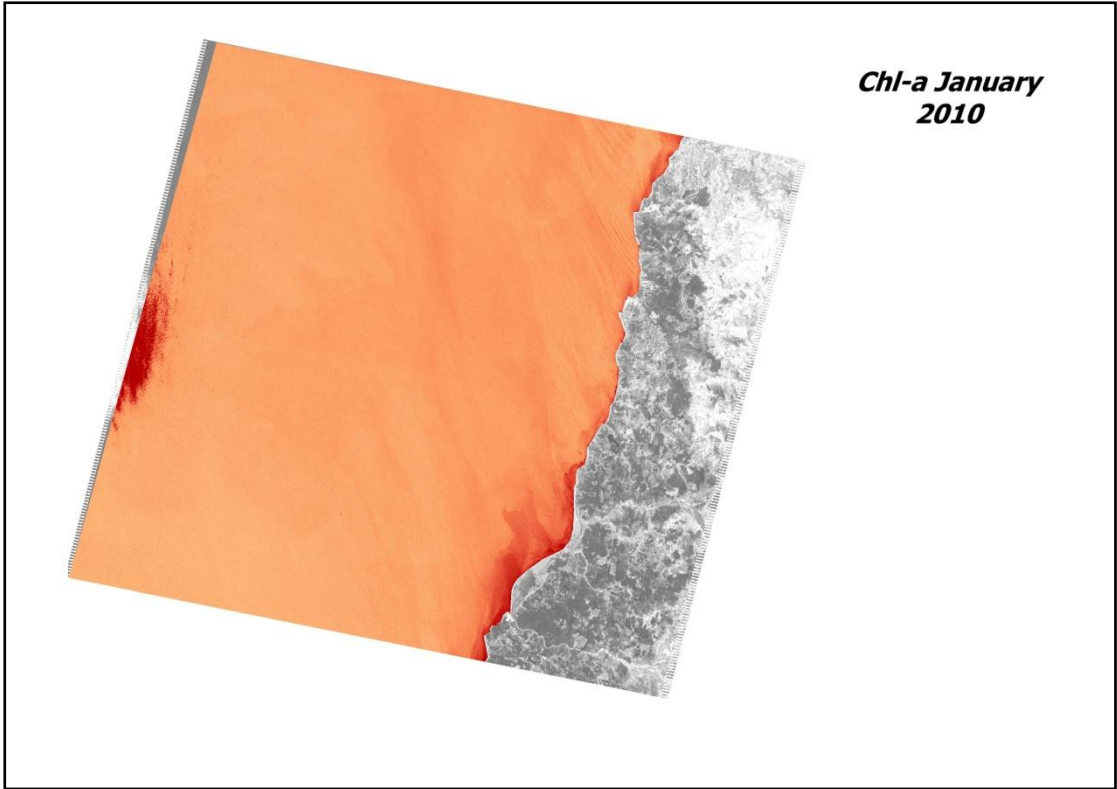


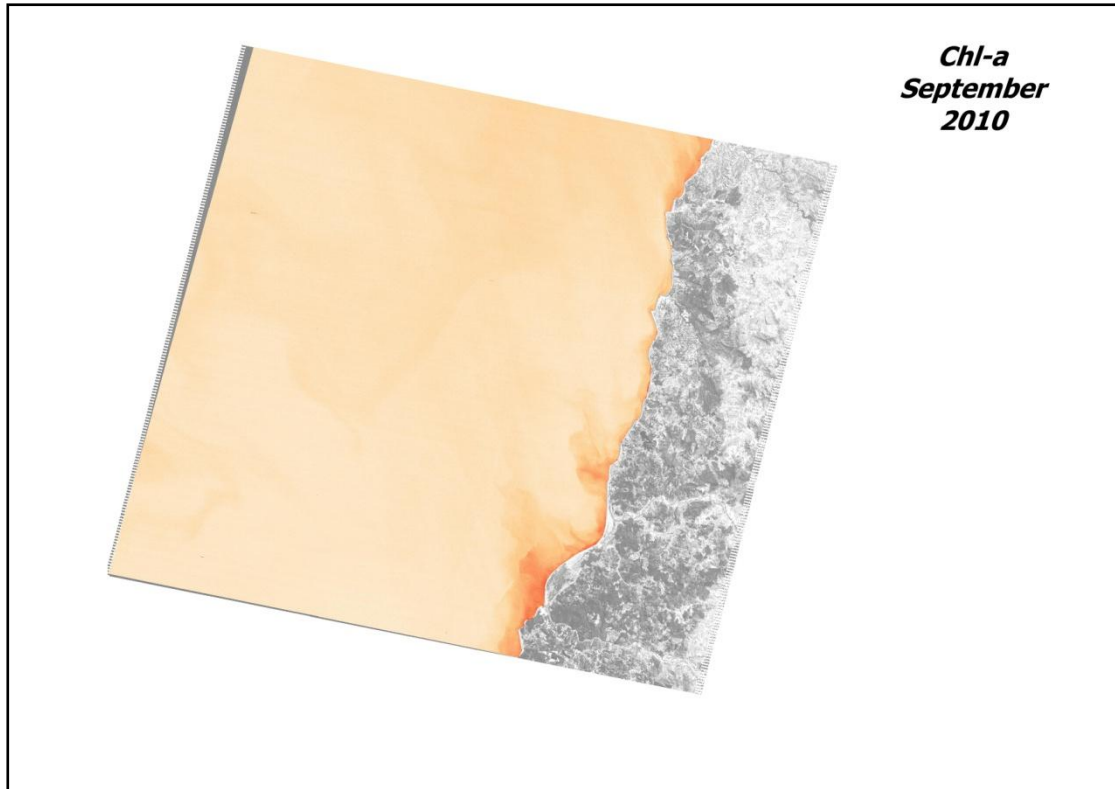
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	4,1024	5,1526	4,6275	3	4
March	3,47436	4,32119	3,897775	3	4
April	2,83716	3,28099	3,059075	3	5

Πίνακας 16: Chl-a για το 2009



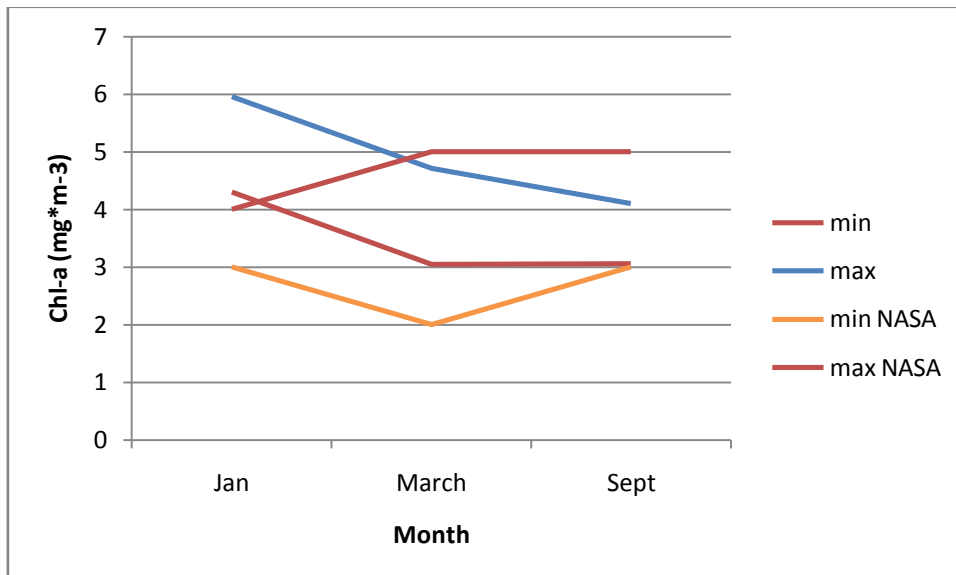
Διάγραμμα 10: Chl-a για το 2009



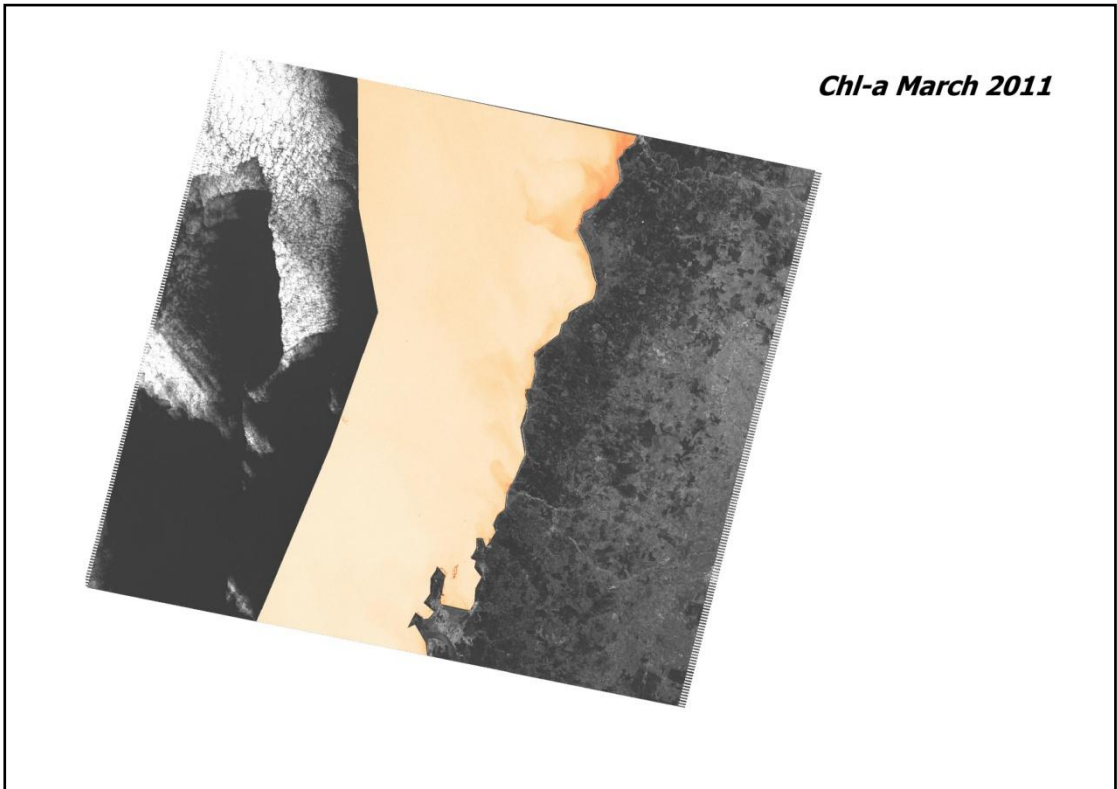
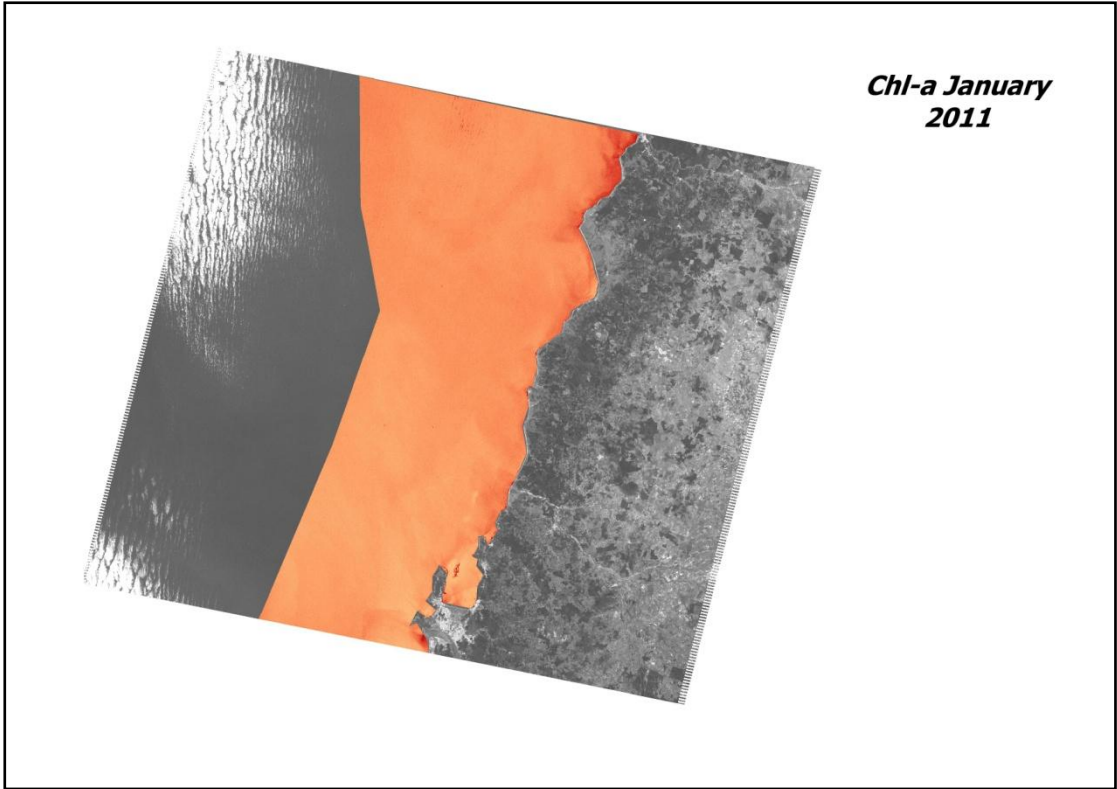


month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	4,30619	5,96401	5,1351	3	4
March	3,04887	4,71418	3,881525	2	5
Sept	3,06262	4,10553	3,584075	3	5

Πίνακας 17: Chl-a για το 2010

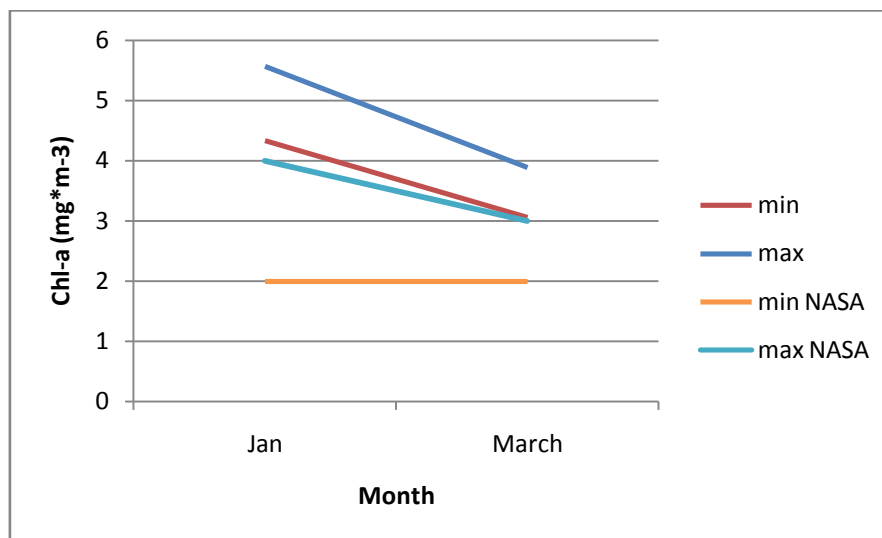


Διάγραμμα 11: Chl-a για το 2010



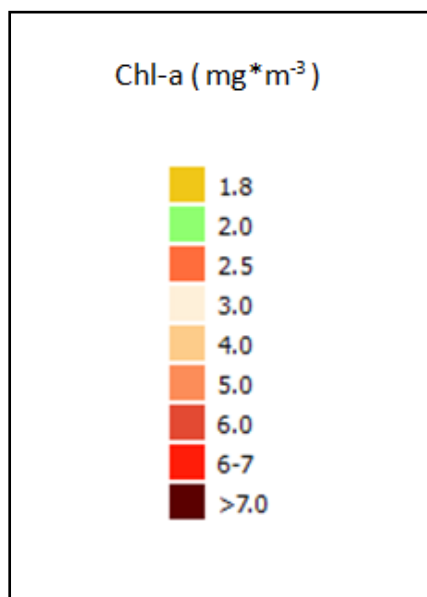
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	4,33224	5,56747	4,949855	2	4
March	3,05533	3,88361	3,46947	2	3

Πίνακας 18: Chl-a για το 2011



Διάγραμμα 12: Chl-a για το 2011

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ



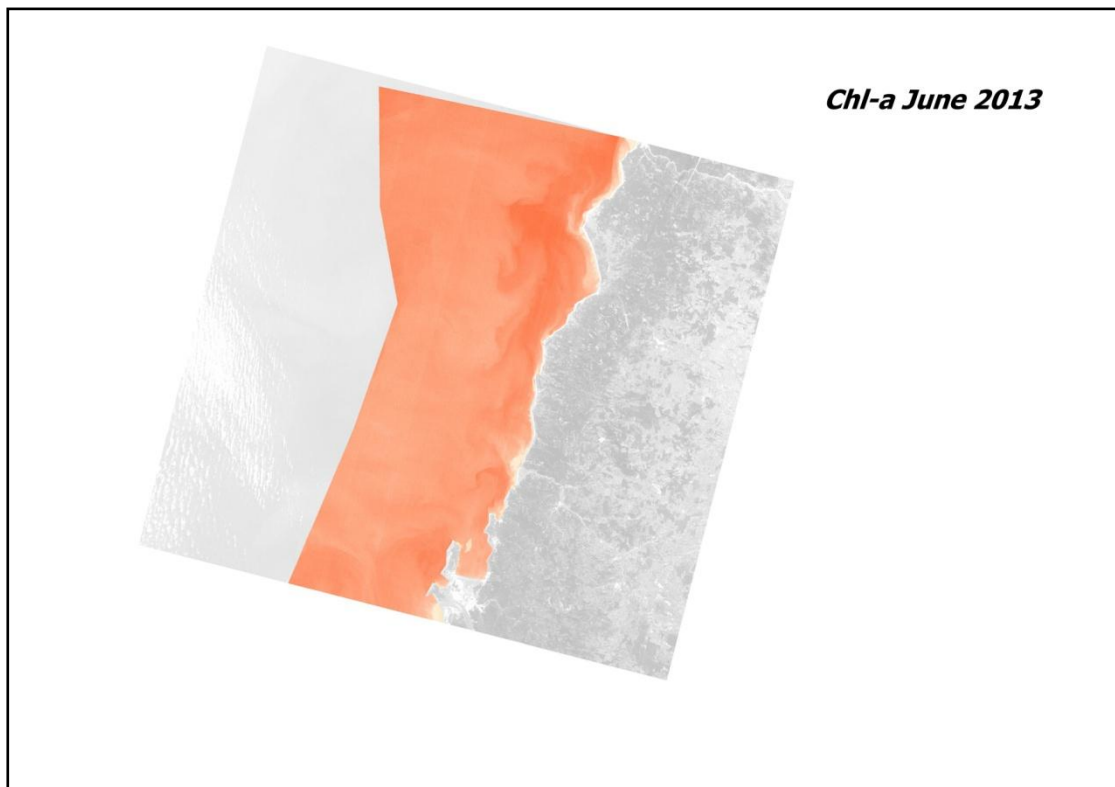
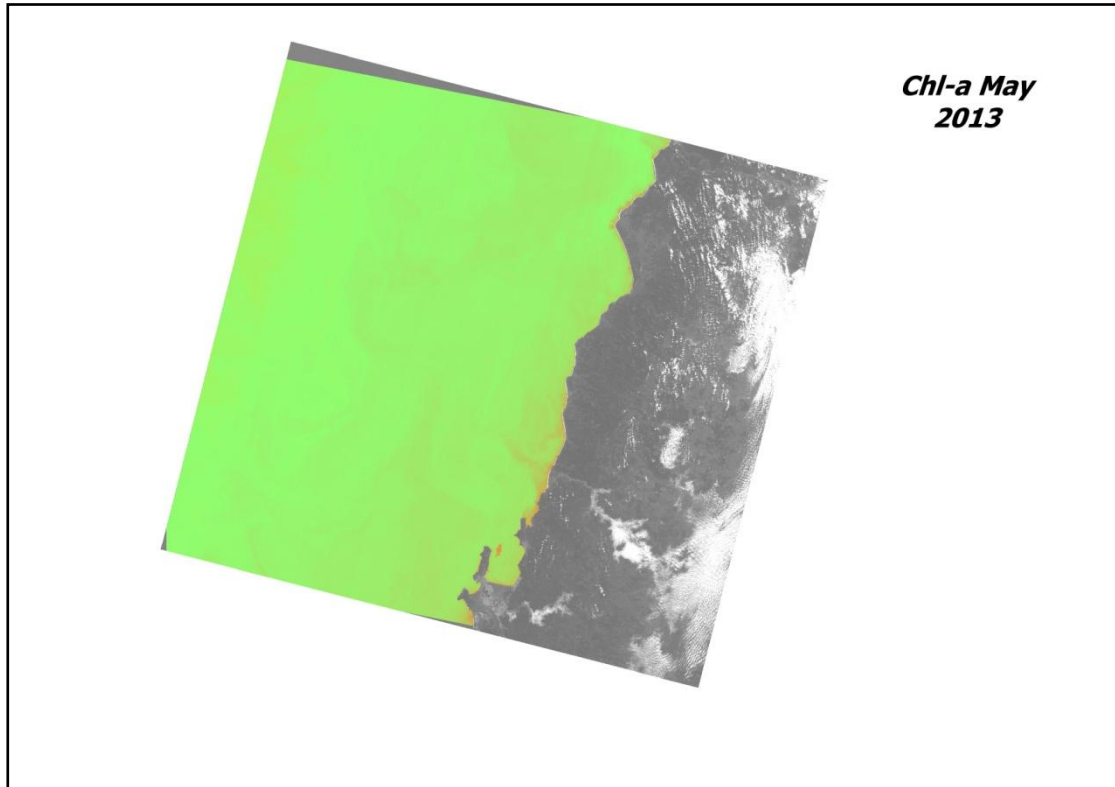
#### 4.5 Χάρτες Chlorophyll-a από δεδομένα Landsat 8

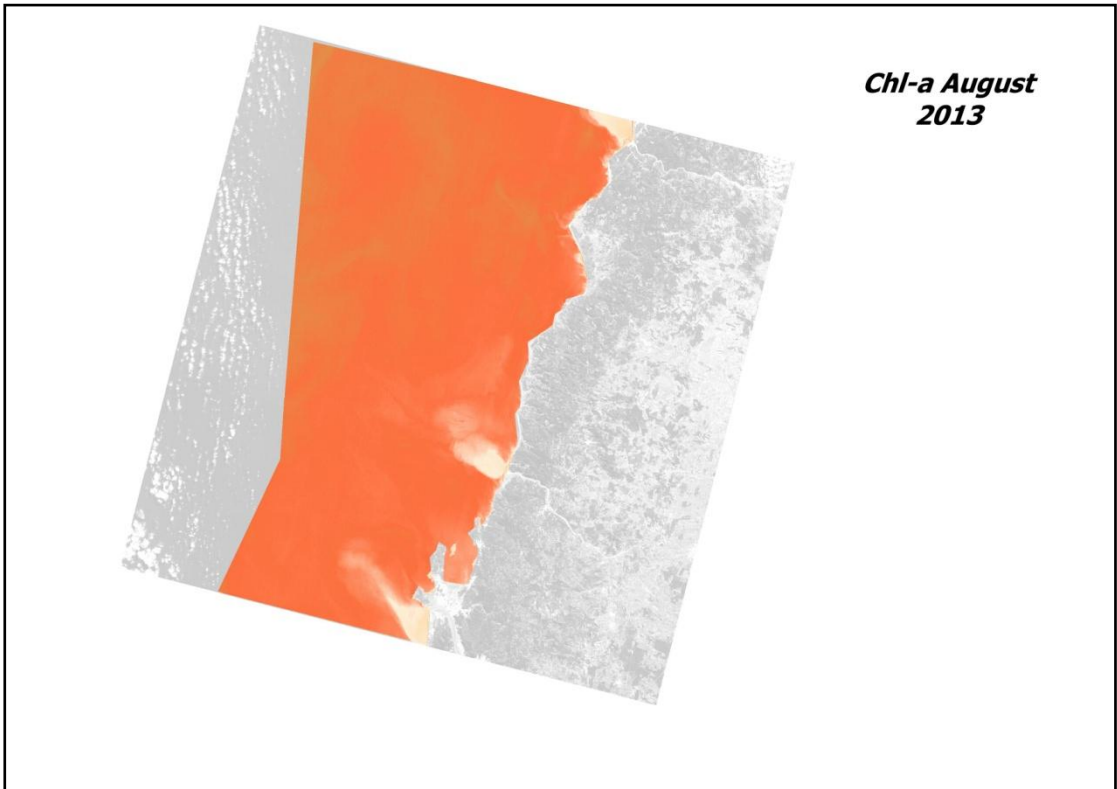
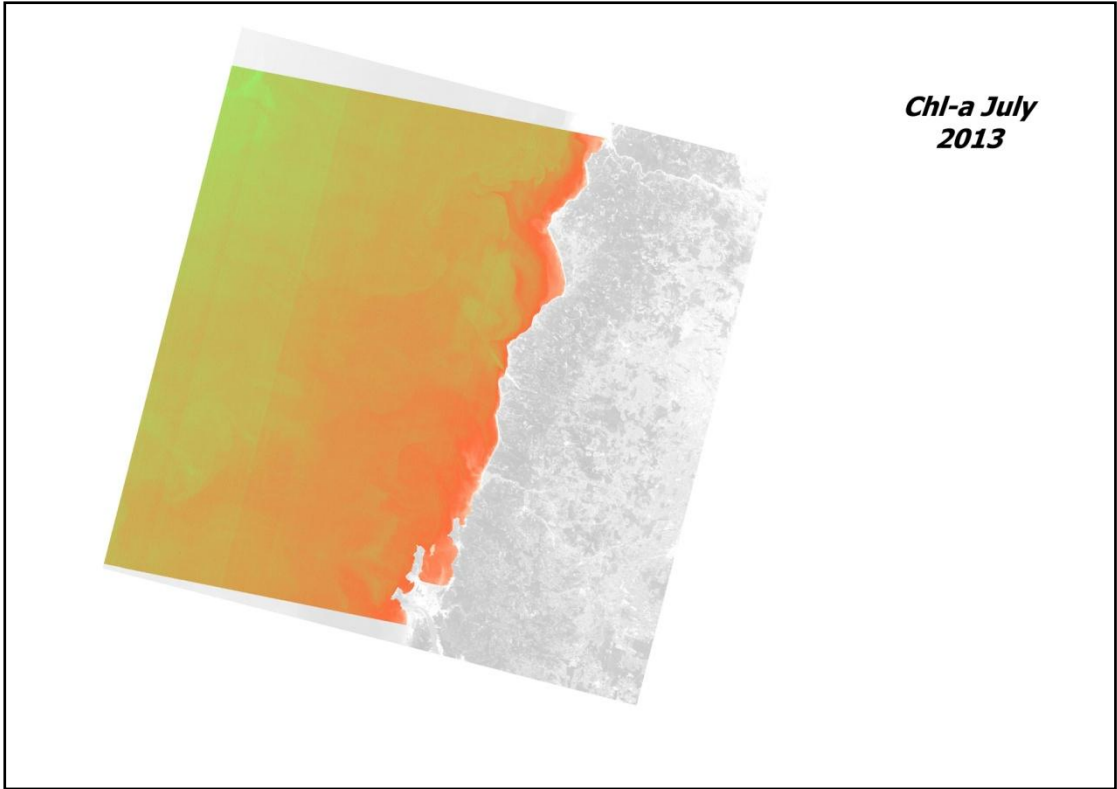
Ακολουθούν οι χάρτες που απορρέουν από τα δεδομένα Landsat 8 για τα υπόλοιπα έτη 2013-2016.

- Αλγόριθμοι: Ανάλογα με το χρώμα που έχει ο κάθε μήνας στο κελί του (κόκκινο ή πράσιμο), χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχα ένας εκ των δύο αλγορίθμων:

	OC3
	NDWI

➤ Χρονιές επεξεργασίας: 2013-2016

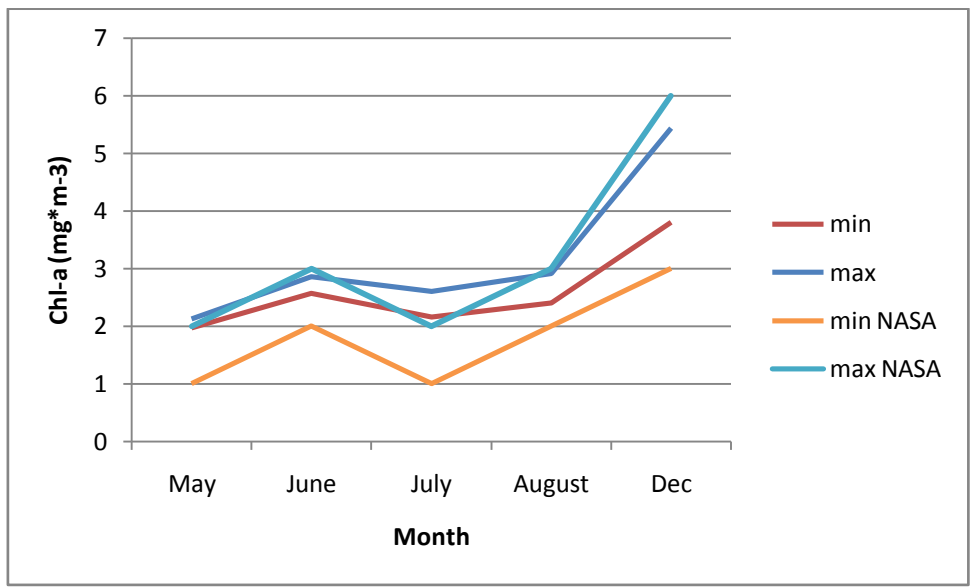




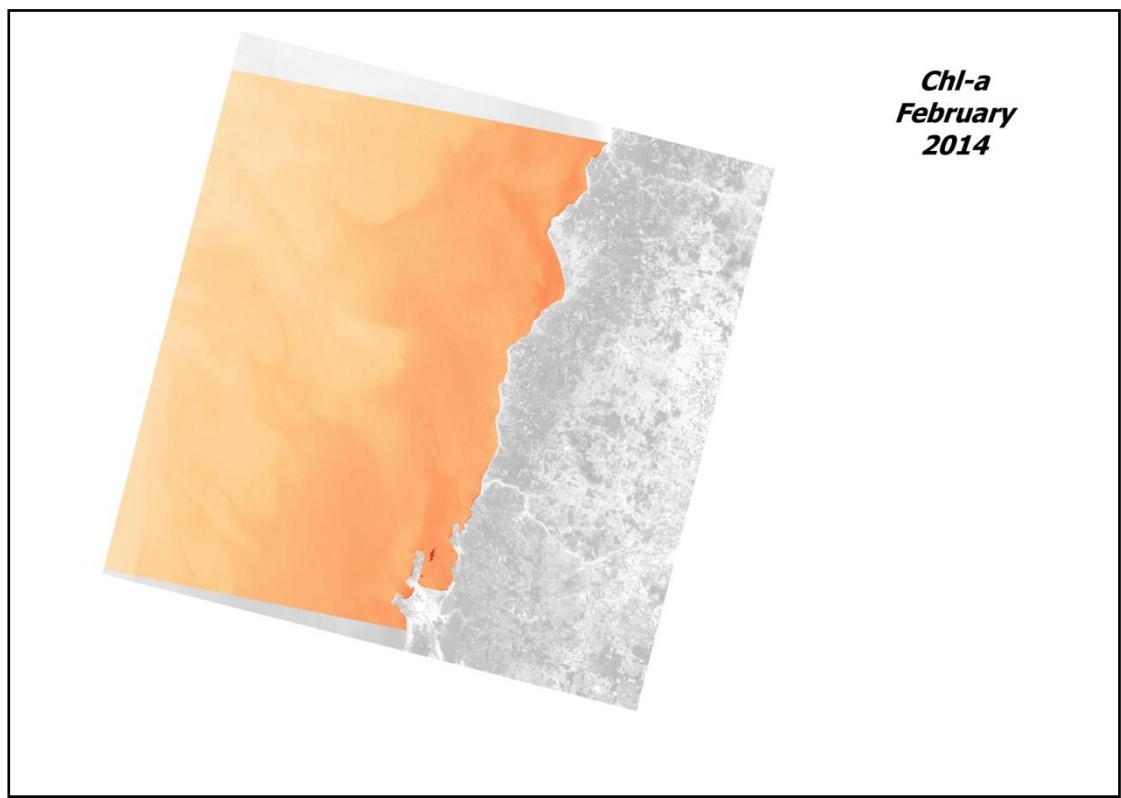
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
<b>May</b>	1,96476	2,12014	2,04245	1	2
<b>June</b>	2,56797	2,8531	2,710535	2	3
<b>July</b>	2,14982	2,60159	2,375705	1	2
<b>August</b>	2,40599	2,91209	2,65904	2	3

<b>Dec</b>	3,8082	5,43928	4,62374	3	6
------------	--------	---------	---------	---	---

Πίνακας 19: *Chl-a* για το 2013

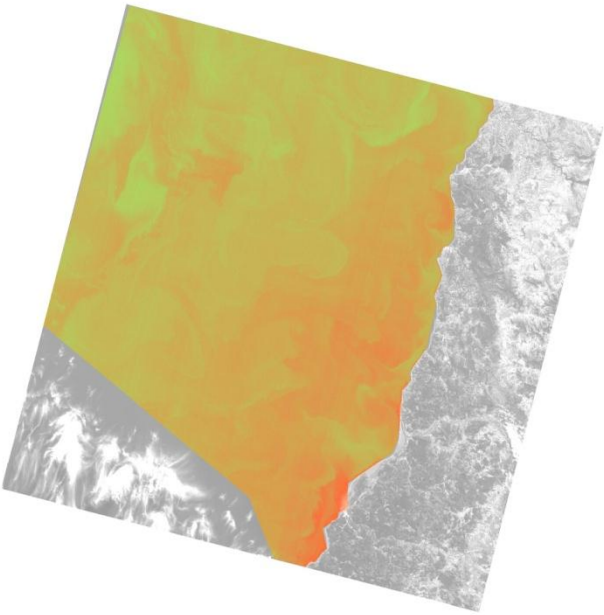


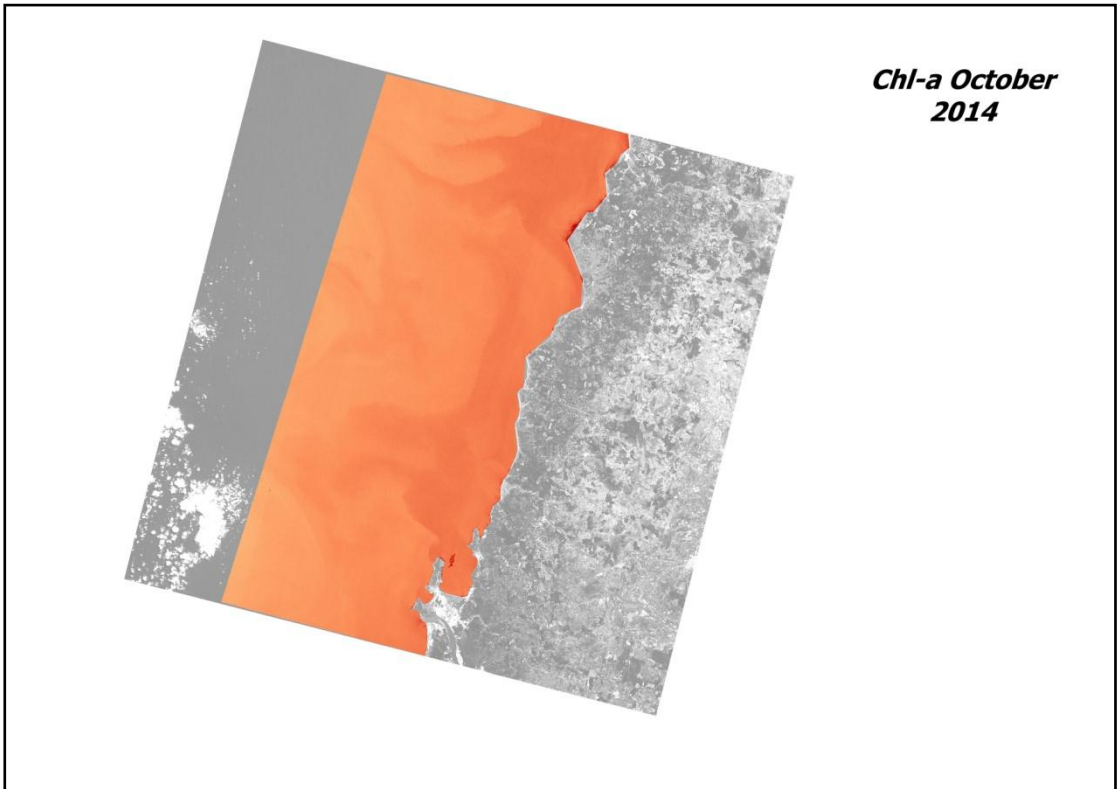
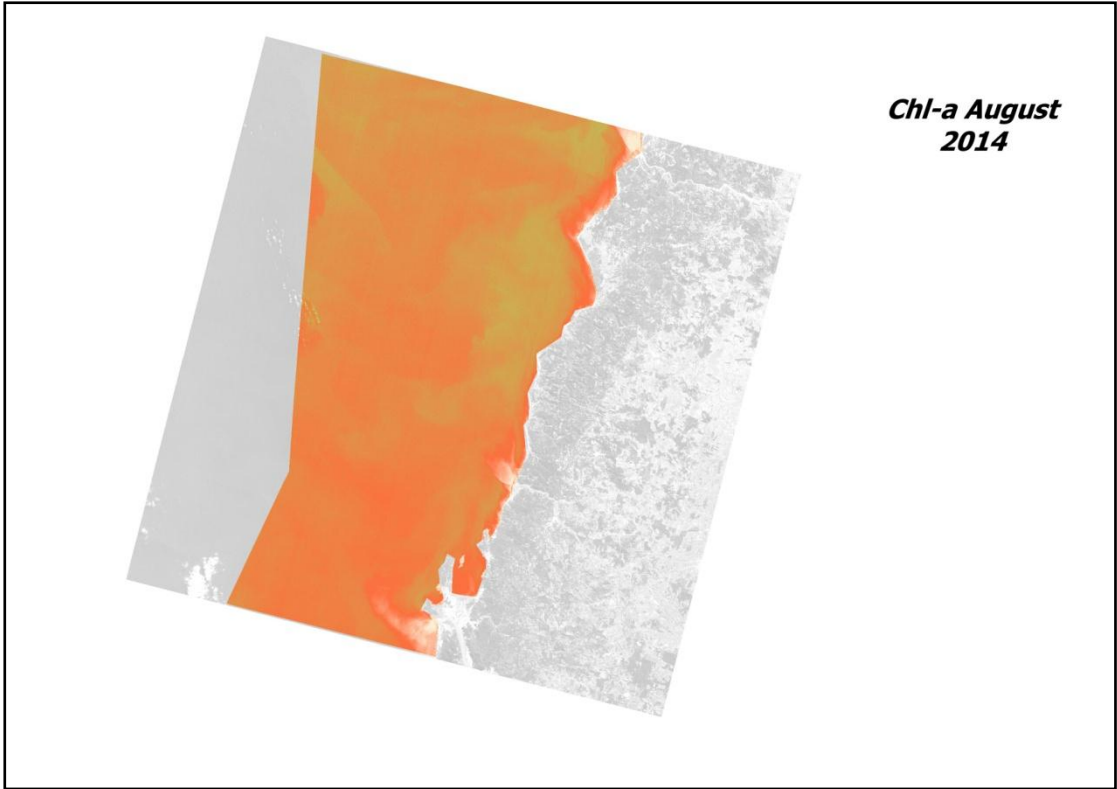
Διάγραμμα 13: *Chl-a* για το 2013

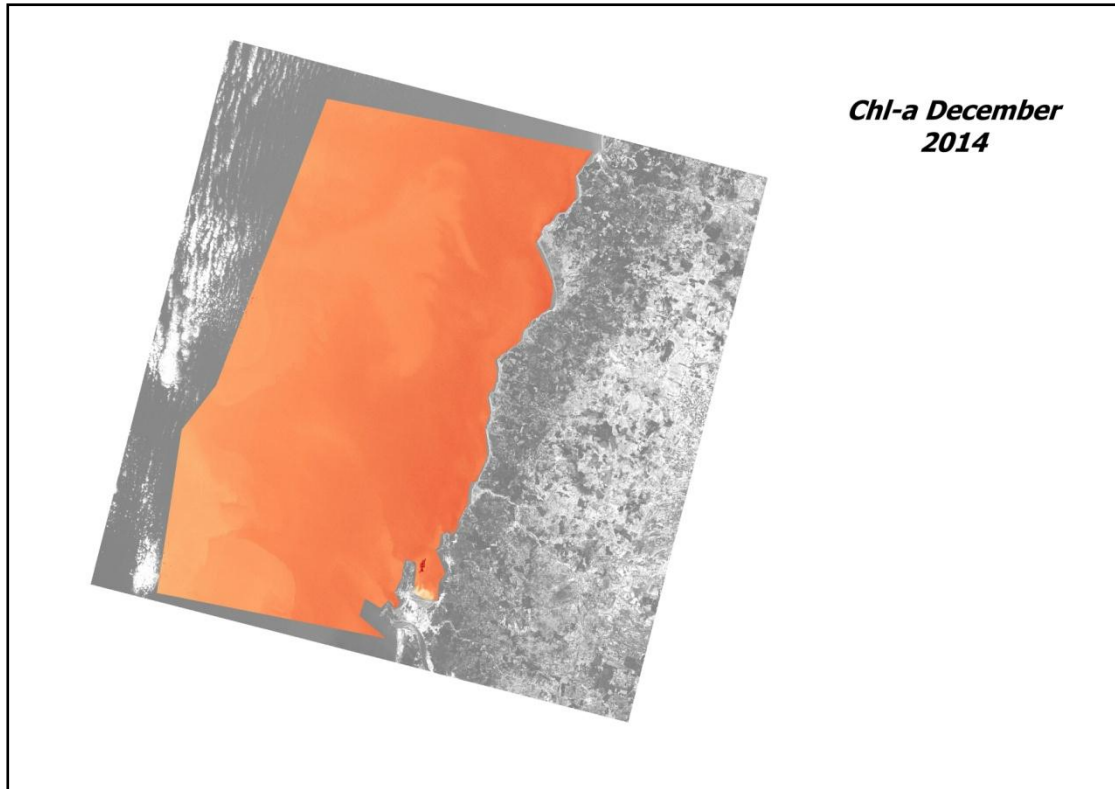




***Chl-a April  
2014***

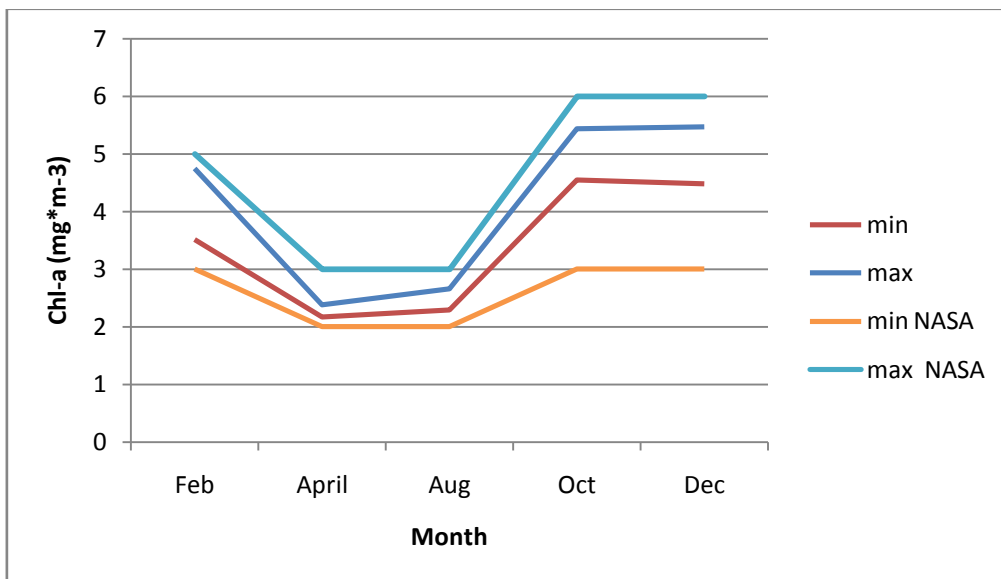






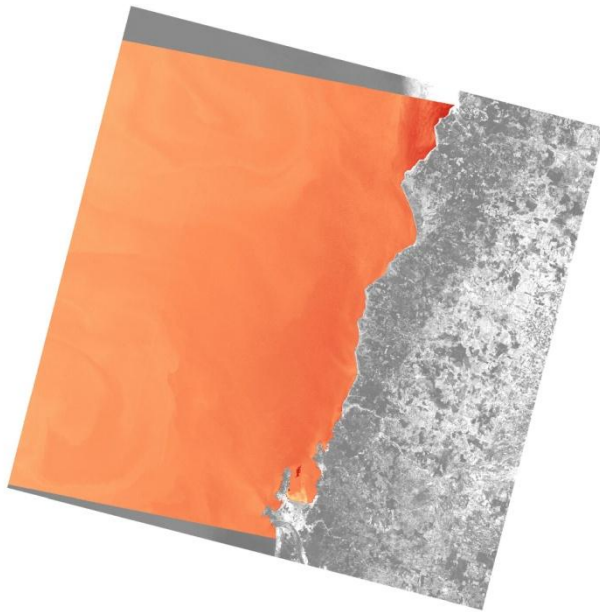
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Feb	3,51707	4,74258	4,129825	3	5
April	2,1651	2,38049	2,272795	2	3
Aug	2,28668	2,65779	2,472235	2	3
Oct	4,54656	5,43464	4,9906	3	6
Dec	4,47453	5,47001	4,97227	3	6

Πίνακας 20: Chl-a για το 2014

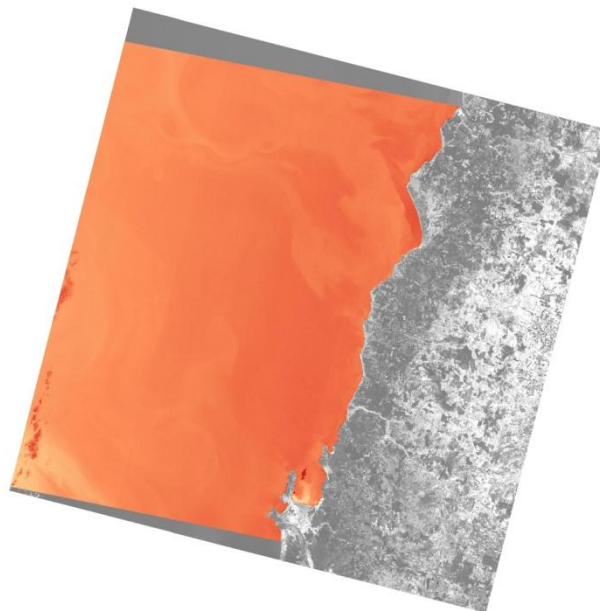


Διάγραμμα 14: Chl-a για το 2014

***Chl-a January  
2015***



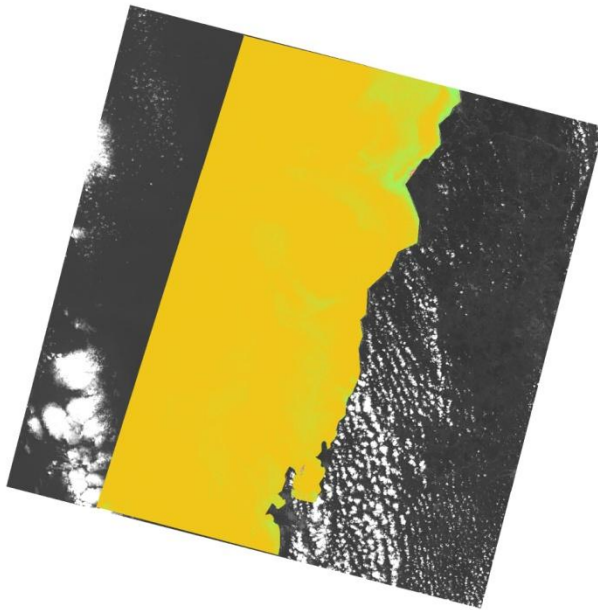
***Chl-a  
February 2015***



***Chl-a April 2015***

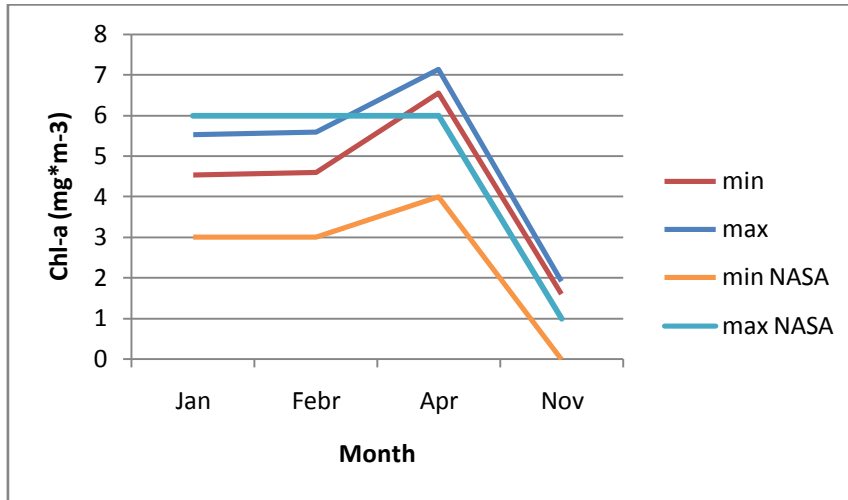


***Chl-a  
November  
2015***

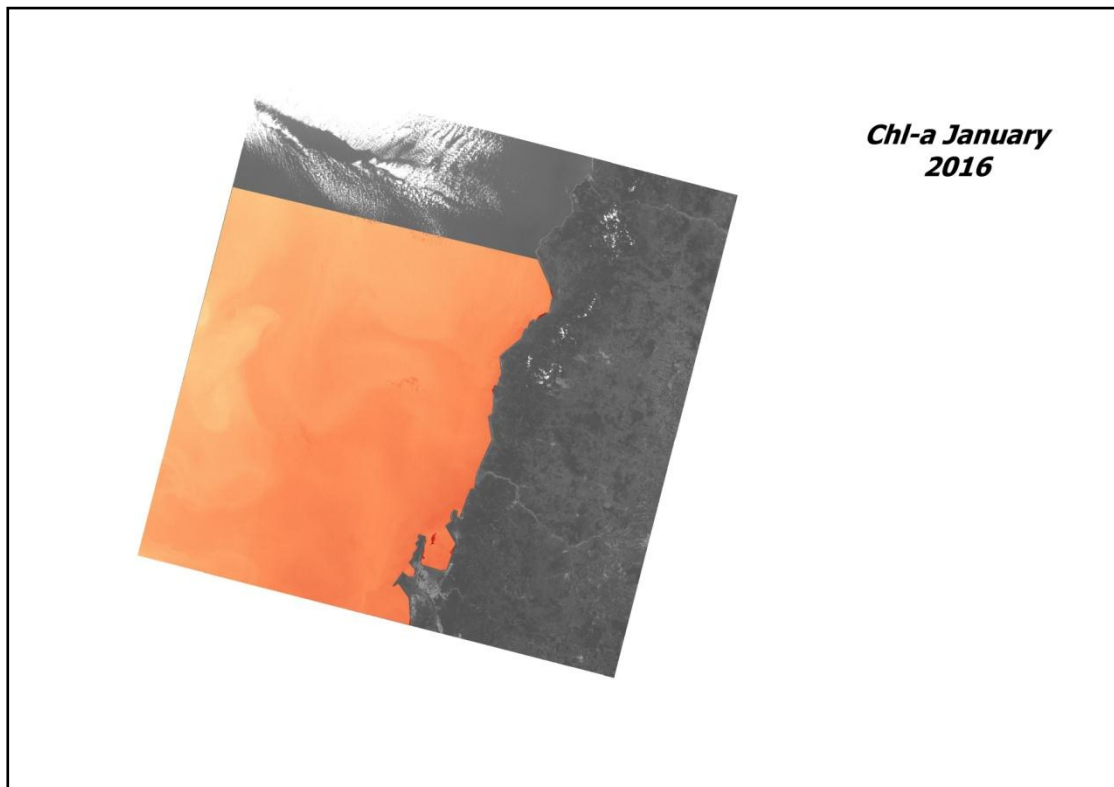


month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	4,5367	5,53487	5,035785	3	6
Febr	4,59797	5,5994	5,098685	3	6
Apr	6,55124	7,14304	6,84714	4	6
Nov	1,59577	1,92188	1,758825	0	1

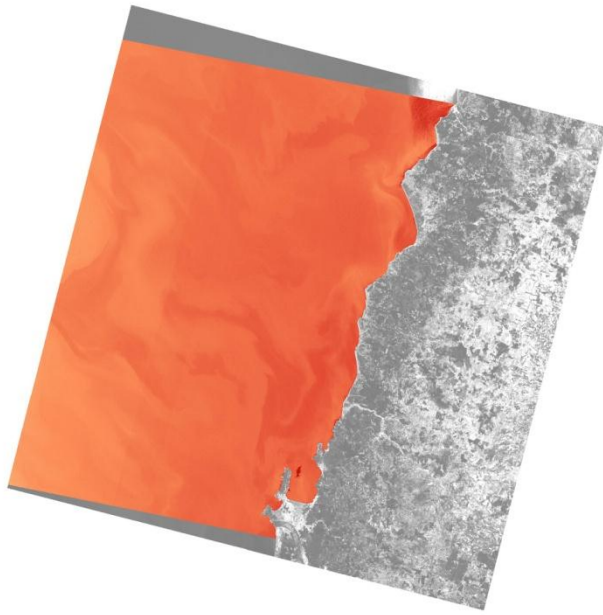
Πίνακας 21: Chl-a για το 2015



Διάγραμμα 15: Chl-a για το 2015

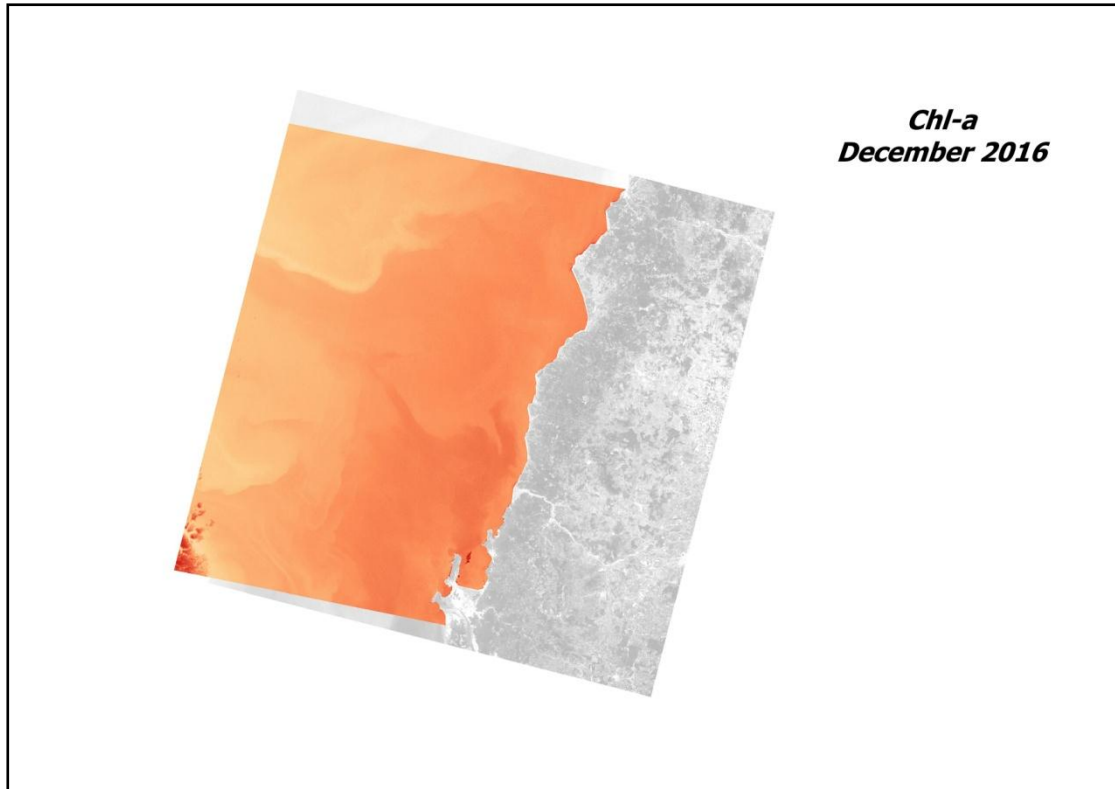


***Chl-a February 2016***



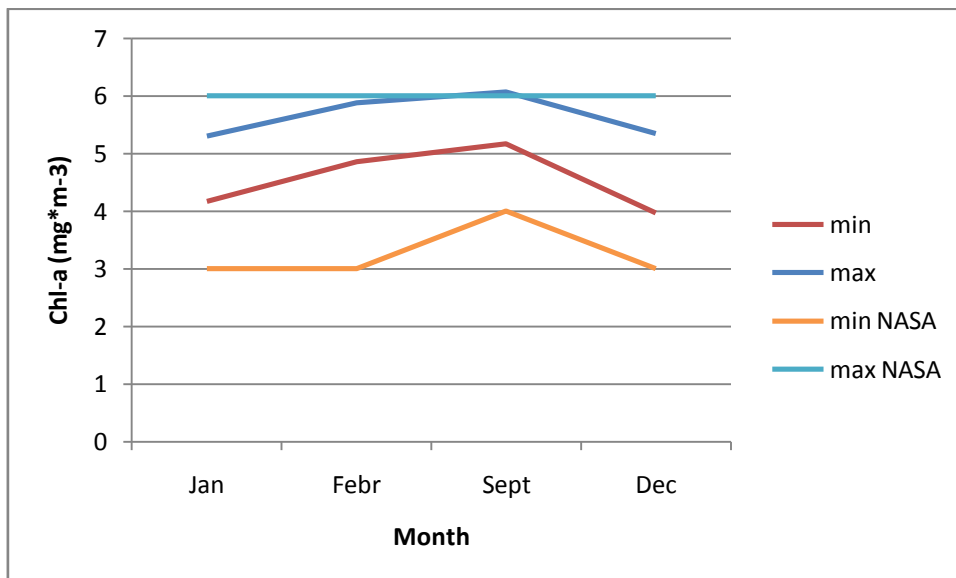
***Chl-a September 2016***





month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	4,16841	5,29949	4,73395	3	6
Febr	4,86112	5,87619	5,368655	3	6
Sept	5,16984	6,07116	5,6205	4	6
Dec	3,97217	5,3394	4,655785	3	6

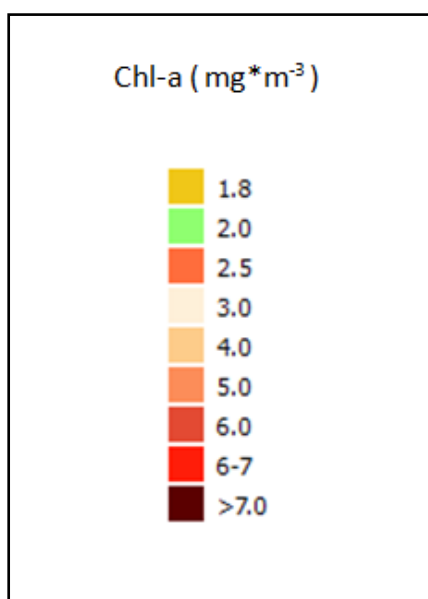
Πίνακας 22: Chl-a για το 2016



Διάγραμμα 16: Chl-a για το 2016



## ΥΠΟΜΝΗΜΑ



### 4.6 Υπολογισμός θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας (SST)

#### 4.6.1 Επεξεργασία στο περιβάλλον QGIS

Εφόσον μας ενδιέφερε η εξαγωγή δεδομένων θερμοκρασίας μόνο για τα παράκτια ύδατα της περιοχής μελέτης, έπρεπε –όπως υλοποιήσαμε και στην περίπτωση της εξαγωγής δεδομένων χλωροφύλλη– να μασκάρουμε τη στεριά. Όπου φυσικά ήταν αναγκαίο μασκάραμε και τα σύννεφα.

##### 4.6.1.1 Επεξεργασία δεδομένων Landsat TM

Όπως γνωρίζουμε το κανάλι 6 του θεματικού χαρτογράφου καταγράφει στο θερμικό υπέρυθρο, από 0,76 -0,9 μm. Επομένως το κανάλι TM6 είναι και αυτό που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή θερμοκρασιών επιφάνειας θάλασσας, για τα έτη 2005-2011.

Ακολούθησε η μετατροπή των ψηφιακών τιμών(DN) σε τιμές απόλυτης ακτινοβολίας(Radiance). Σαφείς πληροφορίες για την μετατροπή από DN σε RADIANCE, αντλήσαμε από τα [εγχειρίδια](#) της USGS περί των Landsat αποστολών.

Κατά την απόδοση του Level-1 προϊόντος για δεδομένα Landsat TM 4-5 τα εικονοστοιχεία μετατρέπονται σε μονάδες απόλυτης ακτινοβολίας χρησιμοποιώντας υπολογισμούς με κινητά σημεία 32-bit. Οι τιμές των εικονοστοιχείων κλιμακώνονται στη συνέχεια σε τιμές byte πριν την έξοδο.

Η ακόλουθη σχέση χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε τιμές φασματικής ακτινοβολίας L (radiance):

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

Όπου:

- $L_\lambda$  = φασματική ακτινοβολία στο άνοιγμα του αισθητήρα (watts/(meter squared \* ster \*  $\mu\text{m}$ ))
- $L_{\text{MIN}\lambda}$  = φασματική ακτινοβολία που κλιμακώνεται στο QCALMIN (meter squared \* ster \*  $\mu\text{m}$ )
- $L_{\text{MAX}\lambda}$  = φασματική ακτινοβολία που κλιμακώνεται στο QCALMAX((meter squared \* ster \*  $\mu\text{m}$ ))
- QCAL = η κβαντισμένη βαθμονομημένη τιμή του pixel σε DN (1-255)
- QCALMAX = μέγιστη τιμή QCAL σε DN που αντιστοιχεί στο LMAX $\lambda$
- QCALMIN = ελάχιστη τιμή QCAL σε DN που αντιστοιχεί στο LMIN $\lambda$

Τα παραπάνω στοιχεία αντλήθηκαν από το MTL αρχείο που συνόδευε κάθε εικόνα.

Η διαμόρφωση της παραπάνω σχέσης στο raster calculator του QGIS αναγράφεται αμέσως παρακάτω, εφαρμοζόμενη στην μασκαρισμένη εικόνα του καναλιού TM6:

```
((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 - RADIANCE_MINIMUM_BAND_6)/(
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 - QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 ))*(CLIP_BAND6_DN-
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6)+ RADIANCE_MINIMUM_BAND_6
```

Σε επόμενο στάδιο, μιας και είχαμε πλέον τις τιμές radiance, με χρήση της εξίσωσης του Planck εξάγαμε τιμές θερμοκρασίας φωτεινότητας (brightness temperature) ή αλλιώς θερμοκρασίας που καταγράφει ο αισθητήρας του δορυφόρου (satellite temperature) σε βαθμούς Kelvin. Πρόκειται ουσιαστικά για τη θερμοκρασία που καταγράφει ο δορυφόρος με την υπόθεση του μέλανος σώματος, το οποίο απορροφά όλη την ενέργεια που προσπίπτει επάνω του, και με βάση την αρχή διατήρησης της ενέργειας, την εκπέμπει όλη (Abduwasit Ghulam, 2010)<sup>[14]</sup>, (Z. Qin, A. Karnieli, P. Berliner, 2010)<sup>[15]</sup>. Ο τύπος μετατροπής είναι ο εξής:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

(Εξίσωση του Planck)

Όπου :

T = θερμοκρασία φωτεινότητας στην ατμόσφαιρα σε Kelvin

$L_\lambda$  = φασματική ανακλαστικότητα (radiance) σε Watts/(m<sup>2</sup>\* sr \*  $\mu\text{m}$ )

K1 = Σταθερά θερμικής μετατροπής για το κανάλι 6

K2 = Σταθερά θερμικής μετατροπής για το κανάλι 6

Οι τιμές των σταθερών K1 και K2 έχουν συγκεκριμένη τιμή για τα δεδομένα του θεματικού χαρτογράφου:

Σταθερά	Τιμή
K1	607,76 (Watts/(m <sup>2</sup> * sr * μm))
K2	1260,56 (Kelvin)

Πίνακας 23: Πίνακας τιμών σταθερών K1, K2 για εικόνες Landsat 5 TM

Διάφορες μελέτες έχουν περιγράψει την εκτίμηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους μέσω του συντελεστή εκπομπής e μπορεί να υπολογιστεί από την At-Satellite Brightness Temperature (TB) που υπολογίσαμε μόλις παραπάνω ως εξής:

Z. Qin, A. Karnieli, P. Berliner, (2000),

$$T = T_B / [1 + (\lambda * T_B / c_2) * \ln(e)]$$

(Weng, et al. 2004)

Όπου :

T = θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους σε Kelvin

T<sub>B</sub> = θερμοκρασία φωτεινότητας δορυφόρου σε Kelvin ,με βάση τον υπολογισμό του Planck

λ = μήκος κύματος εκπεμπόμενης ακτινοβολίας

c<sub>2</sub> = h\*c/s = 1.4388 \* 10<sup>-2</sup> mK

s = σταθερά Boltzmann = 1.38\*10<sup>-23</sup> J/K

c = ταχύτητα φωτός = 2.998\*10<sup>8</sup> m/s

e = συντελεστής εκπομπής

Οι τιμές για τα (κεντρικά) μήκη κύματος λ για το κανάλι TM6 είναι ίση με 11,45 μm.

Οι τιμές εκπομπής (e) για τις κατηγορίες κάλυψης γης παρέχονται στον παρακάτω πίνακα:

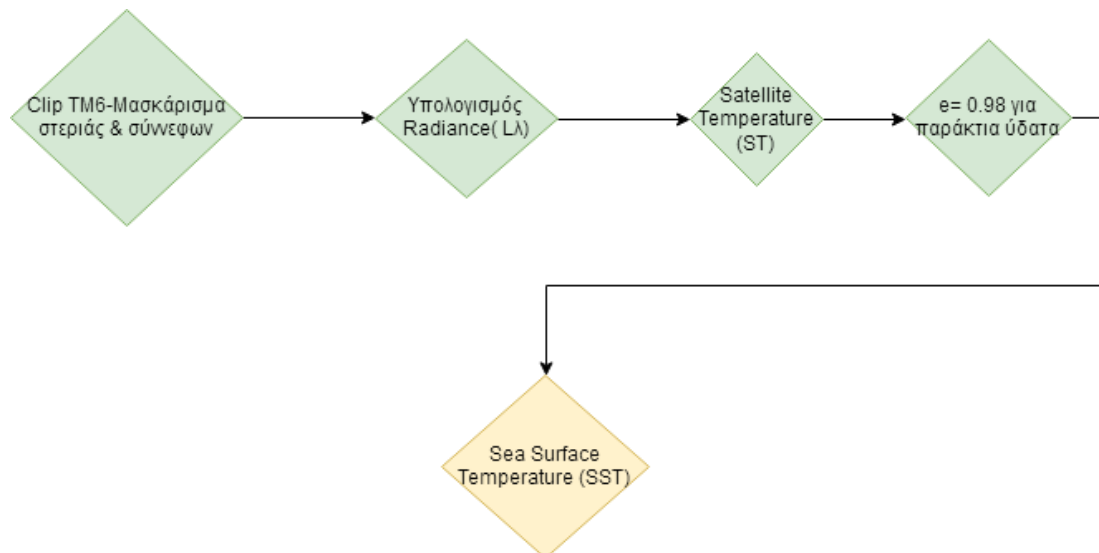
Επιφάνεια εδάφους	Συντελεστής εκπομπής e
Νερό	0,98
Χτισμένο έδαφος	0,94
Βλάστηση	0,98
Γυμνό έδαφος	0,93

**Πίνακας 24:** Πίνακας τιμών συντελεστών εκπομπής  $e$  για διάφορες κατηγορίες επιφάνειας εδάφους

Άρα για το νερό η τιμή  $e$  ισούται με 0,98. Μιας και έχουμε απομονώσει τη θάλασσα μασκάροντας τη στεριά σε όλες τις εικόνες με σκοπό τον υπολογισμό της θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας, αρκεί στη παραπάνω σχέση να χρησιμοποιήσουμε την τιμή της σταθεράς εκπομπής για το νερό. Επιπρόσθετα, για να έχουμε τις θερμοκρασίες σε βαθμούς Κελσίου, αφαιρέσαμε από την παραπάνω σχέση τον συντελεστή μετατροπής από Kelvin σε Celsius  $- 273,15$ . Επομένως, η τελική σχέση υπολογισμού SST την οποία εισάγαμε στο raster calculator του QGIS, είναι:

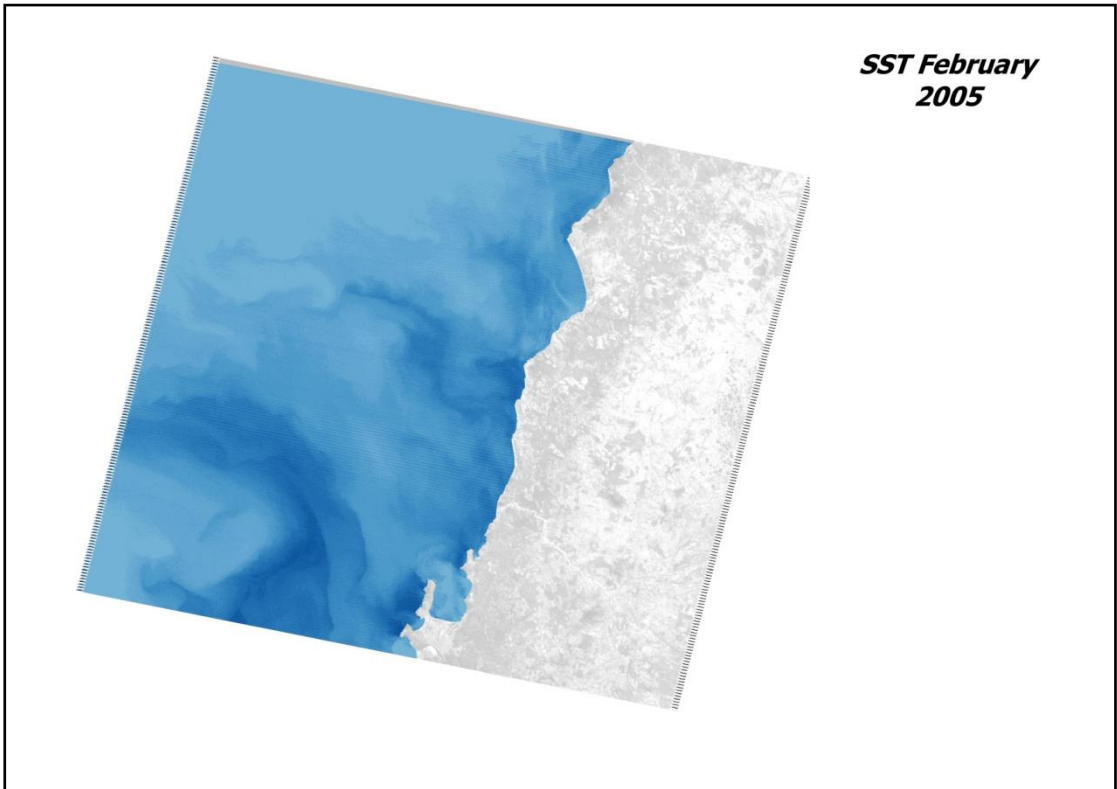
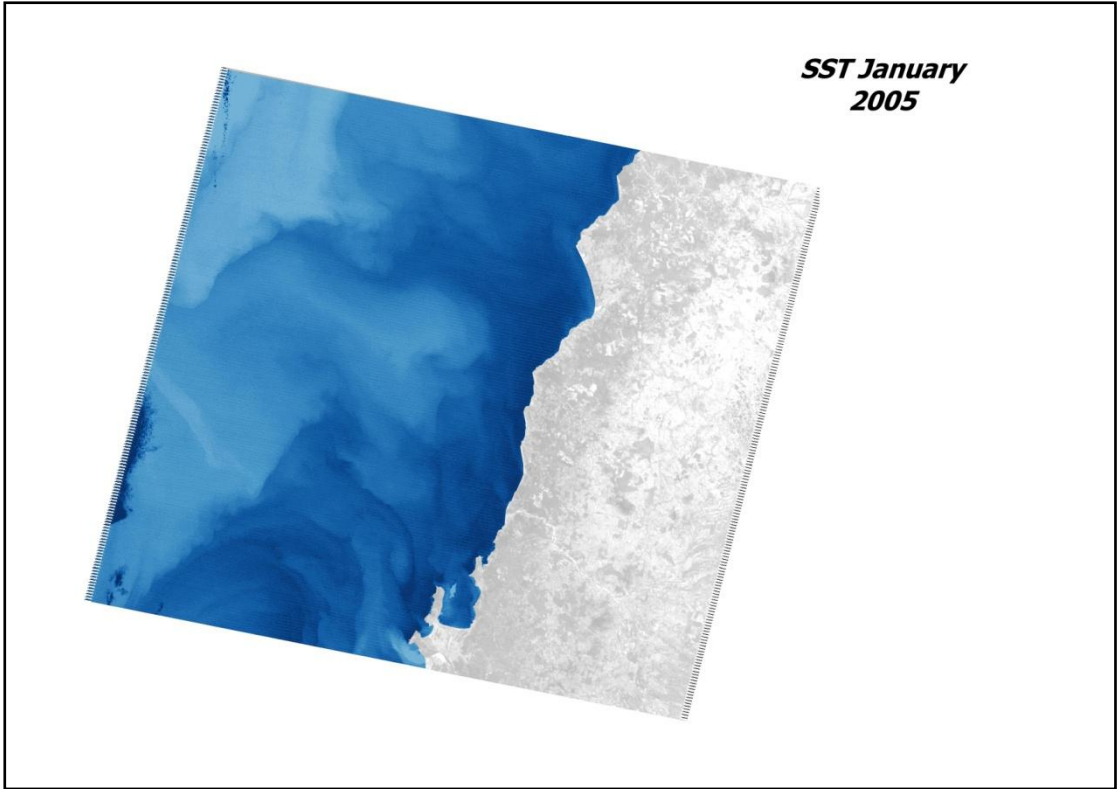
$$\text{Sea Surface Temperature (}^{\circ}\text{C)} = (ST / ( 1 + ( 11.45 * ST / 14380 ) * \ln ( 0.98) ) ) - 273.15$$

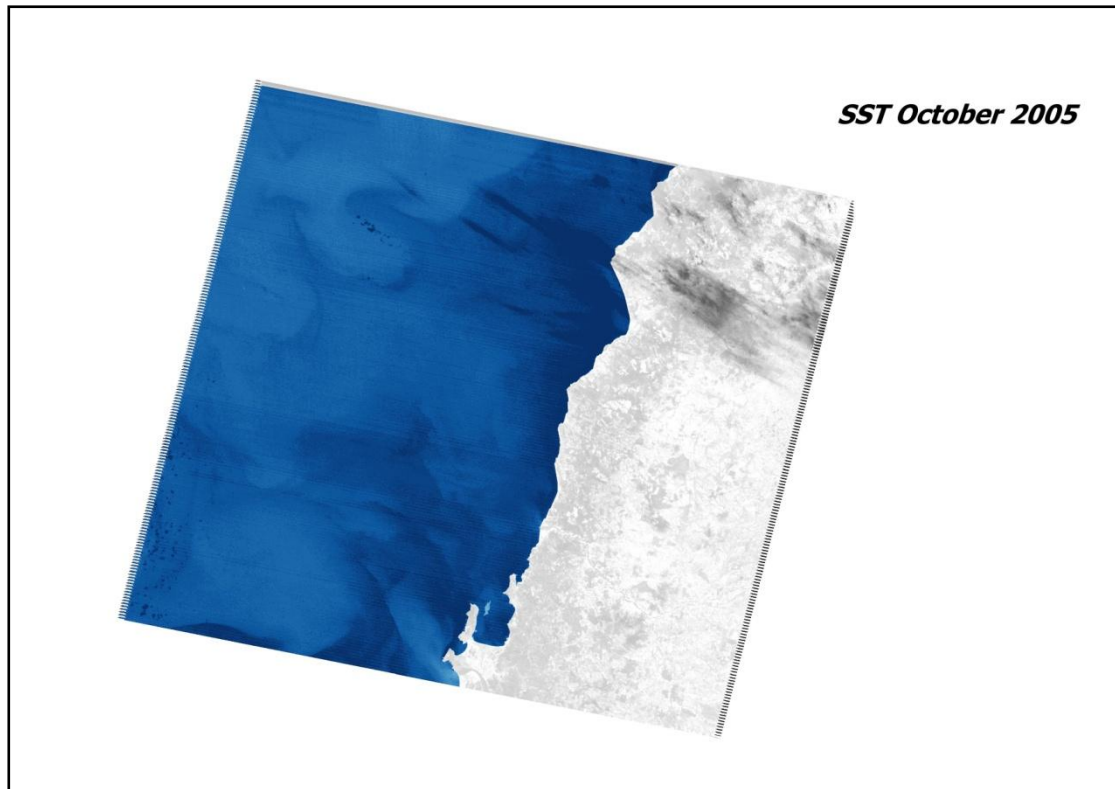
όπου ST= θερμοκρασία φωτεινότητας δορυφόρου όπως υπολογίστηκε για κάθε εικόνα με βάση την εξίσωση του Planck.



**Διάγραμμα 17:** Διάγραμμα ροής εργασιών στο QGIS για την εξαγωγή SST –Δεδομένα Landsat TM

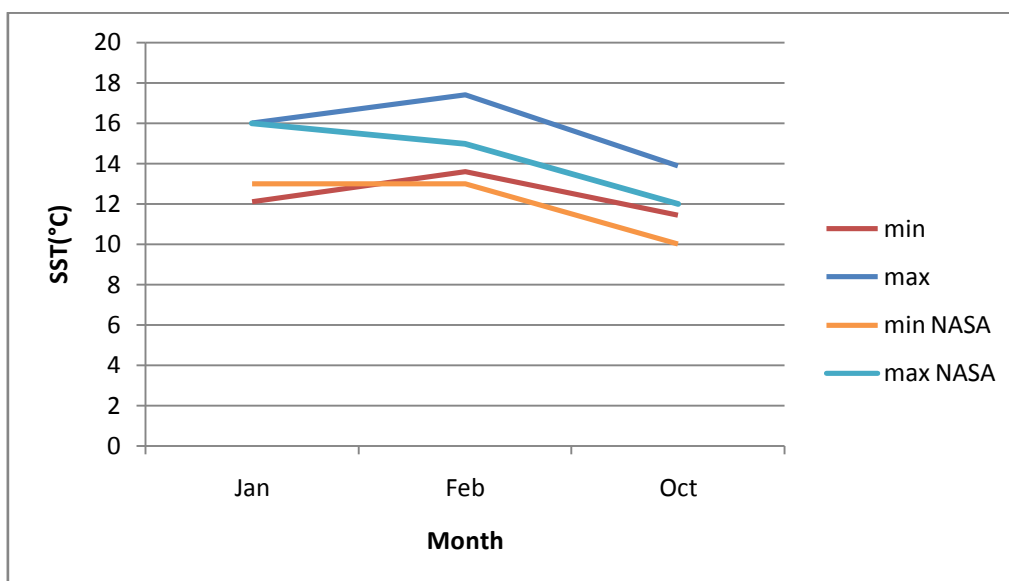
Τέλος επιλέξαμε παλέτα κόκκινων αποχρώσεων με τις τιμές του κόκκινου να σκουραίνουν όσο αυξάνονται οι ποσότητες χλωροφύλλης στην περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα για τα έτη 2005-2011 παρατίθενται αμέσως από κάτω:





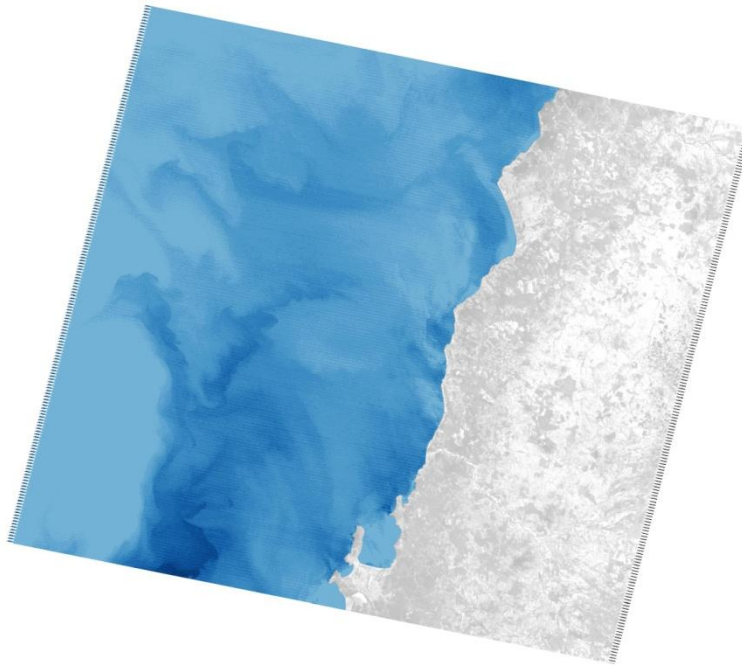
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	12,0995	16,0009	14,0502	13	16
Feb	13,6045	17,4027	15,5036	13	15
Oct	11,4468	13,8746	12,6607	10	12

Πίνακας 25: SST για το 2005



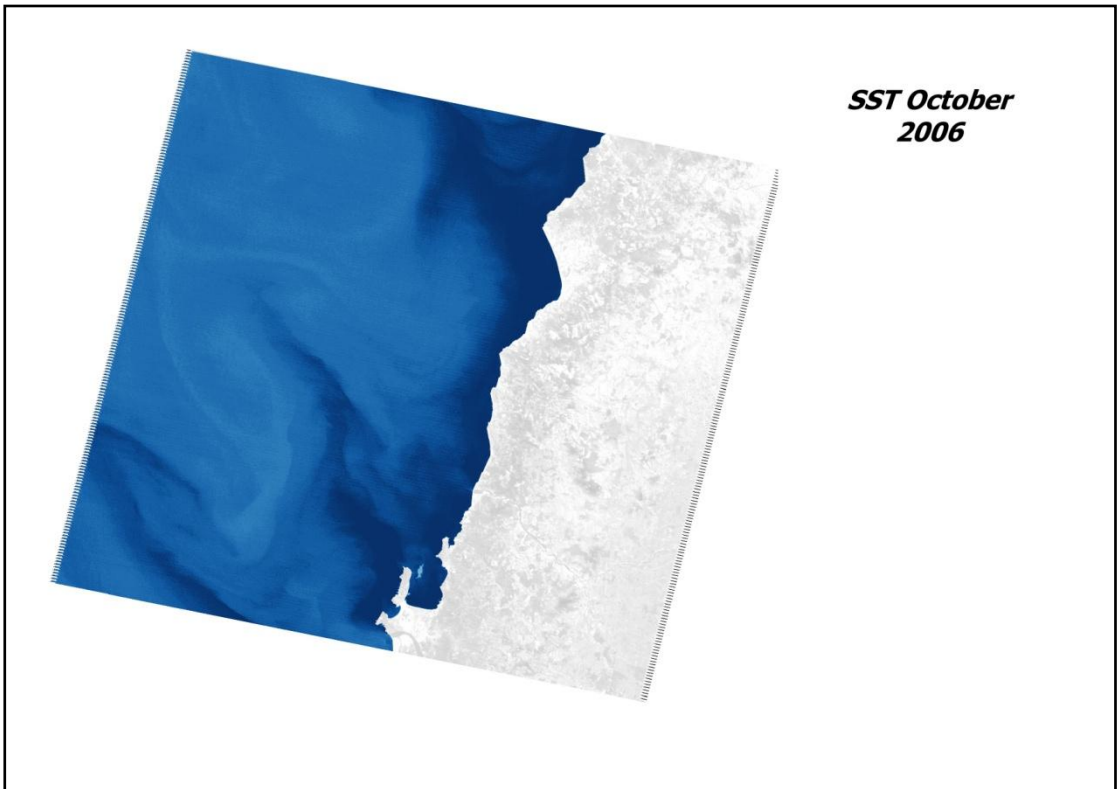
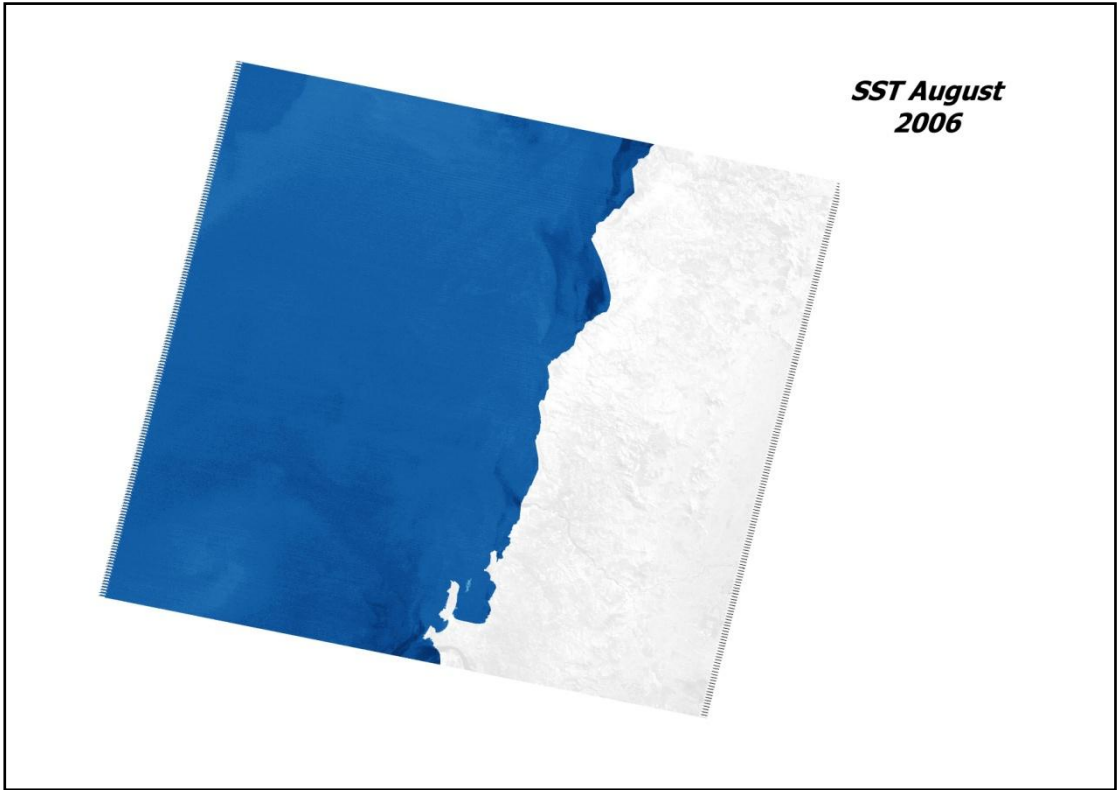
Διάγραμμα 18: SST για το 2005

**SST January  
2006**

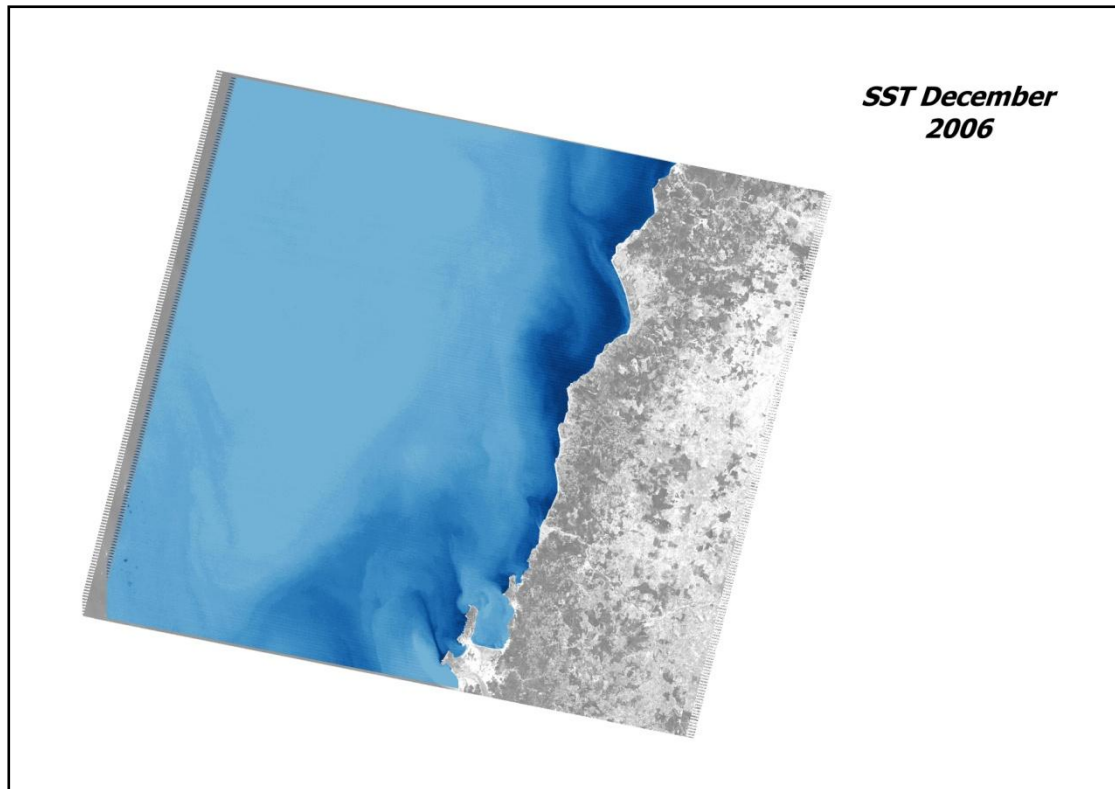


**SST  
February  
2006**



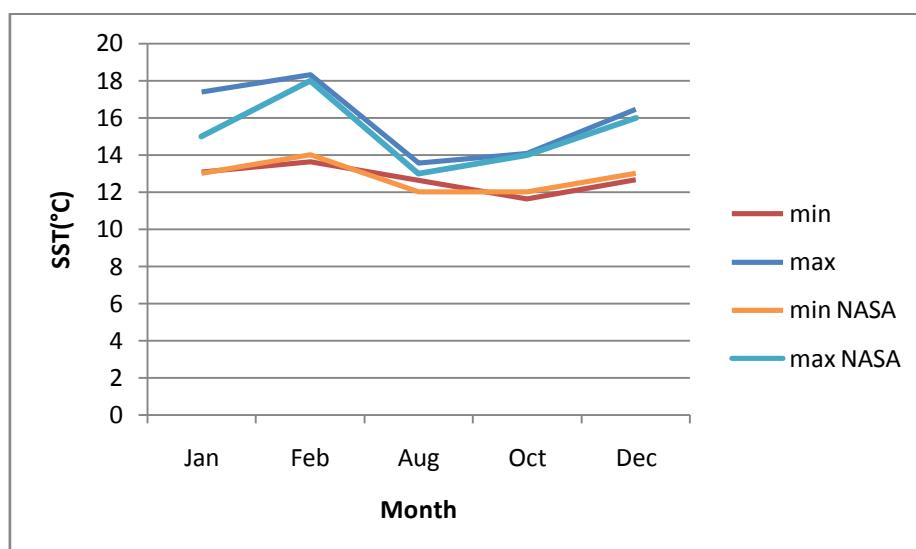




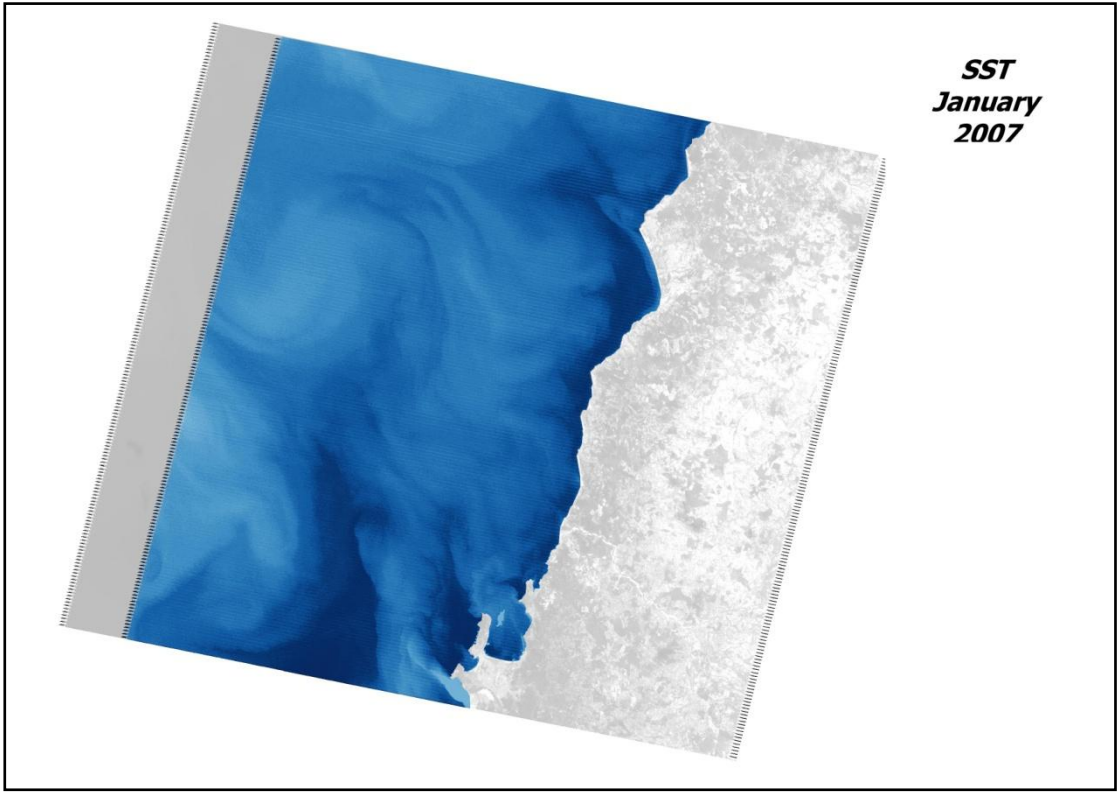


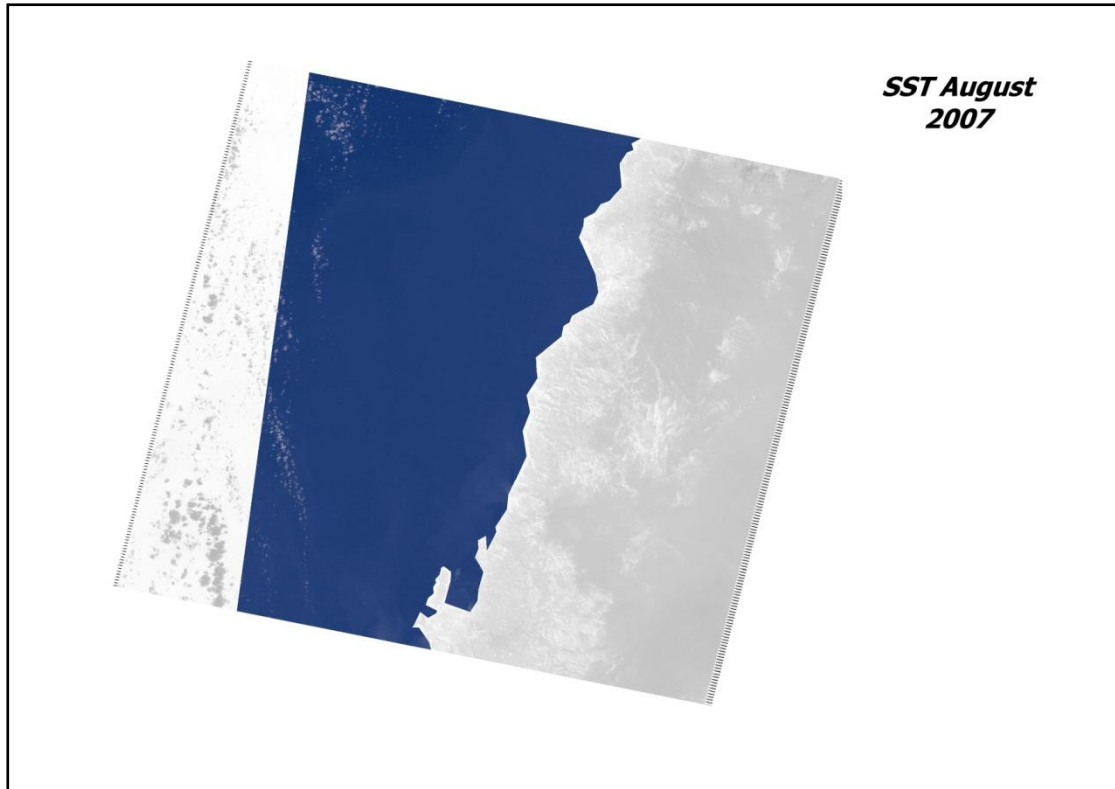
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	13,0785	17,3712	15,22485	13	15
Feb	13,6387	18,3061	15,9724	14	18
Aug	12,6429	13,5719	13,1074	12	13
Oct	11,6346	14,073	12,8538	12	14
Dec	12,6663	16,4586	14,56245	13	16

Πίνακας 26: SST για το 2006



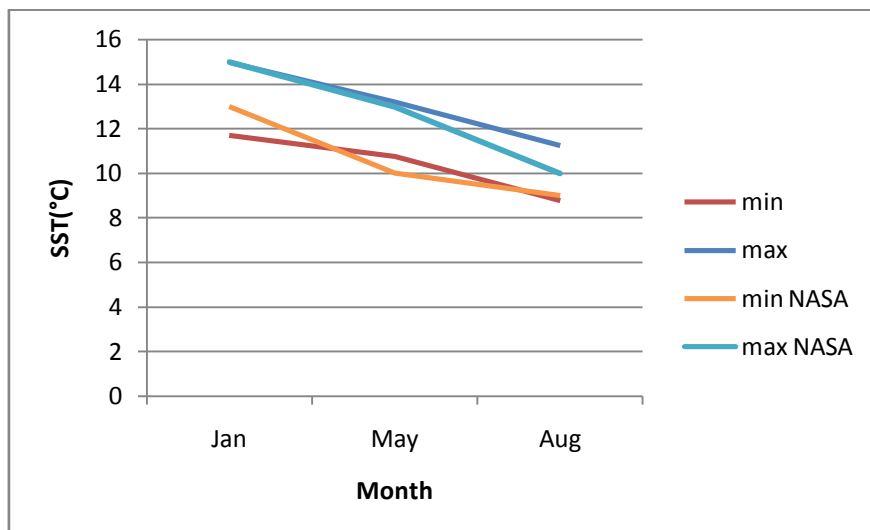
Διάγραμμα 19: SST για το 2006



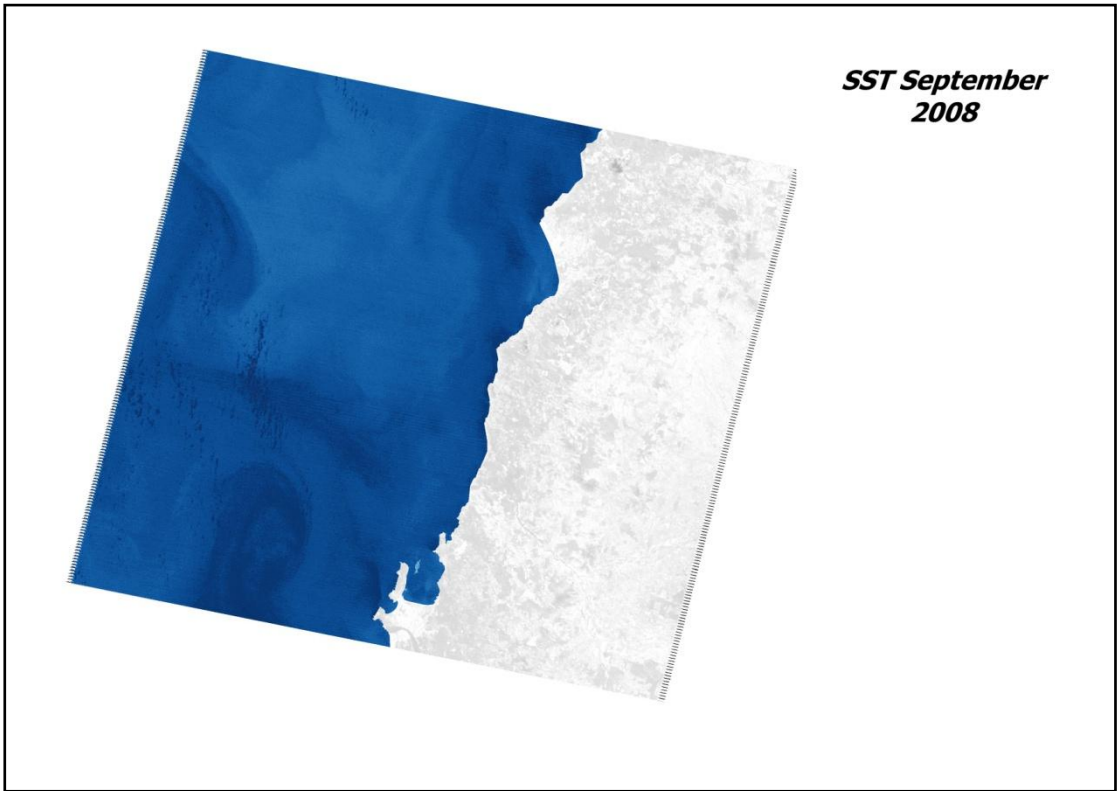
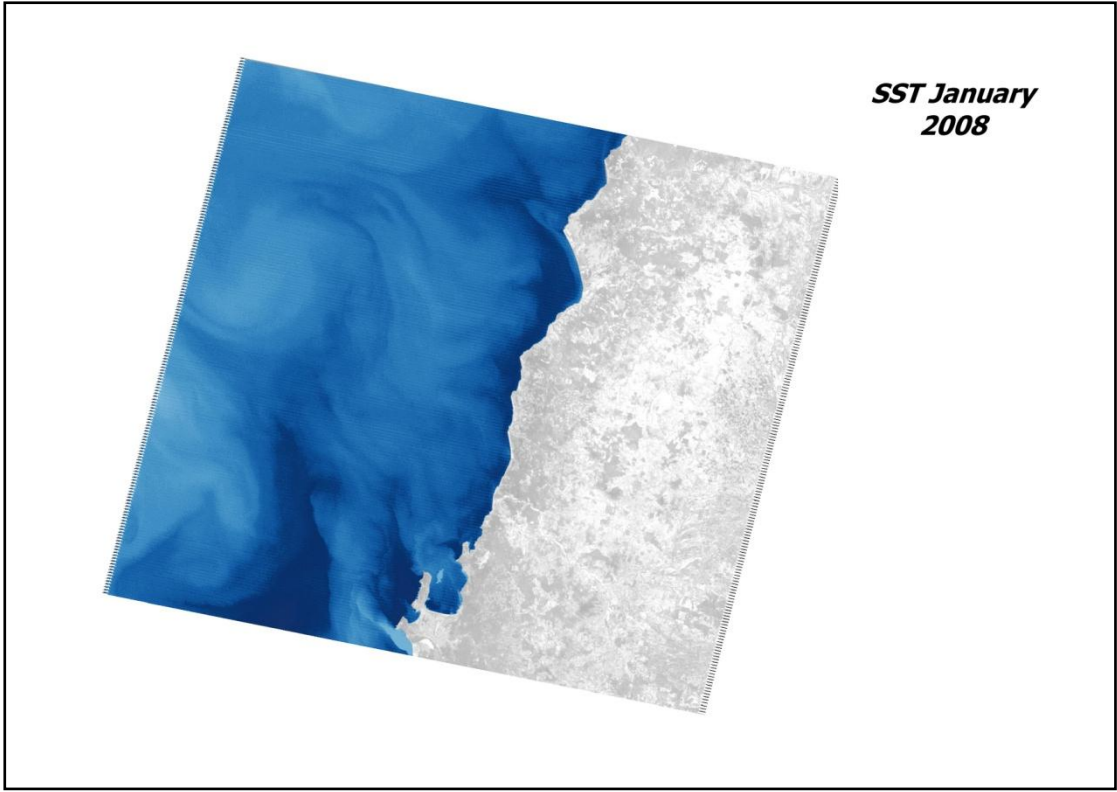


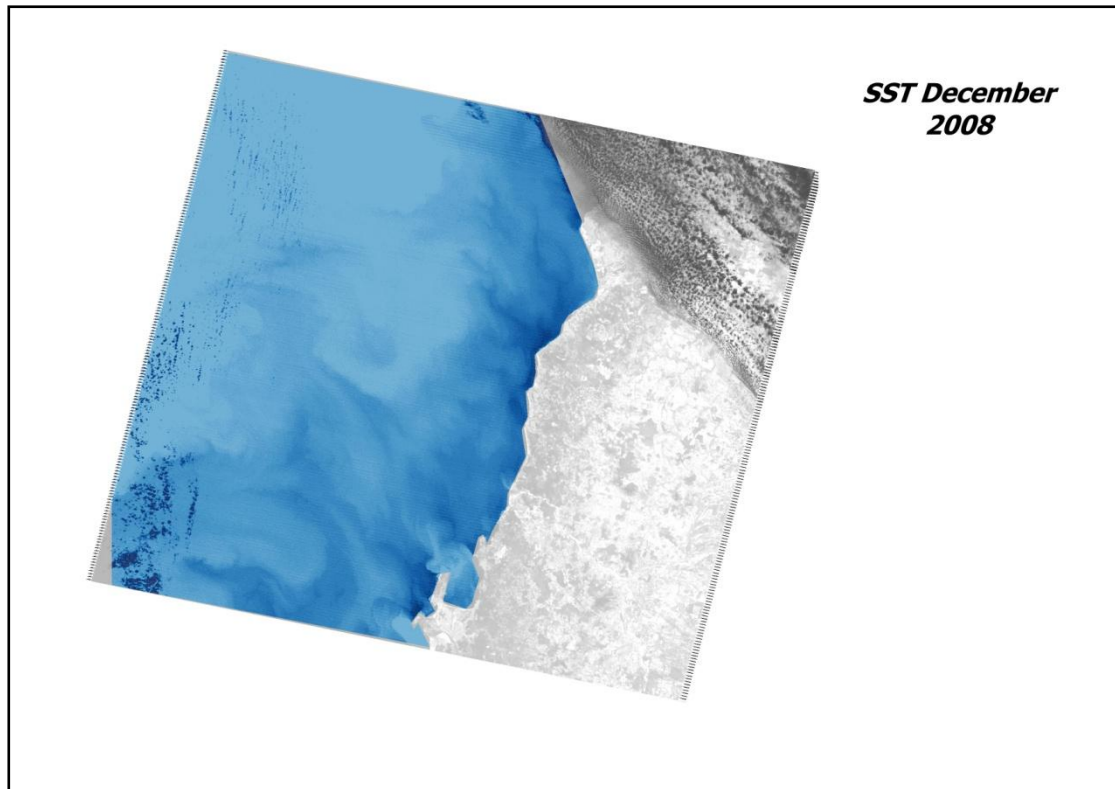
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	11,7054	14,9761	13,34075	13	15
May	10,7591	13,1952	11,97715	10	13
Aug	8,763	11,2371	10,00005	9	10

Πίνακας 27:Chl-a για το 2007



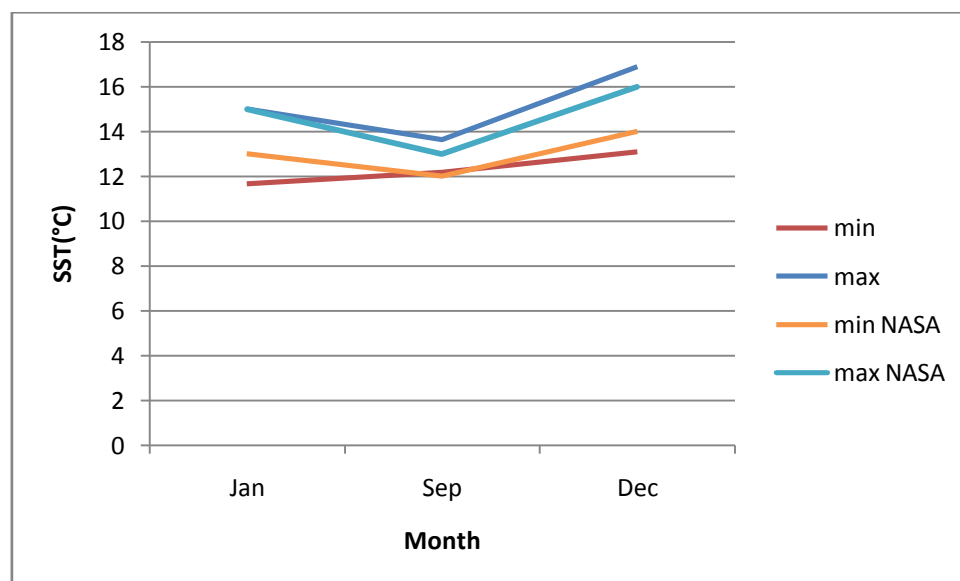
Διάγραμμα 20:SST για το 2007



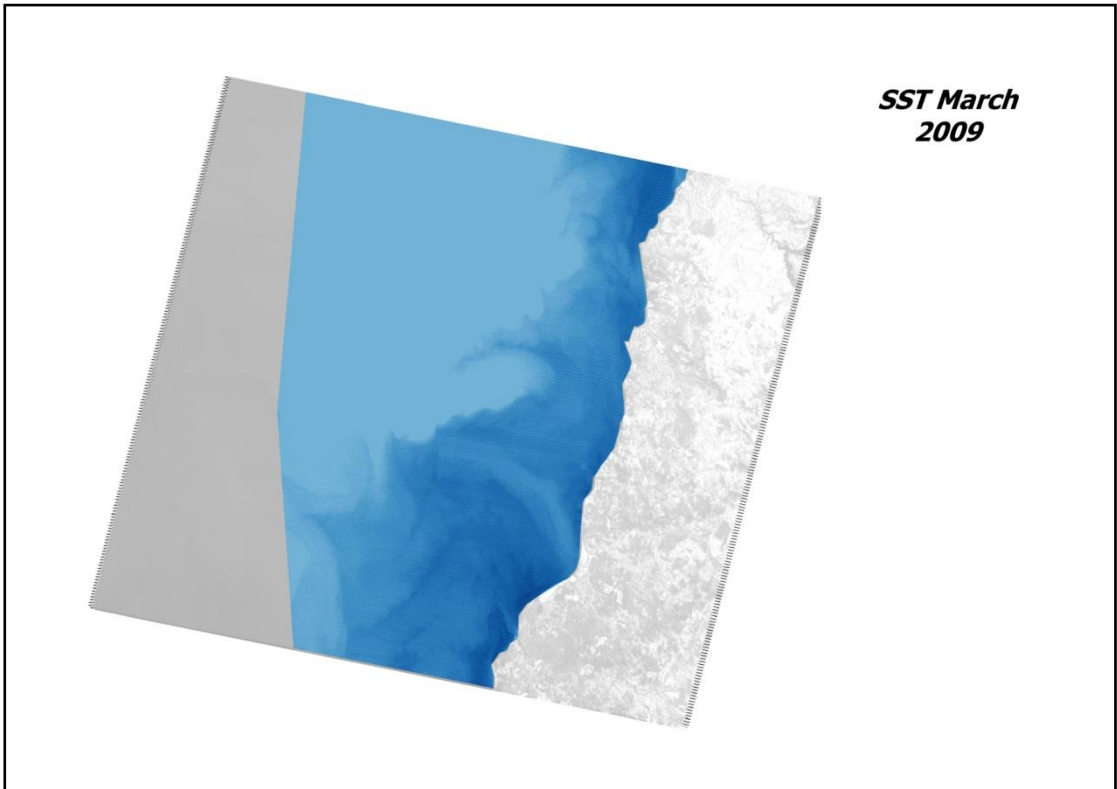
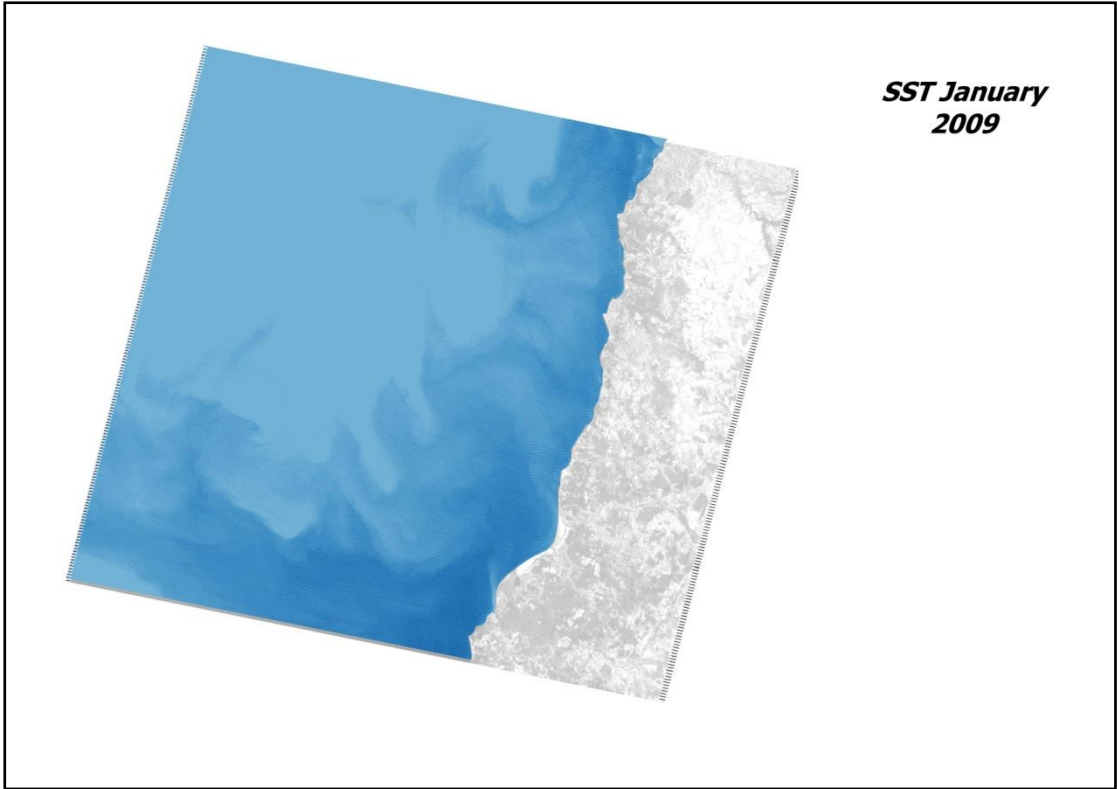


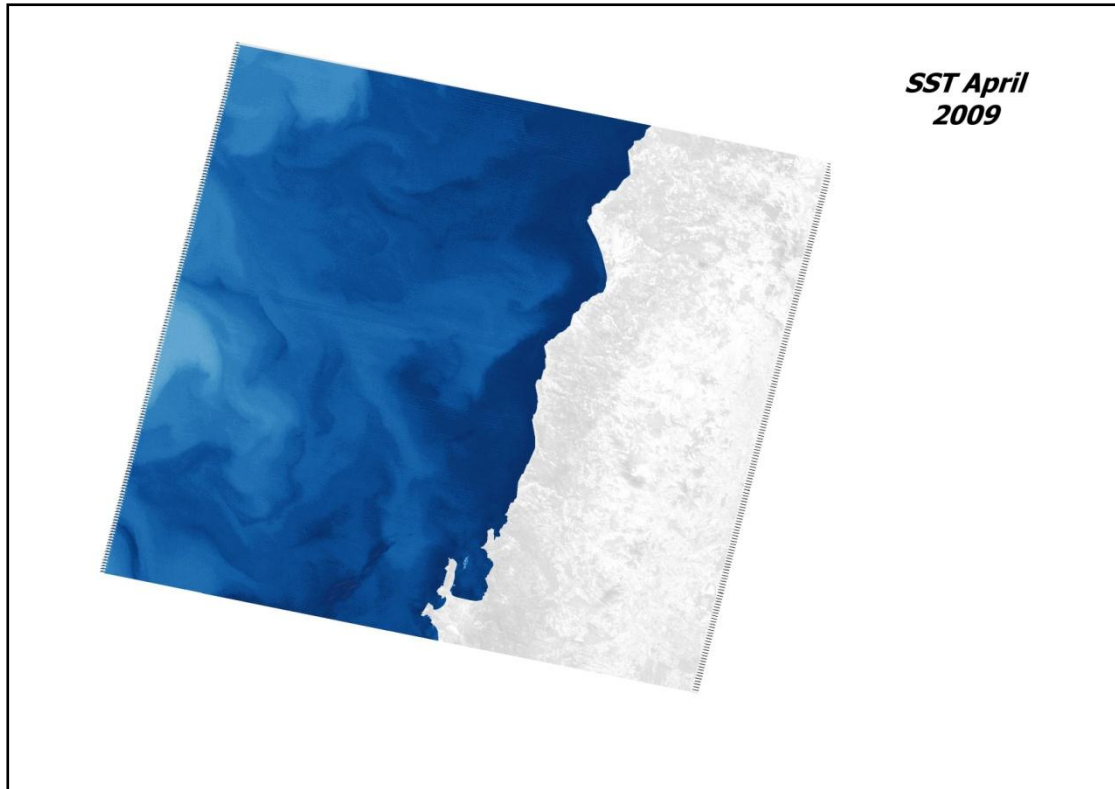
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	11,6536	15,0146	13,3341	13	15
Sep	12,1837	13,6273	12,9055	12	13
Dec	13,101	16,8923	14,99665	14	16

Πίνακας 28: SST για το 2008



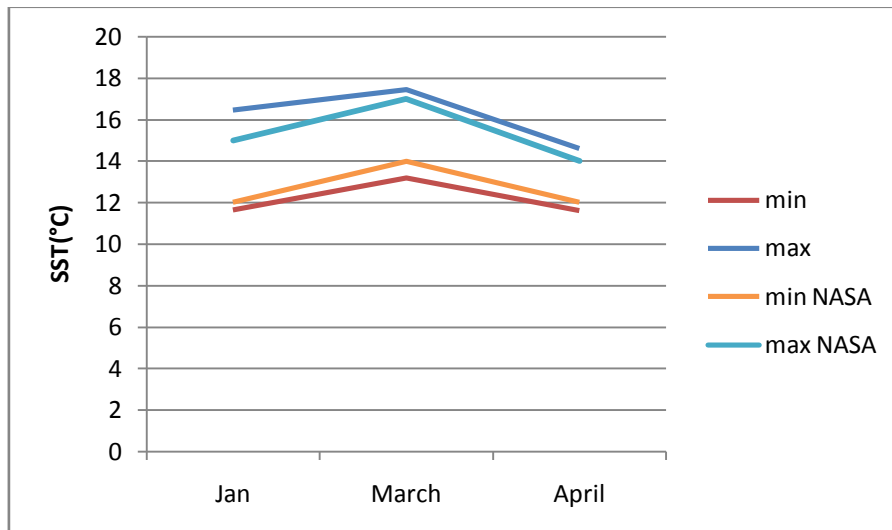
Διάγραμμα 21: SST για το 2008



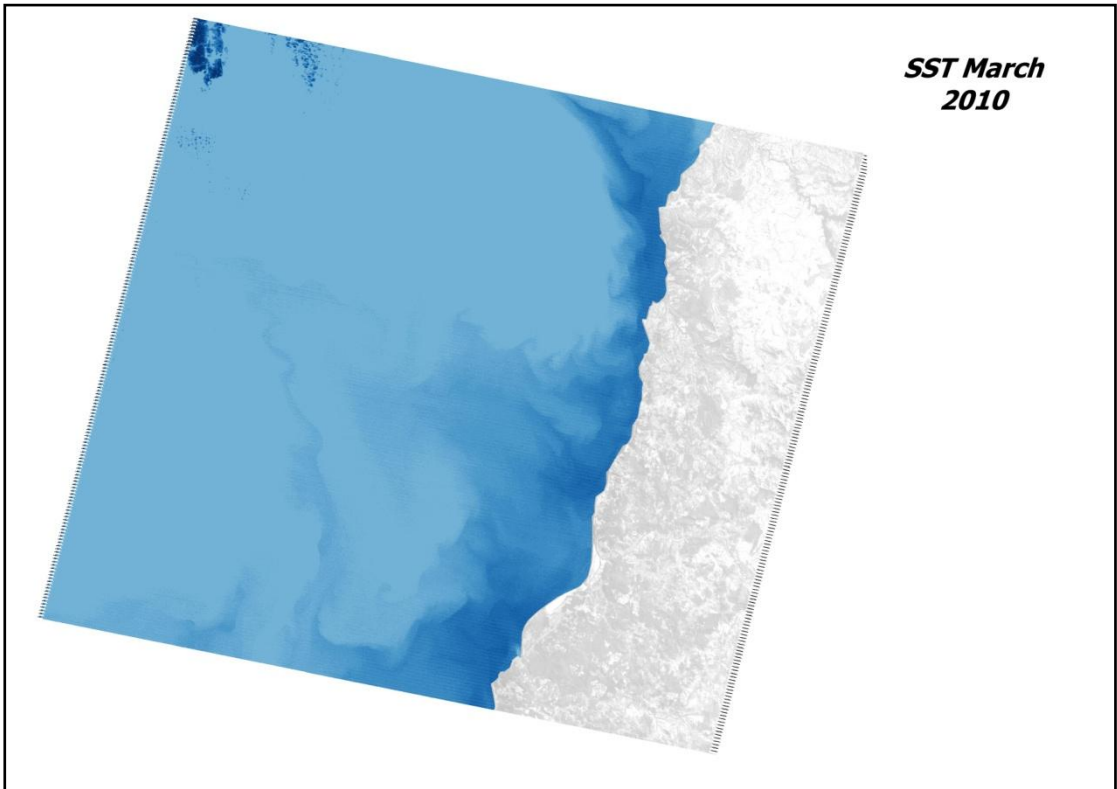
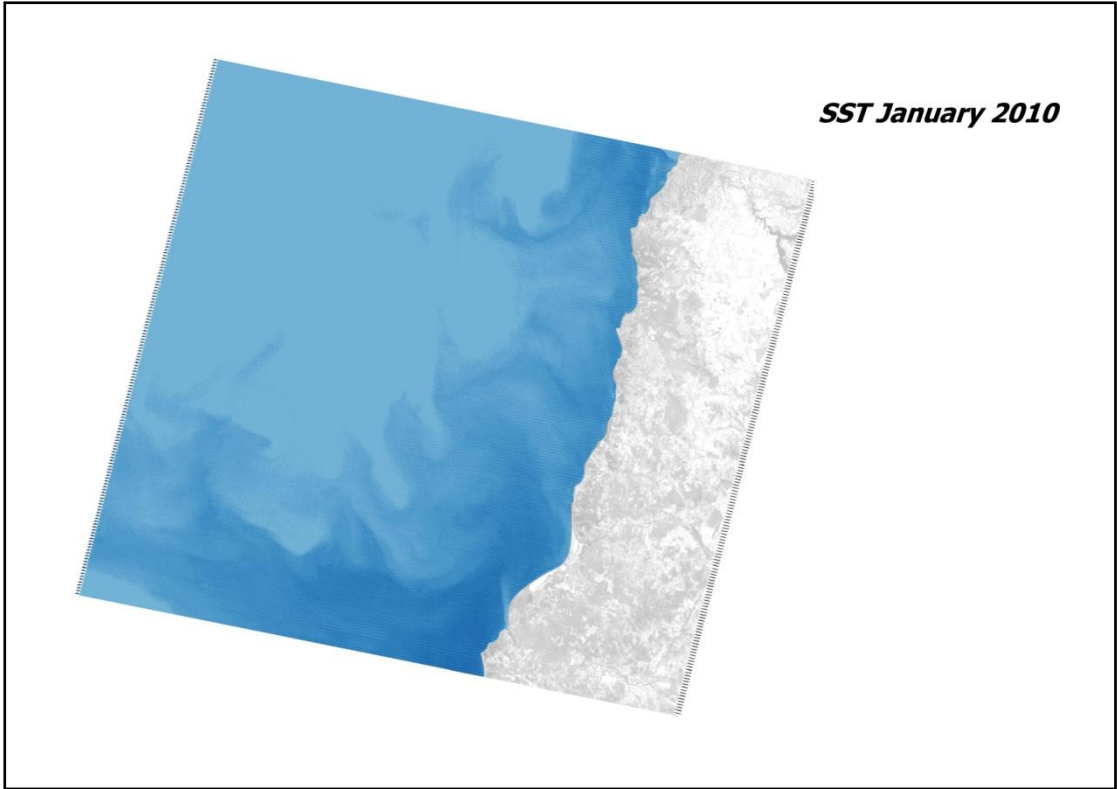


month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	11,6576	16,4767	14,06715	12	15
March	13,194	17,4592	15,3266	14	17
April	11,621	14,5939	13,10745	12	14

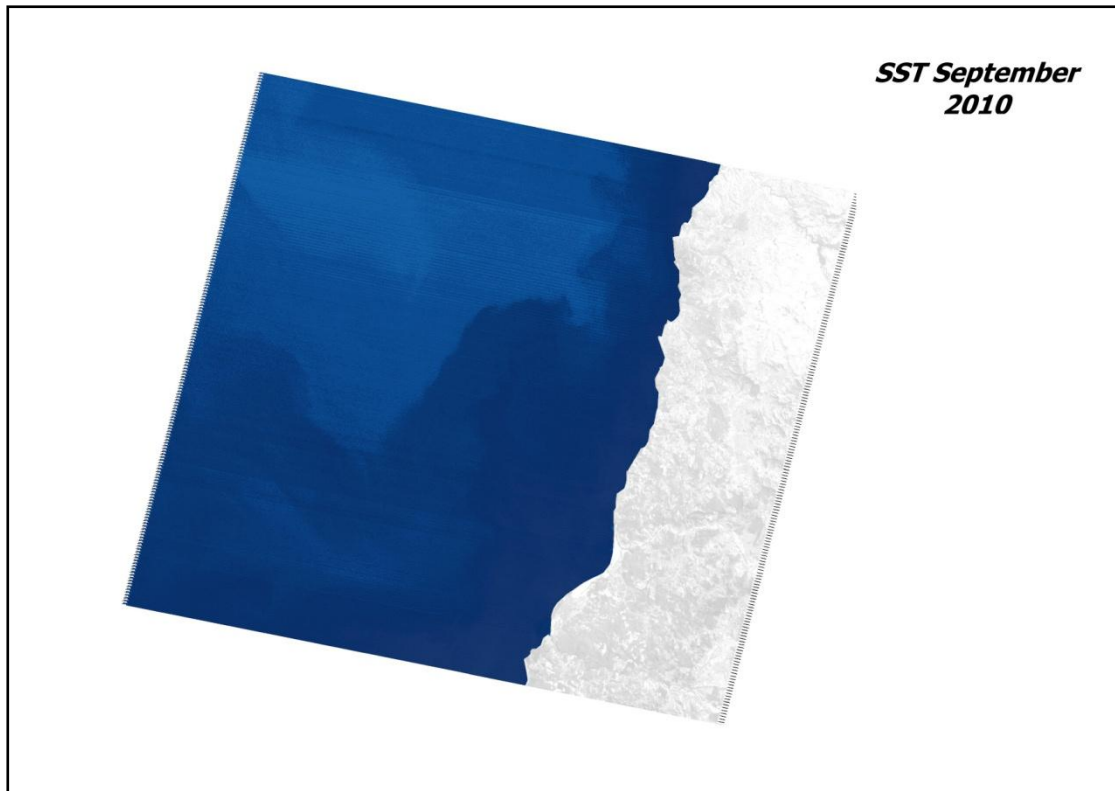
Πίνακας 29: SST για το 2009



Διάγραμμα 22: SST για το 2009

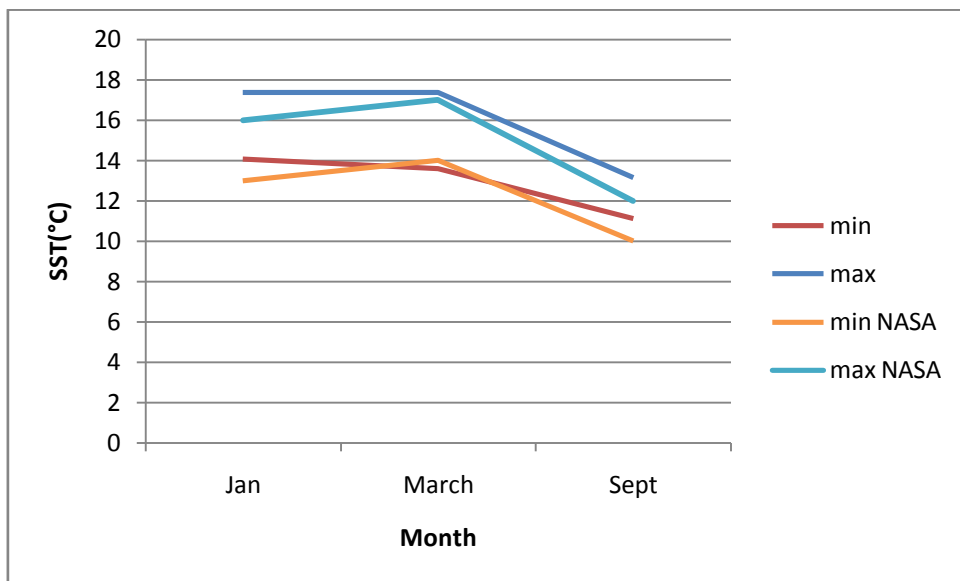






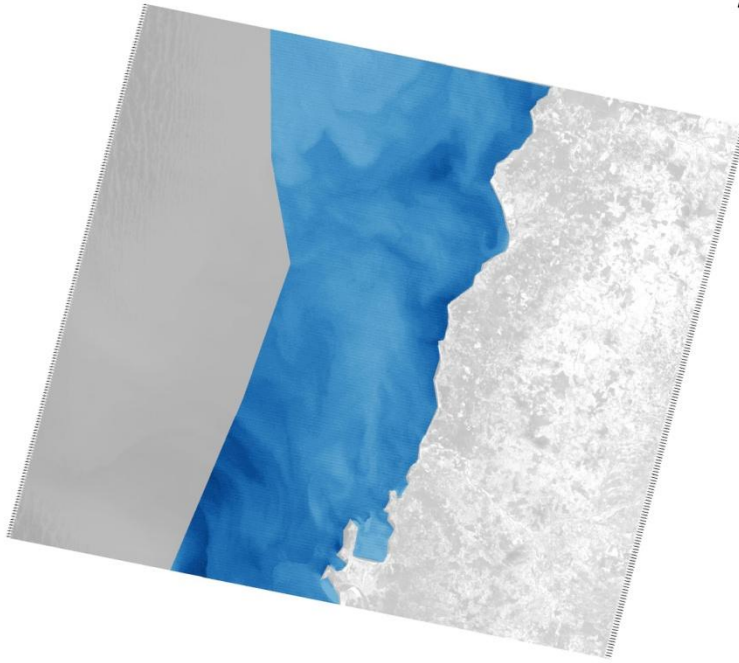
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	14,0839	17,3816	15,73275	13	16
March	13,6128	17,3816	15,4972	14	17
Sept	11,1277	13,1521	12,1399	10	12

Πίνακας 30: SST για το 2010



Διάγραμμα 23: SST για το 2010

***SST January  
2011***

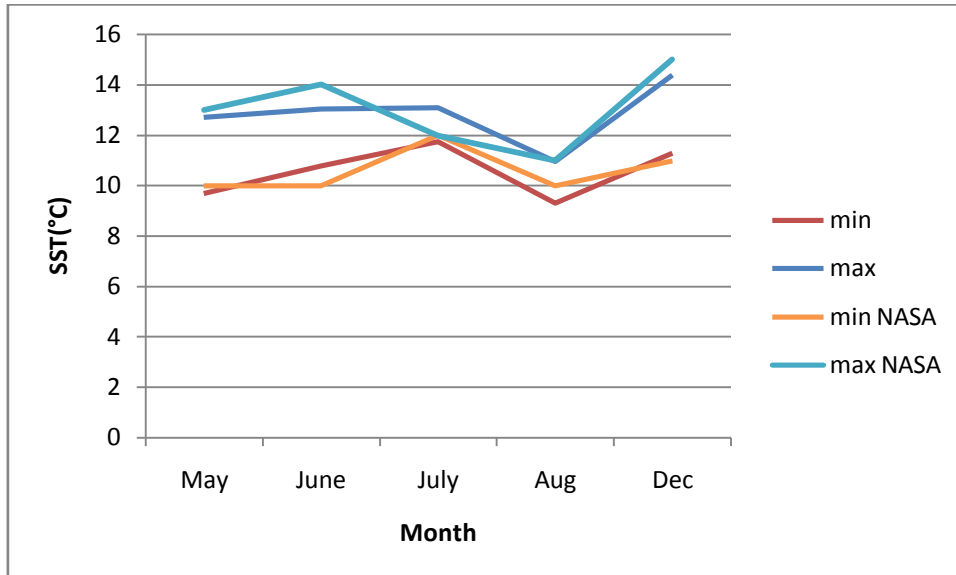


***SST March  
2011***



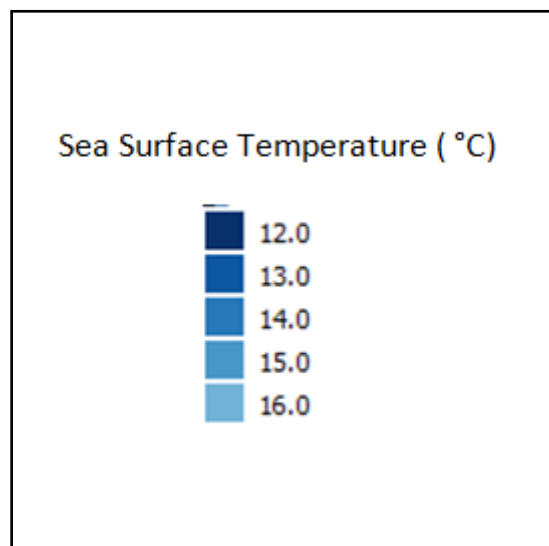
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	12,7143	15,5747	14,1445	12	15
March	11,7386	13,1926	12,4656	11	14

Πίνακας 31: SST για το 2011



Διάγραμμα 24: SST για το 2011

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ



#### 4.6.1.2 Επεξεργασία δεδομένων Landsat 8

Αρχικά, όπως συνέβη και με τα δεδομένα Landsat TM, προ απαιτούμενο βήμα είναι το μασκάρισμα της στεριάς και των σύννεφων ώστε να οδηγηθούμε σε σωστή εξαγωγή τιμών θερμοκρασίας για την επιφάνεια της θάλασσας. Τα θερμικά κανάλια του Landsat 8 είναι τα κανάλια 10 και 11 του TIRS, τα οποία καταγράφουν στα 10,6-11,19 μm και 11,5-12,51 μm

αντίστοιχα. Το μασκάρισμα υλοποιήθηκε λοιπόν για τα κανάλια TIRS10 και TIRS11 και έτσι έμειναν μονάχα τα pixels που αντιστοιχούσαν σε θάλασσα.

Όπως έχουμε ήδη προαναφέρει, οι εικόνες Landsat 8 επεξεργάζονται σε μονάδες απόλυτης ακτινοβολίας, χρησιμοποιώντας υπολογισμούς κινούμενου σημείου 32-bit. Στη συνέχεια αυτές οι τιμές μετατρέπονται σε ακέραιες τιμές 16-bit στο τελικό Level-1 προϊόν και μέσω της ακόλουθης σχέσης είναι εφικτό να μετασχηματιστούν σε τιμές φασματικής ακτινοβολίας (radiance) μέσω της χρήσης των συντελεστών κλίμακας ακτινοβολίας. Αυτοί οι συντελεστές εμπεριέχονται στο αρχείο μεταδεδομένων της κάθε εικόνας.

Η σχέση λοιπόν η οποία μετασχηματίζει τις ψηφιακές τιμές (DN) σε φυσικές μονάδες φασματικής ακτινοβολίας, είναι η εξής:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L$$

Όπου:

$L_{\lambda}$  = φασματική ακτινοβολία σε  $W/(m^2 * sr * \mu m)$

$M_L$  = πολλαπλασιαστικός συντελεστής κλιμάκωσης ακτινοβολίας για το κανάλι 10 και 11 (RADIANCE\_MULT\_BAND\_n) από το αρχείο μεταδεδομένων.

$A_L$  = παράγοντας πρόσθετης κλιμάκωσης ακτινοβολίας για το κανάλι 10 και 11 (RADIANCE\_ADD\_BAND\_n) από το αρχείο μεταδεδομένων

$Q_{cal}$  = ψηφιακή τιμή του pixel για το Level-1 προϊόν

Η διαμόρφωση της παραπάνω σχέσης στο raster calculator του QGIS αναγράφεται αμέσως παρακάτω, εφαρμοζόμενη για τα κανάλια TIRS 10 και TIRS11 ξεχωριστά.

(για το κανάλι 10 )

RADIANCE\_MULT\_BAND\_10\* clip\_DN\_BAND\_10+ RADIANCE\_ADD\_BAND\_10

(για το κανάλι 11)

RADIANCE\_MULT\_BAND\_11\* clip\_DN\_BAND\_11+ RADIANCE\_ADD\_BAND\_11

Το αποτέλεσμα ήταν η εξαγωγή δυο εικόνων σε μορφή raster δεδομένων με τιμές Radiance αντί DN που είχαν οι αρχικές εικόνες.

Τα δεδομένα TIRS μπορούν επίσης να μετατραπούν από τη φασματική ακτινοβολία (όπως περιγράφηκε παραπάνω) στη θερμοκρασία φωτεινότητας, η οποία είναι η θερμοκρασία που καταγράφει ο δορυφόρος με την υπόθεση του μέλανος σώματος. Ο τύπος μετατροπής –όπως εφαρμόστηκε για τα κανάλια TIRS10 και TIRS11 ξεχωριστά-, έχει ως εξής:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

(Εξίσωση του Planck)

Όπου :

T= θερμοκρασία φωτεινότητας στην ατμόσφαιρα σε Kelvin

Lλ = φασματική ανακλαστικότητα (radiance) σε Watts/(m<sup>2</sup>\* sr \* μm)

K1 = Σταθερά θερμικής μετατροπής για το κανάλι 10 και 11

K2 = Σταθερά θερμικής μετατροπής για το κανάλι 10 και 11

Η παραπάνω σχέση ονομάζεται «εξίσωση του Planck» και είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε για τα δεδομένα Landsat TM. Οι σταθερές K1 και K2 αντλήθηκαν από το αρχείο μεταδεδομένων, ενώ η τιμή της φασματικής ανακλαστικότητας (Lλ) υπολογίστηκε στο αμέσως προηγούμενο βήμα.

Με βάση τις υπολογιζόμενες τιμές radiance (για κάθε κανάλι) υπολογίστηκε η θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας (SST) μέσω πάλι της σχέσης του Weng, για συντελεστή εκπομπής για το νερό 0,98:

$$T = T_B / [1 + (\lambda * T_B / c_2) * \ln(e)]$$

Οι τιμές για τα (κεντρικά)μήκη κύματος λ για το κανάλι TIRS10 και TIRS11, φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Κανάλι	Τιμή λ (μm)
TIRS10	10,8
TIRS11	12

**Πίνακας 32:** Πίνακας με τις τιμές των κεντρικών μήκων κύματος για τα κανάλια 10 και 11 του TIRS

Με βάση τις παραπάνω τιμές και για e=0.98 (νερό), c<sub>2</sub>=1.4388 \* 10<sup>-2</sup> mK , η σχέση του Weng μετασχηματίστηκε στην ακόλουθη μορφή :

(για το κανάλι 10)

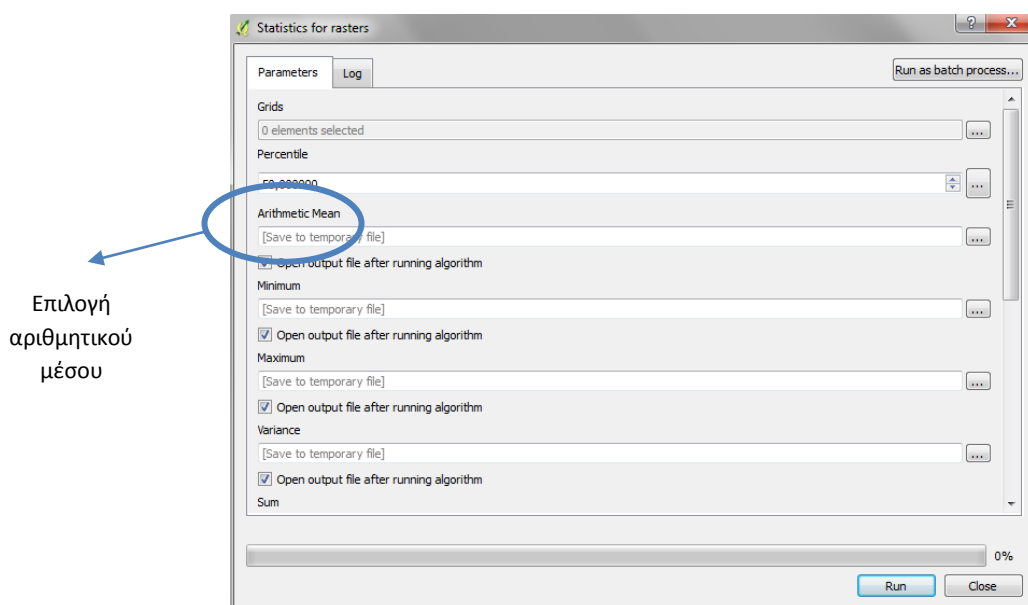
$$\text{Sea Surface Temperature (}^\circ\text{C)} = (\text{SATELLITE\_TEMP\_BAND10} / (1 + (10.8 * \text{SATELLITE\_TEMP\_BAND10} / 14380) * \ln(0.98))) - 273.15$$

(για το κανάλι 11)

$$\text{Sea Surface Temperature (}^{\circ}\text{C)} = (\text{SATELLITE\_TEMP\_BAND11} / (1 + (12 * \text{SATELLITE\_TEMP\_BAND10} / 14380) * \ln(0.98))) - 273.15$$

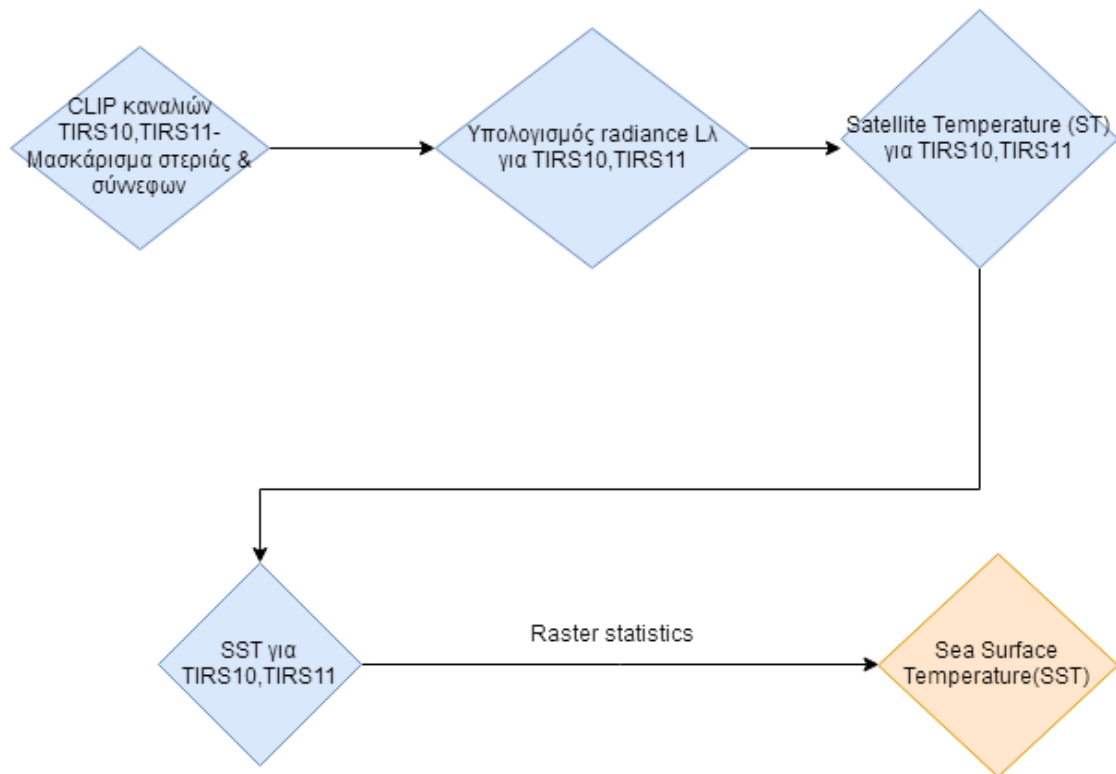
Αποτέλεσμα των δυο παραπάνω εξισώσεων είναι δυο νέες εικόνες σε μορφή raster με τη θερμοκρασία της θάλασσας στα κανάλια 10 και 11. Για να καταλήξουμε σε μια τελική εικόνα με την SST όλης της περιοχής παράκτιων υδάτων, κάναμε χρήση του εργαλείου «statistics for rasters» του QGIS, ώστε από τα δύο κανάλια να προκύψει τελικά μία εικόνα, με τις μέσες τιμές των δυο εικόνων SST(στα δύο κανάλια).

Το συγκεκριμένο εργαλείο παρέχει τη δυνατότητα να υπολογίζει για παραπάνω από ένα raster τον αριθμητικό μέσο του, την ελάχιστη και μέγιστη τιμή, την τυπική απόκλιση κτλ.



Εικόνα 28: Εργαλείο «statistics for rasters» στο περιβάλλον QGIS

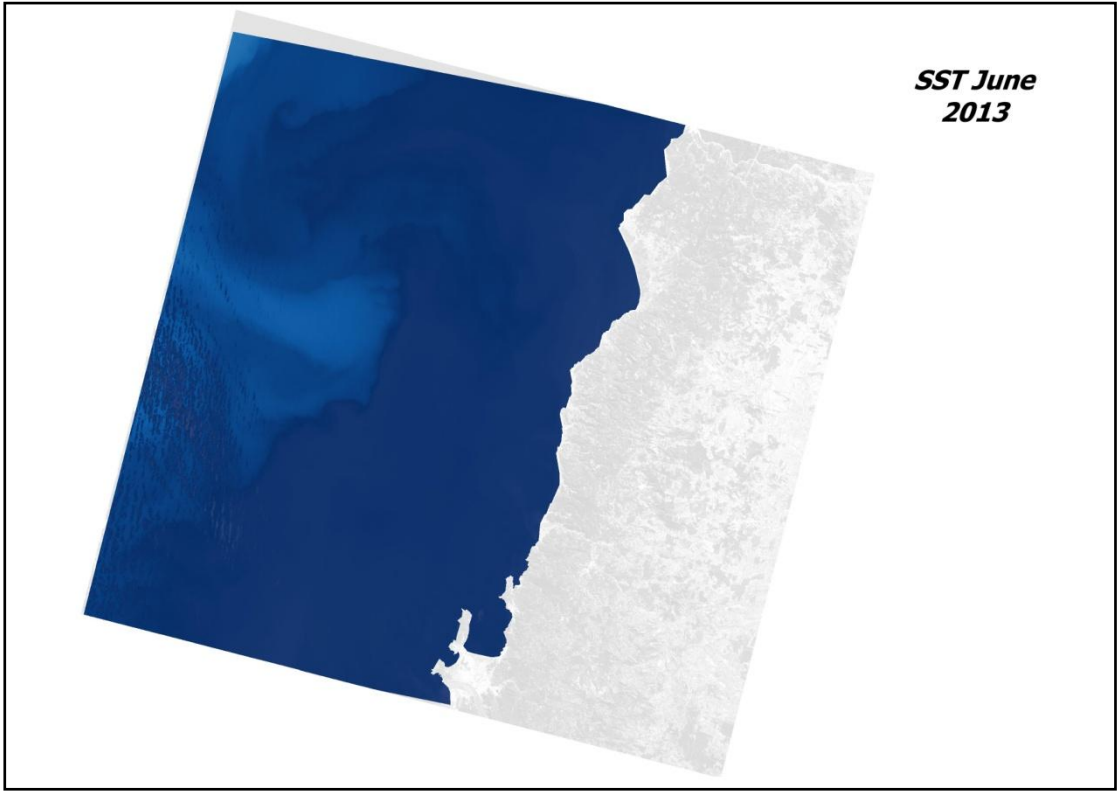
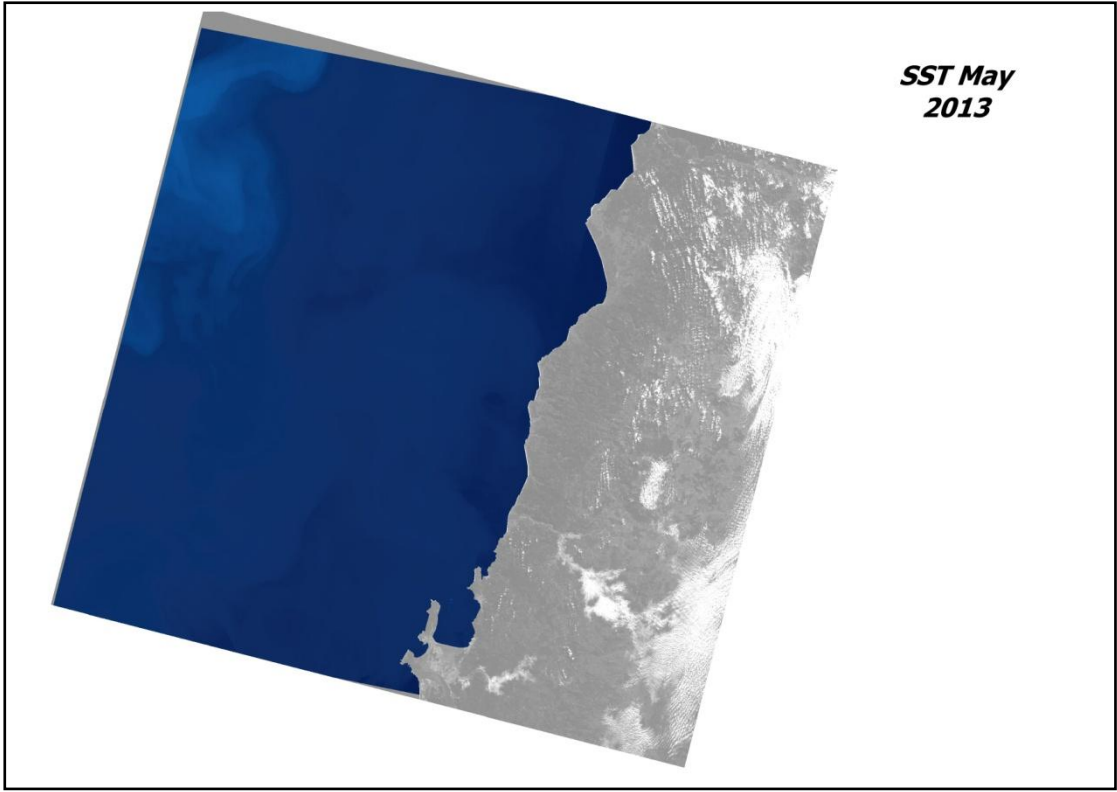
Χρήσιμο για μας ήταν μόνο ο υπολογισμός του αριθμητικού μέσου(arithmetic mean) για τις εικόνες SST καναλιού 10 και SST καναλιού 11, αποσκοπώντας στο να έχουμε μια εικόνα με το μέσο όρο –θα λέγαμε– των θερμοκρασιακών τιμών σε αυτά τα δυο κανάλια σε μονάδες Celcius.



**Διάγραμμα 25:** Διάγραμμα ροής εργασιών στο QGIS για την εξαγωγή SST – Δεδομένα Landsat 8

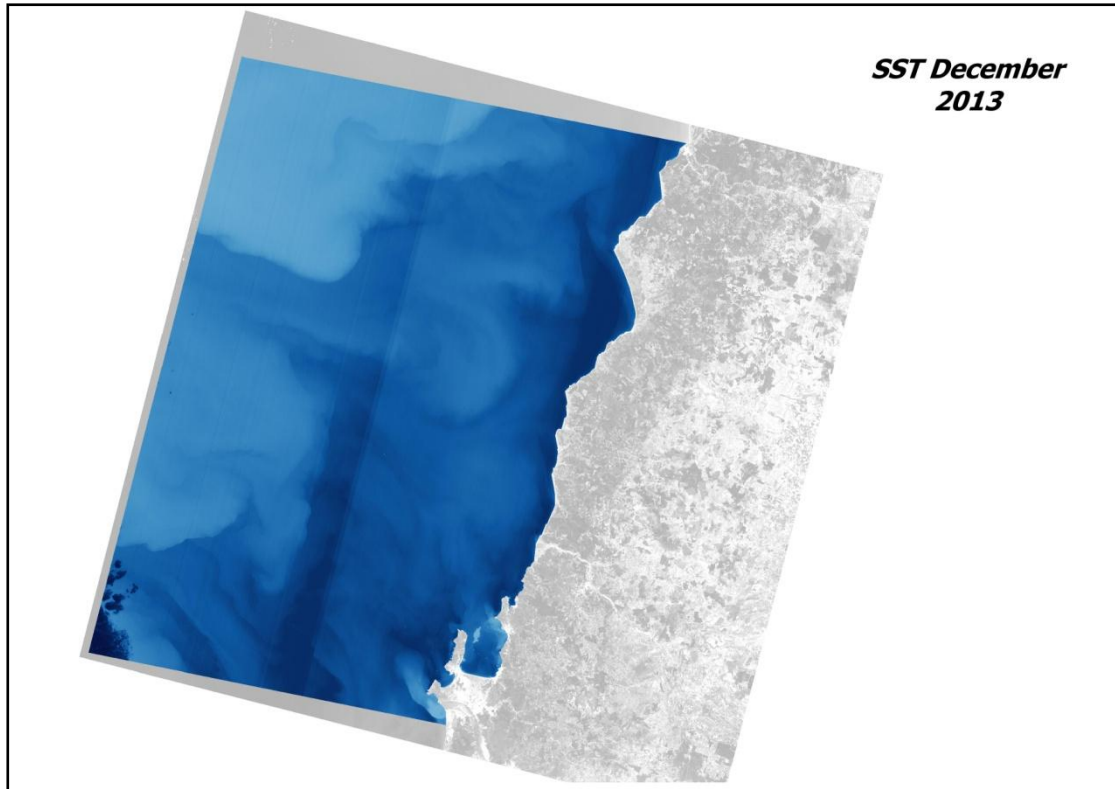
Τέλος επιλέξαμε παλέτα μπλε αποχρώσεων με τις τιμές του μπλε να ανοίγουν όσο προχωράμε σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

Τα αποτελέσματα φαίνονται αμέσως παρακάτω:



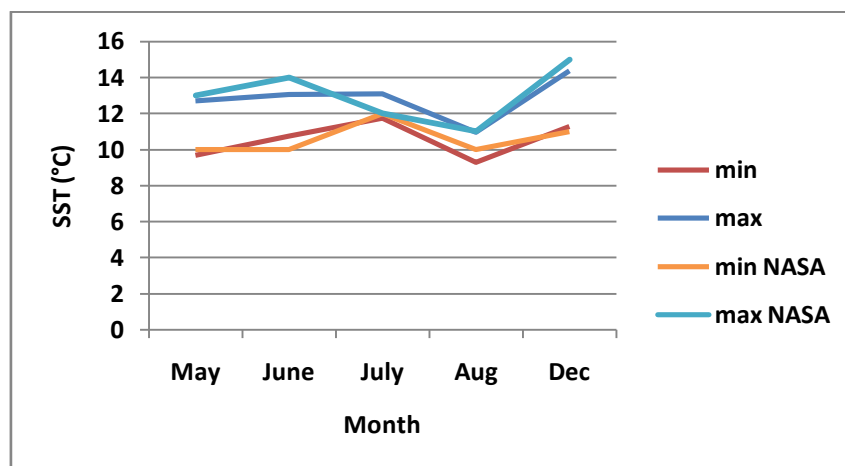




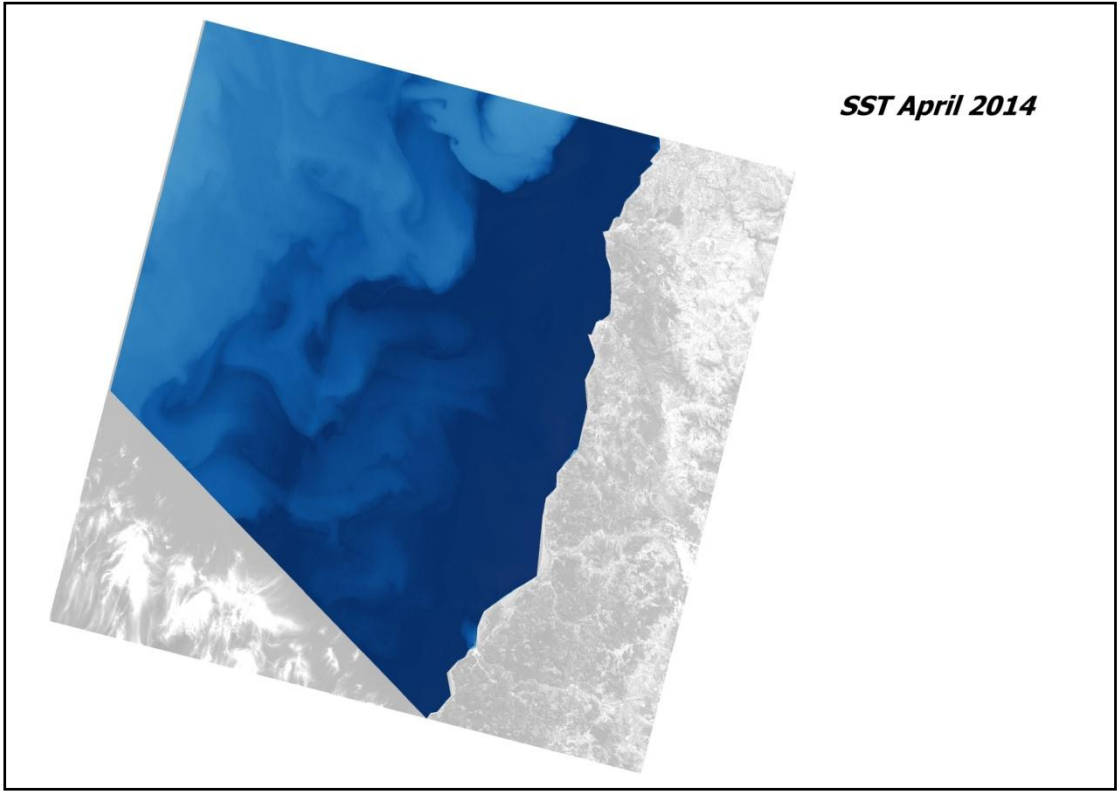
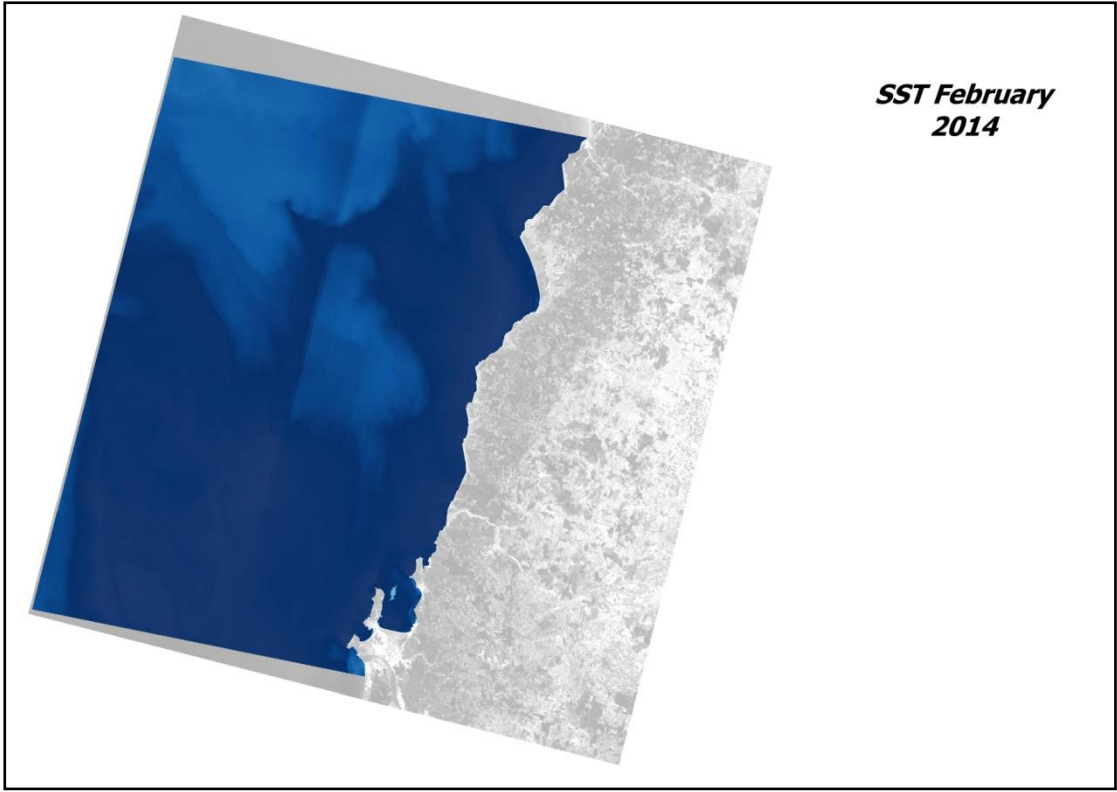


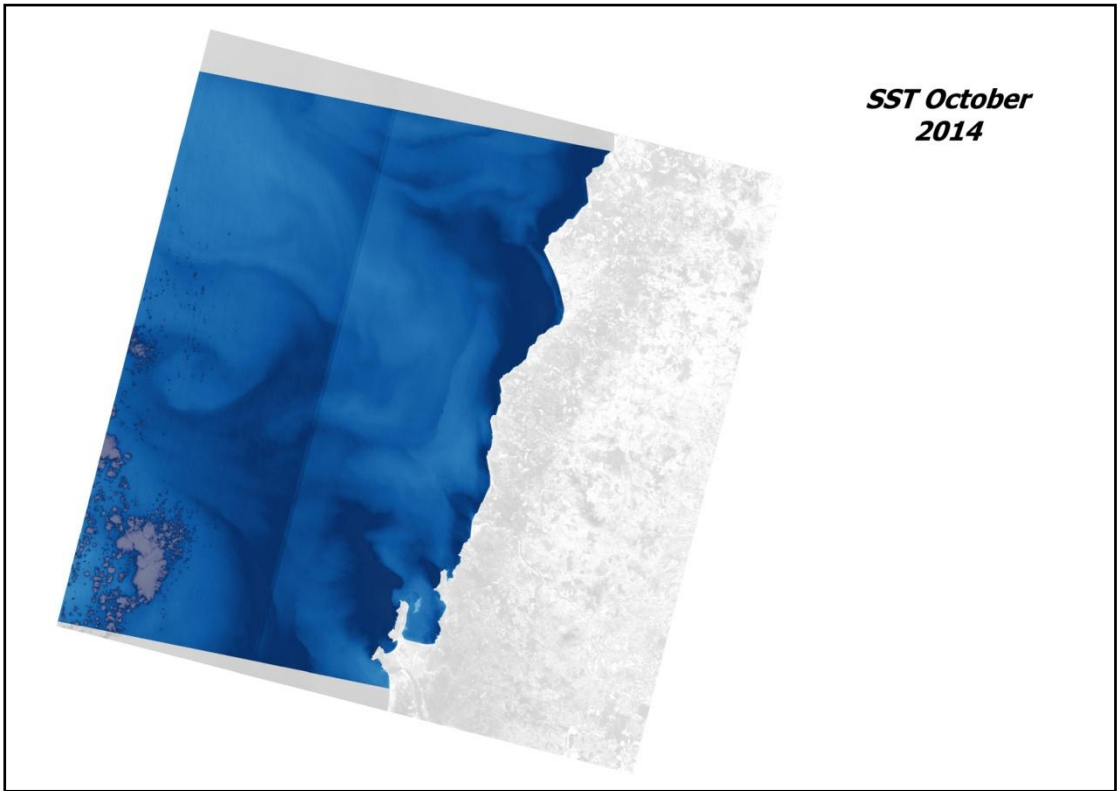
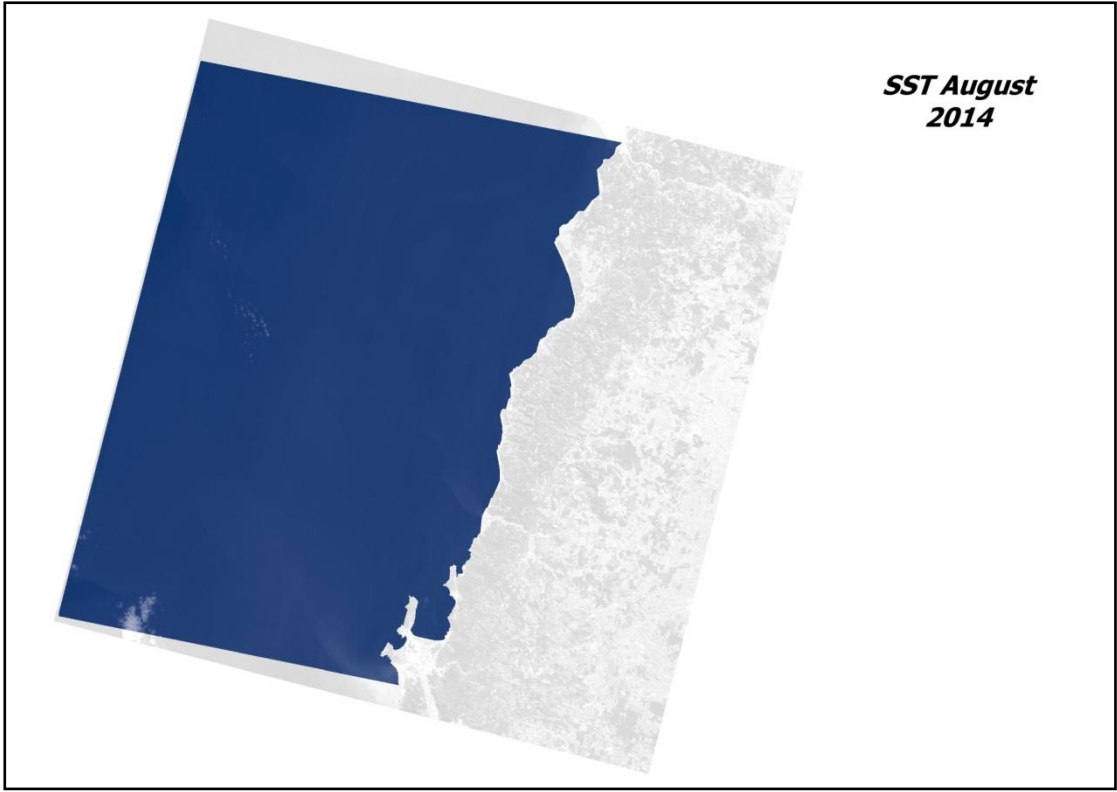
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
May	9,67786	12,6967	11,18728	10	13
June	10,7714	13,0403	11,90585	10	14
July	11,7476	13,0787	12,41315	12	12
Aug	9,3055	10,9478	10,12665	10	11
Dec	11,2796	14,378	12,8288	11	15

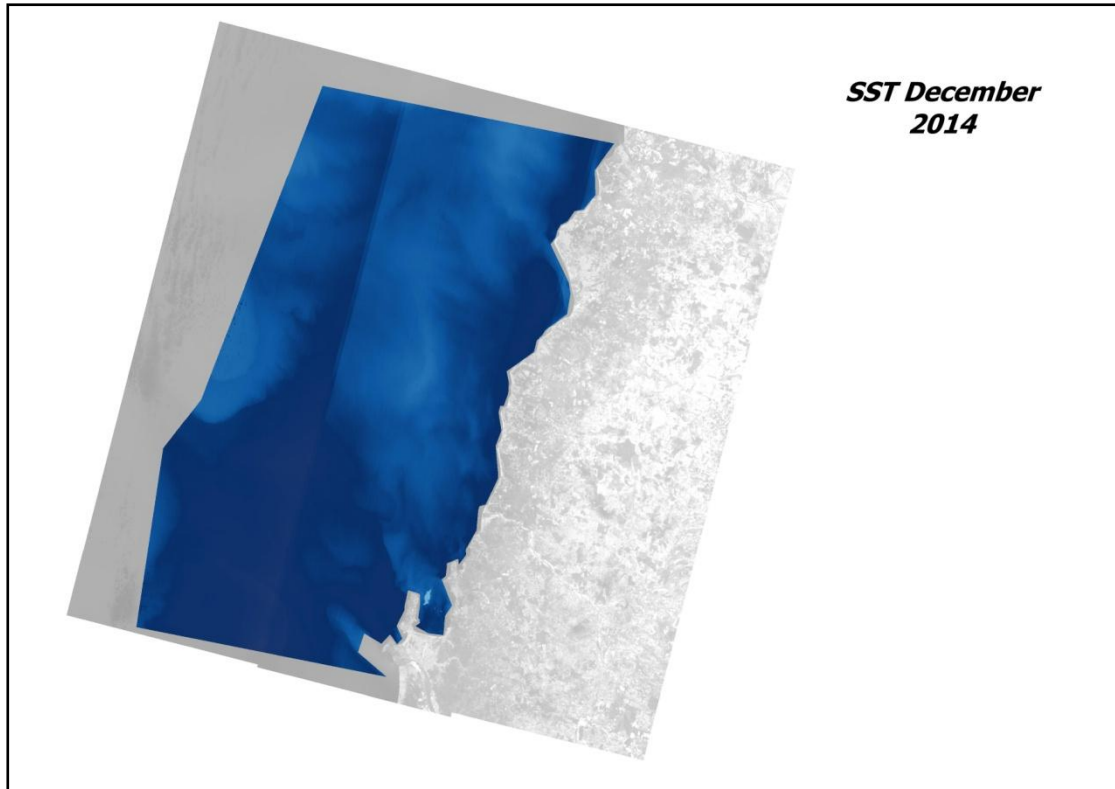
Πίνακας 33: SST για το 2013



Διάγραμμα 26: SST για το 2013

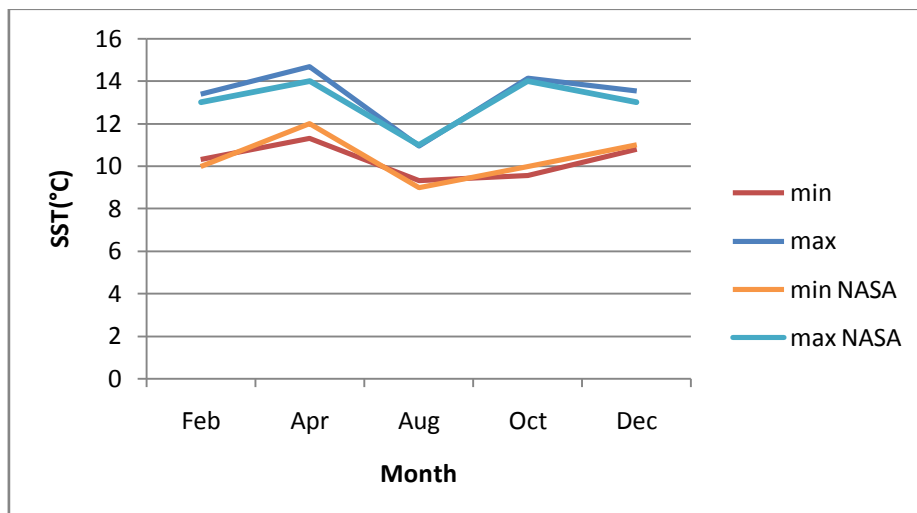




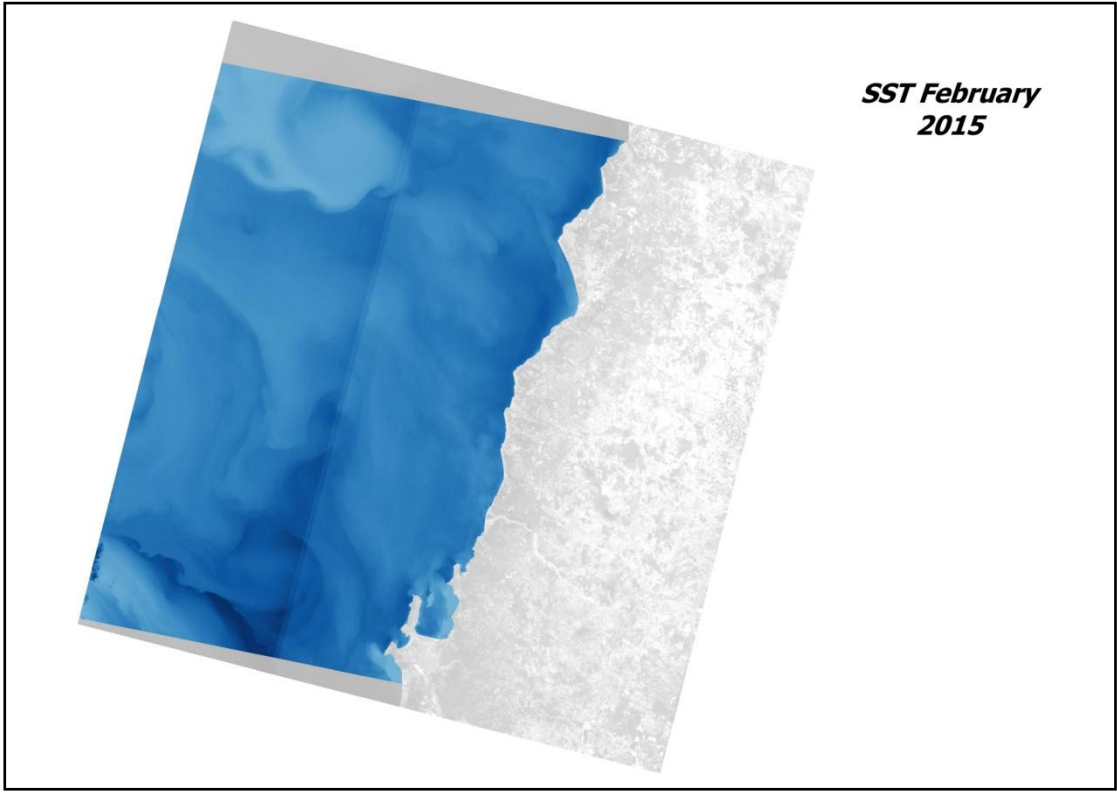
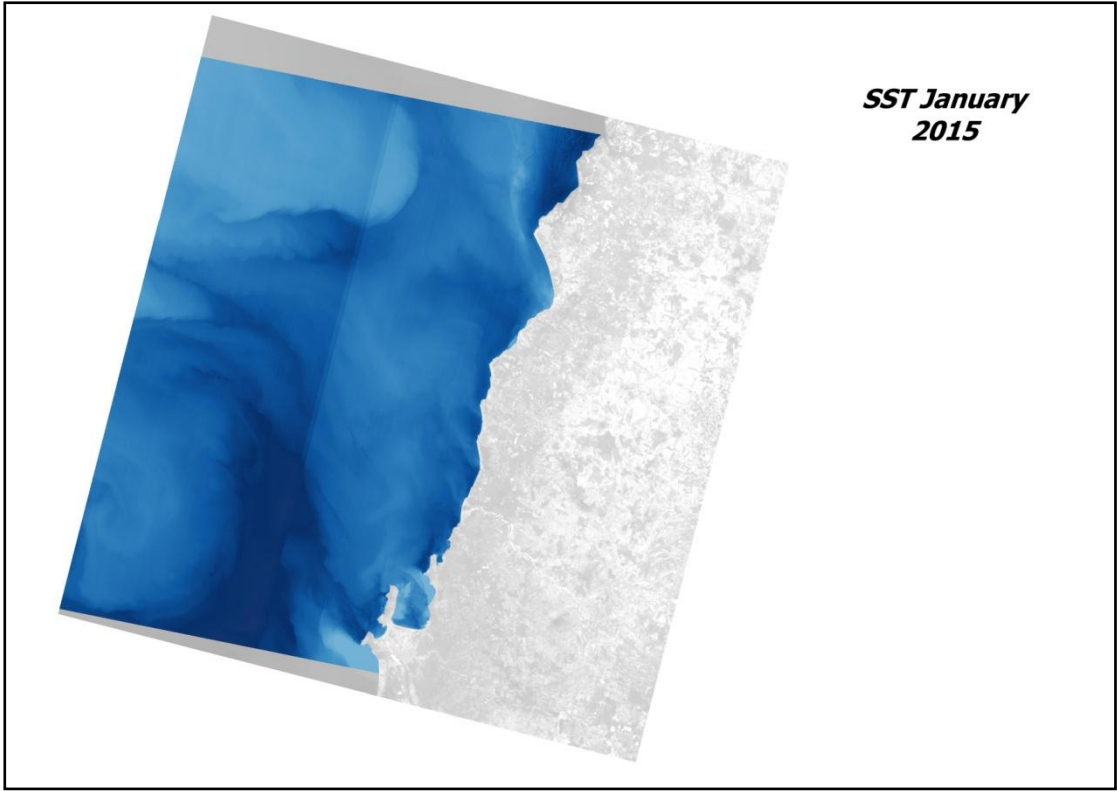


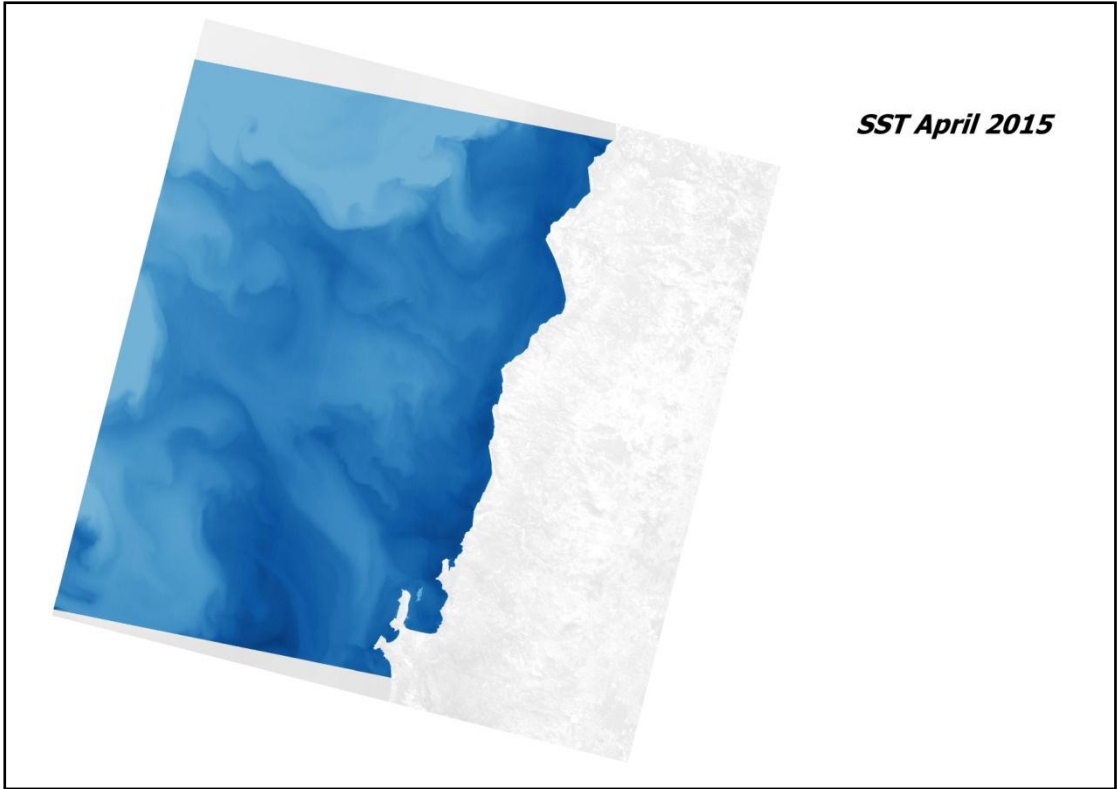
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Feb	10,316	13,3816	11,8488	10	13
Apr	11,3107	14,6674	12,98905	12	14
Aug	9,3055	10,9478	10,12665	9	11
Oct	9,54382	14,121	11,83241	10	14
Dec	10,809	13,5414	12,1752	11	13

Πίνακας 34: SST για το 2014



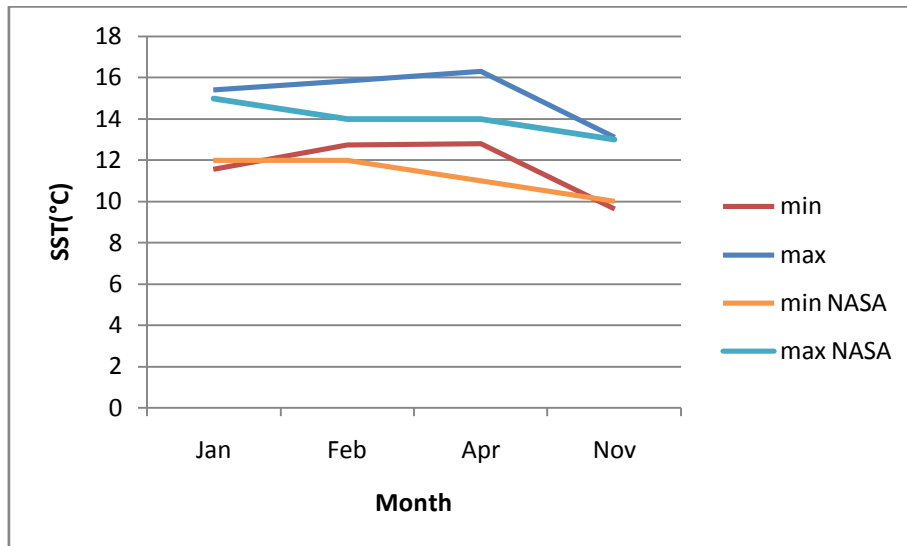
Διάγραμμα 27: SST για το 2014



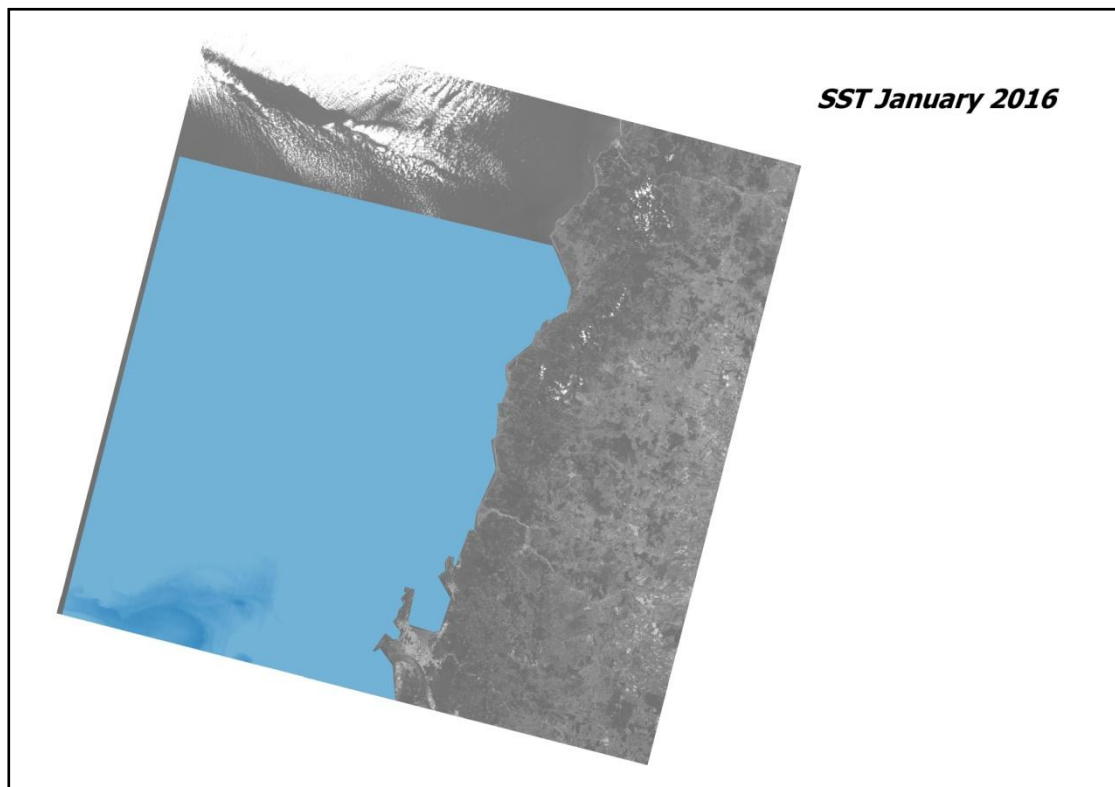


month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	11,5455	15,4057	13,4756	12	15
Feb	12,7374	15,8418	14,2896	12	14
Apr	12,792	16,3	14,546	11	14
Nov	9,64397	13,1044	11,37419	10	13

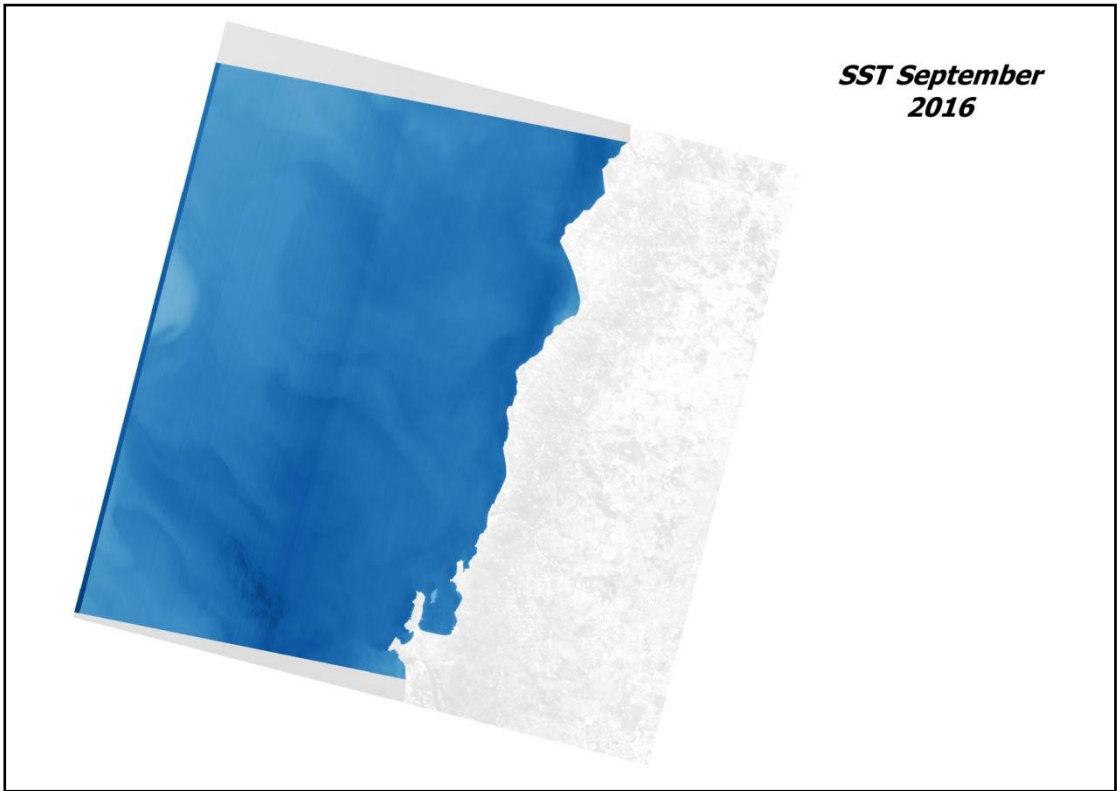
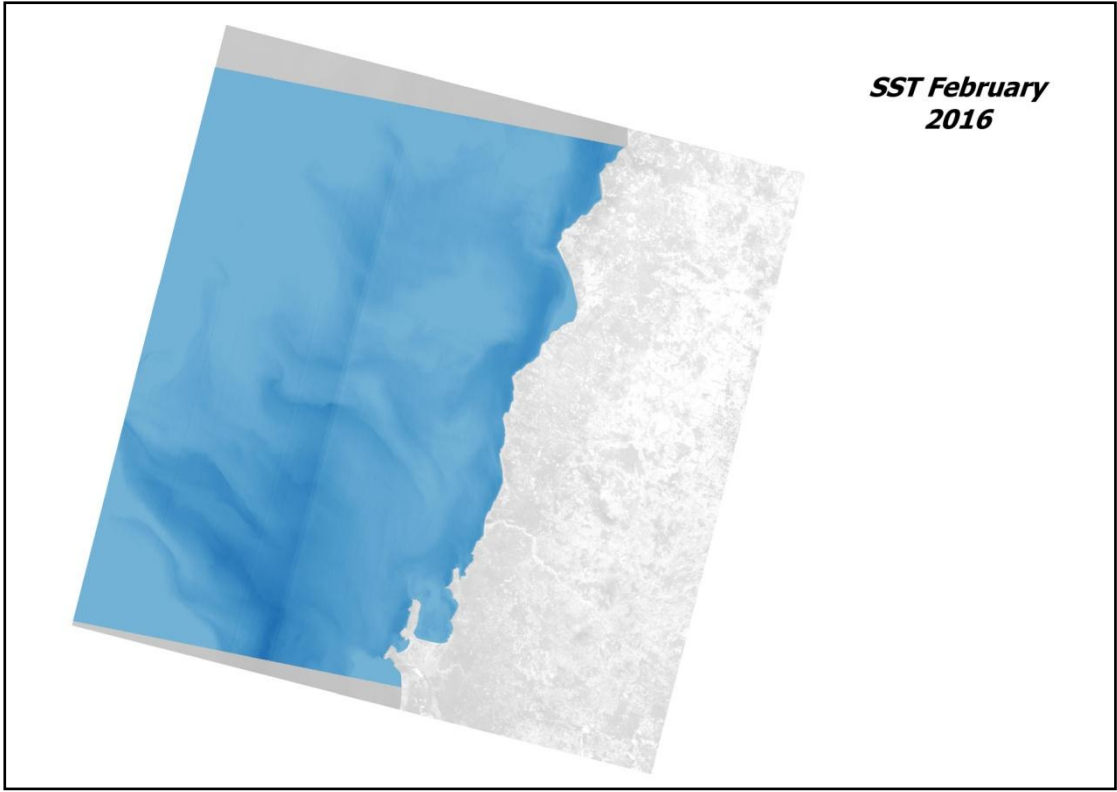
Πίνακας 35: SST για το 2015

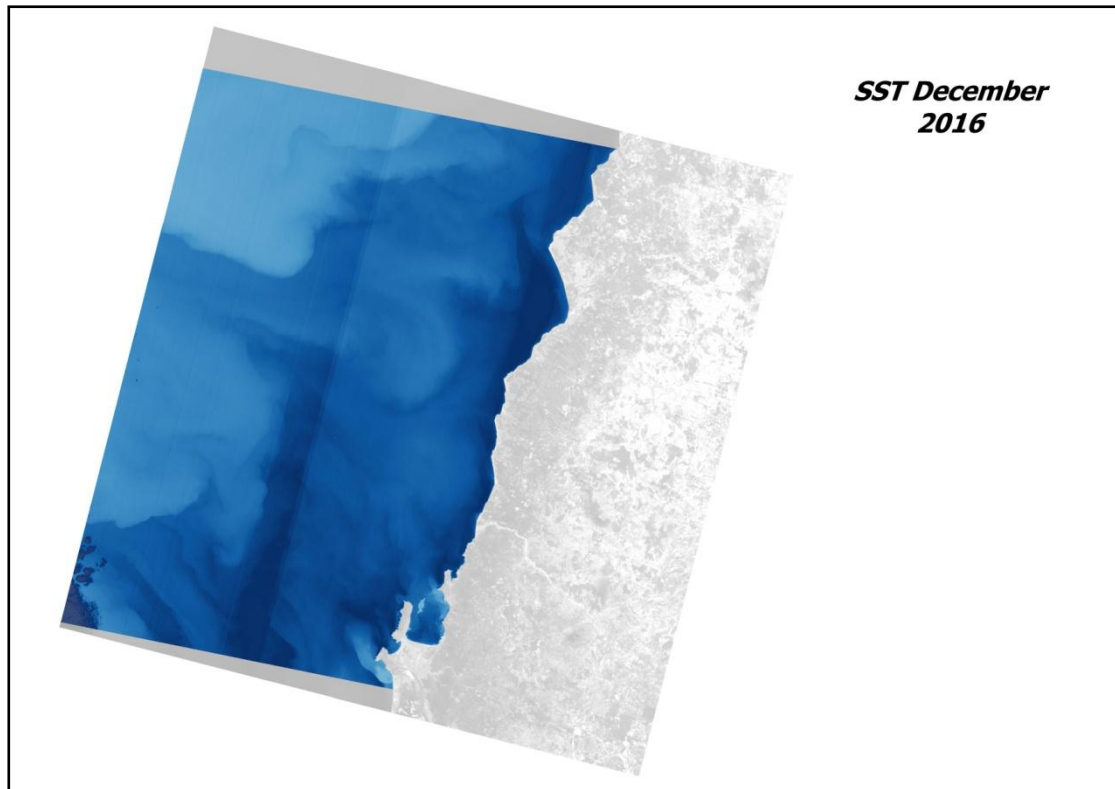


Διάγραμμα 28: SST για το 2015



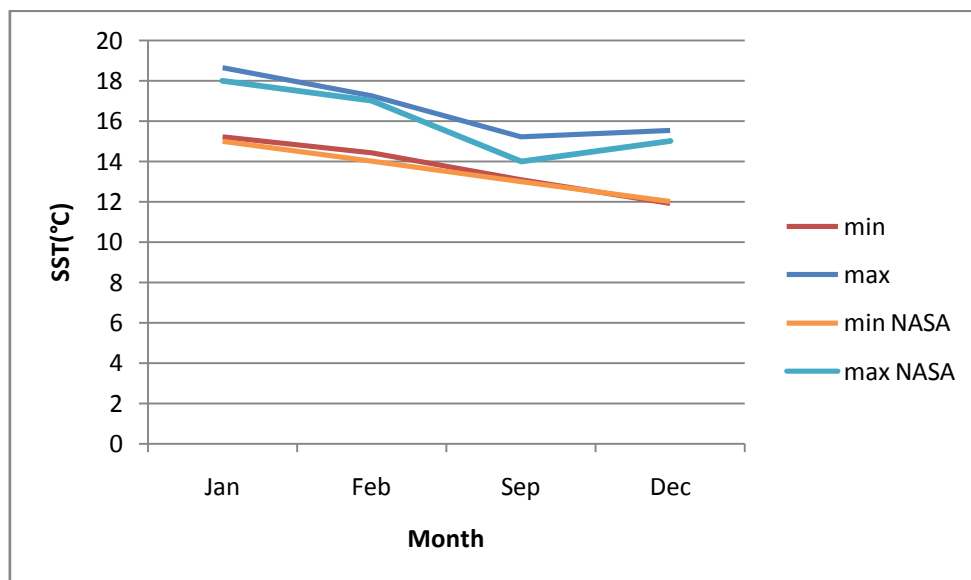






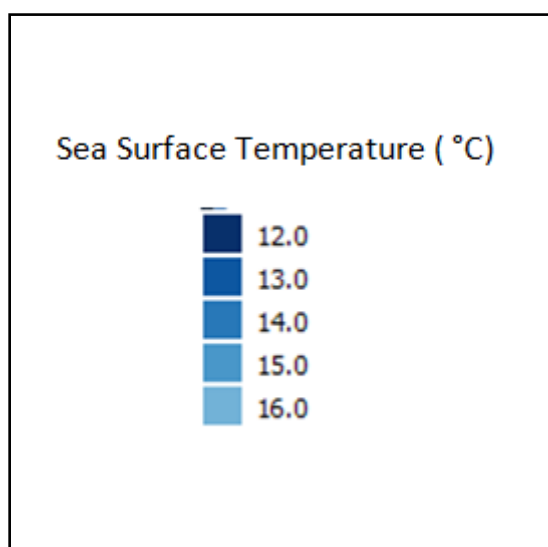
month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Jan	15,2294	18,6444	16,9369	15	18
Feb	14,4174	17,2363	15,82685	14	17
Sep	13,08	15,2108	14,1454	13	14
Dec	11,898	15,541	13,7195	12	15

Πίνακας 36: SST για το 2016



Διάγραμμα 29: SST για το 2016

## ΥΠΟΜΝΗΜΑ



### 4.7 Δεδομένα ανέμου

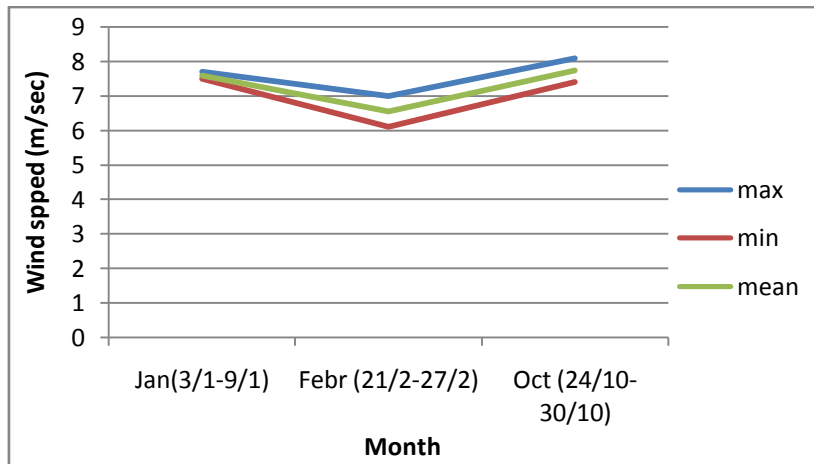
Τα δεδομένα ανέμου αντλήθηκαν σε δυο ξεχωριστές φάσεις: Στην πρώτη περίπτωση για το έτη 2005-2010 χρησιμοποιήθηκε το παγκόσμιο προϊόν της NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) του τμήματος Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Τα δεδομένα παρέχονται ελεύθερα για όλους τους ωκεανούς στην επίσημη ιστοσελίδα της [NOAA](#), και συγκεκριμένα στην ιστοσελίδα που αφορά τους [ανέμους](#). Τα δεδομένα παρέχονταν ανά βδομάδα, ανά μήνα και ανά χρόνο. Ωστόσο, επειδή οι εικόνες που κατεβάσαμε αναφέρονται σε πολύ συγκεκριμένες μέρες του μήνα του εκάστοτε χρόνου, κάναμε χρήση των εβδομαδιαίων δεδομένων ανάλογα με την ημερομηνία λήψης της κάθε εικόνας.

Πιο συγκεκριμένα, καταγράφηκαν οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές της ταχύτητας των ανέμων, όπως απεικονίζονταν οπτικά στους χάρτες της NOAA. Οι τιμές περάστηκαν σε φύλλα excel και κατασκευάστηκαν εν συνεχεία διαγράμματα ώστε να έχουμε καλύτερη αντίληψη για το ποιος μήνας είναι αυτός με τους δυνατότερους ανέμους (για τη δεδομένη βδομάδα), και το ανάποδο. Η οπτική απεικόνιση των διανυσμάτων του ανέμου από τη NOAA δεν ήταν εφικτή, οπότε αρκεστήκαμε μονάχα στις τιμές εντάσεως για τα έτη 2005-2010.

Παρακάτω παρατίθενται τα δεδομένα για τα έτη 2005-2010, τόσο σε μορφή πίνακα όσο και διαγραμματικά:

2005		Wind speed (m/sec)		
Month		max	min	mean
Jan	(3/1-9/1)	7,7	7,5	7,6
Febr	(21/2-27/2)	7	6,1	6,55
Oct	(24/10-30/10)	8,1	7,4	7,75

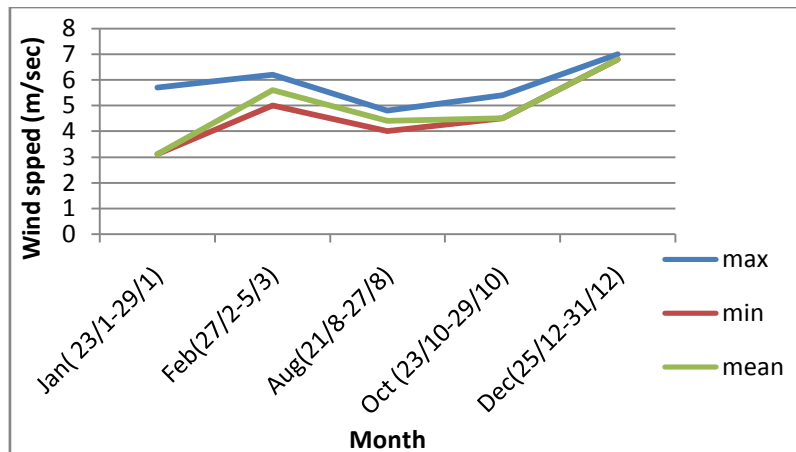
Πίνακας 37: Δεδομένα έτους 2005



Διάγραμμα 30: Δεδομένα έτους 2005

2006 Month	Wind speed (m/sec)		
	max	min	mean
Jan (23/1-29/1)	5,7	3,1	3,1
Feb (27/2-5/3)	6,2	5	5,6
Aug (21/8-27/8)	4,8	4	4,4
Oct (23/10-29/10)	5,4	4,5	4,5
Dec (25/12-31/12)	7	6,8	6,8

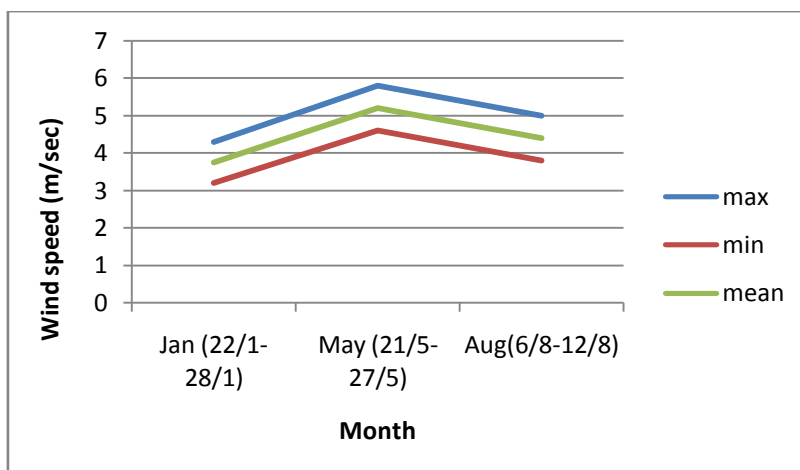
Πίνακας 38: Δεδομένα έτους 2006



Διάγραμμα 31: Δεδομένα έτους 2006

2007 month	Wind speed (m/sec)		
	max	min	mean
Jan (22/1-28/1)	4,3	3,2	3,75
May (21/5-27/5)	5,8	4,6	5,2
Aug (6/8-12/8)	5	3,8	4,4

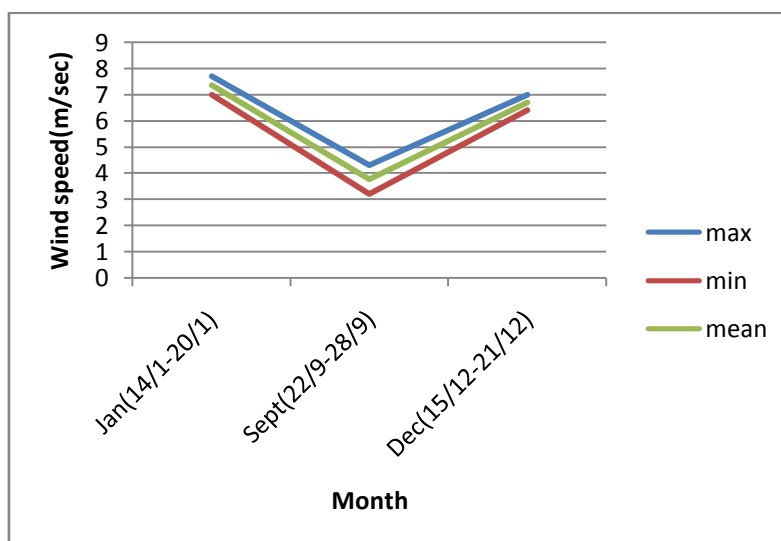
Πίνακας 39: Δεδομένα έτους 2007



Διάγραμμα 32: Δεδομένα έτους 2007

2008	Wind speed (m/sec)		
	month	max	min
Jan (14/1-20/1)	7,7	7	7,35
Sept (22/9-28/9)	4,3	3,2	3,75
Dec (15/12-21/12)	7	6,4	6,7

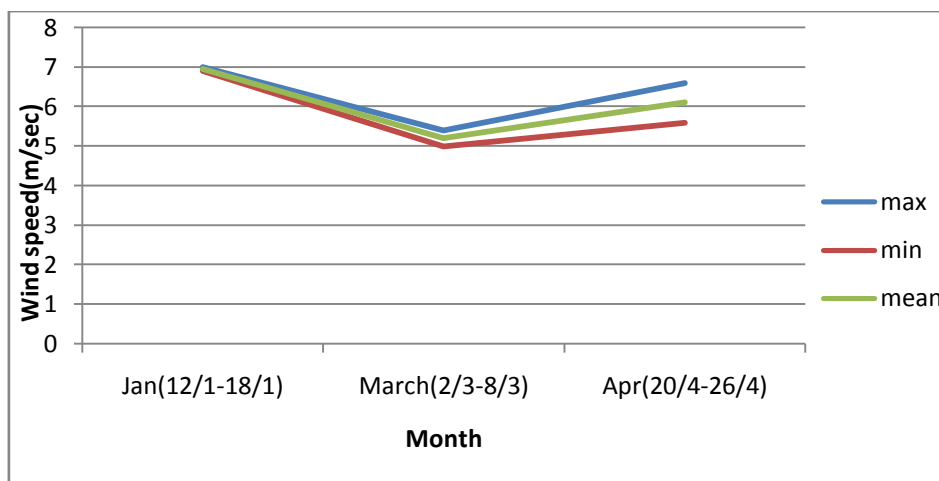
Πίνακας 40: Δεδομένα έτους 2008



Διάγραμμα 33: Δεδομένα έτους 2008

2009	Wind speed (m/sec)		
	month	max	min
Jan (12/1-18/1)	7	6,9	6,95
March (2/3-8/3)	5,4	5	5,2
Apr (20/4-26/4)	6,6	5,6	6,1

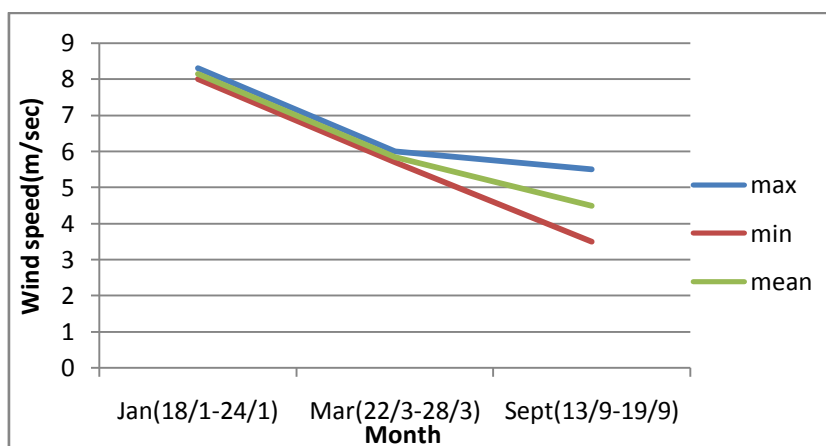
Πίνακας 41: Δεδομένα έτους 2009



Διάγραμμα 34: Δεδομένα έτους 2009

2010 month	Wind speed (m/sec)		
	max	min	mean
Jan (18/1-24/1)	8,3	8	8,15
Mar (22/3-28/3)	6	5,7	5,85
Sept (13/9-19/9)	5,5	3,5	4,5

Πίνακας 42: Δεδομένα έτους 2010



Διάγραμμα 35: Δεδομένα έτους 2010

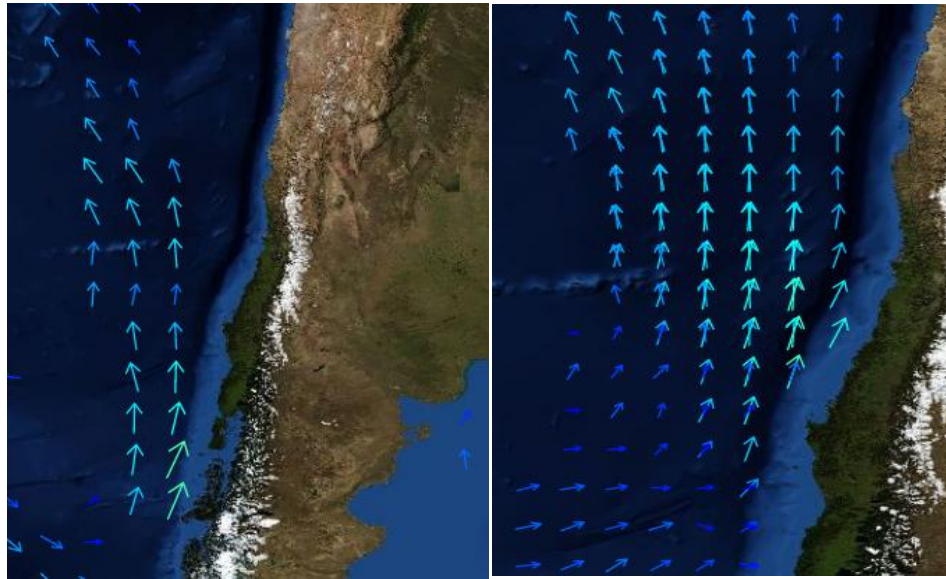
Στη δεύτερη φάση, για τα έτη 2011-2016 χρησιμοποιήθηκε το παγκόσμιο προϊόν της [NASA](http://www.nasa.gov) που αναφέρεται συγκεκριμένα στην παρουσίαση των διανυσμάτων του ανέμου, τόσο για τη διάρκεια της ημέρας όσο και τη διάρκεια της νύχτας, με δεδομένα ημερησίως. Επιλέχθηκαν προφανώς οι μέρες που αντιστοιχούν επακριβώς στις εικόνες. Το χρώμα των διανυσμάτων υποδεικνύει το μέγεθος της ταχύτητας του ανέμου σε m/sec, ενώ – όπως είναι αναμενόμενο-τα διανύσματα έχουν συγκεκριμένη διεύθυνση και φορά.

Όπως επιτάσσει το φαινόμενο upwelling, η διεύθυνση του ανέμου η έστω μιας κύριας συνιστώσας πρέπει να είναι παράλληλη στην ακτή. Επιπλέον, μιας και η Χιλή τοποθετείται

γεωγραφικά στο νότιο ημισφαίριο αναμένουμε η φορά να είναι από νότο προς βορά, δηλαδή από τον όρμο Κονσεπσιόν προς τα πάνω.

Για την παρουσίαση των ανέμων για τις συγκεκριμένες χρονολογίες χρησιμοποιήθηκαν κομμάτια(στιγμιότυπα) της περιοχής μελέτης έτοιμα από το global product της NASA. Όπως είναι εμφανές ακολούθως, η κατεύθυνση των ανέμων είναι η αναμενόμενη. Η ένταση ποικίλει ανάλογα με τους μήνες του κάθε έτους .

## 2011



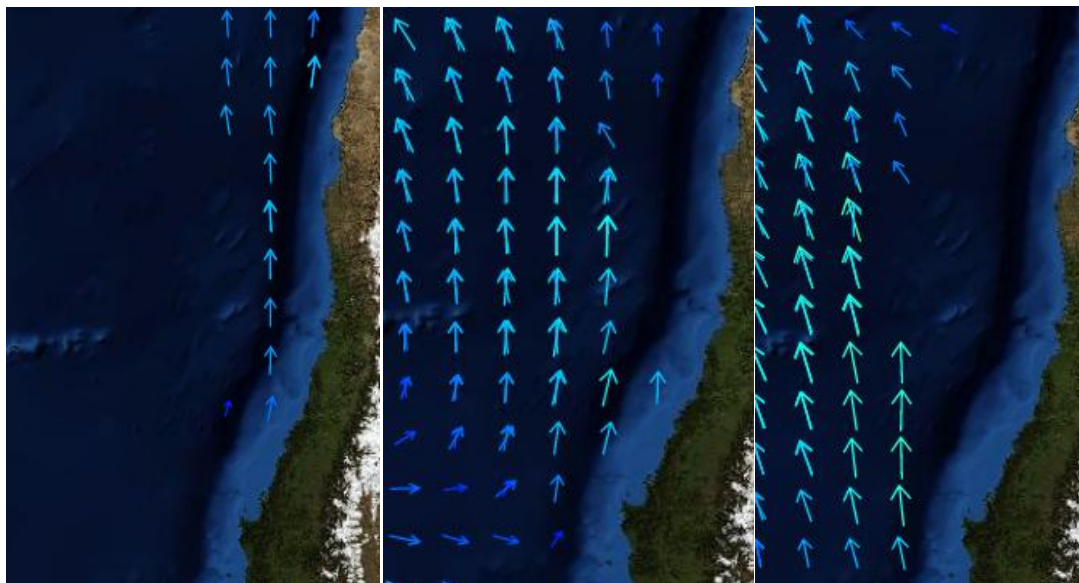
08/1/2011

29/3/2011

Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>

Για το έτος 2011 παρατηρούμε πως τα διανύσματα των ανέμων έχουν διεύθυνση παράλληλη προς τη στεριά όπως ακριβώς απαιτεί το φαινόμενο που μελετάμε. Η φορά του ανέμου είναι από Νότο προς Βορά όπως απαιτούσε το φαινόμενο, μιας και βρισκόμαστε στο νότιο ημισφαίριο. Η μέγιστη ταχύτητα φτάνει τα 12 m/sec ενώ κατώτερο κατώφλι είναι τα 3m/sec. Οι άνεμοι είναι πιο έντονοι κατά τον Μάρτιο ενώ η χλωροφύλλη και η θερμοκρασία επιφανειακών υδάτων είναι χαμηλότερη τον Μάρτιο από ότι τον Ιανουάριο.

## 2013



21/5/2013

6/6/2013

24/7/2013

Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>



09/8/2013

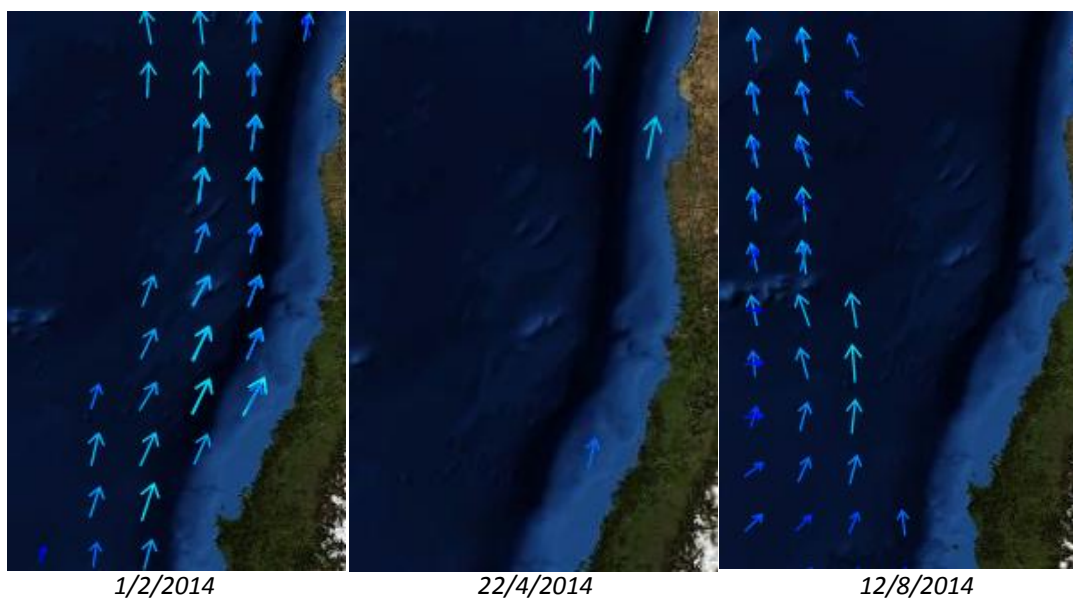
31/12/2013

Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>

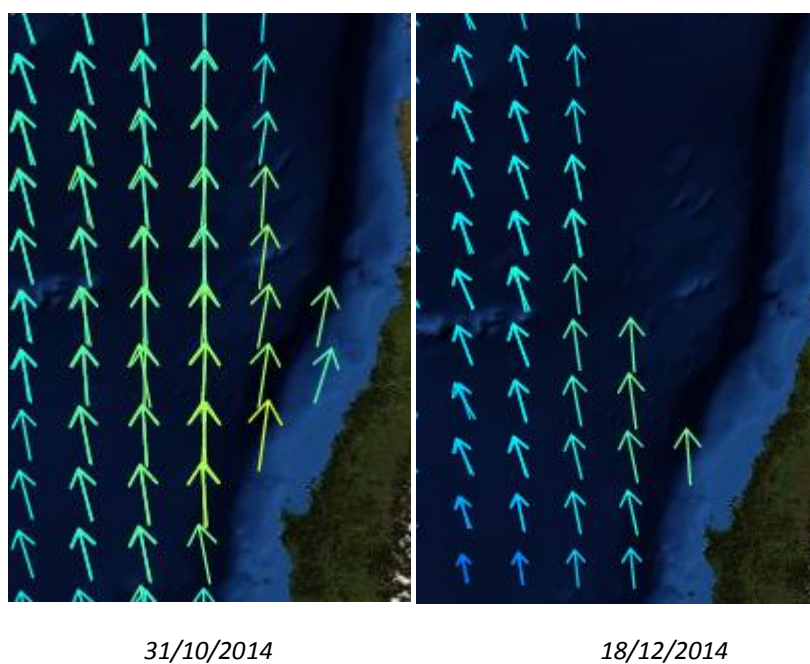
Τον Δεκέμβρη οι άνεμοι είναι περισσότεροι και μεγαλύτερης έντασης συγκριτικά τόσο με τους υπόλοιπους μήνες του ίδιου έτους, όσο και με το έτος 2011. Η μέγιστη τιμή ταχύτητας είναι περίπου τα 16 m/sec ενώ η ελάχιστη περίπου 2 m/sec. Κατά τον Αύγουστο οι άνεμοι που πνέουν μακριά από την ακτή είναι ελάχιστοι, ενώ κοντά στην ακτή αγγίζουν τα 16 m/sec με κατεύθυνση πάντα προς το Περού. Ομοίως η θερμοκρασία λαμβάνει μέγιστη τιμή (14 ° C) τον Δεκέμβρη του 2013.



## 2014



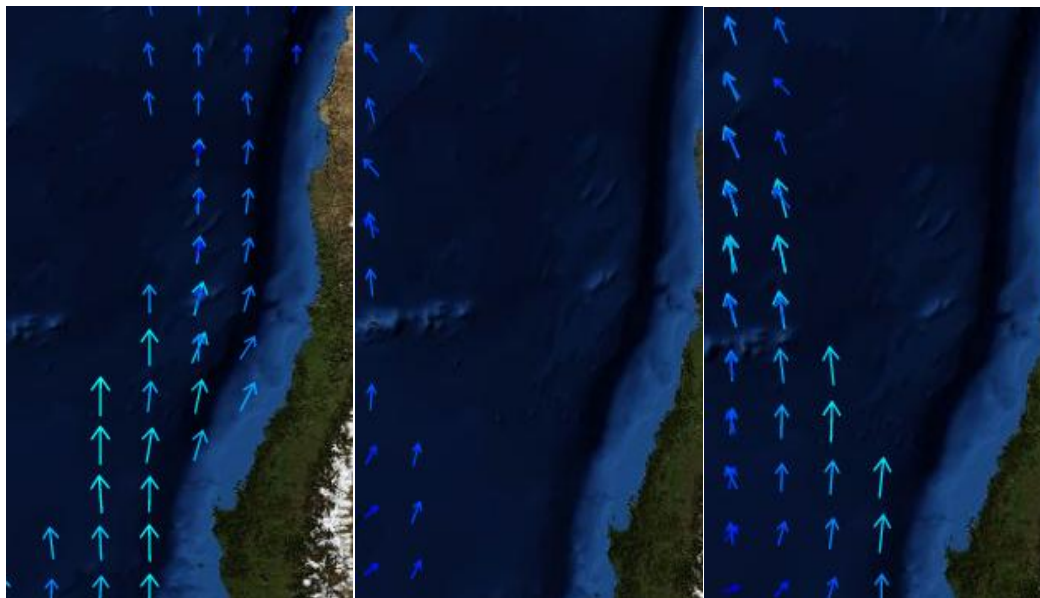
Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>



Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>

Οι άνεμοι ισχυροποιούνται κατά τους ανοιξιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες (Οκτώβρης, Δεκέμβρης αντίστοιχα), φτάνοντας κοντά στην ακτή τα 17 m/sec, ενώ στα πιο ανοιχτά του ωκεανού οι ταχύτητες πέφτουν κάτω από τα 5 m/sec.

## 2015



3/1/2015

4/2/2015

25/4/2015

Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>



19/11/2015

Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>

Τον μήνα Φλεβάρη οι άνεμοι είναι ελάχιστοι και η ποσότητα χλωροφύλλης-α που μελετήθηκε παραπάνω φτάνει περίπου τα  $6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  παράκτια, πράγμα που συνεπάγεται τη μη συμβολή του ανέμου στο φαινόμενο της ανάβλυσης τον μήνα αυτό. Ας μην ξεχνάμε πως από τις αρχές Φλεβάρη το φαινόμενο ελαχιστοποιεί την παρουσία του στις ακτές της

Χιλής. Όπως φαίνεται και στις παραπάνω εικόνες, οι άνεμοι σε όλη τη διάρκεια του έτους 2015 είναι αρκετά ασθενείς, με εντατικοποίησή τους μονάχα τον Νοέμβριο αν και η παρουσία chl-a τον συγκεκριμένο μήνα είναι σχεδόν αμελητέα (σχεδόν  $1,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

## 2016



22/1/2016

23/2/2016

18/9/2016

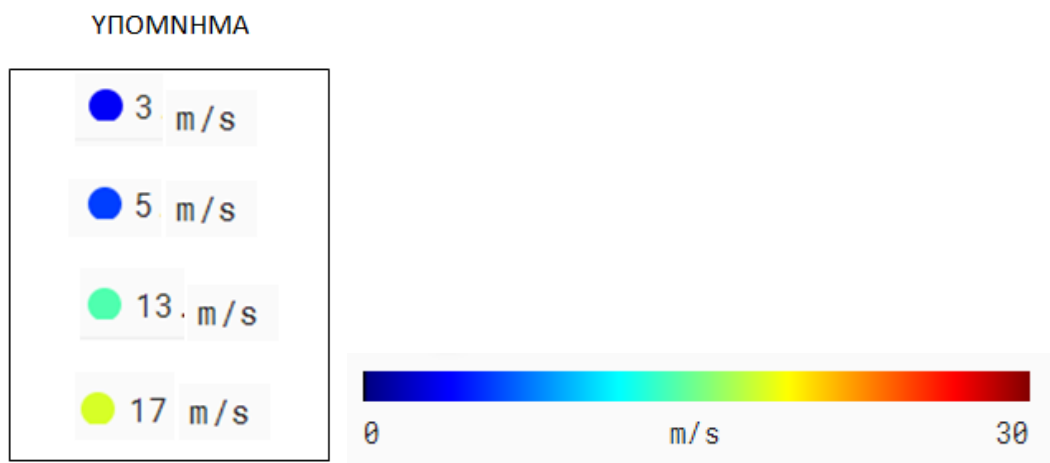
Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>



23/12/2016

Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>

Ενώ ο Σεπτέμβριος είναι ο μήνας της μέγιστης συγκέντρωσης χλωροφύλλης ( $6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), δεν παρατηρήθηκε η παρουσία ανέμων στην περιοχή μελέτης κοντά στον Όρμο Κονσεπσιόν. Εντούτοις τον Δεκέμβριο οι άνεμοι βρίσκονται σε έξαρση με μέγιστη τιμή ταχύτητας τα  $13 \text{ m/sec}$ .



Δεδομένης της ύπαρξης του παραπάνω υπομνήματος που επεξηγεί τον χρωματισμό των διανυσμάτων του ανέμου, καταλήγουμε πως η δεύτερη μέθοδος άντλησης δεδομένων ανέμου είναι πιο ευπαρουσίαστη και οδηγεί σε καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα, εξαιτίας της χρήσης εικόνων και όχι πινάκων (όπως στη πρώτη περίπτωση για τα έτη 2005-2010).

## 4.8 Επεξεργασία με δεδομένα Sentinel

Εκτός των Landsat δεδομένων αποσκοπώντας να μελετήσουμε το φαινόμενο της ανάβλυσης στη Χιλή με δορυφορικές αποστολές που θα διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στο μέλλον, κάναμε χρήση δεδομένων Sentinel. Ο Sentinel 2 επιλέχθηκε εξαιτίας του γεγονότος ότι διαθέτει φασματικά κανάλια που καταγράφουν στο “red edge” τμήμα του φάσματος όπου ενδείκνυται η μελέτη της χλωροφύλλης. Ο Sentinel 3 επιλέχθηκε λόγω ειδικότητάς του σε θέματα ωκεανών, μιας και τα περισσότερα κανάλια του ενδείκνυται για την καταγραφή και μελέτη της ποσότητας χλωροφύλλης στα ύδατα.

### 4.8.1 Επεξεργασία δεδομένων Sentinel 3

Από την επίσημη ιστοσελίδα της ESA αντλήθηκαν εικόνες του δορυφόρου Sentinel 3 οι οποίες απεικονίζουν την πρώτη περιοχή μελέτης (Χιλή) στο νότιο ημισφαίριο. Οι εικόνες χαρακτηρίζονται από έντονη παρουσία σύννεφων κατά τη στιγμή λήψης τους, πράγμα που καθιστούσε επιτακτική την ανάγκη για μασκάρισμά τους. Τα προϊόντα που κατέβηκαν ήταν επιπέδου Level 1-B και μορφής OL\_1\_EFR, δηλαδή πλήρους χωρικής ανάλυσης, με τιμές απόλυτης ακτινοβολίας (radiance). Η όλη επεξεργασία έγινε στο πρόγραμμα SNAP (Sentinels

Application Platform) της ESA. Οι ημερομηνίες λήψεως των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, παρατίθενται παρακάτω:

31 Ιανουαρίου 2017

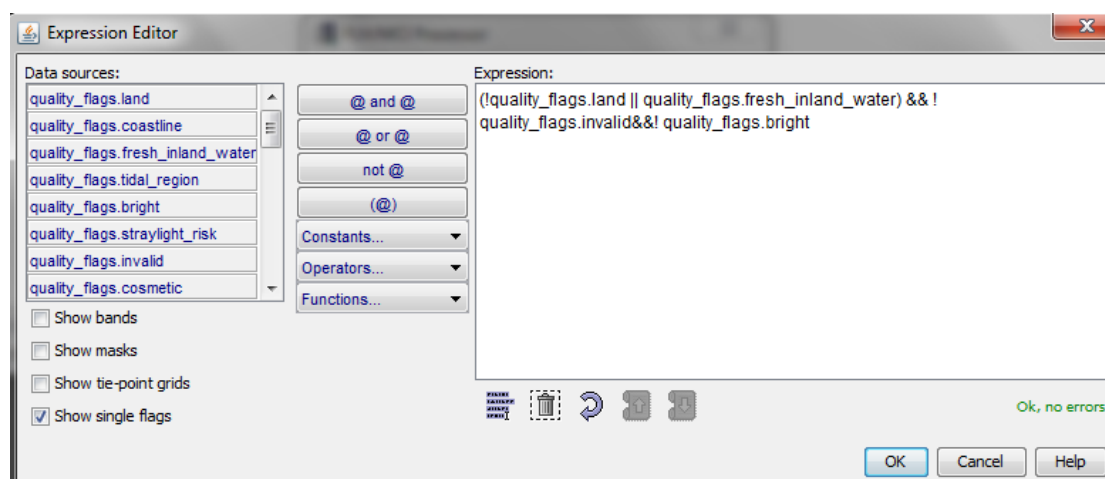
6 Μαρτίου 2017

22 Απριλίου 2017

19 Μαΐου 2017

Αρχικά εισήχθησαν οι εικόνες στο πρόγραμμα και επιλέχθηκε η λειτουργία “water processing”, μιας και μας ενδιέφερε μόνο η υδάτινη περιοχή της εκάστοτε εικόνας και συγκεκριμένα ο δείκτης FLH/MCI για τον υπολογισμό τιμών χλωροφύλλης. Λεπτομέρειες περί του δείκτη αναγράφονται σε πιο πάνω κεφάλαιο.

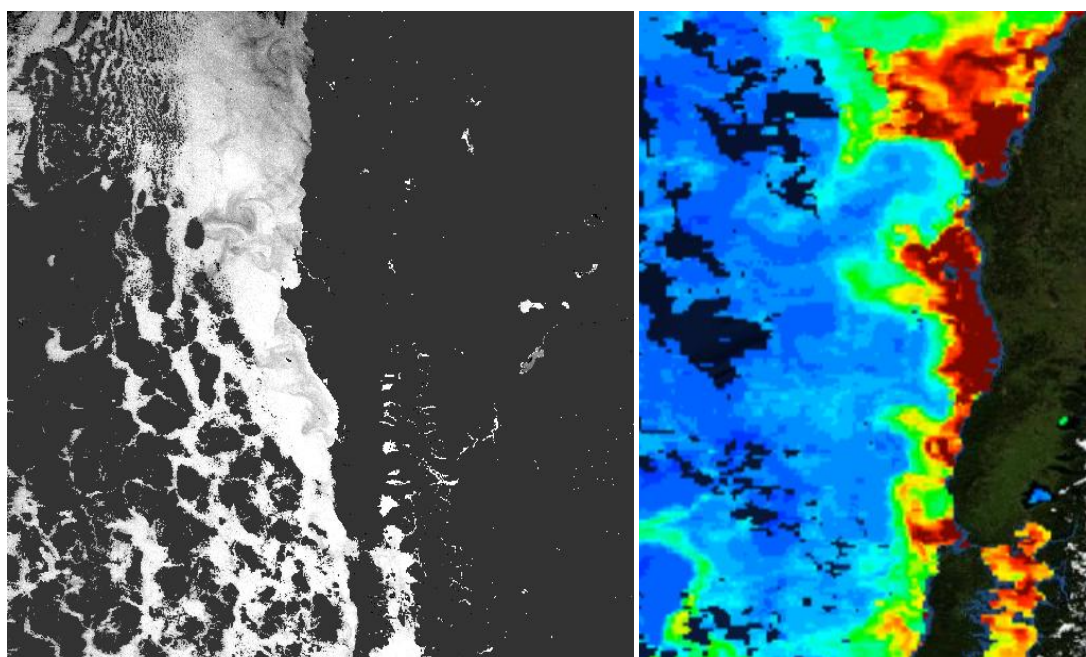
Η εξάλειψη των σύννεφων-όπως προαναφέρθηκε-κρίθηκε ιδιαίτερα σημαντική, καθώς οι εικόνες κάλυπταν τη θάλασσα σε πολύ μεγάλο μέρος τους, και τα αποτελέσματα δε θα ήταν ορθά. Έτσι, με τις κατάλληλες εντολές μασκάραμε τα σύννεφα, τη στεριά καθώς και κάθε υδάτινο στοιχείο(όπως λίμνη, ποτάμι κτλ)που τυχόν υπήρχε στη στεριά:



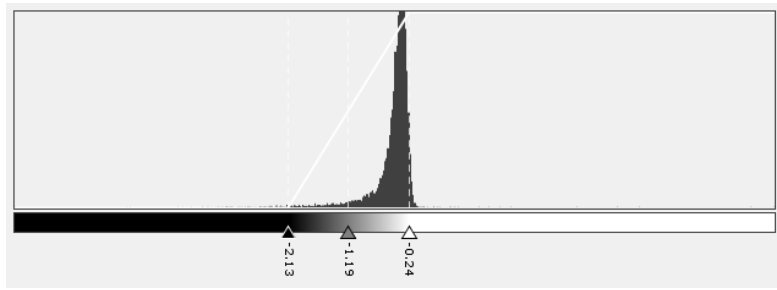
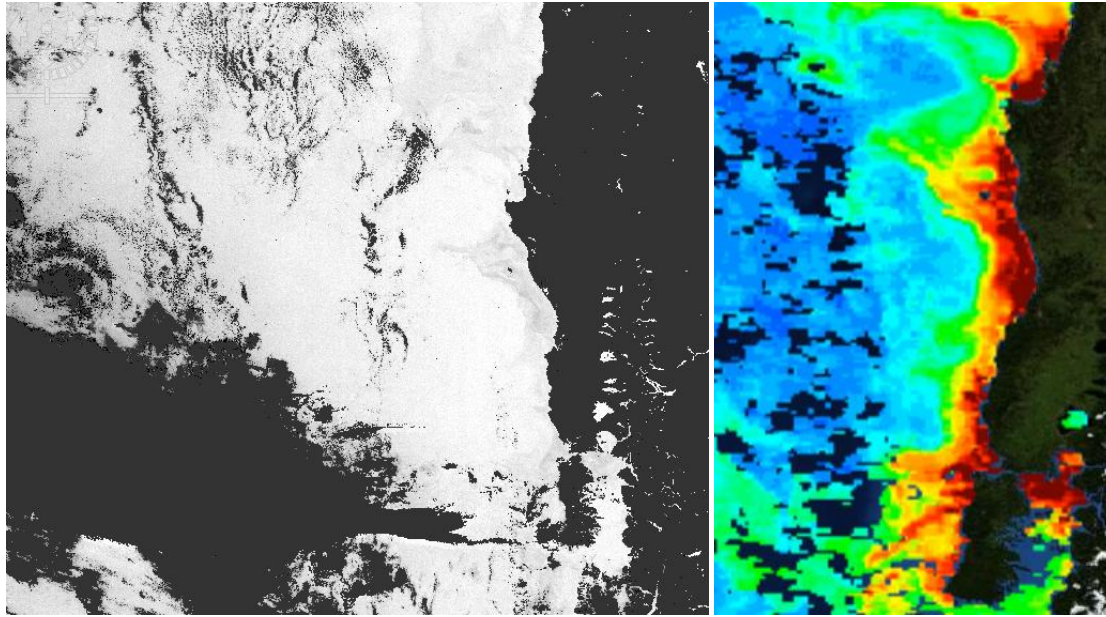
**Εικόνα 29:** Έκφραση στο SNAP για μασκάρισμα στεριάς, υδάτινων στοιχείων εντός στεριάς και σύννεφων

Κάθε παραχθείσα από το πρόγραμμα εικόνα περιείχε την τιμή του δείκτη FLH/MCI για κάθε ρixel. Οι περισσότερες τιμές ήταν αρνητικές, ενώ κάθε ρixel που αντιστοιχούσε σε σύννεφο ή στεριά λάμβανε πλέον την τιμή “NaN”. Σε κάθε εικόνα χωρίσαμε 3 περιοχές συγκριτικά με το πόσο απομακρυνόμαστε από τη στεριά, ώστε να ακολουθήσουν τα διαγράμματα των τιμών FLH/MCI και να δούμε πως σχετίζεται η παρουσία χλωροφύλλης με την απόσταση από τη στεριά. Αναμένουμε-όπως ορίζει το φαινόμενο την παράκτιας ανάπτυξης- μεγαλύτερες τιμές του δείκτη(και επομένως μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης) κοντά στη στεριά, και μικρότερες όσο πιο πολύ προχωράμε προς τα μέσα του Ειρηνικού ωκεανού.

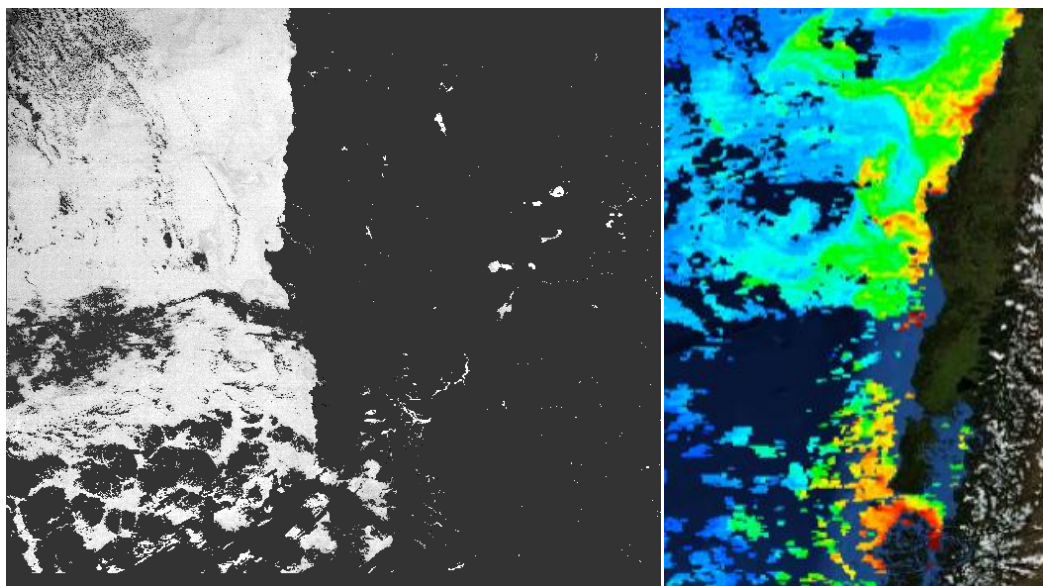
Ακολουθούν οι εικόνες με τους δείκτες FLH/MCI και για τις τέσσερις ημερομηνίες όπως επίσης και τα ιστογράμμά τους. Δίπλα από την κάθε εικόνα που κατασκευάστηκε στο SNAP υπάρχει η αντίστοιχη περιοχή για τη συγκεκριμένη ημερομηνία από το προϊόν της NASA, αποσκοπώντας στο να δούμε αν υπάρχει ταύτιση των τιμών χλωροφύλλης. Σημειώνουμε πως σκουρότερο κόκκινο χρώμα στις εικόνες της NASA αντιστοιχεί σε μεγαλύτερες τιμές chl-a, και πιο «λευκές τιμές» στις εικόνες Sentinel 3 που φτιάξαμε στο SNAP αντιστοιχούν σε υψηλότερες τιμές του δείκτη, ενώ οτιδήποτε είναι μαύρο είναι αποτέλεσμα της μάσκας που εφαρμόσαμε (τιμή NaN).

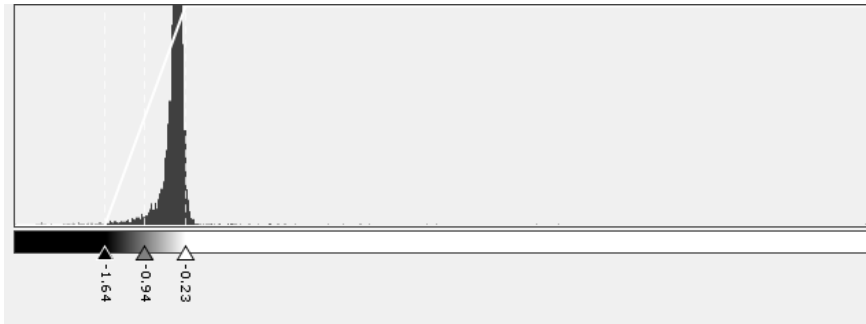


**31 Ιανουαρίου 2017** : (αριστερή εικόνα) δείκτης FLH/MCI, (δεξιά εικόνα) χλωροφύλλη-α από το προϊόν της NASA. (κάτω εικόνα) ιστογράμμα

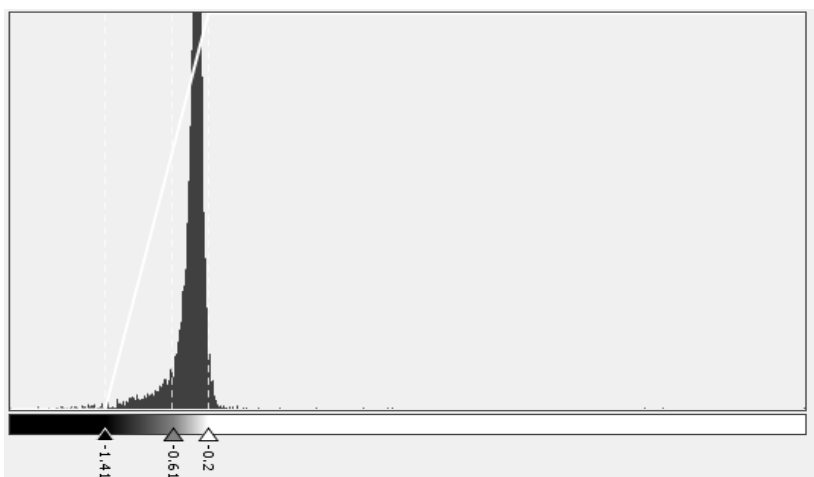
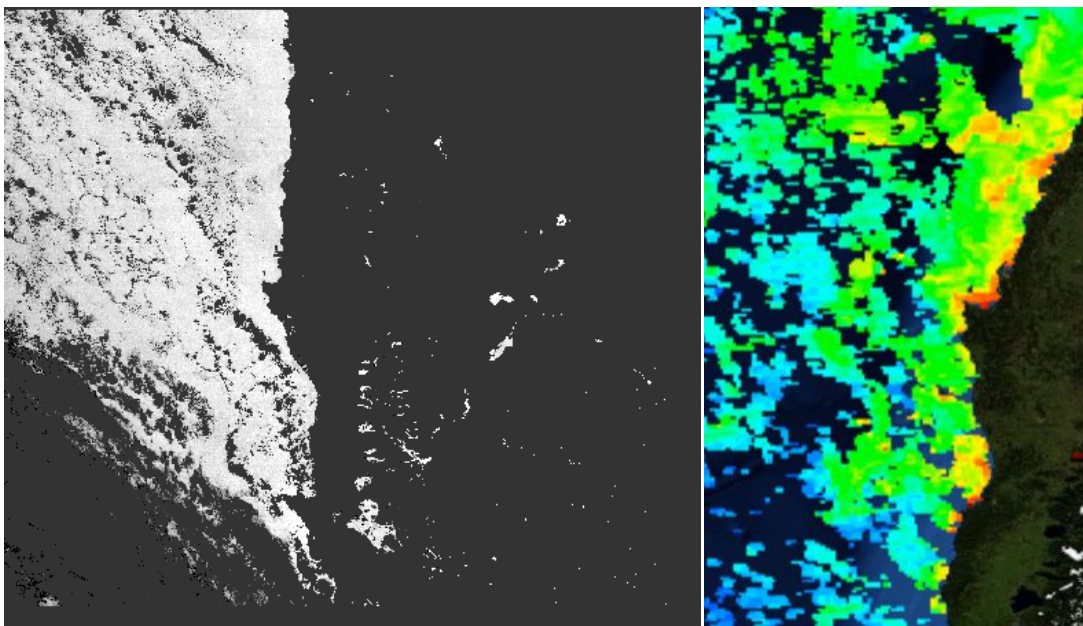


**06 Μαρτίου 2017** : (αριστερή εικόνα) δείκτης FLH/MCI, (δεξιά εικόνα) χλωροφύλλη-α από το προιον της NASA. (κάτω εικόνα) ιστογράμμα





**22 Απριλίου 2017** : (αριστερή εικόνα) δείκτης FLH/MCI, (δεξιά εικόνα)χλωροφύλλη-α από το προιον της NASA. (κάτω εικόνα)ιστόγραμμα

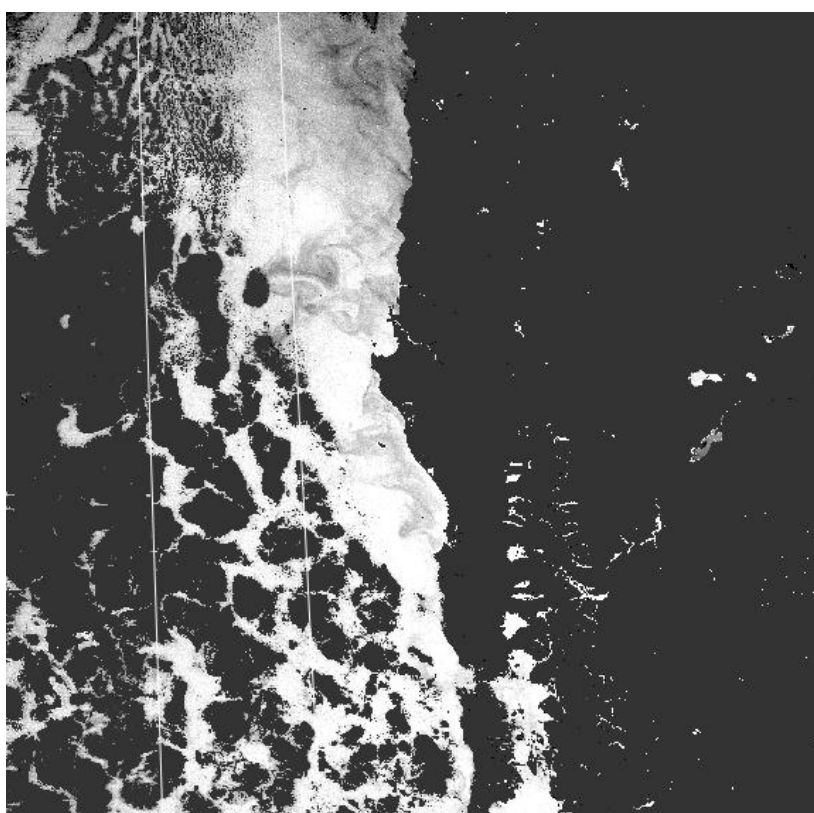


**19 Μαΐου 2017** : (αριστερή εικόνα) δείκτης FLH/MCI, (δεξιά εικόνα)χλωροφύλλη-α από το προιον της NASA. (κάτω εικόνα)ιστόγραμμα

Έπονται τα διαγράμματα και οι γραμμές τάσεις για τις τιμές FLH/MCI ανά ρixel που κατασκευάστηκαν στο excel,ανά εικόνα, σύμφωνα με τις περιοχές που οριοθετήθηκαν. Η



οριοθέτηση έγινε πάλι στο περιβάλλον SNAP και παρατίθεται και αυτή μόλις παρακάτω, απεικονιζόμενη με λευκές αχνές γραμμές που διασχίζουν την εικόνα από πάνω προς τα κάτω. Τα πέντε πρώτα pixel ελήφθησαν στην πρώτη περιοχή που οριοθετείται μεταξύ στεριάς και πρώτης άσπρης γραμμής, τα άλλα πέντε pixel μεταξύ των δυο άσπρων γραμμών (pixel 6-10) και τα τελευταία pixel από την περιοχή που ορίζεται αριστερά από τη δεύτερη λευκή γραμμή (pixel 11-15). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για την εκάστοτε εικόνα. Η γραμμή τάσης που επιλέξαμε ήταν σε όλες τις περιπτώσεις γραμμική, μιας και προσαρμοζόταν πολύ καλά στα δεδομένα, πράγμα που φαινόταν από την υψηλή τιμή του  $R^2$  (πολύ κοντά στο 1). Στο κάθε διάγραμμα λοιπόν απεικονίζεται η γραμμή τάσης, η εξίσωσή της, καθώς και το  $R^2$ . Η εξίσωση αποτελεί τη γραμμική συσχέτιση πρώτου βαθμού μεταξύ του δείκτη MCI και του κάθε pixel. Επειδή όσο αυξανόταν ο αριθμός του pixel, από το 1 μέχρι το 15, τόσο περισσότερο απομακρυνόμασταν από τη στεριά, μπορούμε να πούμε πως η εξίσωση ουσιαστικά υποδηλώνει την κατανομή του MCI σε όλη την εικόνα.

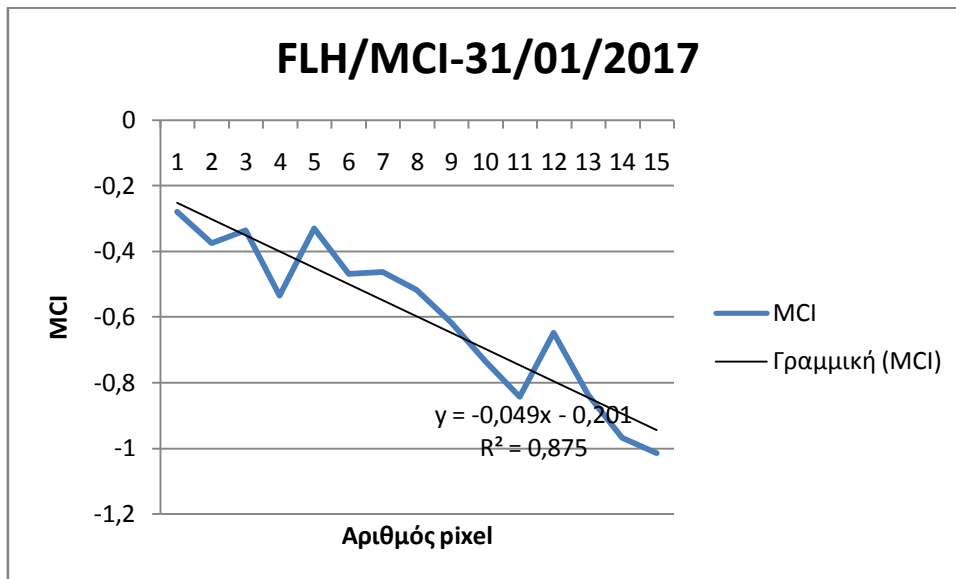


31 Ιανουαρίου 2017, χωρισμός εικόνας σε 3 περιοχές

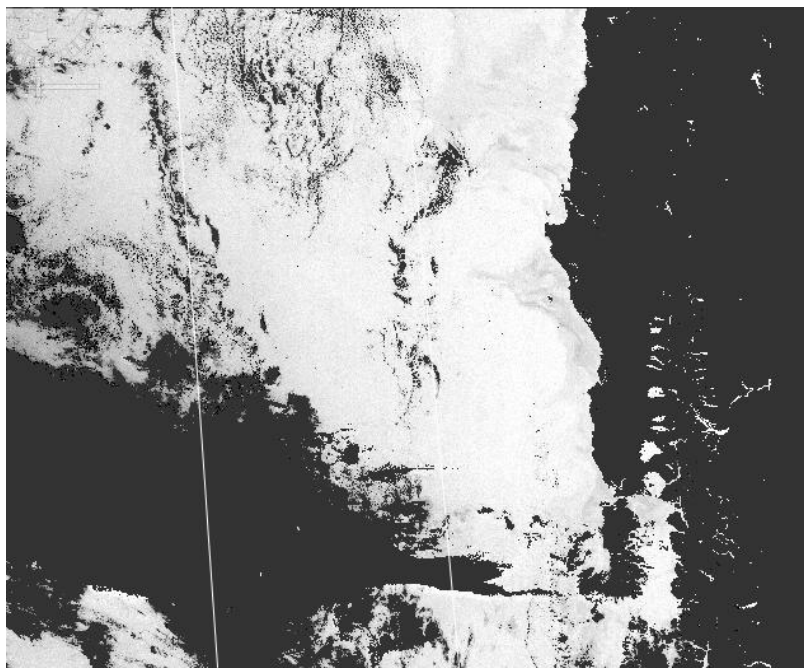
Αριθμός pixel	FLH/MCI
Pixel 1	-0,27978
Pixel 2	-0,37465
Pixel 3	-0,33661
Pixel 4	-0,53551
Pixel 5	-0,33097
Pixel 6	-0,46853
Pixel 7	-0,46367
Pixel 8	-0,51731

Pixel 9	-0,61708
Pixel 10	-0,73263
Pixel 11	-0,84212
Pixel 12	-0,64673
Pixel 13	-0,83562
Pixel 14	-0,96683
Pixel 15	-1,0134

Πίνακας 43: Τιμές των pixel που ελήφθησαν δειγματοληπτικά από τις 3 περιοχές της εικόνας



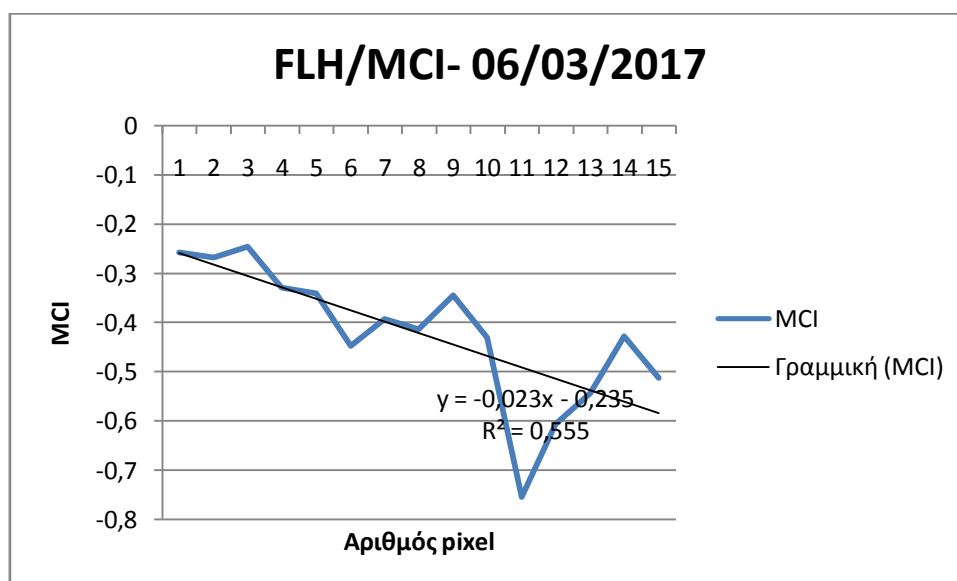
Διάγραμμα 36: Διάγραμμα τιμών δείκτη MCI για όλα τα pixel, για τις 31/01/2017



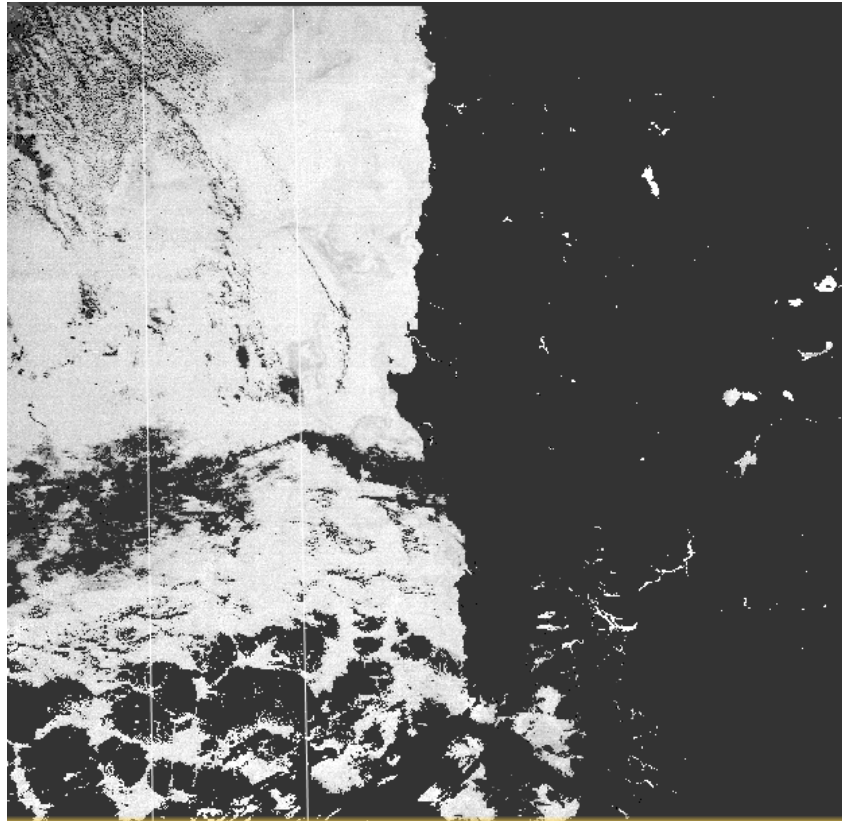
6 Μαρτίου 2017, χωρισμός εικόνας σε 3 περιοχές

Αριθμός pixel	FLH/MCI
Pixel 1	-0,25776
Pixel 2	-0,26822
Pixel 3	-0,24634
Pixel 4	-0,32953
Pixel 5	-0,3413
Pixel 6	-0,4481
Pixel 7	-0,39292
Pixel 8	-0,41426
Pixel 9	-0,3454
Pixel 10	-0,43117
Pixel 11	-0,75419
Pixel 12	-0,60645
Pixel 13	-0,54432
Pixel 14	-0,42863
Pixel 15	-0,51216

Πίνακας 44: Τιμές των pixel που ελήφθησαν δειγματοληπτικά από τις 3 περιοχές της εικόνας



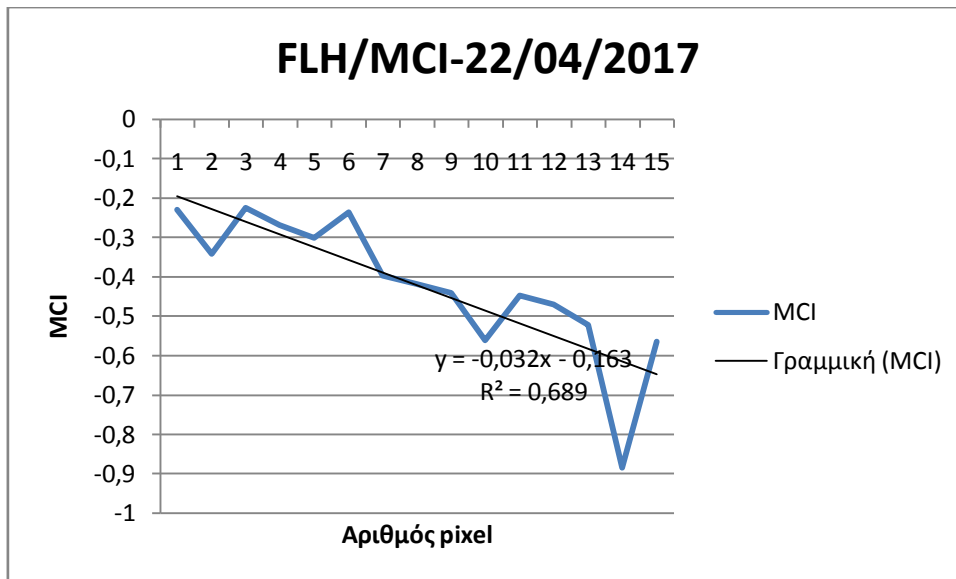
Διάγραμμα 37: Διάγραμμα τιμών δείκτη MCI για όλα τα pixel, για τις 06/03/2017



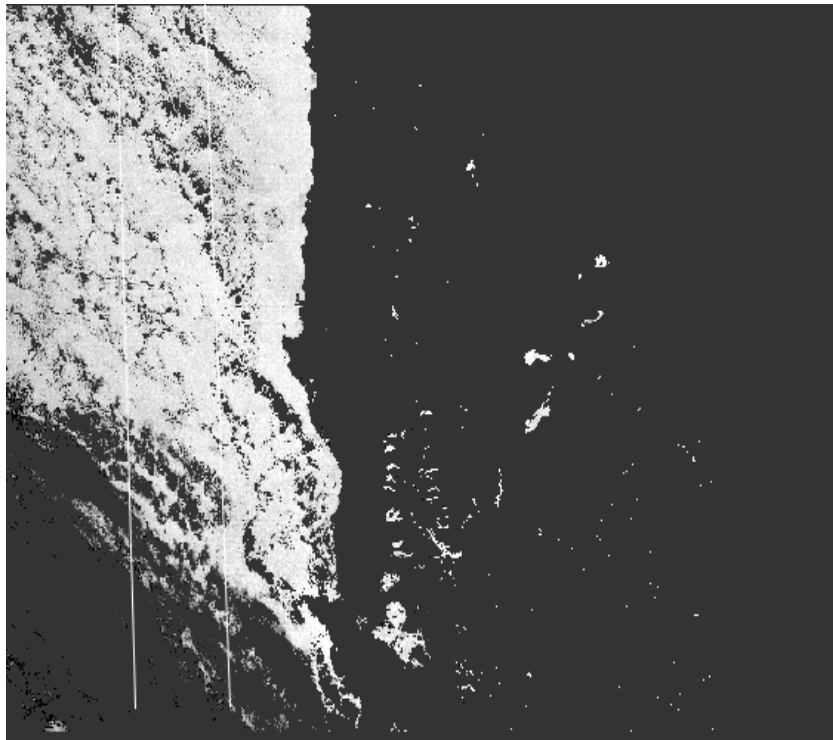
22 Απριλίου 2017, χωρισμός εικόνας σε 3 περιοχές

Αριθμός pixel	FLH/MCI
Pixel 1	-0,22991
Pixel 2	-0,34217
Pixel 3	-0,22523
Pixel 4	-0,2687
Pixel 5	-0,30179
Pixel 6	-0,23721
Pixel 7	-0,3981
Pixel 8	-0,41869
Pixel 9	-0,44114
Pixel 10	-0,56146
Pixel 11	-0,44855
Pixel 12	-0,47124
Pixel 13	-0,52196
Pixel 14	-0,88487
Pixel 15	-0,56538

Πίνακας 45: Τιμές των pixel που ελήφθησαν δειγματοληπτικά από τις 3 περιοχές της εικόνας



**Διάγραμμα 38:** Διάγραμμα τιμών δείκτη MCI για όλα τα pixel, για τις 22/04/2017

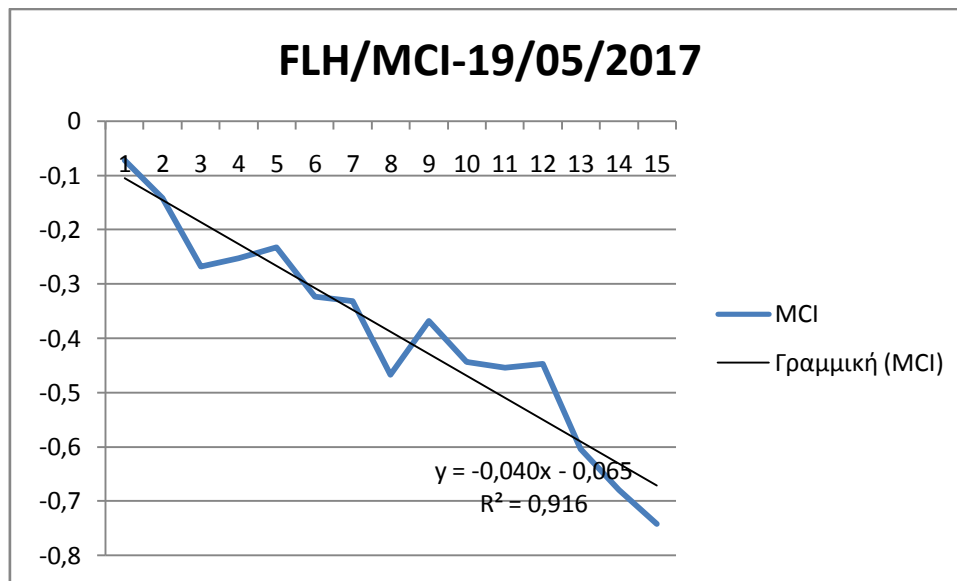


19 Μαΐου 2017, χωρισμός εικόνας σε 3 περιοχές

Αριθμός pixel	FLH/MCI
Pixel 1	-0,07219
Pixel 2	-0,14157
Pixel 3	-0,26744
Pixel 4	-0,25197
Pixel 5	-0,2329
Pixel 6	-0,32354
Pixel 7	-0,33191

Pixel 8	-0,46722
Pixel 9	-0,36814
Pixel 10	-0,44356
Pixel 11	-0,4536
Pixel 12	-0,44672
Pixel 13	-0,60409
Pixel 14	-0,67939
Pixel 15	-0,74158

Πίνακας 46: Τιμές των pixel που ελήφθησαν δειγματοληπτικά από τις 3 περιοχές της εικόνας



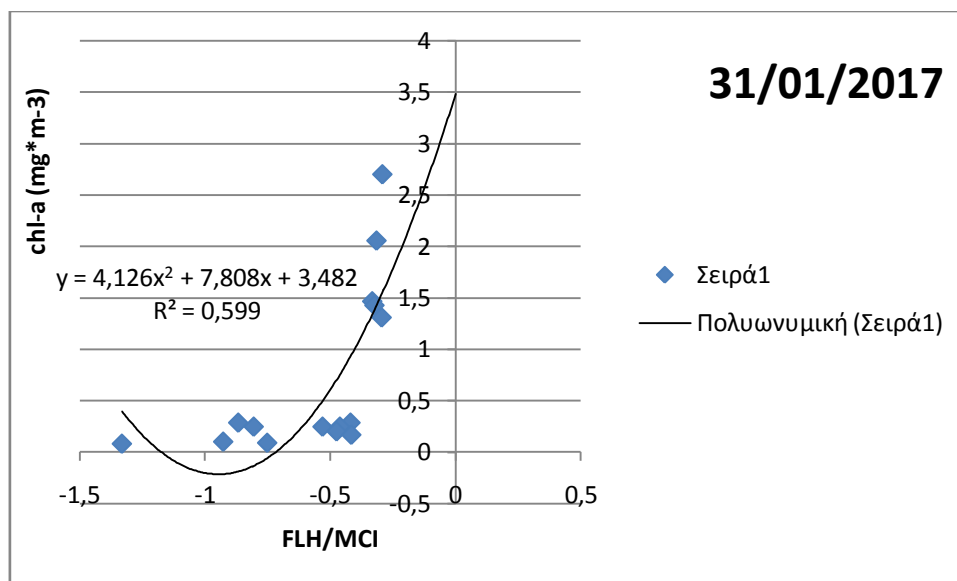
Διάγραμμα 39: Διάγραμμα τιμών δείκτη MCI για όλα τα pixel, για τις 19/05/2017

Όπως παρατηρούμε σε όλα τα διαγράμματα, η γραμμή τάσης ακολουθεί φθίνουσα πορεία με αρνητική δηλαδή κλίση, γεγονός που ερμηνεύεται ως εξής: όσο απομακρυνόμαστε από τη στεριά, δηλαδή όσο αυξάνεται ο αριθμός του pixel από το 1 ως το 15 τόσο πέφτει η τιμή του δείκτη άρα και η τιμή της συγκέντρωσης χλωροφύλλης, για αυτό και οι συντελεστές των εξισώσεων είναι αρνητικοί. Η ίδια μορφή παρατηρείται και στις 4 εικόνες. Θετικές τιμές του δείκτη δεν παρατηρήθηκαν σε καμία περίπτωση. Τονίζουμε πως η επιλογή των εικονοστοιχείων σε κάθε περιοχή έγινε τυχαία. Επομένως, επαληθεύει και η χρήση δεδομένων Sentinel 3 τη βασική αρχή του φαινομένου της παράκτιας ωκεάνιας ανάβλυσης περί ισχυρής συγκέντρωσης χλωροφύλλης στα παράκτια ύδατα και μείωσής της όσο προχωράμε προς τα ανοιχτά του ωκεανού (πέρασμα από την περιοχή 1 στην περιοχή 3).

Στη συνέχεια, για τις εικόνες 31/01/2017 και 06/03/2017 επιλέχθηκαν για το σύνολο έकाστης εικόνας 15 pixel στην καθεμία για τα οποία φτιάξαμε παλινδρομήσεις για τις τιμές FLH/MCI και chl-a (από το προιον της NASA). Οι παλινδρομήσεις φαίνονται παρακάτω:

Αριθμός pixel	FLH/MCI	Chl-a(mg*m-3)
Pixel 1	-0,31574	2,055
Pixel 2	-0,33271	1,465
Pixel 3	-0,32392	1,426
Pixel 4	-0,29522	1,308
Pixel 5	-0,29235	2,7
Pixel 6	-0,53087	0,246
Pixel 7	-0,41944	0,285
Pixel 8	-0,46167	0,246
Pixel 9	-0,47499	0,2
Pixel 10	-0,41622	0,167
Pixel 11	-0,80531	0,246
Pixel 12	-0,86692	0,285
Pixel 13	-0,92686	0,1
Pixel 14	-0,75149	0,089
Pixel 15	-1,33078	0,08

Πίνακας 47: Τιμές FLH/MCI, chl-a για τα 15 επιλεγθέντα pixel (31/01/2017)

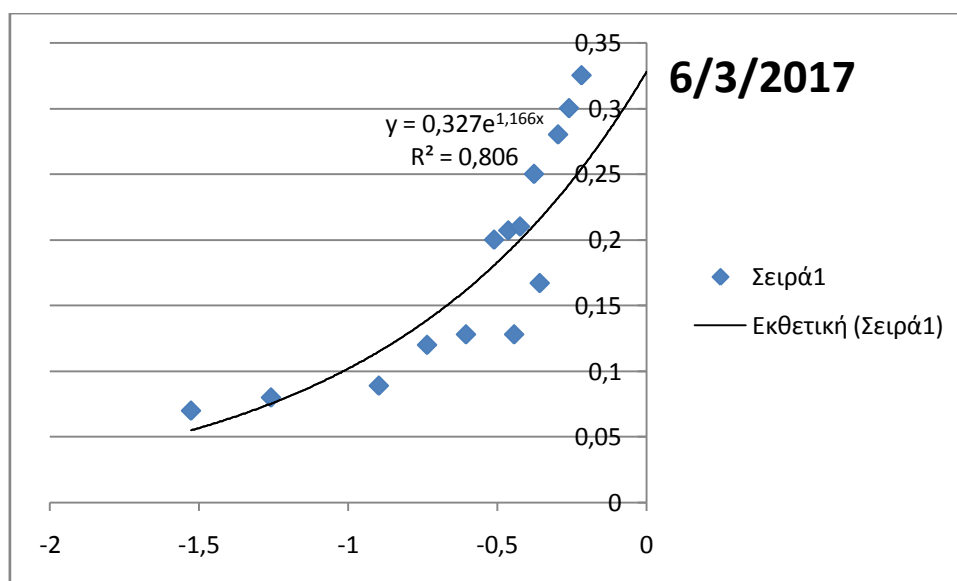


Διάγραμμα 40: Παλινδρόμηση τιμών FLH/MCI και chl-a (από το παγκόσμιο προϊόν της NASA) για τις 31/01/2017

Για την παλινδρόμηση της πρώτης εικόνας επιλέξαμε ως καταλληλότερη γραμμή τάσης την πολυωνυμική 2<sup>ου</sup> βαθμού, αν και αυτή που θα έπρεπε να ανταποκρίνεται καλύτερα στα δεδομένα είναι η γραμμική μιας και η αύξηση του δείκτη θα έπρεπε να οδηγεί σε αύξηση της ποσότητας χλωροφύλλης-α. Η πολυωνυμική προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα δεδομένα με συντελεστή συσχέτισης  $R^2 \approx 0,6$ .

Αριθμός pixel	FLH/MCI	Chl-a(mg*m-3)
Pixel 1	-0,29875	0,20
Pixel 2	-0,29506	0,28
Pixel 3	-0,25831	0,3
Pixel 4	-0,21635	0,325
Pixel 5	-0,37577	0,25
Pixel 6	-0,4425	0,128
Pixel 7	-0,35665	0,167
Pixel 8	-0,46209	0,207
Pixel 9	-0,42276	0,21
Pixel 10	-0,50976	0,2
Pixel 11	-0,60411	0,128
Pixel 12	-0,73476	0,12
Pixel 13	-0,89659	0,089
Pixel 14	-1,52687	0,07
Pixel 15	-1,25854	0,08

Πίνακας 48: Τιμές FLH/MCI και chl-a(από το προϊόν της NASA) για τις 6/03/2017



Διάγραμμα 41: Παλινδρόμηση τιμών FLH/MCI και chl-a για τις 6/3/2017

Για την εικόνα με ημερομηνία λήψης 6/03/2017 επιλέχθηκε εκθετική γραμμή τάσεως η οποία προσαρμοζόταν πολύ καλά στα δεδομένα, με συντελεστή συσχέτισης  $R^2 \approx 0,8$ . Τα pixel για τιμές μικρότερες από  $0,2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  θα μπορούσαν πολύ εύκολα να προσαρμοστούν με μια γραμμική γραμμή τάσης, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στο παραπάνω διάγραμμα. Με βάση και τα αποτελέσματα της πρώτης παλινδρόμησης, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο δείκτης FLH/MCI είναι ιδανικότερος για μικρές συγκεντρώσεις chl-a, ενώ θα πρέπει να υποστεί βελτιώσεις για μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, ώστε να ανιχνεύει καλύτερα τις μεταβολές από μια τιμή και άνω. Συμπερασματικά, οι εικόνες εξήγαγαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ωστόσο υπάρχει ακόμα έδαφος για βελτίωση του δείκτη FLH/MCI.



#### 4.8.2 Επεξεργασία με δεδομένα Sentinel 2

Σε επόμενο στάδιο ασχοληθήκαμε με δεδομένα Sentinel 2 για την ίδια περιοχή μελέτης(Χιλή), με σκοπό να οικειοποιηθούμε με τα δεδομένα Sentinel αλλά και να δούμε πόσο ικανοποιητικά ανταποκρίνεται στη μελέτη του φαινομένου της ανάβλυσης. Οι δύο αυτοί δορυφόροι-Sentinel 2 και Sentinel 3-όπως προαναφέρθηκε, θα διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στο μέλλον, αντικαθιστώντας παλαιότερες αποστολές.

Από την [επίσημη ιστοσελίδα της ESA](#) αντλήθηκαν εικόνες του δορυφόρου Sentinel 2. Οι εικόνες ωστόσο χαρακτηρίζονται από έντονη παρουσία θορύβου (salt and pepper noise) πράγμα που αναμέναμε να μην οδηγήσει σε τόσο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα προϊόντα είναι επιπέδου Level 1-C και μορφής S2A\_MSIL1C, δηλαδή δεδομένα της αποστολής Sentinel 2A του πολυφασματικού αισθητήρα MSI, δεδομένα τα οποία είναι σε τιμές TOA Reflectance.

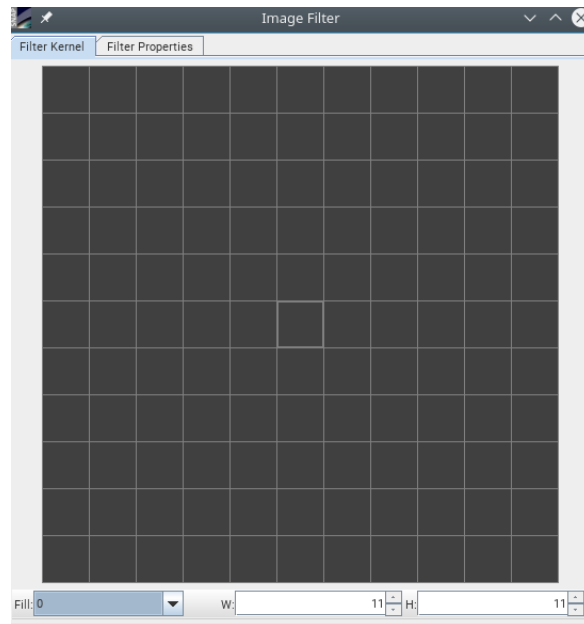
Η όλη επεξεργασία έγινε στο πρόγραμμα SNAP(Sentinels Application Platform) της ESA. Οι ημερομηνίες λήψεως των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, παρατίθενται παρακάτω:

18 Φεβρουαρίου 2017

22 Απριλίου 2017

Αρχικά, εφόσον εισήχθηκαν στο SNAP, εξαιτίας της διαφορετικής χωρικής ανάλυσης των καναλιών του MSI έγινε «resampling» ώστε όλα τα κανάλια της εικόνας να αποκτήσουν την ίδια χωρική ανάλυση με το κανάλι 5(20m), μιας και το πρόγραμμα SNAP δεν είναι σε θέση να επεξεργαστεί προϊόντα με διαφορετικά μεγέθη δεδομένων. Εν συνεχεία εφαρμόστηκαν στα κανάλια στα οποία επρόκειτο να εφαρμοστεί ο δείκτης εκτίμησης χλωροφύλλης(MCI), δηλαδή στα κανάλια 4,5 και 6, φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων μέσου όρου, διαστάσεων 11\*11. Τα φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων(χαμηλοδιαβατά), σχεδιάζονται για να τονίσουν τα χαρακτηριστικά χαμηλών συχνοτήτων και να αποδυναμώσουν τις υψηλές συχνότητες. Επισημαίνεται πως τα φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων είναι πολύ χρήσιμα για την ελάττωση του τυχαίου θορύβου, όπως στην περίπτωση μας(*Δημήτριος Π. Αργιαλάς,1998*). Έτσι καταφέραμε να περιορίσουμε το θόρυβο από τις εικόνες, καθώς και κάποιες «γραμμώσεις» που παρουσιάζονταν στην εικόνα(pattern εικόνας), οι οποίες κατά πάσα πιθανότητα έχουν να κάνουν με το καλιμπράρισμα του δέκτη και είναι δύσκολο να εξαλειφθούν με την εφαρμογή κάποιου φίλτρου. Καθώς κάθε κανάλι περιείχε το θόρυβο-αλατοπίπερο, αποφανθήκαμε πως πρόκειται για λευκό θόρυβο(white noise)\*, ο οποίος υφίσταται σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

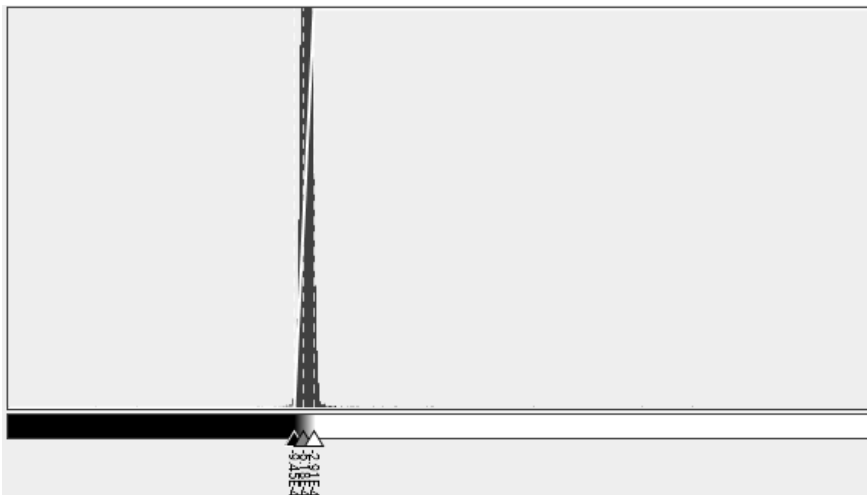
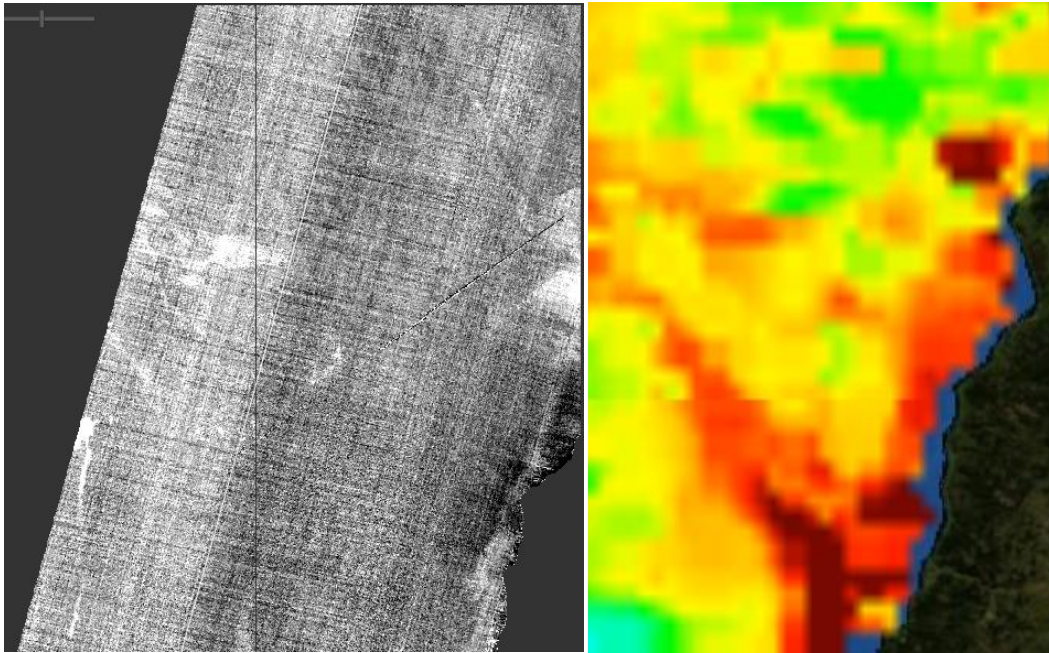
*\*Στην επεξεργασία σήματος, λευκός θόρυβος είναι το τυχαίο σήμα που έχει ίδια ένταση σε όλες τις συχνότητες, δίνοντας μια σταθερή φασματική πυκνότητα ισχύος(Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/White\\_noise](https://en.wikipedia.org/wiki/White_noise)).*



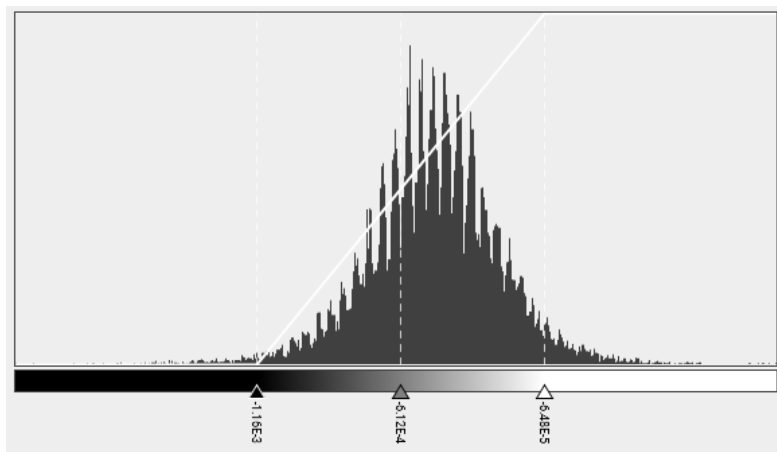
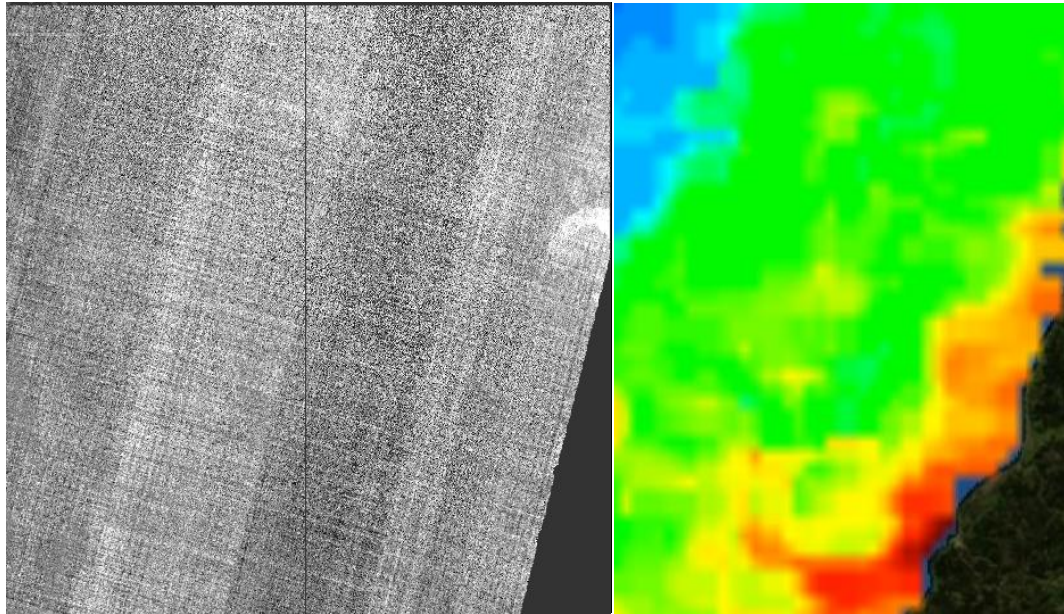
**Εικόνα 30:** Στιγμιότυπο από τη δημιουργία φίλτρου 11\*11 στην πλατφόρμα SNAP

Ο δείκτης λοιπόν που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Maximum Chlorophyll Index (MCI). Λεπτομέρειες για τον συγκεκριμένο δείκτη υπάρχουν στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο στο οποίο αναπτύσσονται εκτενώς οι αλγόριθμοι και οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στην τρέχουσα διπλωματική εργασία.

Τονίζουμε πως η εφαρμογή του δείκτη έγινε στα κανάλια μετά την εφαρμογή των φίλτρων χαμηλών συχνοτήτων. Οι παραχθείσες εικόνες μετά την εφαρμογή του δείκτη, όπως θα δούμε και αμέσως παρακάτω, περιέχουν ακόμα τις λωρίδες που προαναφέραμε, καθώς επίσης και ο λευκός θόρυβος δεν κατάφερε να εξαλειφθεί πλήρως. Έπονται αμέσως τώρα οι εικόνες, στιγμιότυπα της ίδιας περιοχής όπως τα αντλήσαμε από το προϊόν της NASA (για τη συγκεκριμένη ημερομηνία), καθώς επίσης και τα ιστογράμματα:

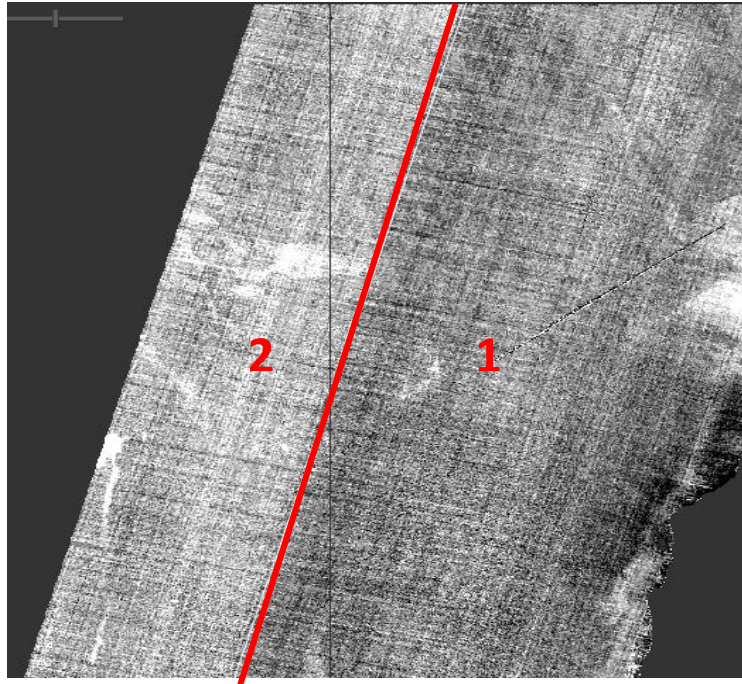


**18 Φεβρουαρίου 2017:** (Αριστερή εικόνα) Δείκτης MCI, (Δεξιά εικόνα): εικόνα περιοχής μελέτης από το προϊόν της NASA, (Κάτω εικόνα) Ιστόγραμμα εικόνας MCI



**22 Απριλίου 2017:** (Αριστερή εικόνα) Δείκτης MCI, (Δεξιά εικόνα): εικόνα περιοχής μελέτης από το προϊόν της NASA, (Κάτω εικόνα) Ιστόγραμμα εικόνας MCI

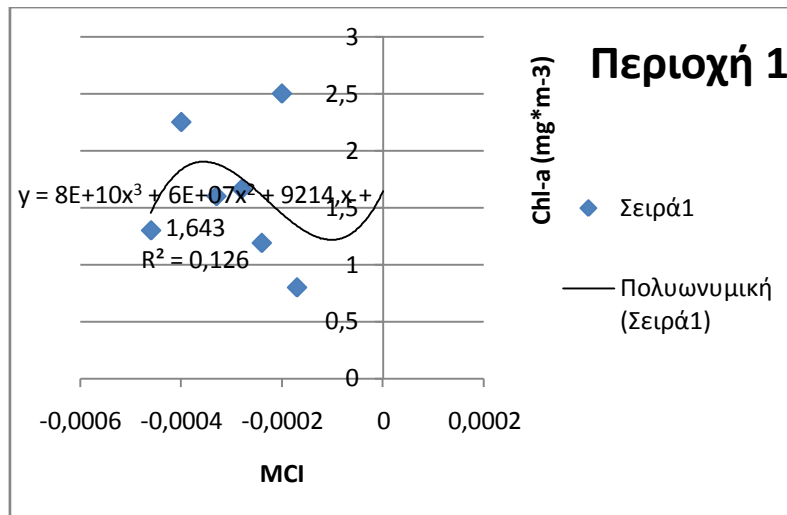
Είναι ευδιάκριτες και στις δύο περιπτώσεις οι γραμμές(ραβδώσεις) που υπήρχαν και στις αρχικές εικόνες, όπως επίσης αισθητός είναι και ο θόρυβος με τη μορφή αλατοπίπερου. Οι πιο ανοιχτοί τόνοι του γκρι αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες τιμές του MCI, άρα και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης. Αναμέναμε πως οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις θα βρίσκονται παράκτια και οι μικρότερες(πιο σκούροι τόνοι) στα πιο ανοιχτά του ωκεανού, αλλά στα εξαχθέντα αποτελέσματα παρατηρούμε πως οι τόνοι του γκρι κατανέμονται στις εικόνες ανάλογα με τις σχηματιζόμενες ραβδώσεις. Προκειμένου να φτιάξουμε παλινδρομήσεις και να δούμε πως σχετίζεται ο δείκτης MCI με τη χλωροφύλλη σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, χωρίσαμε την κάθε εικόνα σε υπό-περιοχές με βάση τις ήδη σχηματιζόμενες ραβδώσεις. Έπειτα επιλέξαμε τυχαία ρixel από την κάθε περιοχή, 15 συνολικά, και για κάθε συγκεκριμένο ρixel, με βάση τις γεωγραφικές του συντεταγμένες επιλέγαμε το ακριβώς ίδιο ρixel στο προϊόν της NASA, ώστε να έχουμε και την τιμή chl-a σε  $mg \cdot m^{-3}$ . Τέλος, κατασκευάστηκαν στο excel οι παλινδρομήσεις με βάση τις τιμές MCI, Chl-a των 15 αυτών ρixel.



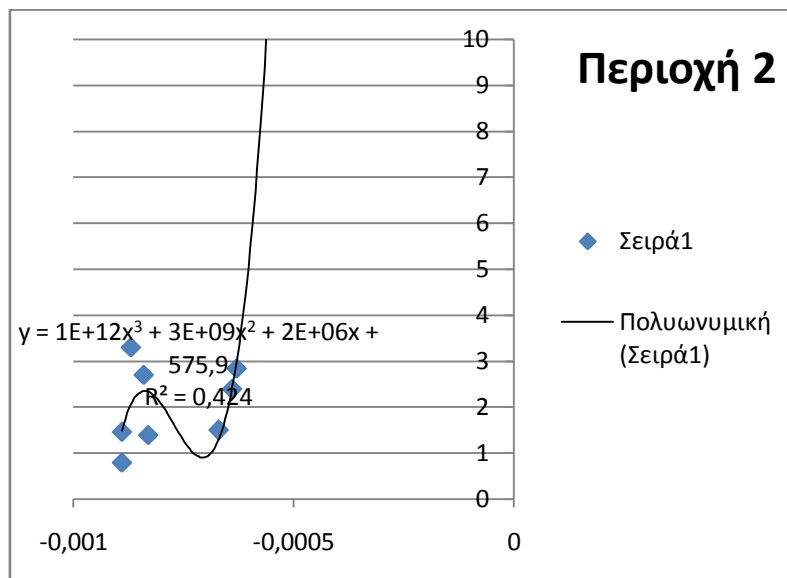
18/02/2017: Χωρισμός εικόνας σε 2 περιοχές

Αριθμός pixel	MCI	Chl-a NASA
Pixel 1	-0,0002	2,5
Pixel 2	-0,00024	1,19
Pixel 3	-0,00046	1,3
Pixel 4	-0,00033	1,6
Pixel 5	-0,00028	1,662
Pixel 6	-0,0004	2,25
Pixel 7	-0,00017	0,8
Pixel 8	-0,00063	2,84
Pixel 9	-0,00087	3,3
Pixel 10	-0,00084	2,7
Pixel 11	-0,00064	2,4
Pixel 12	-0,00089	1,465
Pixel 13	-0,00067	1,5
Pixel 14	-0,00083	1,4
Pixel 15	-0,00089	0,8

Πίνακας 49: Τιμές MCI και chl-a για καθένα από τα 15 pixel



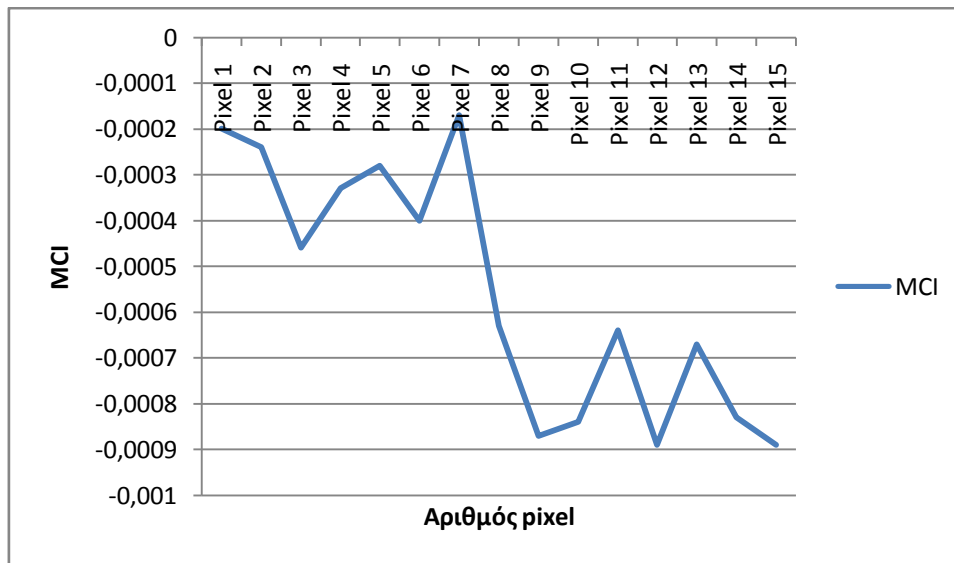
Διάγραμμα 42: Παλινδρόμηση για την περιοχή 1



Διάγραμμα 43: Παλινδρόμηση για την περιοχή 2

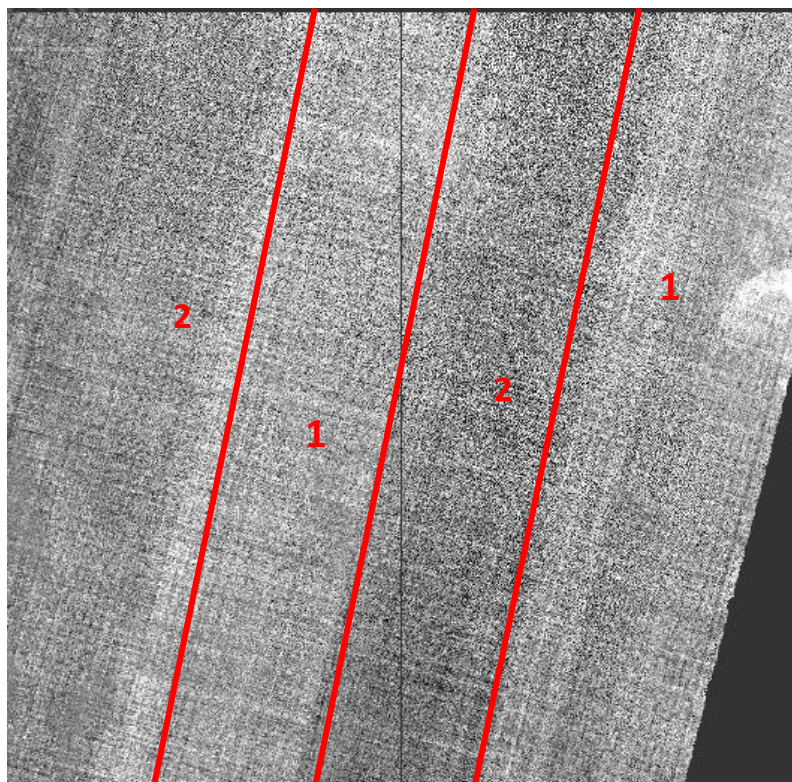
Όπως παρατηρούμε και για τα 15 επιλεγθέντα εικονοστοιχεία ο δείκτης έχει μόνο αρνητικές τιμές και οι τιμές chl-a είναι χαμηλές, με μέγιστη τιμή τα  $3,3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Τα 15 σημεία για κάθε περιοχή παρατηρούμε πως είναι διάσπαρτα ακανόνιστα σε όλο το γράφημα, πράγμα που υποδεικνύει πως δεν σχετίζονται επακριβώς μεταξύ τους, ακόμα και αν μιλάμε για εικονοστοιχεία της ίδιας περιοχής. Για να ήταν ικανοποιητικά τα αποτελέσματα θα θέλαμε να αυξάνει ο δείκτης και συνάμα να αυξάνεται γραμμικά η συγκεντρωθείσα χλωροφύλλη. Σε αυτό ευθύνεται αισθητά η ύπαρξη θορύβου στην υπό μελέτη εικόνα. Η καμπύλη που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα είναι πολυωνυμικής μορφής τρίτου βαθμού(η καλύτερη θα ήταν η γραμμική), ενώ η τιμή  $R^2$  είναι σχετικά χαμηλή και για τις δύο περιοχές. Αυτό συνεπάγεται πως η καμπύλη δεν προσαρμόζεται πλήρως στα δεδομένα. Από το pixel 8 και μετά-δηλαδή στη δεύτερη περιοχή-, στην οποία πλέον βρισκόμαστε πιο μακριά από τη

στεριά, ο δείκτης MCI ελαττώνεται αισθητά. Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό με το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 44: Διάγραμμα MCI (18/02/2017)

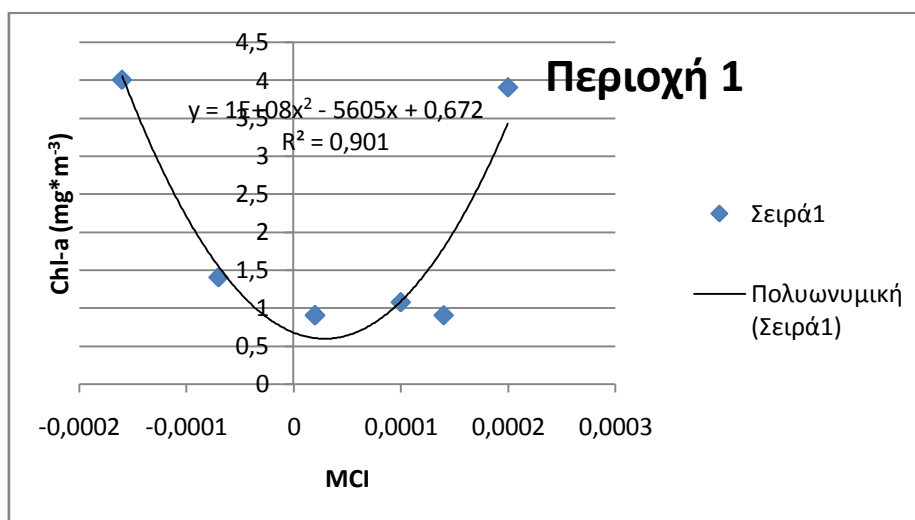
Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη 2<sup>η</sup> εικόνα, λήψεως 22 Απριλίου 2017:



22/04/2017: Χωρισμός εικόνας σε 2 περιοχές

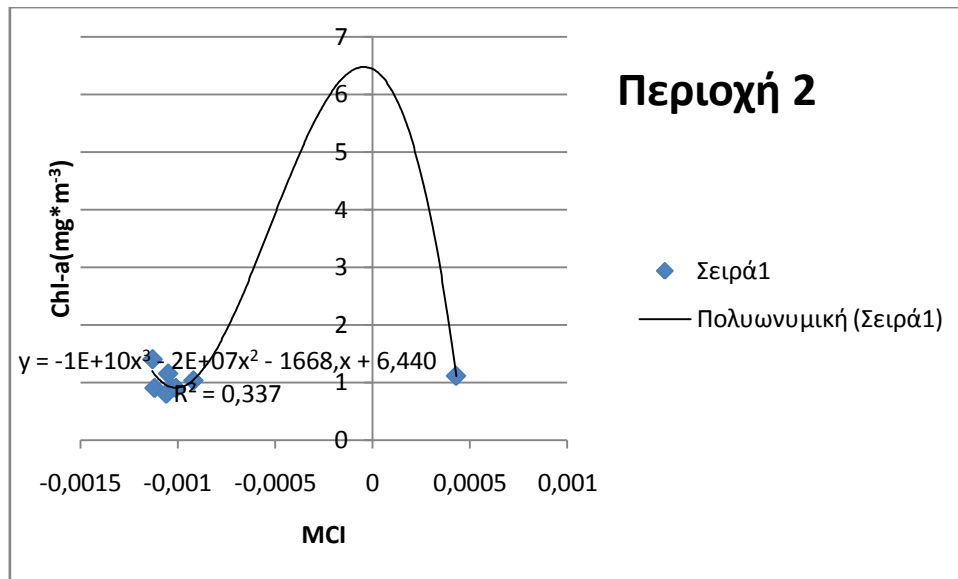
Αριθμός pixel	MCI	Chl-a NASA
Pixel 1	0,00002	0,9
Pixel 2	0,00014	0,9
Pixel 3	-0,00016	4
Pixel 4	0,0002	3,9
Pixel 5	-0,00007	1,4
Pixel 6	0,00002	0,9
Pixel 7	0,0001	1,072
Pixel 8	0,00043	1,11
Pixel 9	-0,00112	0,9
Pixel 10	-0,00103	0,9
Pixel 11	-0,00113	1,4
Pixel 12	-0,00106	0,8
Pixel 13	-0,00092	1,03
Pixel 14	-0,00101	0,9
Pixel 15	-0,00105	1,15

Πίνακας 50: Τιμές MCI, chl-a για καθένα από τα 15 pixel



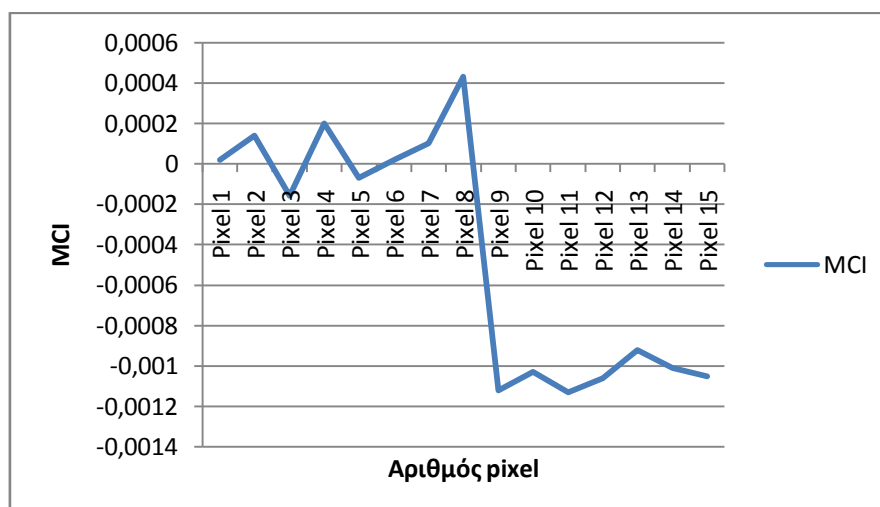
Διάγραμμα 45: Παλινδρόμηση για την περιοχή 1





**Διάγραμμα 46:** Παλινδρόμηση για τη 2<sup>η</sup> περιοχή

Η καμπύλη γραμμής τάσεως που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα, για την πρώτη περιοχή, είναι σε αυτήν την περίπτωση 2<sup>ου</sup> βαθμού, με ισχυρό συντελεστή  $R^2$  (0,9). Ο δείκτης MCI λαμβάνει και θετικές τιμές για κάποια pixel αλλά με τιμή πολύ κοντά στο μηδέν. Τα περισσότερα σημεία είναι στο κάτω μέρος του διαγράμματος, ενώ μόνο δύο εξ αυτών βρίσκονται ψηλά, σε τιμές χλωροφύλλης κοντά στα  $4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Για τη δεύτερη περιοχή η γραμμή τάσεως είναι πολυωνυμική 3<sup>ου</sup> βαθμού, με μικρό όμως συντελεστή  $R^2$ . Τα δεδομένα-πλην ενός-έχουν αρνητικές τιμές MCI, και είναι όλα συγκεντρωμένα στο κάτω μέρος του διαγράμματος, και έχουν πολύ κοντινές τιμές MCI και χλωροφύλλης-α, σε αντιδιαστολή με τα pixel της πρώτης περιοχής. Όπως απεικονίζεται στην παραπάνω εικόνα, η περιοχή 1 έχει πιο ανοιχτές τιμές του γκρι, συγκριτικά με τη 2<sup>η</sup>, που έχει πιο σκούρες τιμές του γκρι, άρα και πιο χαμηλές τιμές MCI και χλωροφύλλης. Στο ακόλουθο διάγραμμα απεικονίζεται αυτή η διαφοροποίηση μεταξύ των pixel της πρώτης περιοχής(1-7), και της 2<sup>ης</sup>(8-15):



**Διάγραμμα 47:** Διάγραμμα MCI(22/04/2017)

Πριν από την προαναφερθείσα διαδικασία, έγινε προσπάθεια υπολογισμού του δείκτη NDCI(Normalized Difference Chlorophyll Index) στις εικόνες, χωρίς να τις έχουμε διορθώσει ατμοσφαιρικά, αλλά και χωρίς την εφαρμογή φίλτρου. Ο δείκτης NDCI αποτελεί έναν γνωστό δείκτη εκτίμησης της χλωροφύλλης σε παράκτια ύδατα κάνοντας χρήση των καναλιών BAND4(κόκκινο κανάλι) και BAND5(κανάλι εκτίμησης βλάστησης στο red edge) του MSI, μέσω της ακόλουθης σχέσης:

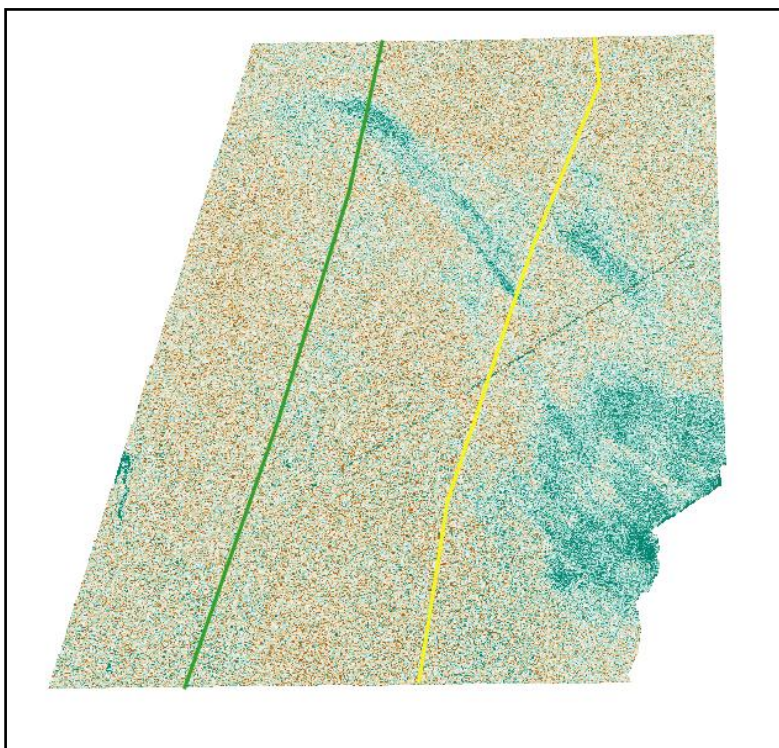
**Normalized Difference Chlorophyll Index (NDCI):**

$$\text{NDCI} = \frac{R(708) - R(665)}{R(708) + R(665)}$$

*Mishra, 2012*

Τις παραχθείσες εικόνες τις χωρίσαμε σε τρεις περιοχές ανάλογα πάντα με την απόσταση από τη στεριά, και επιλέξαμε 15 pixel σε σύνολο, 5 από κάθε περιοχή. Για αυτά τα pixel σημειώσαμε την τιμή του NDCI(από τα δικά μας αποτελέσματα), και την τιμή της chl-a από τη NASA, και κάναμε παλινδρομήσεις ανά περιοχή.

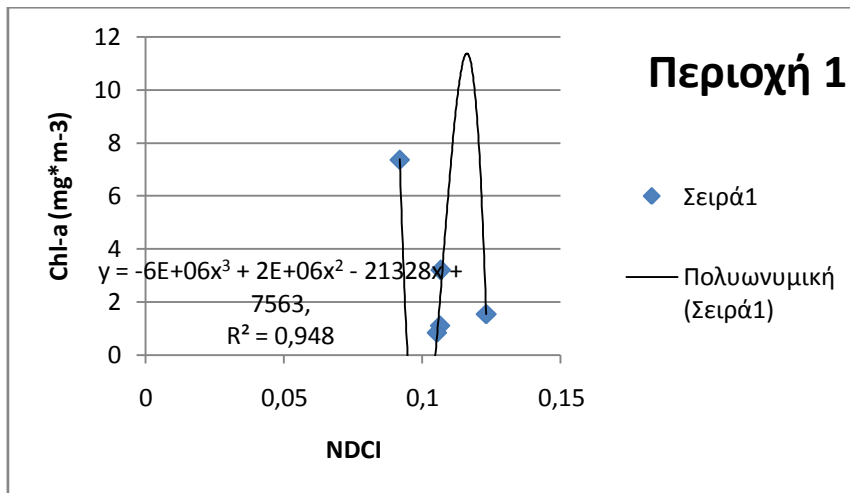
Παρουσιάζουμε λοιπόν ενδεικτικά μια εικόνα του προαναφερθέντος δείκτη, καθώς και μια από τις παλινδρομήσεις που έγιναν στο excel, αποδεικνύοντας πως η συγκεκριμένη διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων Sentinel 2 ήταν λανθασμένη, και άρα απορριπτέα, για αυτό και ακολουθήσαμε εντέλει τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε λίγο παραπάνω. Φυσικά έχουμε μασκάρει τη στεριά και τα σύννεφα με όλη τη διαδικασία να λαμβάνει χώρα σε περιβάλλον Quantum GIS.

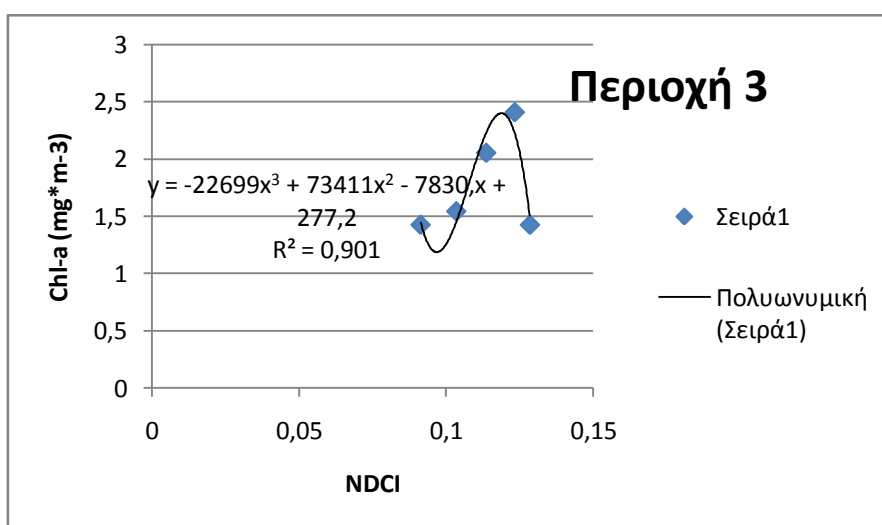
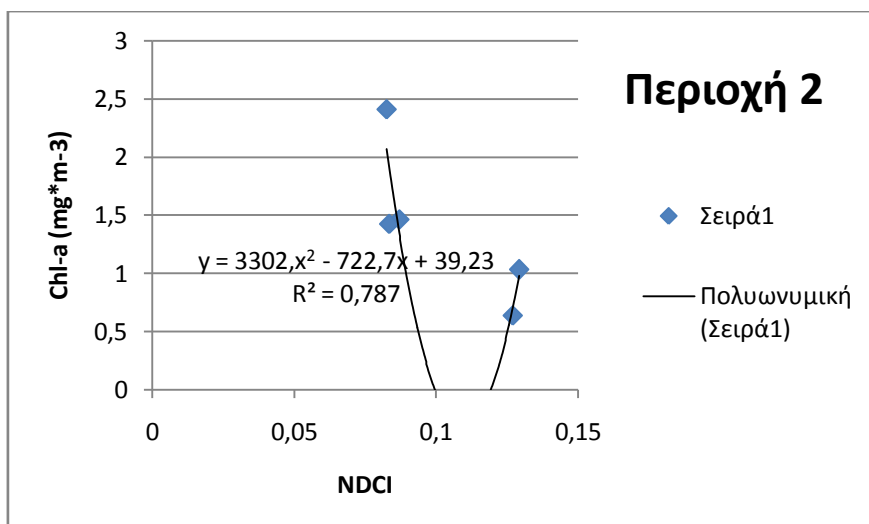


Δείκτης NDCI, και χωρισμός εικόνας σε 2 περιοχές (18/02/2017)

	NDCI	Chl-a
Pixel 1	0,106667	3,196
Pixel 2	0,123173	1,544
Pixel 3	0,0917647	7,365
Pixel 4	0,106383	1,111
Pixel 5	0,105263	0,836
Pixel 6	0,0825688	2,409
Pixel 7	0,0871369	1,465
Pixel 8	0,0835214	1,426
Pixel 9	0,129252	1,033
Pixel 10	0,127021	0,639
Pixel 11	0,0913349	1,426
Pixel 12	0,123288	2,409
Pixel 13	0,113586	2,055
Pixel 14	0,103448	1,544
Pixel 15	0,12844	1,426

Πίνακας 51: Τιμές NDCI/Chl-a για καθένα από τα 15 pixel (18/02/2017)





**Διάγραμμα 48:** Παλινδρομήσεις ανά περιοχή

Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν είναι τα εξής:

- Ο δείκτης NDCI, επηρεασμένος από το θόρυβο των εικόνων, εμφανιζόταν και αυτός στις καινούργιες εικόνες με τη μορφή θορύβου.
- Τα rixel που επιλέγαμε ανά περιοχή δεν παρουσίαζαν ομοιομορφία, ούτε ως προς τον δείκτη ούτε ως προς την chl-a. Κατανέμονταν σε όλη τη περιοχή του γραφήματος, ακόμα και αν οι παλινδρομήσεις ανά περιοχή έδωσαν υψηλό  $R^2$
- Ενώ θα έπρεπε να υπάρχει μεταβολή του δείκτη όσο απομακρυνόμαστε στη στεριά, παρατηρήθηκε ομοιομορφία σε όλη την εικόνα

Συμπερασματικά καταλήγουμε στο ότι τα δεδομένα Sentinel 2 δεν ήταν ικανοποιητικά για τη μελέτη του συγκεκριμένου φαινομένου στους ωκεανούς εξαιτίας του λευκού θορύβου και της ραβδοποίησης που παρατηρήθηκε στις εικόνες. Παρά την εφαρμογή φίλτρων δε καταφέραμε να τα εξαλείψουμε όσο θέλαμε, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν τις τιμές του δείκτη MCI ο οποίος όπως στα δεδομένα Sentinel 3 έπρεπε να πέφτει αισθητά μακριά από τη στεριά. Επομένως, ο Sentinel 2 δεν ανταποκρίθηκε στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, για αυτό κάναμε και χρήση εικόνων Sentinel 3, ιδανικού για μελέτες ωκεανών. Ωστόσο, η επεξεργασία δεδομένων Sentinel στην πλατφόρμα SNAP, ήταν αρκετά εύκολη, οπότε τη συνιστάμε κατά γενική ομολογία σε άλλες περιπτώσεις.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

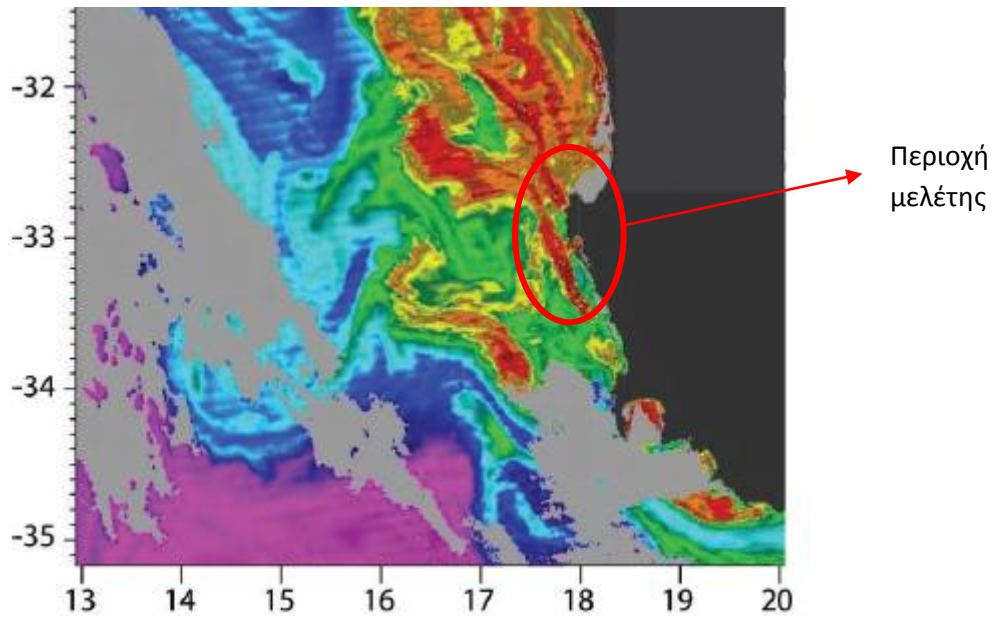
---

## 5.Επεξεργασία φαινομένου στην Μπενγκουέλα

Προκειμένου να γίνει η σύγκριση του φαινομένου σε περιοχή που υφίσταται μόνο σε συγκεκριμένους μήνες του έτους (Χιλή) και σε περιοχή που υφίσταται όλο το χρόνο(Μπενγκουέλα), ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία επεξεργασίας για τη χρονολογία 2016. Απώτερος σκοπός ήταν η ανάδειξη της διαφορετικότητας της έντασης του φαινομένου μιας και αναμένουμε στην περιοχή της Νοτίου Αφρικής να δούμε υψηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α όλη τη διάρκεια του έτους .Ακολουθεί όλη η διαδικασία της επεξεργασίας στα επόμενα εδάφια.

### 5.1 Άντληση εικόνων

Κατεβάστηκαν εικόνες Landsat 8 μη ατμοσφαιρικά διορθωμένες από την ιστοσελίδα LandsatLook της USGS για τη συγκεκριμένη περιοχή, για το έτος 2016. Σημειώνουμε πως – σε αντιδιαστολή με τη Χιλή που είχαμε δυο απεικονιζόμενες περιοχές-οι εικόνες που αφορούν τη Μπενγκουέλα αντιστοιχούν σε μια μόνο περιοχή. Επιλέξαμε το συγκεκριμένο έτος λόγω πληθώρας εικόνων για τη συγκεκριμένη περιοχή(με ελάχιστη κάλυψη από σύννεφα)συγκριτικά με τις υπόλοιπες χρονιές. Επιλέχθηκαν εικόνες με ελάχιστη ως μηδαμινή κάλυψη από σύννεφα, ενώ είναι στο σύστημα αναφοράς WGS 84(World Geodetic System 1984) κάνοντας χρήση της εγκάρσιας μερκατορικής προβολής (Universal Transverse Mercator coordinate system)στη ζώνη 33N. Όπως παρουσιάζεται και στην ακόλουθη εικόνα, η περιοχή μελέτης εκτείνεται από 33-34 S και 17-18 W:



Εικόνα 31: Δεύτερη περιοχή μελέτης, Μπενγκουέλα

Πηγή: Ian S. Robinson, "Discovering the ocean from space"

Οι ημερομηνίες λήψεως για την εκάστοτε εικόνα που χρησιμοποιήθηκε, είναι οι εξής:

### **2016**

17 Φεβρουαρίου

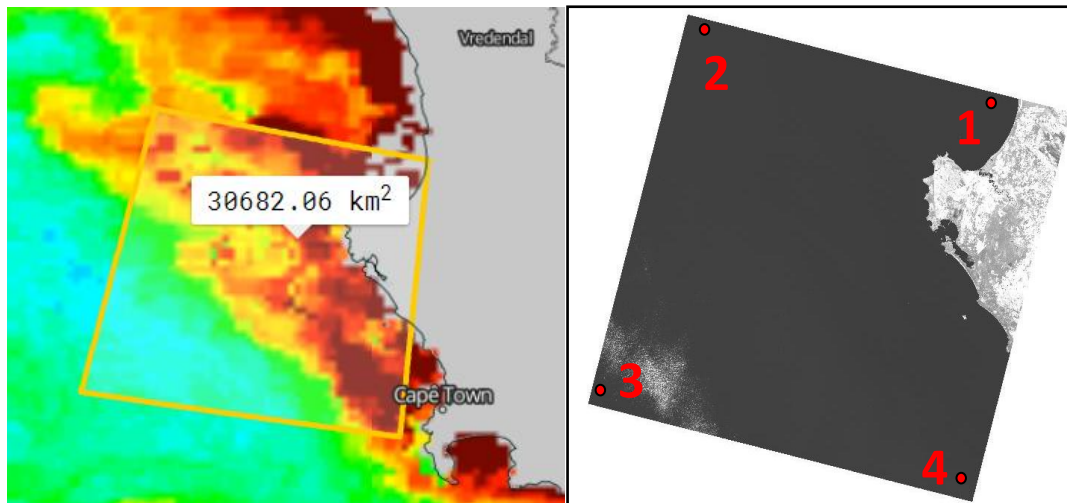
4 Μαρτίου

8 Ιουνίου

10 Ιουλίου

17 Δεκεμβρίου

Όπως πράξαμε και στην περίπτωση της Χιλής όλες οι τιμές χλωροφύλλης και θερμοκρασίας συγκρίθηκαν με τις τιμές του προϊόντος της NASA για τη συγκεκριμένη περιοχή. Η περιοχή της Μπενγκουέλα, μαζί με τις γεωγραφικές συντεταγμένες στο WGS84 των γωνιών της εικόνας, είναι η εξής:



Αριστερή εικόνα: Οριοθέτηση περιοχή μελέτης στο προϊόν της NASA

Δεξιά εικόνα : Εικόνα με αρίθμηση σημείων στις γωνίες

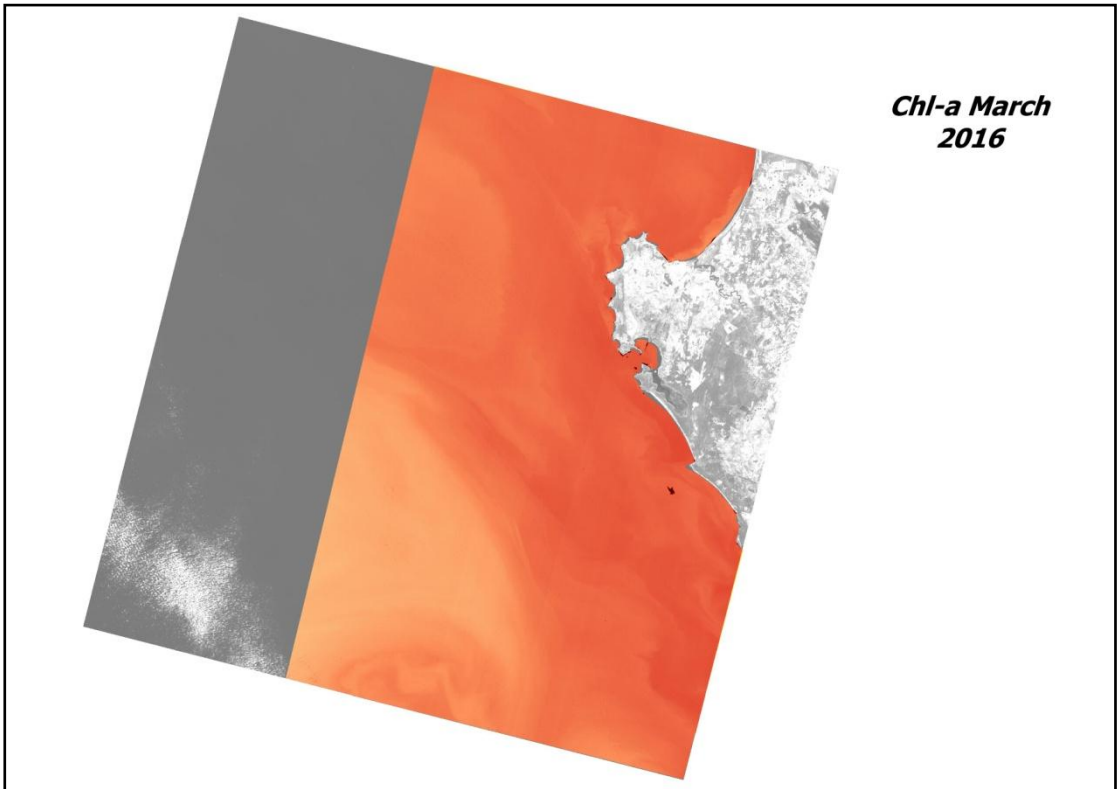
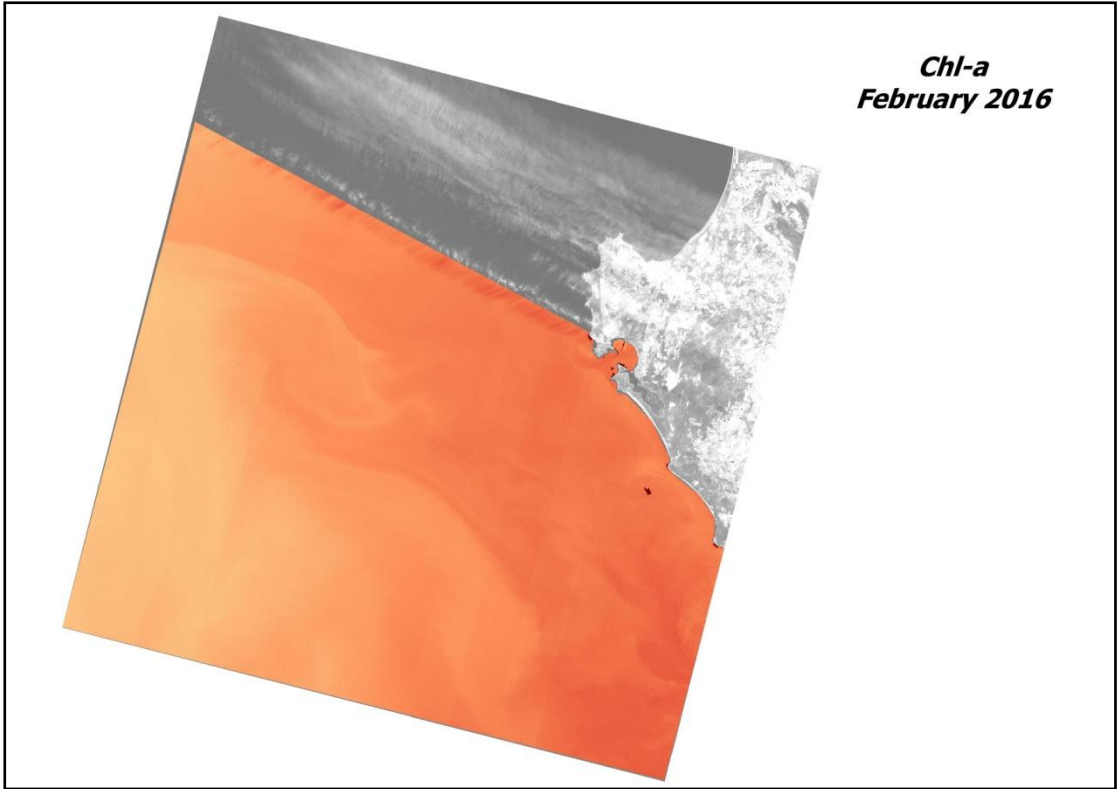
Αριθμός Σημείου	Γεωδαιτικές συντεταγμένες WGS84 (φ,λ)
1	(18.33 , -32.46)
2	(16.64 , -32.13)
3	(16.15, -33.83)
4	(18.17 , -34.23)

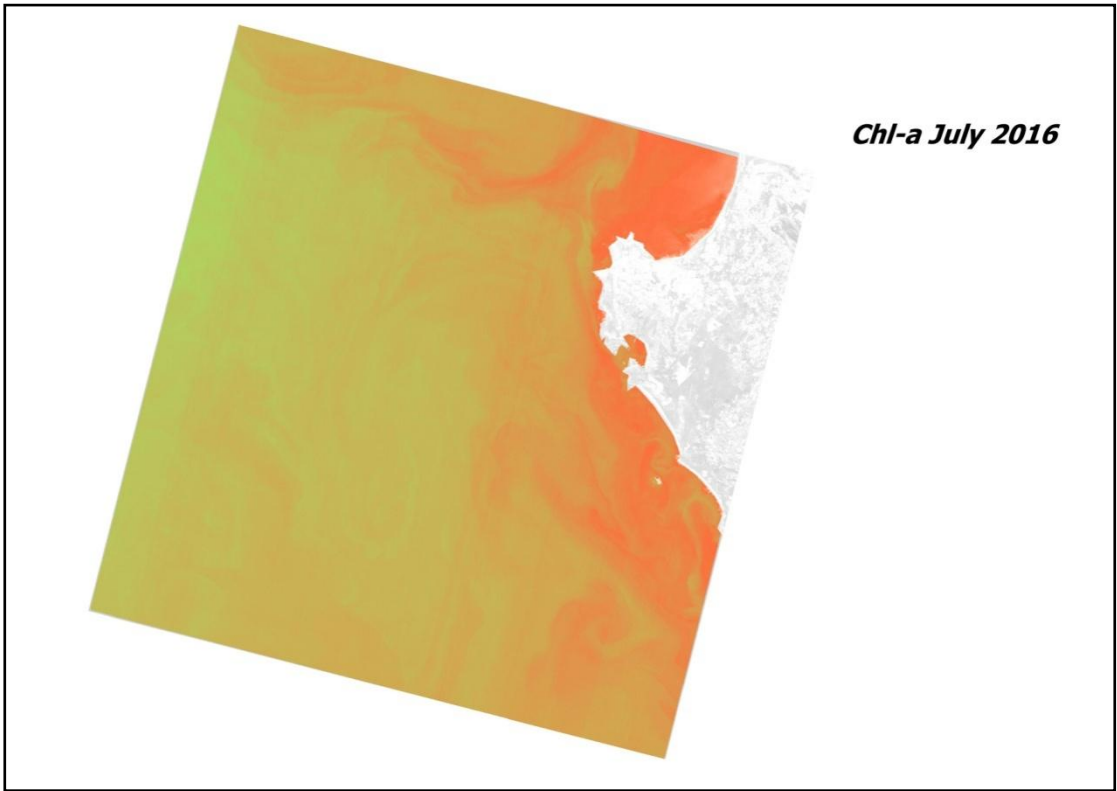
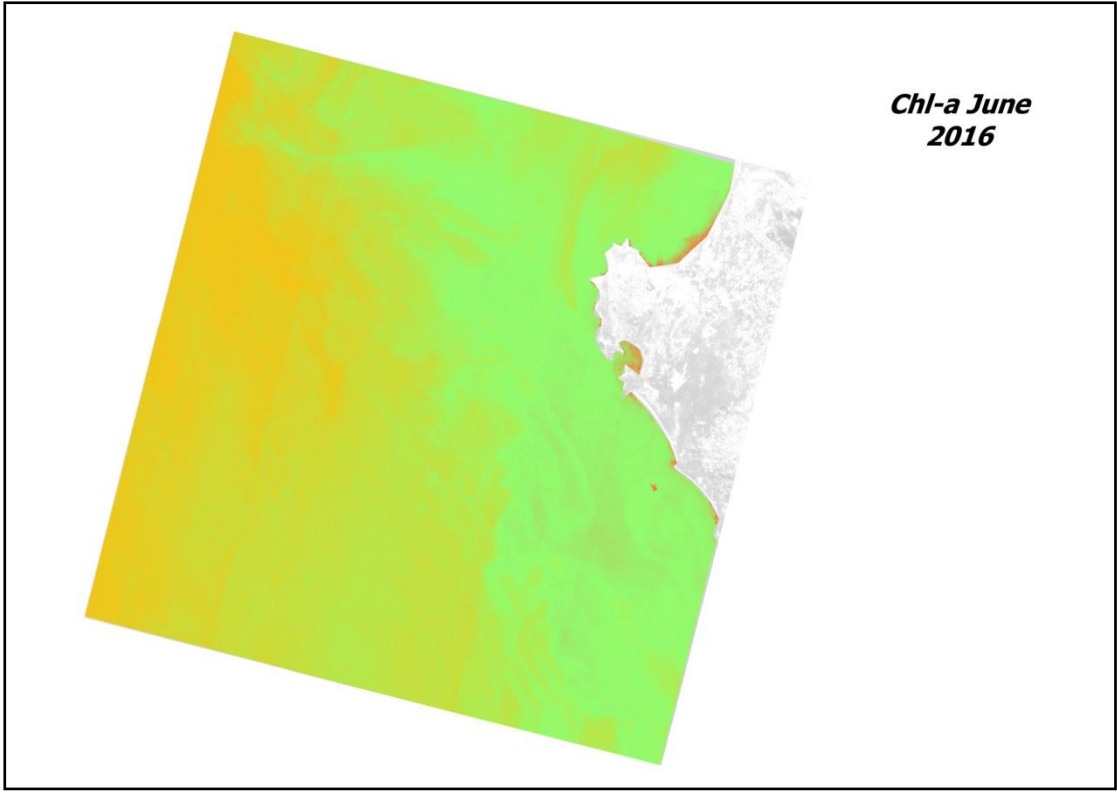
Πίνακας 52: Πίνακας γεωδαιτικών συντεταγμένων φ,λ στο WGS84 για τη περιοχή της Μπενγκουέλα

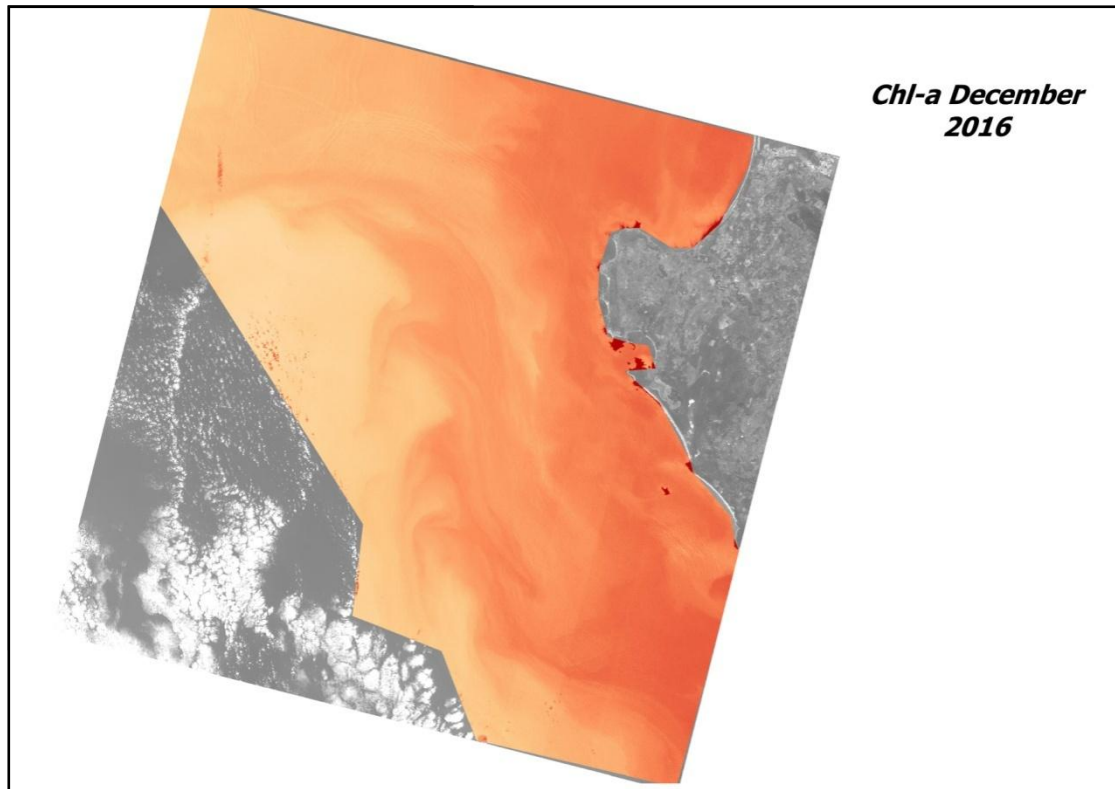
## 5.2 Δεδομένα χλωροφύλλης-α

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τη διαδικασία εξαγωγής chl-a για την περιοχή της Χιλής το έτος 2016 (μασκάρισμα ξηράς, σύννεφων κτλ) εξήχθησαν χάρτες για όλους τους διαθέσιμους μήνες του συγκεκριμένου έτους. Εφόσον το φαινόμενο της παράκτιας ωκεάνιας ανάβλυσσης στην Μπενγκουέλα εμφανίζεται έντονα όλο το χρόνο, οι τιμές chl-a αναμένονταν να είναι ιδιαίτερα υψηλές και για αυτό χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος  $NDWI(Chl-a) = 17,878 * \frac{OLI4 - OLI1}{OLI4 + OLI1} + 5,636$  (Zhang, Hang, 2016). Επομένως και σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια της ορατής περιοχής του φάσματος (coastal και κόκκινο κανάλι). Η όλη επεξεργασία έγινε ομοίως στο QGIS. Οι χάρτες που κατασκευάστηκαν ακολουθούν:

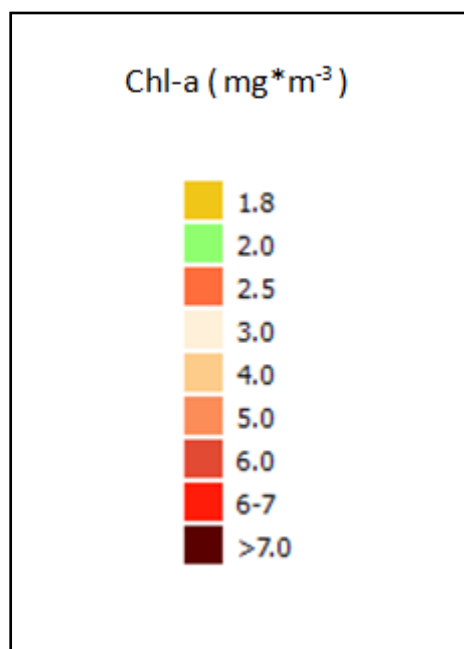








ΥΠΟΜΝΗΜΑ

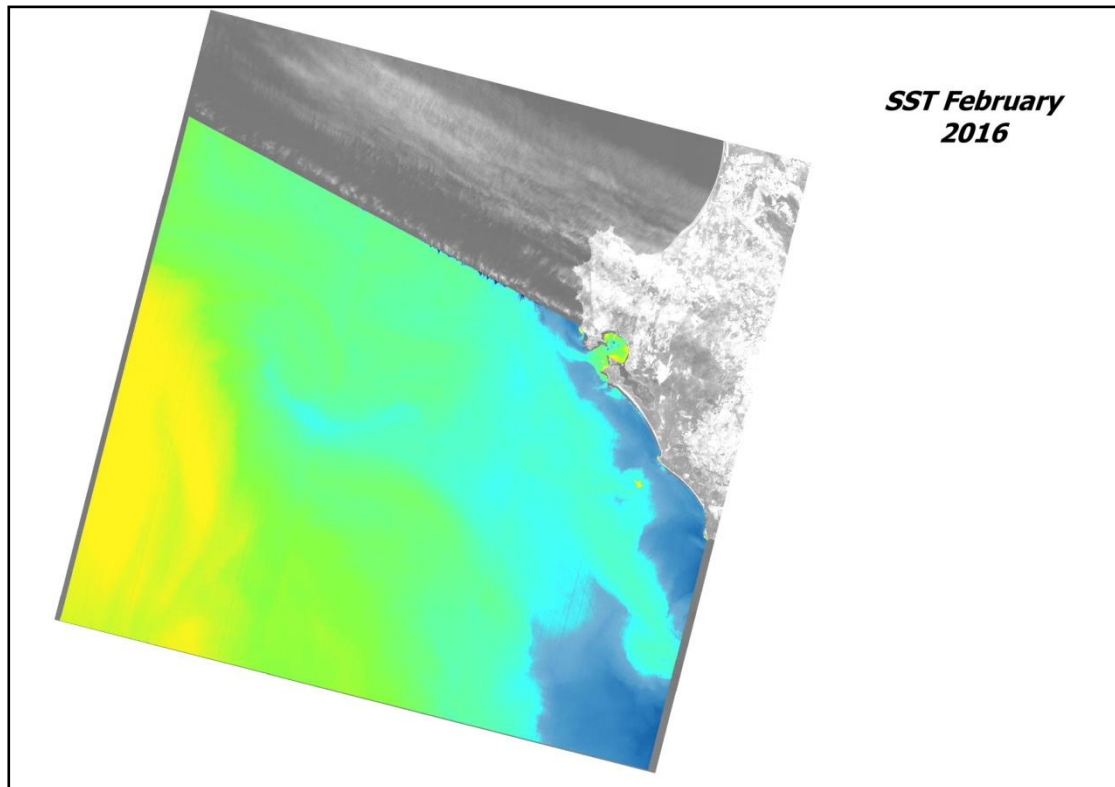


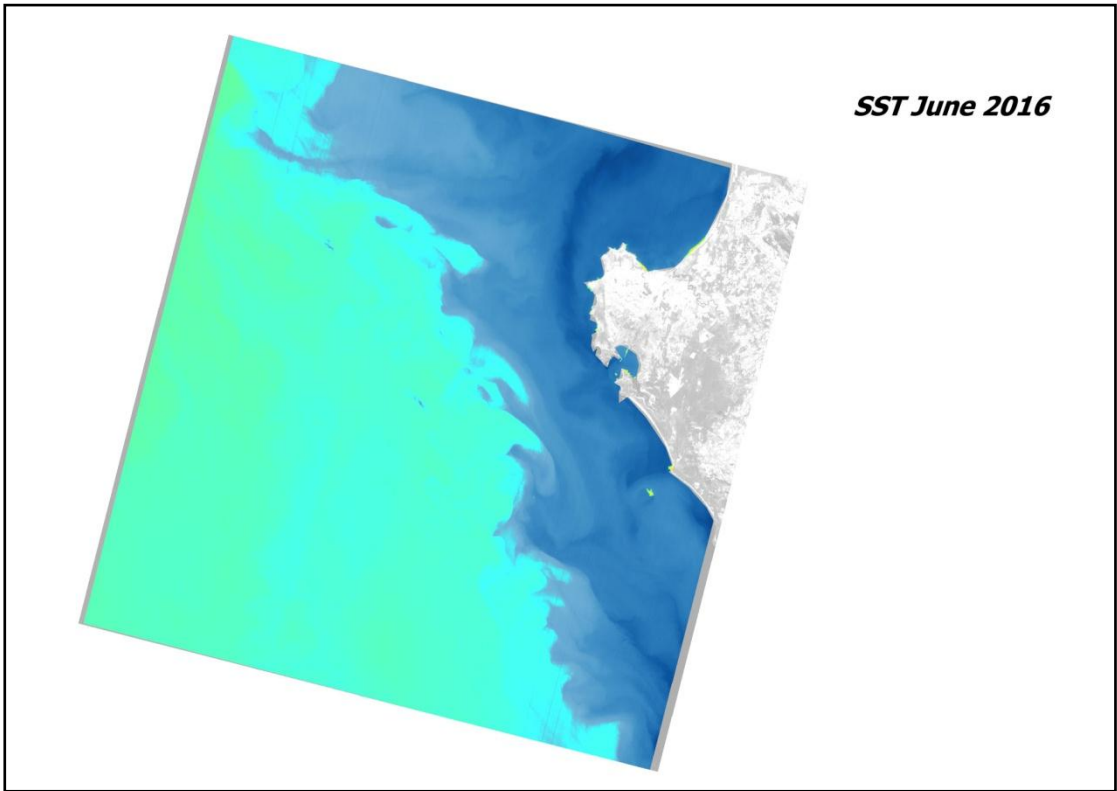
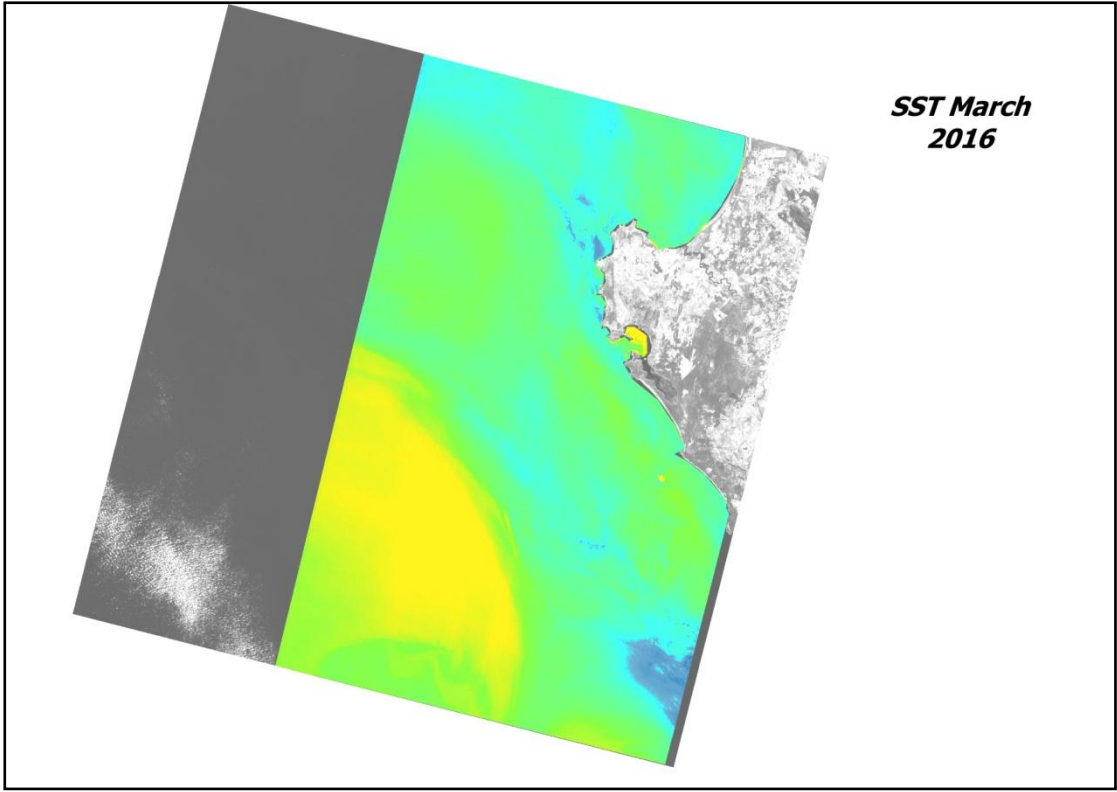
Κοιτώντας προσεκτικά τους χάρτες που κατασκευάσαμε για τη χλωροφύλλη παρατηρούμε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις κοντά στα  $6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  οι οποίες “πέφτουν” όσο προχωράμε προς τα μέσα του ωκεανού. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο (χειμερινούς μήνες κατά το Νότιο ημισφαίριο), στους οποίους οι συγκεντρώσεις μειώνονται αισθητά, φτάνοντας ακόμα και τα  $1-2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  πράγμα το οποίο φαίνεται να

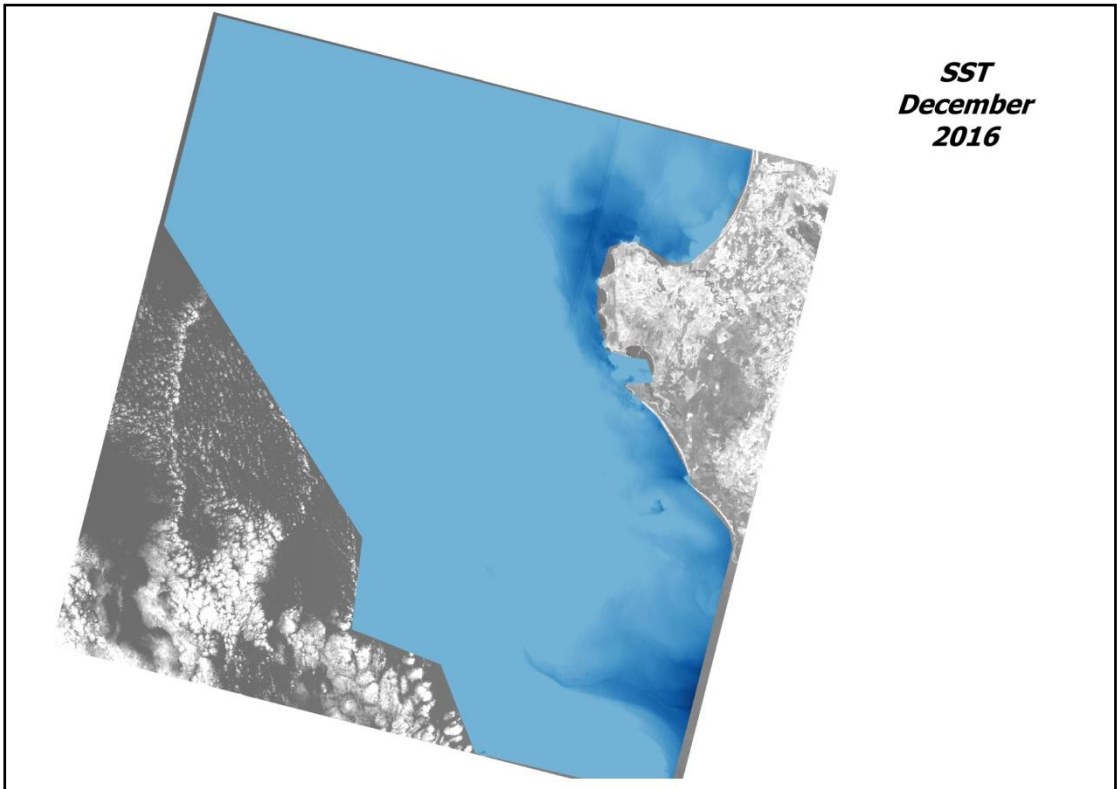
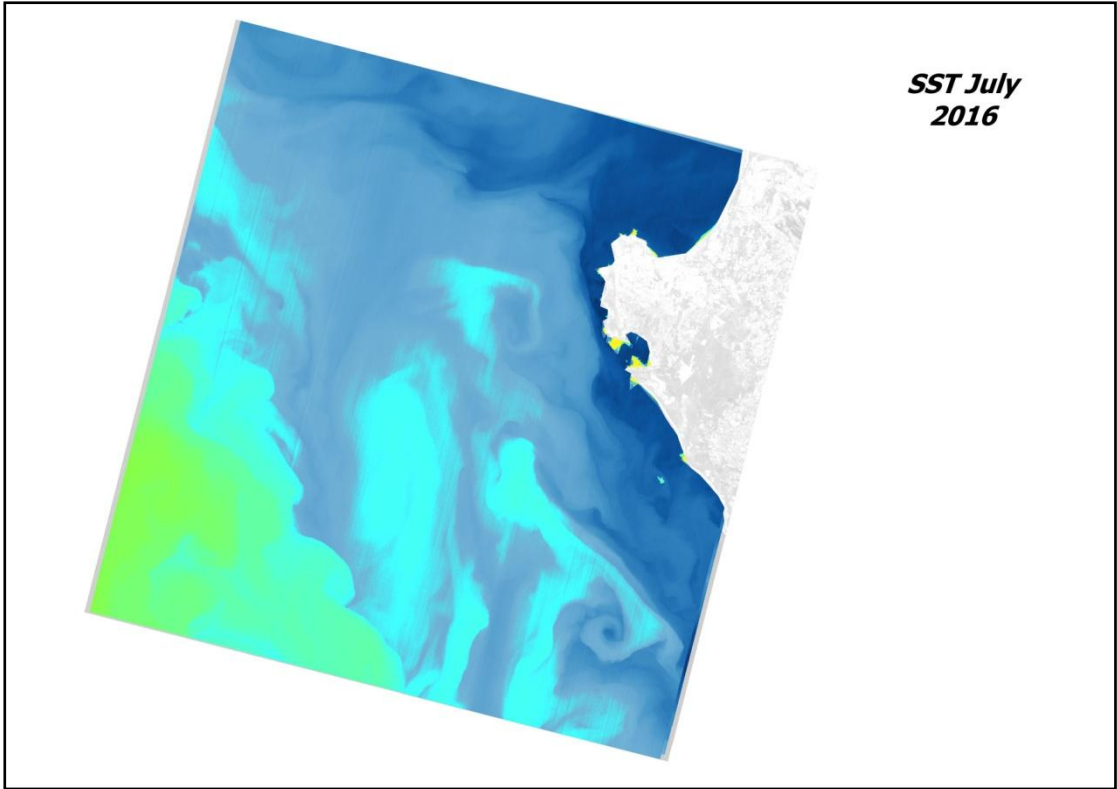
αντικρούει το γεγονός ότι το φαινόμενο στην περιοχή αυτή βρίσκεται σε έξαρση όλους τους μήνες. Λεπτομέρειες παρουσιάζονται σε παρακάτω κεφάλαιο στο οποίο παρατίθενται τα συμπεράσματα της εργασίας.

### 5.3 Δεδομένα θερμοκρασίας

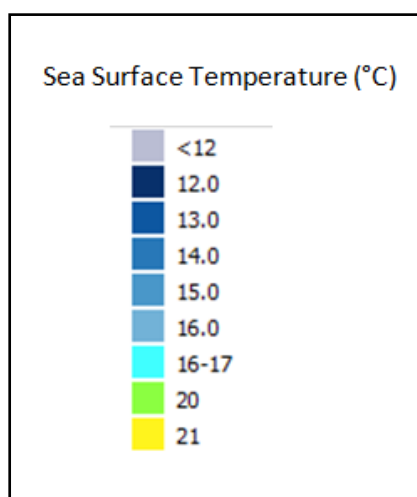
Ακολουθώντας και σε αυτό το σημείο τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή Sea Surface Temperature από δεδομένα Landsat 8 TIRS μέσω των καναλιών TIRS 10, TIRS11 για τη Χιλή, βγάλαμε και χάρτες θερμοκρασίας για το 2016 για τη Μπενγκουέλα:







## ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Με μια πρώτη ματιά διακρίνουμε υψηλές θερμοκρασίες για όλους του υπό μελέτη μήνες οι οποίες λόγω του φαινομένου είναι χαμηλότερες παράκτια και υψηλότερες στα εσωτερικά του Ατλαντικού όσο απομακρυνόμαστε από τη στεριά. Η ελάχιστη λοιπόν θερμοκρασία που παρατηρείται παράκτια αγγίζει τους 12° C, ενώ η μέγιστη-αρκετά μακριά από την ακτή-αγγίζει τους 21° C, υψηλή τιμή την οποία δεν είδαμε στην Χιλή.

Οι θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας είναι λογικό να ακολουθούν πτωτική πορεία τους χειμερινούς μήνες νοτίου ημισφαιρίου(Ιούνιο, Ιούλιο) όπως απεικονίζεται τόσο από την πτώση της καμπύλης, όσο και από τις σκούρες μπλε αποχρώσεις που παρατηρούνται αυτούς τους μήνες κοντά στον κόλπο της περιοχής μελέτης.

Υπενθυμίζουμε πως η ψηλότερη εξαχθείσα τιμή SST για την Χιλή, για όλη τη χρονοσειρά 2005-2016 ήταν οι 16,4 ° C.

### 5.4 Δεδομένα ανέμου

Τα δεδομένα ανέμου για τη περιοχή της Μπενγκουέλα της Νοτίου Αφρικής, αντλήθηκαν όπως και στη δεύτερη φάση στην περίπτωση της Χιλής από το παγκόσμιο προϊόν της [NASA](#) για τους ανέμους. Τα δεδομένα και στην περίπτωση αυτή αναφέρονται σε συγκεκριμένες μέρες που αντιστοιχούν επακριβώς στις ημερομηνίες λήψης των εικόνων από το δορυφόρο Landsat 8 για το έτος 2016. Σύμφωνα με σχετική βιβλιογραφία, οι άνεμοι στη συγκεκριμένη περιοχή πνέουν από νότο προς ανατολή το καλοκαίρι και από βορά προς δύση το χειμώνα.



17/2/2016

4/3/2016

Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>

Η επικρατούσα τιμή της ταχύτητας των ανέμων κατά τον μήνα Φεβρουάριο (αριστερή εικόνα) είναι περίπου 5-6 m/sec, στο τμήμα της περιοχής μελέτης. Η κατεύθυνση των διανυσμάτων είναι νοτιοανατολική, ενώ στο κάτω αριστερό τμήμα της εικόνας, υφίσταται μια κυκλική-στροβιλική κίνηση των ανέμων. Η τιμή της χλωροφύλλης είναι αρκετά υψηλή όπως συμβαίνει και όλη τη διάρκεια του έτους στη συγκεκριμένη περιοχή, με τιμές γύρω στα  $4,90 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Η μέση θερμοκρασία της θάλασσας είναι σχετικά υψηλή για την περιοχή μελέτης, για το έτος που εξετάζουμε, ξεπερνώντας τους  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  στα πιο ανοιχτά του πελάγους, ενώ πιο κοντά στην ακτή λαμβάνει χαμηλότερες τιμές κοντά στους  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Η κατεύθυνση του ανέμου για τον μήνα Μάρτιο (δεξιά εικόνα) του ίδιου έτους είναι από νότο προς βορά με διεύθυνση σχεδόν παράλληλη προς την ακτή. Οι άνεμοι –όπως βλέπουμε-υφίστανται σε αρκετή απόσταση από την ακτή αλλά πιο ισχυροί συγκριτικά με τον προηγούμενο μήνα με τιμή ταχύτητας γύρω στα 8 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Όσον αφορά τη τιμή υπάρχουσας χλωροφύλλης για τις αρχές του μήνα Μάρτη, κυμαίνεται γύρω στα  $5,7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  παράκτια, λίγο υψηλότερη από τον Φλεβάρη. Η θερμοκρασία επιφανειακού στρώματος νερού (SST) λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της, αγγίζοντας τους  $21,2 \text{ }^\circ\text{C}$  (στα πιο ανοιχτά του ωκεανού) όπως έχουμε παρουσιάσει οπτικά σε παραπάνω στάδιο της εργασίας μας, με μέση τιμή τους  $18,8 \text{ }^\circ\text{C}$ .





8/6/2016

10/7/2016

Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>

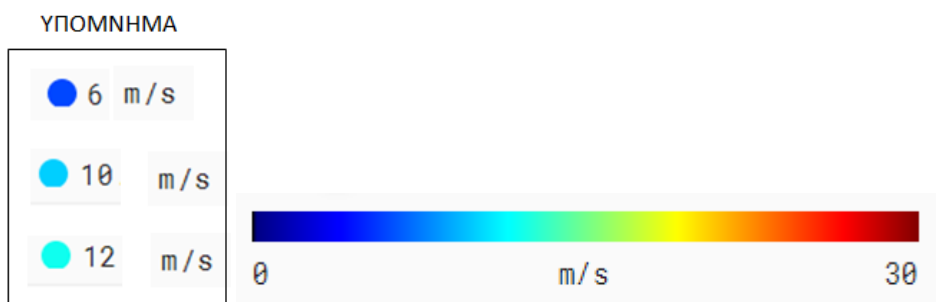
Για τις αρχές του μηνός Ιουνίου(αριστερή εικόνα) η κατεύθυνση των υπαρχόντων ανέμων είναι από βορρά προς δύση, με επικρατούσα τιμή ταχύτητας τα 8 m/sec σε κοντινή απόσταση από την ακτή. Στο κάτω δεξιό τμήμα της εικόνας αποκτούν κατεύθυνση νοτιοανατολική και μεγαλύτερη ταχύτητα η οποία αγγίζει τα 10 m/sec. Η τιμή της συγκεντρωμένης χλωροφύλλης-α χαμηλότερη, κοντά στα  $1,78 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  και η επιφάνεια της θάλασσας έχει μέση θερμοκρασία  $17,7^\circ \text{C}$ .

Τον μήνα Ιούλιο όπως αποδείχτηκε παραπάνω, η συγκέντρωση chl-a φτάνει τα  $2,17 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , και η θερμοκρασία της επιφάνειας του νερού έχει μια μέση τιμή  $19,39^\circ \text{C}$ , πιο υψηλή από του μηνός Ιουνίου. Οι υψηλότερες τιμές εντάσεων ανέμων τον Ιούλιο φτάνουν τα 10 m/sec. Πλέον τα διανύσματα έχουν αλλάξει κατεύθυνση και στρέφονται βορειοδυτικά.



17/12/2016

Πηγή: <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>



Φτάνοντας στο μήνα Δεκέμβριο(καλοκαίρι για το νότιο ημισφαίριο) οι άνεμοι έχουν λάβει πλέον κατεύθυνση καθαρά από νότο προς βορρά και από νότο προς ανατολή, με τιμές εντάσεως υψηλές σε σχέση με τους προαναφερθέντες μήνες. Πιο συγκεκριμένα, τα διανύσματα αποκτούν πιο ανοιχτό χρώμα το οποίο αντιστοιχεί στα 10-12 m/sec ταχύτητα, ιδίως ακριβώς μπροστά από τον κόλπο που μελετάμε. Εκατέρωθεν του κόλπου οι τιμές εντάσεως ανέμου μειώνονται ελαφρώς, με κατώτερο κατώφλι τα 8 m/sec. Τον συγκεκριμένο μήνα του καλοκαιριού, η chl-a είχε ομοίως υψηλές τιμές παράκτια (γύρω στα  $5,7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). Παρατηρούνται επομένως ελάχιστες διαφοροποιήσεις στις τιμές ταχύτητας ανέμου με το μόνο που αλλάζει να είναι η κατεύθυνση των διανυσμάτων.

Με βάση λοιπόν τα διανύσματα του ανέμου επαληθεύεται το βιβλιογραφικό υπόβαθρο: Η κατεύθυνση των ανέμων κατά τους χειμερινούς μήνες είναι από βορά προς δύση, ενώ κατά τους θερινούς από νότο προς ανατολή.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

---

## 6. Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

Στο 6<sup>ο</sup> και τελευταίο αυτό κεφάλαιο παρουσιάζονται αρχικά κάποιες παρατηρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια επεξεργασίας των δεδομένων, οι οποίες οδήγησαν με τη σειρά τους σε περαιτέρω ανάλυση του φαινομένου.

Τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν από τη διπλωματική εργασία παρουσιάζονται με τη μορφή συγκεντρωτικών διαγραμμάτων με τις μέσες τιμές για κάθε μήνα για όλα τα χρόνια από το 2005-2016. Κατασκευάστηκαν διαγράμματα και ραβδογράμματα στο excel, ενώ επίσης φτιάξαμε και γραμμές τάσεως προσπαθώντας να προσαρμόζονται όσο το δυνατόν καλύτερα στα αποτελέσματά μας.

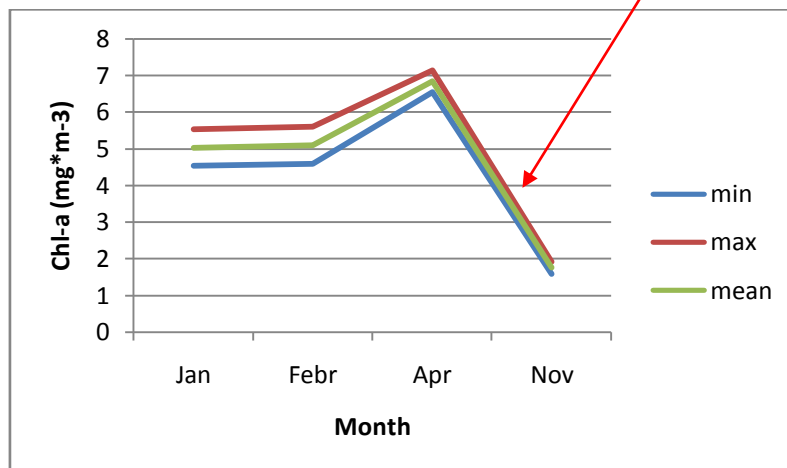
Επιλέχθηκε κυρίως η πολυωνυμική γραμμή τάσης αφού είναι καταλληλότερη όταν υπάρχουν διακυμάνσεις στα δεδομένα. Είναι δευτέρου βαθμού, διότι επιθυμούσαμε να εμφανίζει μόνο ένα μέγιστο ή ένα ελάχιστο, δηλαδή μια κούρβα στους μήνες που παρατηρείται εξασθένιση του φαινομένου. Επιπρόσθετα επιλέξαμε από το πρόγραμμα να μας εμφανίζει την τιμή  $R^2$  που δείχνει πόσο καλά προσαρμόζεται η καμπύλη στα δεδομένα.

Μιας και μελετήθηκαν και οι δυο περιοχές (Χιλή-Μπενγκουέλα) στο τρέχον και τελευταίο αυτό κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση τους, βασιζόμενη κυρίως στις τιμές χλωροφύλλης που εμφανίζονται στις δύο περιοχές κατά τη διάρκεια του χρόνου. Επιπροσθέτως, εξήχθησαν συμπεράσματα γενικά με το παράκτιο φαινόμενο της άμβλυσης, με το πώς εμφανίζεται στις δύο υπό μελέτη περιοχές, με το πώς ανταποκρίθηκαν τα χρησιμοποιηθέντα δεδομένα και οι χρησιμοποιηθέντες αλγόριθμοι-δείκτες στην μελέτη του φαινομένου, και τέλος παρουσιάζουμε κάποιες προοπτικές για επιπλέον εξέταση του φαινομένου της ανάβλυσης στο μέλλον.

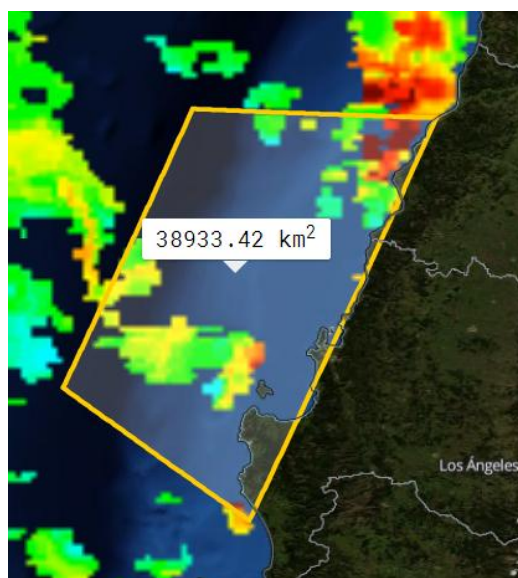
## 6.1 Παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων

### 6.1.1 Παρατηρήσεις για τη Χιλή

Τον Νοέμβριο του 2015 στη Χιλή παρατηρήσαμε μια μη φυσιολογική πτώση στην καμπύλη χλωροφύλλης, και προσπαθήσαμε να καταλάβουμε που οφείλεται αυτή η πτώση.



Κατά τη διαδικασία ελέγχου των αποτελεσμάτων από το προϊόν της NASA η μη επαρκής ποσότητα χλωροφύλλης παρατηρήθηκε και εκεί:



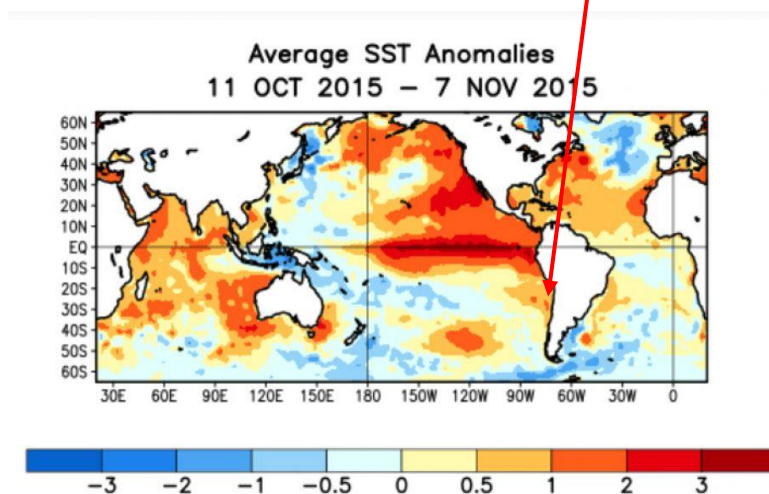
Εικόνα 32:Στιγμιότυπο περιοχής μελέτης από το προϊόν της NASA,για το Νοέμβριο του 2015

Όπως βλέπουμε το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έχει σχεδόν μηδαμινές τιμές χλωροφύλλης (μπλε χρώμα). Ακολούθησε μια μικρή εξερεύνηση ώστε να αποφανθούμε που οφείλεται αυτή η ελαχιστοποίηση της χλωροφύλλης -α.

Η πτώση αυτή διαπιστώθηκε να οφείλεται στο φαινόμενο El Niño το οποίο εμφανίζεται στα κεντρικά και ανατολικά νερά του Ειρηνικού Ωκεανού κοντά στον Ισημερινό (ακτές του Περού). Πρόκειται ουσιαστικά για ένα μετεωρολογικό φαινόμενο το οποίο κάνει την εμφάνισή του προς τους χριστουγεννιάτικους μήνες και τα νερά στις περιοχές αυτές είναι θερμότερα συγκριτικά με άλλες περιοχές. Χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως χιονοπτώσεις, πυρκαγιές καθώς και με το λιώσιμο των πάγων στην Ανταρκτική. Όπως είναι λογικό, υπερίσχυση υψηλών θερμοκρασιών στην παράκτια περιοχή δεν ευνοεί την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν άρα και της χλωροφύλλης-α. Επομένως η μη αναμενόμενη πτώση της καμπύλης χλωροφύλλης είναι απόρροια του φαινομένου El Niño που έκανε την εμφάνισή του στην Χιλή τους τελευταίους μήνες του 2015.

Παρατηρήθηκε πρώτη φορά από ψαράδες της Νοτίου Αμερικής οι οποίοι το συνδύασαν με τη θεαματική μείωση των αλιευμάτων και την εμφάνιση ζεστών ρευμάτων στην περιοχή αλιείας, με ακανόνιστη περιοδικότητα ορισμένων χρόνων.

Η αμέσως παρακάτω εικόνα δείχνει τις ανωμαλίες που προκαλεί στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας το φαινόμενο El Niño για τους μήνες Οκτώβρη-Νοέμβρη. Η κορύφωση των ανωμαλιών είναι κυρίως πάνω στον Ισημερινό (έντονο πορτοκαλί χρώμα), αλλά ανωμαλίες παρατηρούνται και στην **περιοχή μελέτης μας (Χιλή)**.

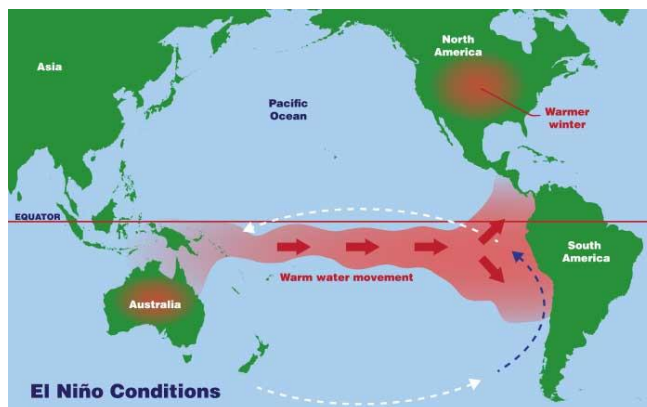


Εικόνα 33: Μέση τιμή ανωμαλίας SST για το 2015, μήνες Οκτώβρη και Νοέμβριος

Πηγή: <https://el.wikipedia.org>

Όπως βλέπουμε και στην ακόλουθη εικόνα υφίσταται μια μετακίνηση των θερμών ρευμάτων κατά μήκος του Ισημερινού με κατεύθυνση προς το πάνω τμήμα της νοτίου Αμερικής. Δεδομένων των όσων έχουμε αναλύσει σχετικά με το θεωρητικό υπόβαθρο του φαινομένου, υψηλές τιμές SST δεν ευνοούν την συγκέντρωση chl-a άρα και την εμφάνιση του φαινομένου της ωκεάνιας άμβλυσης. Το ζεστό νερό δρα ως "καπάκι" που εμποδίζει τα ψυχρά ύδατα να αναδυθούν από το βάθος του ωκεανού. Έτσι κατευνάζει το φαινόμενο του

“upwelling” τους συγκεκριμένους μήνες και περιορίζεται -ως επακόλουθο- η ύπαρξη ψαριών, θαλασσινών κτλ στην ευρύτερη περιοχή. Για τον λόγο αυτό, αποφασίσαμε να εξαιρέσουμε το έτος 2015 από την μελέτη και επεξεργασία μας καθώς τα εξαγόμενα-για αυτό το έτος –αποτελέσματα δεν ανταποκρίνονται στις συνήθεις συνθήκες αλλά σε ένα φαινόμενο που εμφανίζεται κάθε 2-8 χρόνια.



Εικόνα 34:Σχηματική απεικόνιση της μετακίνησης των ζεστών ρευμάτων προς τη Νότια Αμερική

Πηγή: <http://www.concernusa.org/story/what-are-el-nino-and-la-nina/>

### 6.1.2 Παρατηρήσεις για την Μπενγκουέλα

Όσον αφορά τη δεύτερη υπό μελέτη περιοχή παρατηρήσαμε στην εξαγωγή τιμών chl-a για το 2016 μια μη αναμενόμενη πτώση της καμπύλης για τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Αναμέναμε, σύμφωνα πάντα με τη σχετική βιβλιογραφία, υψηλές συγκεντρώσεις για όλο το χρόνο μιας και το φαινόμενο -σε αντιδιαστολή με τη Χιλή-θεωρείται “all-year round”. Για αυτό το λόγο, για να δούμε δηλαδή αν τα αποτελέσματά μας αντικρούουν τη βιβλιογραφία, πήραμε τιμές από τη NASA(τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές chl-a για κάθε ημερομηνία) για τα χρόνια από 2005-2015, ενώ παραλείψαμε το 2012, εφόσον αυτή η χρονιά δε μελετήθηκε ούτε για την περίπτωση της Χιλής. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο παρακάτω εδάφιο 6.2.2.

## 6.2 Αποτελέσματα chl-a

### 6.2.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη Χιλή

Η μέση κατανομή της συγκέντρωσης Chl-a στην περιοχή της κεντρικής-νότιας Χιλής προέκυψε να παρουσιάζει διακυμάνσεις, μεταξύ της περιοχής CUZ\* (0-100 χλμ από την ακτή) και της CTZ(περιοχή πέρα από τη CUZ,ως τα 76 ° W). Όπως φαίνεται στους χάρτες που κατασκευάστηκαν στο QGIS, στην ζώνη CUZ οι υψηλότερες τιμές της chl-a (> 3 mg · m<sup>-3</sup>) περιορίζονται στα παράκτια. Πέραν αυτής της ζώνης οι τιμές της chl-a πέφτουν αρκετά, περίπου στα 2-3 mg\*m<sup>-3</sup>, όπως μαρτυράει και το πιο πορτοκαλί-πρασινωπό χρώμα στους παραχθέντες χάρτες, όσο προχωράμε προς τα ανοιχτά του Ειρηνικού Ωκεανού πέρα των 100 χλμ από την ακτή.

\*Υπενθύμιση:CUZ=Coastal Upwelling Zone , CTZ=Coastal Transition Zone

Ακολουθούν δυο συγκεντρωτικοί πίνακες με τις μέσες τιμές chl-a(σε  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )ανά μήνα, για όλα τα έτη 2005-2016:Ο πάνω πίνακας περιέχει τις τιμές που εμείς βγάλαμε, ενώ ο κάτω τις τιμές της NASA. Να τονίσουμε πως οι min τιμές αναφέρονται στις συγκεντρώσεις στα ανοιχτά του ωκεανού και οι max τιμές στα παράκτια ύδατα.

Chl-a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
Month	min	max
Jan	4,10935	6,07420625
Febr	3,828085	4,80862
Mar	3,192853	4,306326667
Apr	2,50113	2,83074
May	2,30584	2,695045
June	2,56797	2,8531
July	2,14982	2,60159
Aug	2,546168	3,18284
Sept	3,827677	4,82832
Oct	4,3063	5,51875
Dec	4,21267	5,720148

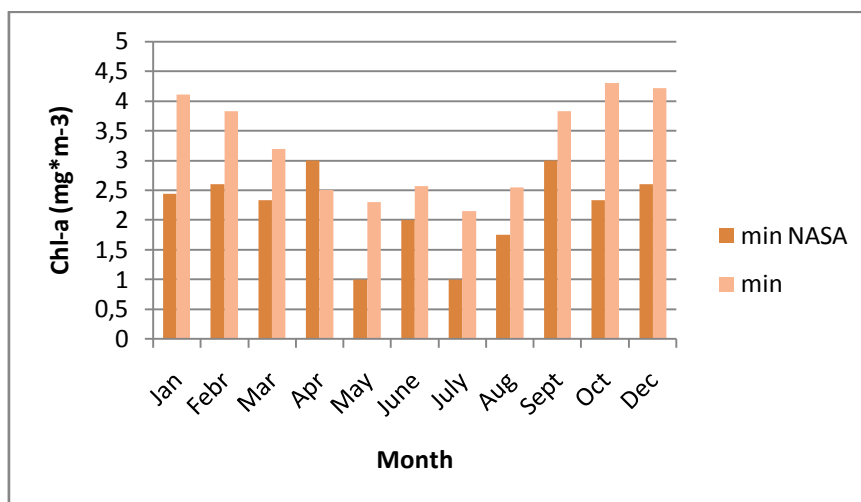
Πίνακας 53:Συγκεντρωτικές τιμές chl-a για τη Χιλή, 2005-2016

Chl-a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
Month	min NASA	max NASA
Jan	2,444444	5,75
Febr	2,6	5,2
Mar	2,333333	4
Apr	3	4,666666667
May	1	2,5
June	2	3
July	1	2
Aug	1,75	3
Sept	3	3,5
Oct	2,333333	6,333333333
Dec	2,6	5,8

Πίνακας 54:Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών chl-a της NASA για τα έτη 2005-2016

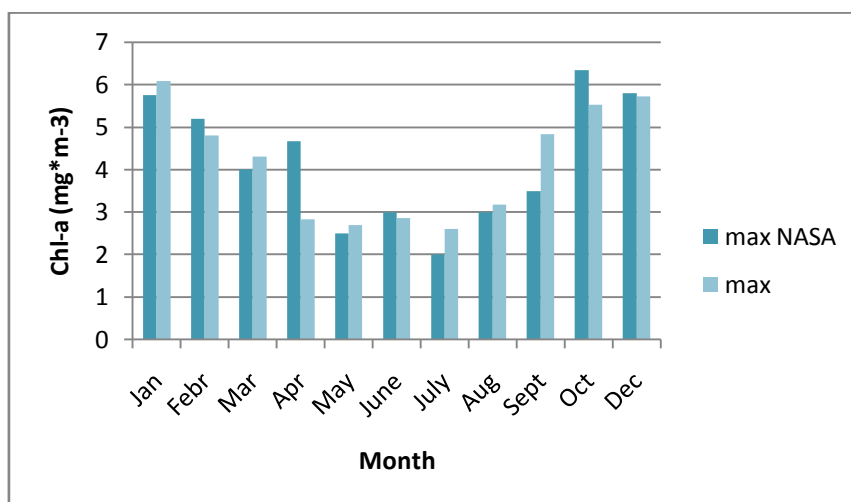
Στα ανοιχτά του ωκεανού οι τιμές κυμαίνονται από 2,15-4,30  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  και στα παράκτια από 2,6-6,0  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , εμφανώς υψηλότερες. Η μέγιστη τιμή στο σύνολο της περιοχής μελέτης με βάση τα δικά μας αποτελέσματα είναι τα 6  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  τον Ιανουάριο και η ελάχιστη περίπου τα 2  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  τον Ιούλιο. Σύμφωνα με τη NASA, παράκτια οι τιμές κυμαίνονται από 2-6,3  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  και στα ανοιχτά από 1-2,6  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  ενώ για το σύνολο της περιοχής μελέτης η μέγιστη τιμή αγγίζει τα 6  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  τον μήνα Οκτώβρη και η ελάχιστη το 1  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  τον Μάιο και Ιούλιο.

Οι τιμές min NASA είναι πιο χαμηλές από τις αντίστοιχες τιμές min. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το προϊόν της NASA είχε μεγαλύτερη διακύμανση τιμών-μεγαλύτερο φάσμα τιμών καθώς για τη παραγωγή χλωροφύλλης έκανε χρήση δυο αλγορίθμων. Εμάς οι τιμές μας ήταν λιγότερο "απλωμένες" στην εικόνα. Το ίδιο αποδεικνύει και το επόμενο ραβδόγραμμα: Οι δικές μας ελάχιστες τιμές (min) είναι εμφανώς ψηλότερες από αυτές της NASA:



Διάγραμμα 49:Ραβδόγραμμα ελαχίστων τιμών

Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως και με τις τιμές μεγίστων, που –όπως φαίνεται στο δεύτερο ακόλουθο ραβδόγραμμα-είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Οι μέγιστες τιμές αντιστοιχούσαν και στις δυο περιπτώσεις σε ρίχελ κοντά στην ακτή.



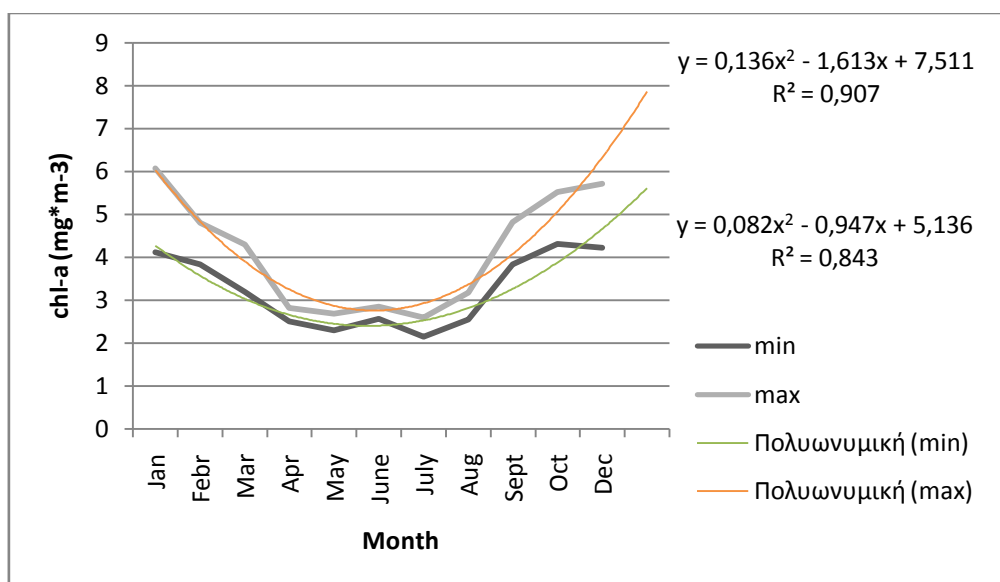
Διάγραμμα 50:Ραβδόγραμμα μεγίστων τιμών

Έπονται τρία διαγράμματα:

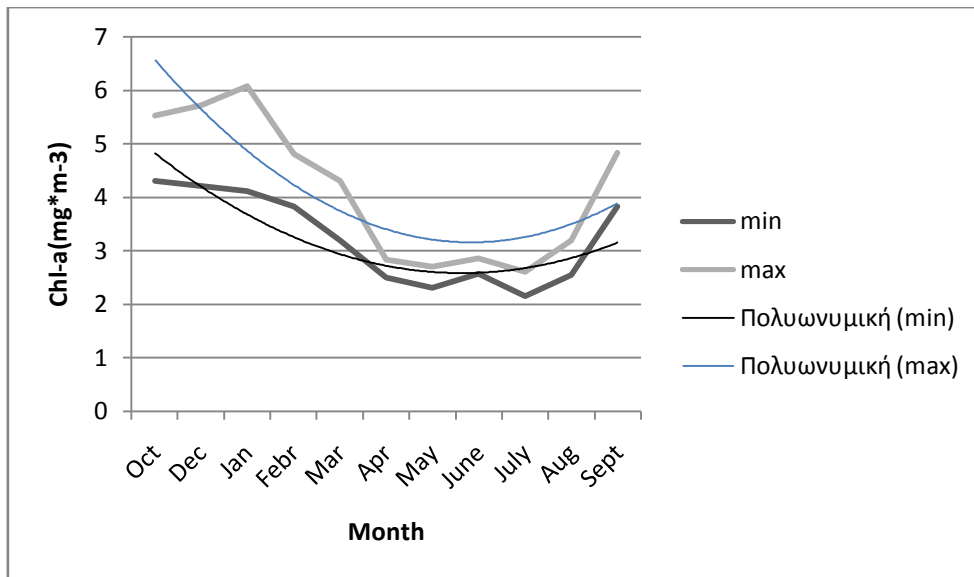


Το πρώτο διάγραμμα ξεκινάει από τον Ιανουάριο και καταλήγει στον Δεκέμβρη δείχνοντας την καμπύλη πτώσης κατά τους χειμερινούς-κυρίως-μήνες του έτους. Το δεύτερο διάγραμμα, για να έχουμε καλύτερη οπτική αντίληψη, ξεκινάει από τον μήνα Οκτώβρη που αναμένουμε να ξεκινήσει η έξαρση του φαινομένου, και σταματάει τον μήνα Σεπτέμβρη. Παρατηρούμε και σε αυτήν την περίπτωση μια κούρβα κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ η μεγιστοποίηση των τιμών κατά τους ανοιξιάτικους και θερινούς μήνες (Οκτώβρης –Γενάρης) είναι επίσης αισθητή. Το τρίτο διάγραμμα περιέχει καθαρά και μόνο τις τιμές που πήραμε από τη NASA.

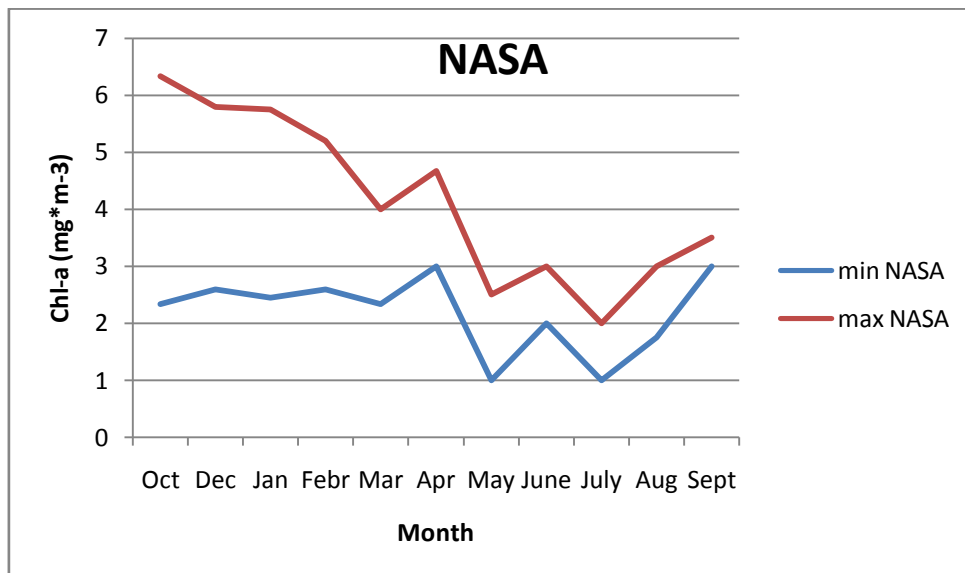
Εκτός από τις γραμμές ελαχίστων (min) και μεγίστων (max), για κάθε διάγραμμα φτιάχτηκαν και οι πολυωνυμικές δευτέρου βαθμού γραμμές τάσεις, που δείχνουν προς τα πού κυμαίνεται η πλειοψηφία των τιμών. Παρουσιάζουν μια καμπύλη που στρέφει τα κοίλα άνω στους μήνες που παρατηρήθηκε μείωση της χλωροφύλλης. Επιπροσθέτως βγάλαμε και τις συναρτήσεις των γραμμών μεγίστου και ελαχίστου σαν εξισώσεις δευτέρου βαθμού.



Διάγραμμα 51: Τιμές chl-a από Ιανουάριο –Δεκέμβριο που προέκυψαν από τις δικές μας επεξεργασίες



Διάγραμμα 52: Τιμές chl-a από Οκτώβρη –Σεπτέμβρη που προέκυψαν από τις δικές μας επεξεργασίες



Διάγραμμα 53: Τιμές chl-a από Οκτώβρη – Σεπτέμβρη που αντιστοιχούν στη NASA

Όπως παρατηρούμε, οι καμπύλες έχουν παρόμοια μορφή με πτώση κατά τους χειμερινούς μήνες στην συγκέντρωση χλωροφύλλης, με τις εξισώσεις να έχουν παρόμοιες σταθερές. Από αυτό συνεπάγεται πως τα αποτελέσματά μας ήταν αρκετά ικανοποιητικά. Επίσης, η καμπύλη των ελαχίστων ακολουθεί την ίδια πορεία με τη καμπύλη των μεγίστων, σε όλα τα παραπάνω διαγράμματα. Αυτό σημαίνει ομοιόμορφη μείωση και αύξηση των τιμών δηλαδή μείωση των μεγίστων τιμών ταυτίζεται με μείωση και των ελαχίστων τιμών. Ωστόσο, βάση το φαινόμενο του upwelling, οι υψηλότερες τιμές (καμπύλη μεγίστων) αντιπροσωπεύουν τα εικονοστοιχεία κοντά στην ακτή, ενώ οι χαμηλότερες τιμές (καμπύλη ελαχίστων) αντιπροσωπεύουν τα εικονοστοιχεία ανοικτά του ωκεανού.

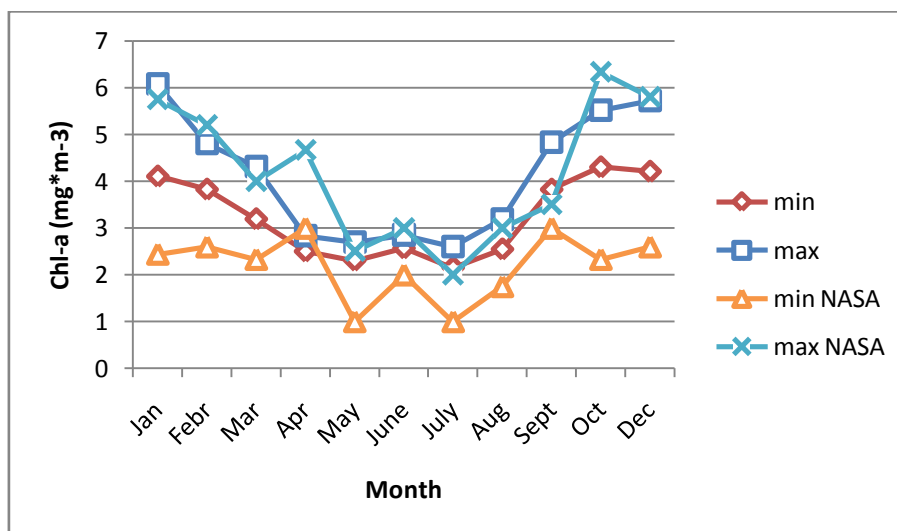
Επομένως, για να θεωρήσουμε πως μια περιοχή παρουσιάζει το φαινόμενο της παράκτιας ανάβλυσης όμοια με τη Χιλή πρέπει οι εξισώσεις ελαχίστων και μεγίστων, θεωρώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη χλωροφύλλη( $\gamma$ ), και ανεξάρτητη τους μήνες( $x$ ), να έχουν την ακόλουθη μορφή:

$$Y=0.136*x^2 -1.613*x +7.511 \text{ για τις μέγιστες τιμές}$$

$$Y=0.082*x^2 -0.947*x+5.136 \text{ για τις ελάχιστες τιμές}$$

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, η καμπύλη που απεικονίζει τις μέγιστες τιμές χλωροφύλλης(max), παίρνει τη μέγιστη τιμή της τον μήνα Ιανουάριο, με τιμή γύρω στα  $6 \text{ mg}*\text{m}^{-3}$ . Η ελάχιστη τιμή-όπως φαίνεται στην καμπύλη ελαχίστων τιμών ( min) -εμφανίζεται τον μήνα Ιούλιο, κοντά στα  $2 \text{ mg}*\text{m}^{-3}$ . Παρατηρούμε πως για όλους τους χειμερινούς μήνες οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης είναι ιδιαίτερα χαμηλές σε αντιδιαστολή με τους ανοιξιάτικους και θερινούς μήνες που οι αποχρώσεις στους χάρτες χαρακτηρίζονται από την υπερίσχυση του κόκκινου χρώματος ( $\text{chl-a} > 5 \text{ mg}*\text{m}^{-3}$ ). Η διαφορά αυτή επεξηγεί και την εποχικότητα του φαινομένου.

Με αυτό τον τρόπο επιβεβαιώνονται οι αρχικές υποθέσεις και το αρχικό θεωρητικό υπόβαθρο του. Το αμέσως επόμενο διάγραμμα είναι πιο συνοπτικό, και συμπεριλαμβάνει τις καμπύλες μεγίστων και ελαχίστων τόσο των δικών μας τιμών όσο και των τιμών της NASA. Οι δύο καμπύλες ελαχίστων είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους ακολουθώντας όμοια κλίση. Οι τιμές των μεγίστων σχεδόν ταυτίζονται πράγμα που καθιστά τις δικές μας τιμές ορθές.



Διάγραμμα 54:Συγκεντρωτικό διάγραμμα

### 6.2.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη Μπενγκουέλα

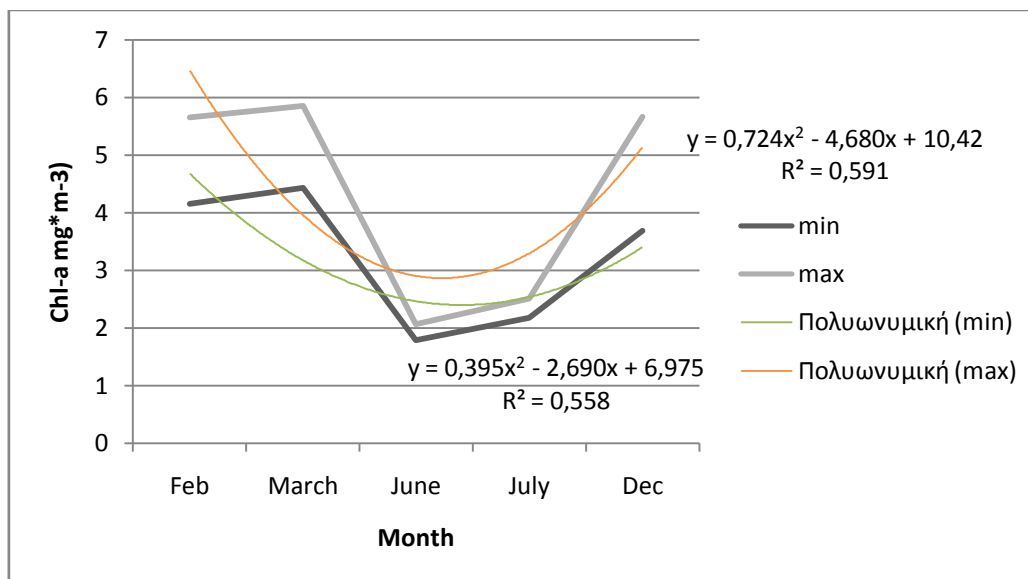
Όπως στην περίπτωση της Χιλής έτσι και για τη Μπενγκουέλα κατασκευάστηκαν στο excel πίνακες, διαγράμματα και πολυωνυμικές καμπύλες μονάχα για το 2016. Αναμένουμε τα διαγράμματα να έχουν πιο υψηλές τιμές λόγω της εντάσεως του φαινομένου στη συγκεκριμένη περιοχή για όλους τους μήνες.

Chl-a (mg*m-3)					
Month	min	max	mean	min NASA	max NASA
Feb	4,16104	5,65766	4,90935	3	6
March	4,4357	5,85451	5,145105	4	6
June	1,7845	2,06953	1,927015	1	2
July	2,17286	2,51185	2,342355	1	1
Dec	3,69424	5,66863	4,681435	3	6

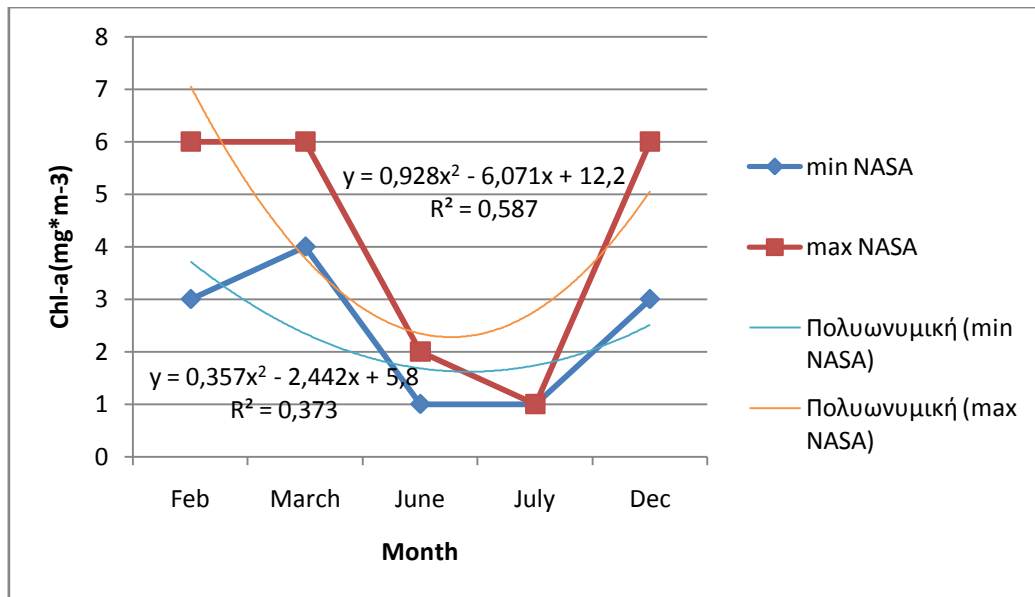
Πίνακας 55: Συγκεντρωτικός πίνακας chl-a για τη Μπενγκουέλα για το 2016

Και στην περίπτωση της Μπενγκουέλα, οι ελάχιστες τιμές (min NASA) είναι χαμηλότερες από τις ελάχιστες τιμές που εξάγαμε εμείς (min), αγγίζοντας ακόμα και το  $1\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  τους χειμερινούς μήνες πολύ πιο μακριά από τη στεριά. Αυτό δεν αναιρεί το γεγονός ότι το φαινόμενο συνδέεται με πολύ υψηλές τιμές για άλλο το χρόνο. Παράκτια οι τιμές κυμαίνονται από  $2,1-5,8 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  και στα ανοιχτά από  $1,78-4,4 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Με βάση τη NASA οι τιμές κυμαίνονται από  $1-4 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  και  $1-6 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  στα ανοιχτά του Ατλαντικού και κοντά στην ακτή αντίστοιχα.

Για όλη την έκταση της περιοχής μελέτης η υψηλότερη τιμή chl-a εμφανίζεται τον Μάρτιο ( $5,85 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) ενώ η χαμηλότερη τον Ιούνιο, στα  $1,78 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Με βάση τη NASA, οι ελάχιστες τιμές παρουσιάζονται τον Ιούνιο-Ιούλιο, ενώ η υψηλότερη ( $6 \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) τον Φλεβάρη, Μάρτη και Δεκέμβρη.



Διάγραμμα 55 : Τιμές chl-a από Φλεβάρη –Δεκέμβρη που προέκυψαν από τις δικές μας επεξεργασίες(2016)



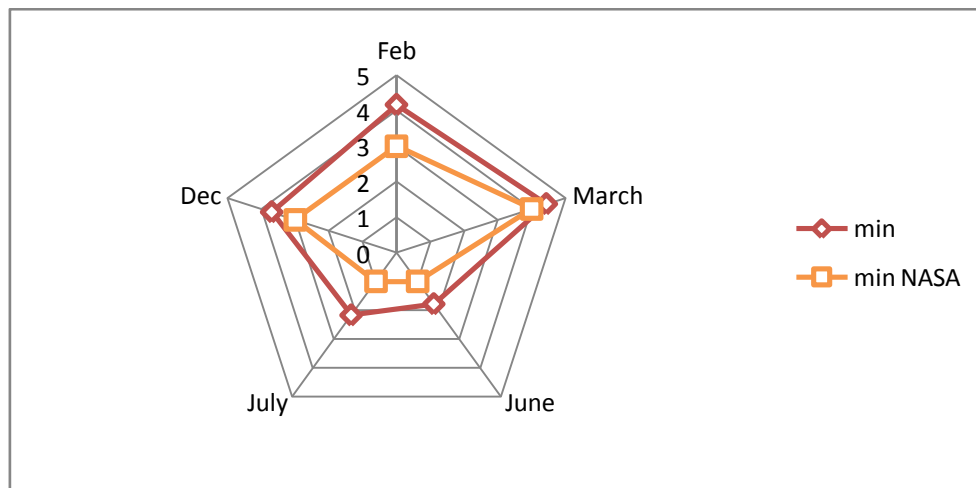
Διάγραμμα 56: Τιμές chl-a από Φλεβάρη-Δεκέμβρη που αντιστοιχούν στη NASA(2016)

Παρατηρούμε και οπτικά την πτώση αυτή κατά τους μήνες του χειμώνα νοτίου ημισφαιρίου, καθώς επίσης και τις υψηλές τιμές τους υπόλοιπους μήνες. Στην περίπτωση της Μπενγκουέλα η συσχέτιση μεταξύ των ελαχίστων και μεγίστων τιμών έγινε με τη βοήθεια αραχνοειδών διαγραμμάτων. Και αυτά κατασκευάστηκαν στο excel με τις γωνίες του ιστού να αντιστοιχούν στον κάθε μήνα χωριστά, και τις τιμές να απλώνονται από το κέντρο προς τα έξω ανάλογα με την τιμή της χλωροφύλλης. Επομένως για να αποφανθούμε ότι μια περιοχή παρουσιάζει το φαινόμενο της ωκεάνιας ανάβλυσης σε ομοιότητα με τη Μπενγκουέλα θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από τις εξής εξισώσεις(με πιθανόν αλλαγή στις σταθερές ανάλογα με την περιοχή):

$$Y=0.724*x^2-4.680*x+10.42 \text{ για τις μέγιστες τιμές}$$

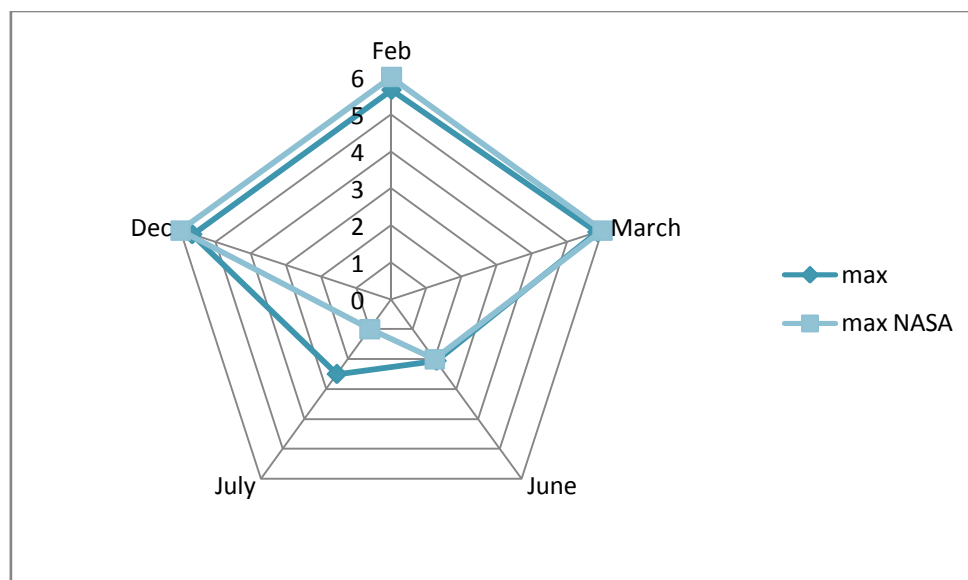
$$Y=0.395*x^2-2.690*x+6.975 \text{ για τις ελάχιστες τιμές}$$

Ακολουθούν τα δύο αραχνοειδή διαγράμματα για το 2016:



**Διάγραμμα 57:**Αραχνοειδές διάγραμμα ελαχίστων τιμών chl-a(2016)

Στο πρώτο διάγραμμα οι τιμές απλώνονται στις γωνίες πολύ περισσότερο τους μήνες Φλεβάρη, Μάρτη και Δεκέμβρη απ’ ότι τους άλλους δύο μήνες. Το κόκκινο χρώμα περιβάλλει το πορτοκαλί, δηλαδή οι min τιμές που εξάγαμε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες που έβγαλε η NASA, για λόγο που περιγράψαμε σε παραπάνω εδάφιο. Το ίδιο παρατηρήθηκε εξάλλου και για τη Χιλή.



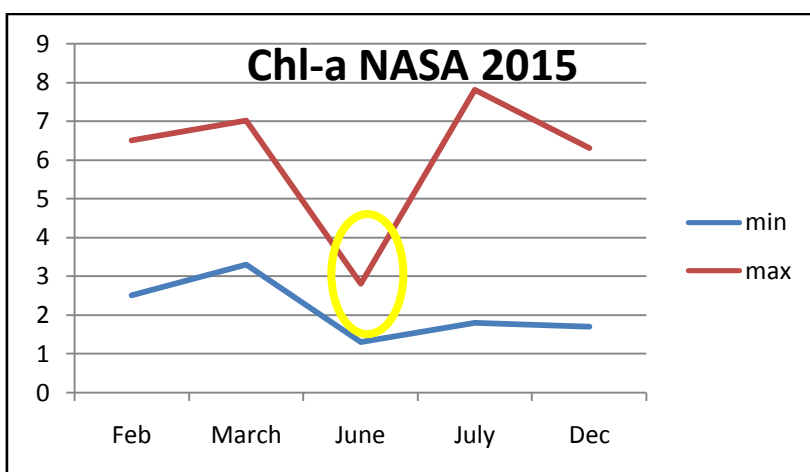
**Διάγραμμα 58:**Αραχνοειδές διάγραμμα μεγίστων τιμών chl-a(2016)

Στο δεύτερο διάγραμμα οι τιμές είναι πολύ πιο απλωμένες σχετικά με το πρώτο αραχνοειδές διάγραμμα, μιας και μιλάμε για μέγιστες τιμές. Οι δυο καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται, απόρροια του οποίου είναι η ανταπόκριση και η ευστάθεια των τιμών με τη πραγματικότητα. Οι τιμές για τον Ιούνιο και τον Ιούλιο είναι αρκετά χαμηλότερες και πολύ πιο κοντά στο κέντρο του ιστού.

Για να αποφανθούμε όμως τι συμβαίνει και ελαχιστοποιείται αισθητά η chl-a κατά τους χειμερινούς μήνες Ιούνιο(κυρίως) και Ιούλιο μελετήθηκαν και τα έτη από το 2005-2015. Από το προϊόν της NASA αντλήθηκαν με πολλή προσοχή, για τις συγκεκριμένες ημερομηνίες που μελετήθηκαν και το 2016, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή chl-a. Σημειώνουμε πως η μέγιστη τιμή παρουσιαζόταν πολύ κοντά στην ακτή και η ελάχιστη στα πιο ανοικτά του Ατλαντικού.

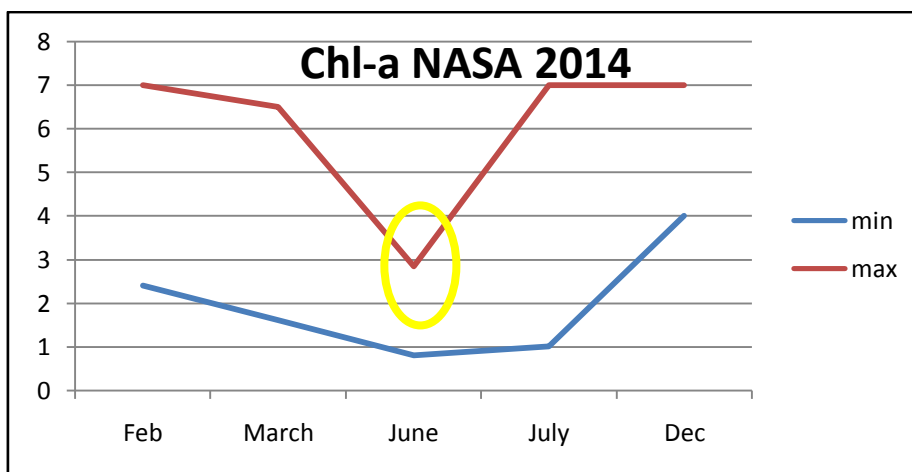
Συνεπώς φτιάξαμε και τα ακόλουθα διαγράμματα, τα οποία στη συνέχεια σχολιάζουμε ώστε να αποφανθούμε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αν το φαινόμενο είναι όντως “all-year round” ή εποχιακό αντικρούοντας την υφιστάμενη βιβλιογραφία. Ο Ιούνιος έχει σημειωθεί στους παρακάτω πίνακες με κίτρινο χρώμα μονάχα τις χρονιές που παρατηρήθηκε ελαχιστοποίηση των τιμών chl-a, όπως και με κίτρινη έλλειψη έχουμε σημειώσει την πτώση που παρατηρείται τον συγκεκριμένα μήνα, τις χρονιές που παρατηρείται. Υπενθυμίζουμε τις ημερομηνίες:

17 Φεβρουαρίου, 4 Μαρτίου, 8 Ιουνίου, 10 Ιουλίου, 17 Δεκεμβρίου



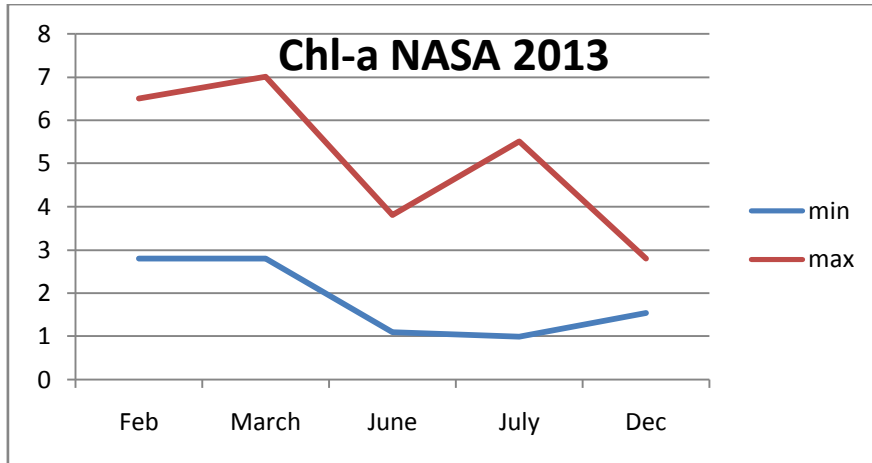
Month	Chl-a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
	min	max	mean
Feb	2,5	6,5	4,5
March	3,3	7	5,15
June	1,3	2,8	2,05
July	1,8	7,8	4,8
Dec	1,7	6,3	4

Πίνακας 56: Δεδομένα για το 2015 (NASA product)



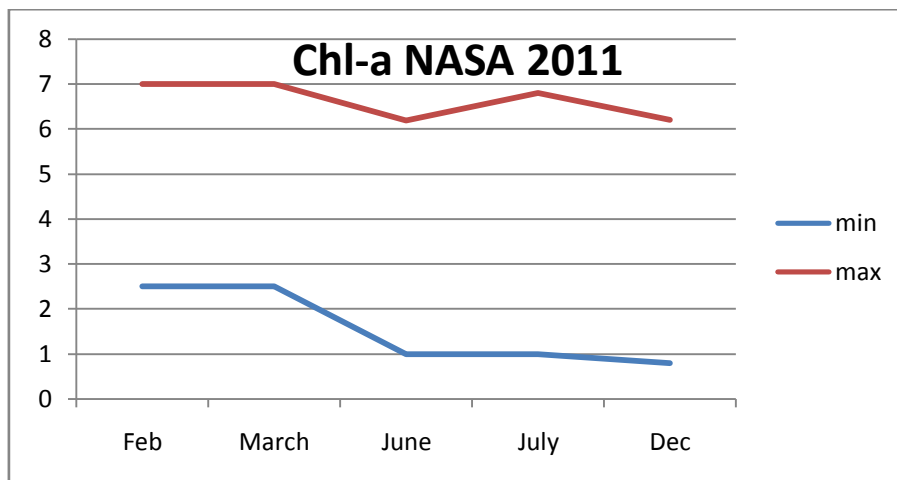
Month	Chl-a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
	min	max	mean
Feb	2,4	7	4,7
March	1,6	6,5	4,05
June	0,8	2,842	1,821
July	1	7	4
Dec	4	7	5,5

Πίνακας 57: Δεδομένα για το 2014(NASA product)



Month	Chl-a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
	min	max	mean
Feb	2,8	6,5	4,65
March	2,8	7	4,9
June	1,1	3,8	2,45
July	1	5,5	3,25
Dec	1,54	2,8	2,17

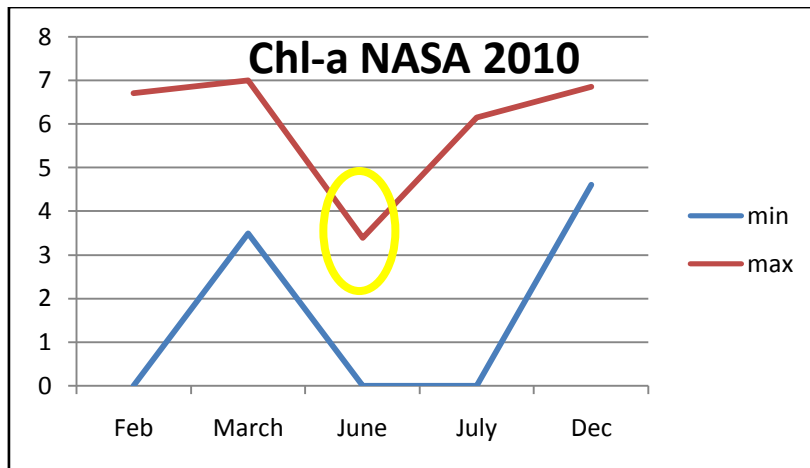
Πίνακας 58: Δεδομένα για το 2013 (NASA product)



Month	Chl-a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
	min	max	mean
Feb	2,5	7	4,75
March	2,5	7	4,75
June	1	6,19	3,595
July	1	6,8	3,9
Dec	0,8	6,2	3,5

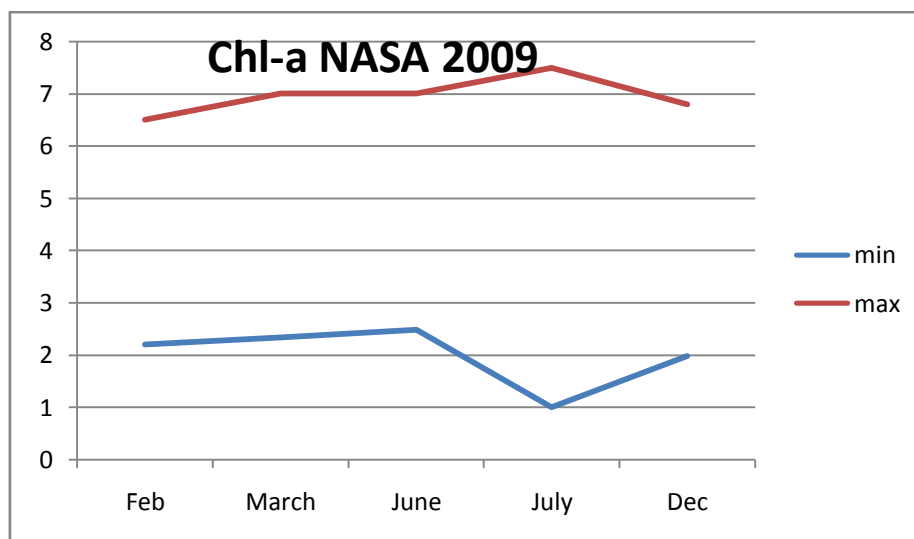
Πίνακας 59: Δεδομένα για το 2011 (NASA product)





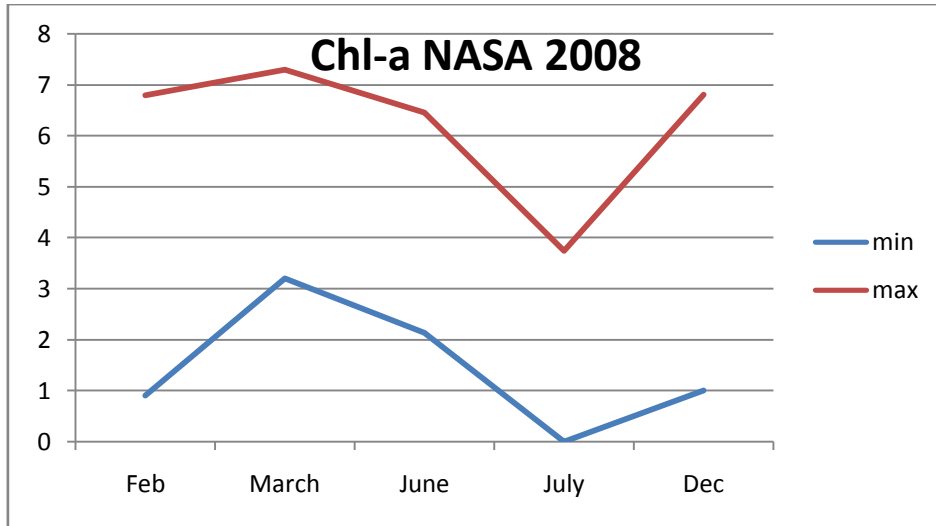
Month	Chl-a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
	min	max	mean
Feb	0	6,7	3,35
March	3,5	7	5,25
June	0	3,39	1,695
July	0	6,146	3,073
Dec	4,612	6,854	5,733

Πίνακας 60: Δεδομένα για το 2010 (NASA product)



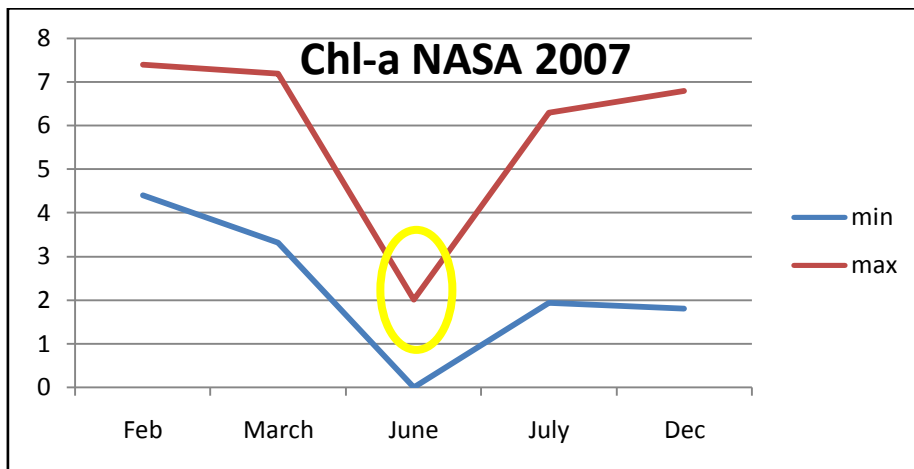
Month	Chl-a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
	min	max	mean
Feb	2,2	6,5	4,35
March	2,331	7	4,6655
June	2,481	7	4,7405
July	1	7,5	4,25
Dec	1,977	6,8	4,3885

Πίνακας 61: Δεδομένα για το 2009 (NASA product)



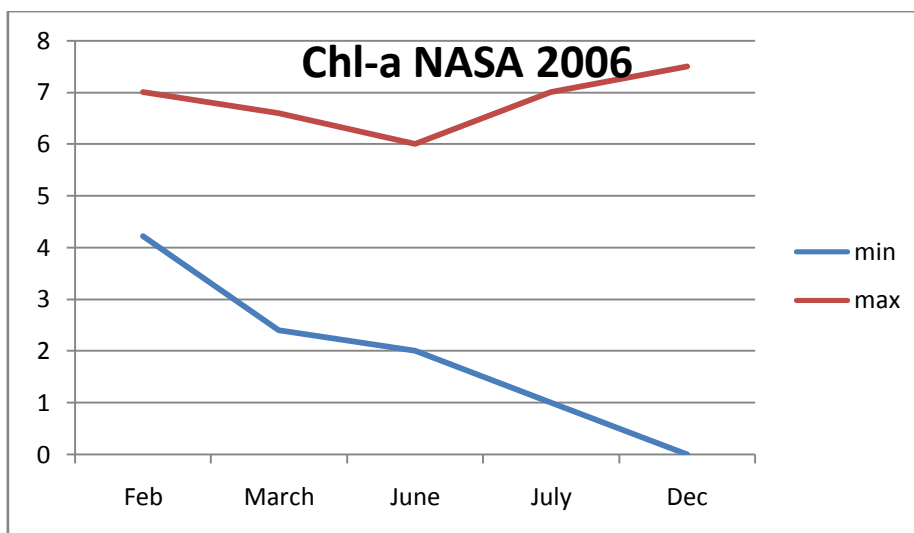
Month	Chl-a (mg*m <sup>-3</sup> )		
	min	max	mean
Feb	0,9	6,8	3,85
March	3,2	7,3	5,25
June	2,134	6,46	4,297
July	0	3,746	1,873
Dec	1	6,814	3,907

Πίνακας 62: Δεδομένα για το 2008 (NASA product)



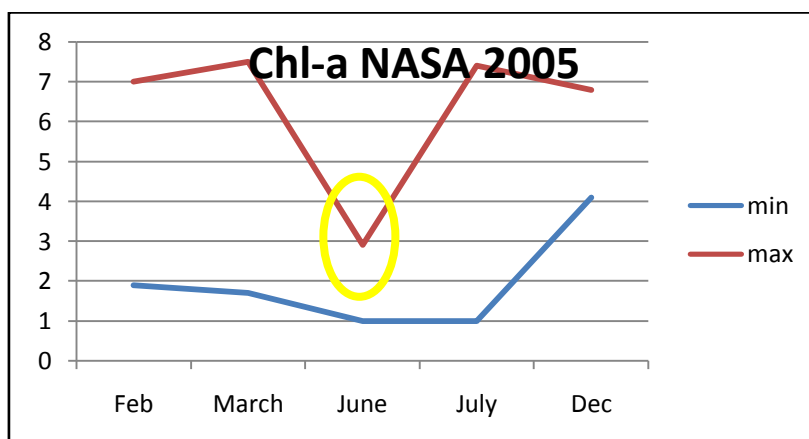
Month	Chl-a (mg*m <sup>-3</sup> )		
	min	max	mean
Feb	4,4	7,4	5,9
March	3,314	7,2	5,257
June	0	2	1
July	1,937	6,3	4,1185
Dec	1,8	6,8	4,3

Πίνακας 63: Δεδομένα για το 2007 (NASA product)



Month	Chl-a (mg*m <sup>-3</sup> )		
	min	max	mean
Feb	4,218	7	5,609
March	2,4	6,6	4,5
June	2	6	4
July	1	7	4
Dec	0	7,5	3,75

Πίνακας 64: Δεδομένα για το 2006 (NASA product)



Month	Chl-a (mg*m <sup>-3</sup> )		
	min	max	mean
Feb	1,9	7	4,45
March	1,7	7,5	4,6
June	1	2,9	1,95
July	1	7,4	4,2
Dec	4,1	6,8	5,45

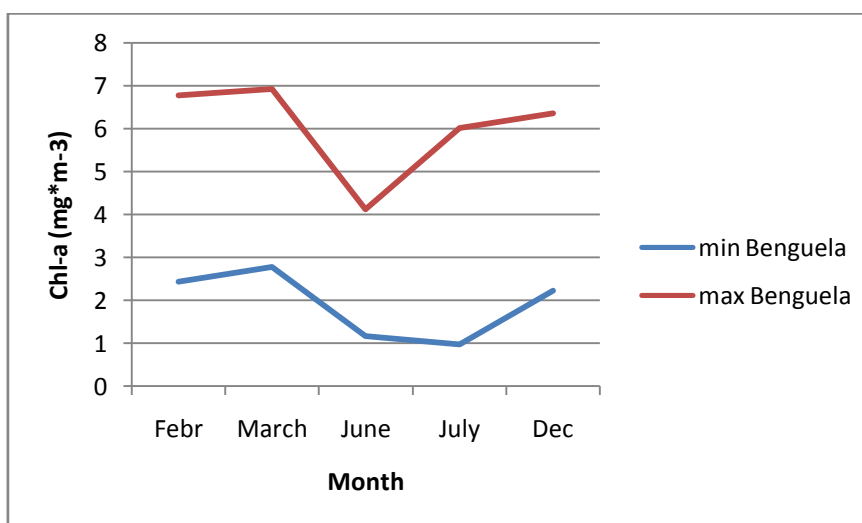
Πίνακας 65: Δεδομένα για το 2005 (NASA product)

Βλέπουμε πως ενώ για όλους τους καλοκαιρινούς μήνες οι τιμές μεγίστων (κοντά στην ακτή της Μπενγκουέλα) είναι πολύ υψηλές, κάποιες χρονιές, το μήνα Ιούνιο δεν παρατηρούνται

υψηλά επίπεδα chl-a, όπως τις χρονιές 2016,2015,2014,2010,2007,2005.Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας και διάγραμμα με τις μέσες τιμές ανά μήνα για όλες τις παραπάνω χρονιές από το 2005-2016.

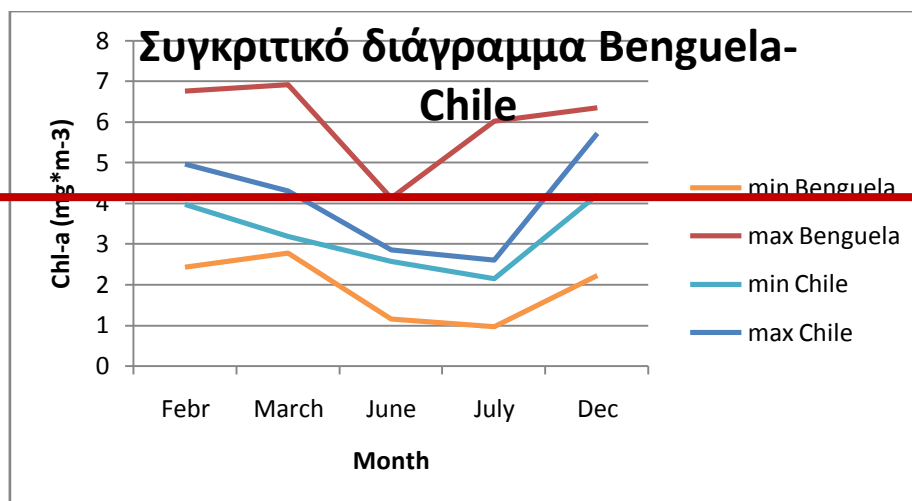
Month	Chl-a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )			
	min Benguela	max Benguela	min Chile	max Chile
Febr	2,438	6,763636364	3,982062	4,966776
March	2,785909091	6,918181818	3,192853	4,306327
June	1,165	4,125636364	2,56797	2,8531
July	0,976090909	6,017454545	2,14982	2,60159
Dec	2,229909091	6,351636364	4,21267	5,720148

Πίνακας 66:Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων τιμών χλωροφύλλης για τη Μπενγκουέλα



Διάγραμμα 59:Διάγραμμα τιμών chl-a για όλα τα έτη 2005-2016

Όπως παρατηρεί κανείς εύκολα και στο συγκεντρωτικό διάγραμμα μέσων τιμών, η καμπύλη μεγίστων κυμαίνεται σε πολύ υψηλές τιμές, μεταξύ  $6-7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  για όλους τους μήνες, πλην του Ιουνίου που παρατηρείται πτώση. Η καμπύλη ελαχίστων που αντιπροσωπεύει τα εικονοστοιχεία στα ανοιχτά του ωκεανού, κυμαίνεται αντιθέτως σε πολύ χαμηλά επίπεδα ( $1-3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Από αυτό μπορούμε να αποφανθούμε την αντίθεση των τιμών συγκέντρωσης chl-a κοντά και μακριά από την ακτή. Συμπερασματικά, ενώ μπορεί για κάποιες χρονιές να παρατηρηθεί πτώση της συγκεντρωμένης χλωροφύλλης-α στην ακτή τους καλοκαιρινούς μήνες το φαινόμενο –λόγω των ιδιαίτερα υψηλών του τιμών τον υπόλοιπο χρόνο, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι είναι όντως φαινόμενο “all-year round”. Για να επιβεβαιώσουμε το συγκεκριμένο ισχυρισμό αρκεί η σύγκριση των δυο περιοχών, Χιλής και Μπενγκουέλα, ώστε να αναδείξουμε τη διαφορά της έντασης του συγκεκριμένου φαινομένου:



Διάγραμμα 60: Συγκεντρωτικό διάγραμμα Benguela-Chile

Θεωρώντας ως όριο τα  $4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (κόκκινο βέλος) είναι αισθητή η διαφορά εντάσεως φαινομένου στις δυο περιοχές: Για τη Χιλή και οι δύο καμπύλες είναι κάτω από το όριο, όλους τους μήνες, με πτώση τον Ιούνιο και Ιούλιο, ενώ είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους, δηλαδή ήπια μείωση των τιμών όσο προχωράμε προς το εσωτερικό του ωκεανού. Για τη Μπενγκουέλα η καμπύλη μεγίστων είναι κατά πολύ άνω του ορίου εκτός του Ιουνίου. Οι δυο καμπύλες μεγίστων και ελαχίστων για τη περιοχή αυτή απέχουν αρκετά μεταξύ τους επομένως υπάρχει ισχυρή διαφοροποίηση όσο πιο κοντά προχωράμε προς την ακτή. Απόρροια της ανάλυσης αυτής είναι το συμπέρασμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

- ✓ Χιλή: Εποχιακό (seasonal) φαινόμενο
- ✓ Μπενγκουέλα: Μόνιμο (all-year round) φαινόμενο

Όλα τα παραπάνω καλούνται να επαληθεύσουν και τα αποτελέσματα SST και ανέμων στα επόμενα χωρία.

### 6.3 Αποτελέσματα SST

Και στην περίπτωση των υπολογιζόμενων SST κατασκευάστηκαν στο excel συγκεντρωτικοί πίνακες για κάθε μήνα, γραμμές τάσης καθώς και ραβδογράμματα τόσο για τα δικά μας εξαχθέντα δεδομένα όσο και για της NASA. Σκοπός ήταν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις δικές μας υπολογιζόμενες τιμές κατά πόσο ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, αλλά και γενικές πληροφορίες σχετιζόμενες με τη θερμοκρασιακή κατάσταση των παράκτιων υδάτων.

#### 6.3.1 Αποτελέσματα για τη Χιλή

Όσον αφορά τις θερμοκρασίες που υπολογίσαμε τα αποτελέσματα φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα. Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο δεν αναμένουμε κάποια πλήρη συσχέτιση μεταξύ χλωροφύλλης και θερμοκρασίας: υψηλές τιμές chl-a δεν είναι απαραίτητο να εμφανιστούν σε πολύ ψυχρή θάλασσα, και το ανάποδο. Αυτό είναι εμφανές

από το γεγονός ότι και τα δυο διαγράμματα (chl-a,SST) παρουσιάζουν τα μέγιστα και τα ελάχιστα τους σε κοντινούς μήνες, δηλαδή ακολουθούν καμπύλες όμοιες σχεδόν καθοδικές και ανοδικές πορείες. Ωστόσο, η εμφάνιση του φαινομένου “upwelling” ταυτίζεται με την παρουσία ψυχρών υδάτων κοντά στην ακτή.

SST ( °C )		
Month	min	max
Jan	12,77778	16,43003
Febr	12,99415	16,4337
Mar	12,84847	16,01113
Apr	11,46585	14,63065
May	10,7591	13,1952
June	10,7714	13,0403
July	11,7476	13,0787
Aug	10,23713	11,67615
Sept	12,13047	13,99673
Oct	10,87507	14,02287
Dec	11,95078	15,36226

Πίνακας 67: Πίνακας μέσω τιμών SST για τη Χιλή

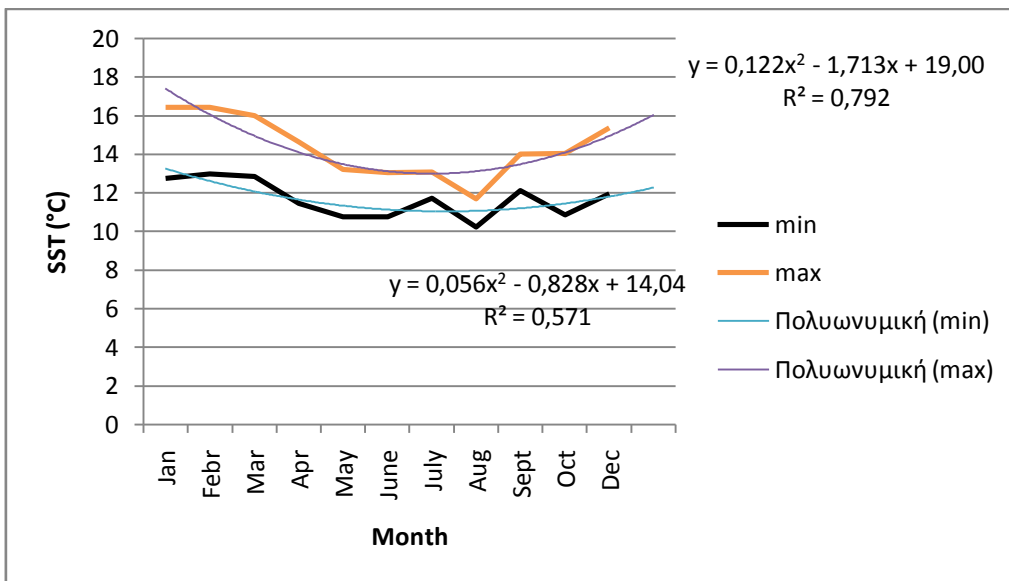
Με βάση τον παραπάνω πίνακα η θερμοκρασία παίρνει τιμές από 10,2-12,99 °C παράκτια και από 12-16°C στα πιο ανοιχτά, βασιζόμενες στα δικά μας αποτελέσματα. Για όλη την περιοχή μελέτης η μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται τον μήνα Φεβρουάριο(16,4°C) ενώ η ελάχιστη τον Νοέμβριο(10,2°C). Αυτό που είναι σίγουρο είναι ότι οι θερμοκρασίες αυξάνονται όσο απομακρυνόμαστε από τα παράκτια ύδατα, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης που ελαχιστοποιούνται όσο απομακρυνόμαστε από αυτά.

SST ( °C )		
Month	min NASA	max NASA
Jan	12	18
Febr	10	18
Mar	11	17
Apr	12	14
May	10	13
June	10	14
July	12	12
Aug	9	13
Sept	10	14
Oct	10	14
Dec	11	16

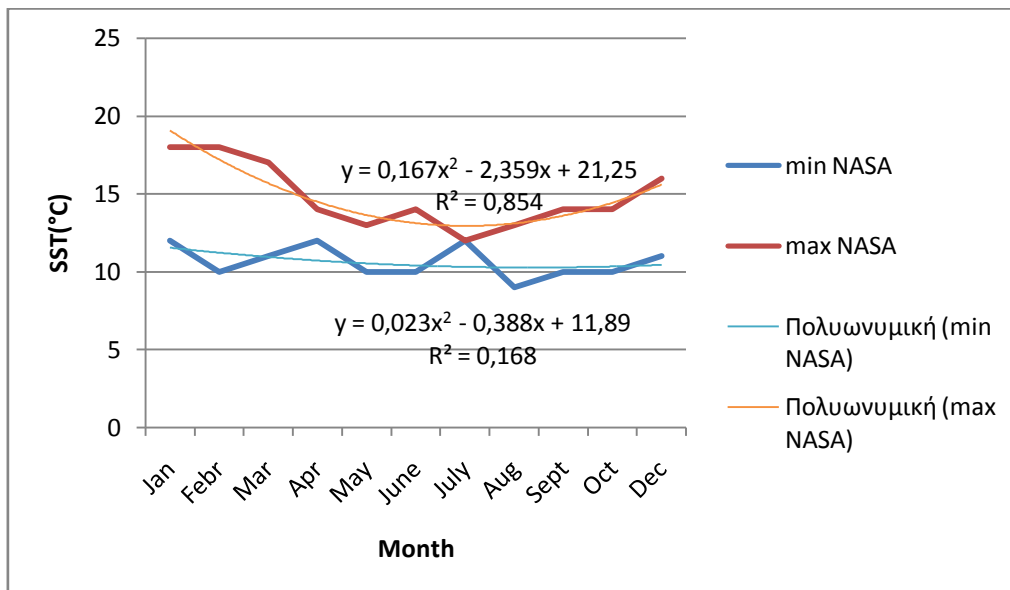
**Πίνακας 68:** Συγκεντρωτικοί πίνακες τιμών SST της NASA για τη Χιλή

Βασιζόμενοι στις τιμές του παγκόσμιου προϊόντος της NASA κοντά στη στεριά έχουμε διακύμανση τιμών SST μεταξύ των 9-12°C σε αντιδιαστολή με τα ανοιχτά του Ειρηνικού όπου η θάλασσα είναι πιο ζεστή με θερμοκρασίες από 12-18 °C.

Έπονται δύο διαγράμματα: Το μεν πρώτο αφορά τις μέσες μηνιαίες τιμές για όλα τα έτη 2005-2016 μαζί με τις γραμμές τάσεως που προσαρμόστηκαν καλύτερα στα δεδομένα μας. Το δεύτερο διάγραμμα αφορά τις μέσες μηνιαίες τιμές για όλα τα έτη αλλά με βάση τη NASA.



**Διάγραμμα 61:** Καμπύλες SST



**Διάγραμμα 62:** Καμπύλες SST δεδομένων NASA

Παρατηρούμε πως κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες (Μάιος –Αύγουστος) οι θερμοκρασίες είναι μεν χαμηλότερες από τους υπόλοιπους μήνες του έτους(λογικό λόγω πτώσεως θερμοκρασίας το χειμώνα), αλλά όχι ιδιαίτερα ψυχρές. Με άλλα λόγια, οι καμπύλες μεγίστων και ελαχίστων που αφορούν στην SST δεν παρουσιάζουν κάποια ραγδαία πτώση τους μήνες του χειμώνα όπως συμβαίνει με τις δυο αντίστοιχες καμπύλες χλωροφύλλης. Η διαφοροποίηση των θερμοκρασιών παρουσιάζεται και αυτή με τη σειρά της ,στα όρια της CUZ:σε απόσταση μέχρι 100 χλμ από την ακτή οι θερμοκρασίες έχουν πολύ χαμηλότερες τιμές από τις θερμοκρασίες των υδάτων που εκτείνονται μετά την ζώνη ανάβλυσης (πέρα των 100 χλμ).

Σε περίπτωση που θέλουμε να εκφράσουμε το φαινόμενο με εξίσωση 2<sup>ου</sup> βαθμού θεωρώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή (y) την SST και ανεξάρτητη τον μήνα (x), προκύπτουν οι εξής εξισώσεις:

$$Y=0.122*x^2-2.359*x+19 \text{ για τις μέγιστες τιμές}$$

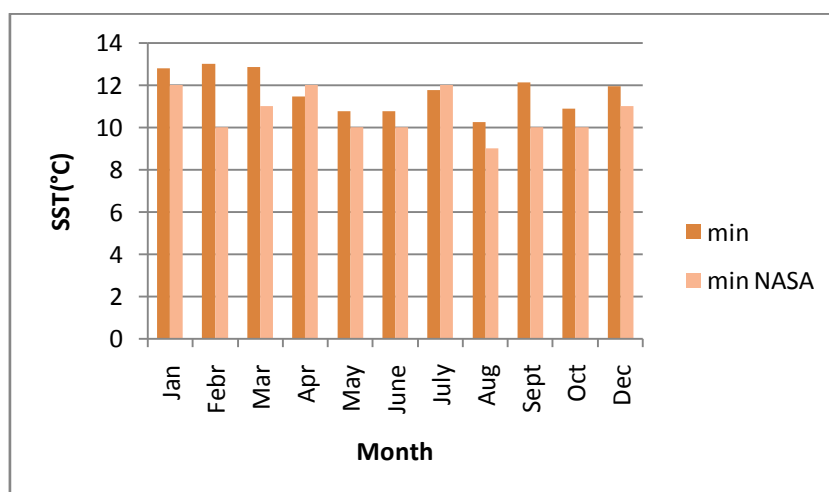
$$Y=0.056*x^2-0.388*x+14.04 \text{ για τις ελάχιστες τιμές}$$

Αυτές οι δύο εξισώσεις εκφράζουν τα δικά μας δεδομένα. Αν θέλουμε να εξάγουμε εξισώσεις βάση τα δεδομένα NASA, οι εξισώσεις αυτές λαμβάνουν την ακόλουθη μορφή:

$$Y=0.167*x^2-4.680*x+21.25 \text{ για τις μέγιστες τιμές}$$

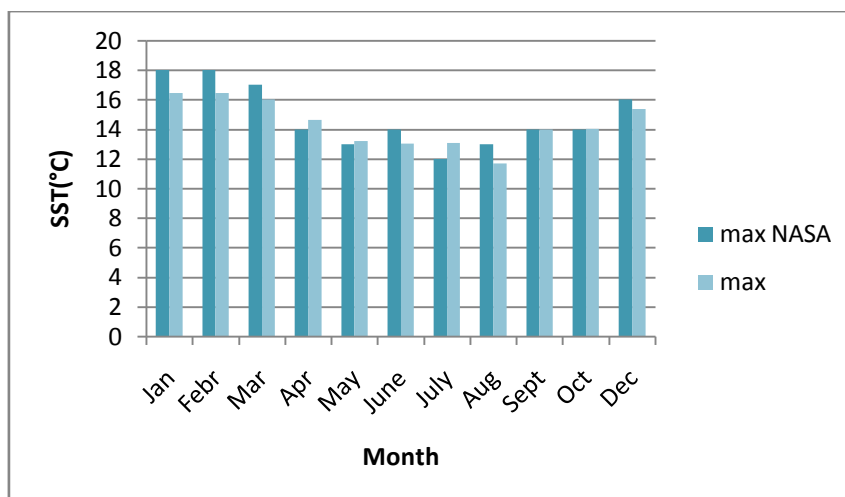
$$Y=0.023*x^2-2.690*x+11.89 \text{ για τις ελάχιστες τιμές}$$

Οι 2<sup>ου</sup> βαθμού εξισώσεις έχουν πολύ όμοιες σταθερές πράγμα που επιβεβαιώνει την ορθότητα των αποτελεσμάτων που εξάγαμε και μέσω πινάκων, διαγραμμάτων. Το ίδιο επιβεβαιώνουν και τα δύο επικείμενα ραβδόγραμμα:



Διάγραμμα 63: Ραβδόγραμμα ελαχίστων τιμών





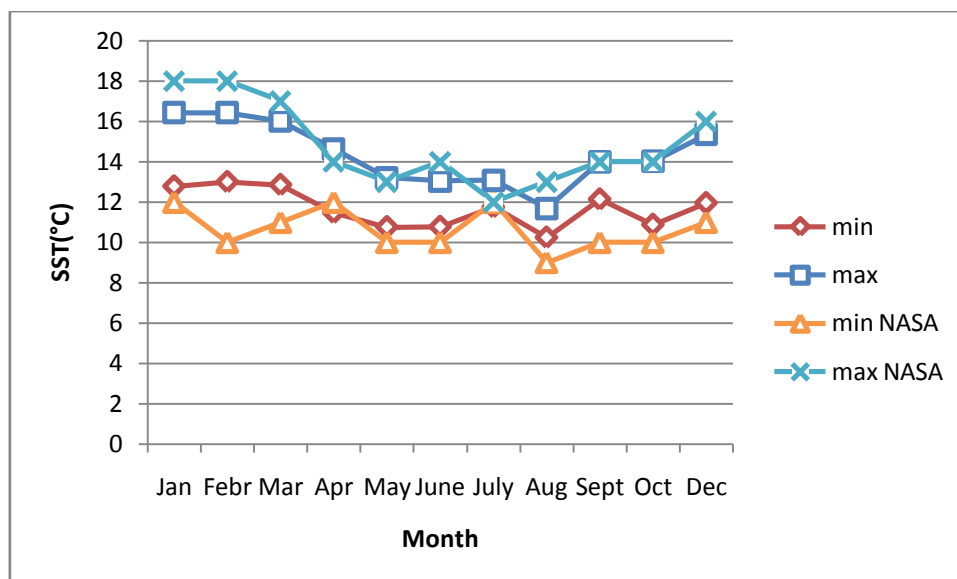
**Διάγραμμα 64:**Ραβδόγραμμα μεγίστων τιμών

Το ραβδόγραμμα ελαχίστων τιμών παρουσιάζει μικρή διαφορά μεταξύ των δικών μας ελάχιστων τιμών(min)και των τιμών της NASA(min NASA), πράγμα που υποδεικνύει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων μας. Το γεγονός ότι το προϊόν της NASA για την ίδια περιοχή εμφάνισε χαμηλότερες τιμές –για τους περισσότερους μήνες –οφείλεται στη μεγαλύτερη διασπορά των τιμών της, πράγμα που αναφέραμε και στην περίπτωση της χλωροφύλλης.

Ωστόσο, δεν υφίσταται το ίδιο με τις μέγιστες τιμές, καθώς αυτές παρουσιάζουν μικρότερη απόκλιση μεταξύ τους, και σε κάποιους μήνες (Οκτώβρη ,Δεκέμβρη )ταυτίζονται. Το ίδιο συνέβη και στο αντίστοιχο ραβδόγραμμα χλωροφύλλης. Η μεγαλύτερη εγκυρότητα των αποτελεσμάτων SST από τα αντίστοιχα αποτελέσματα chl-a οφείλεται στο ότι στην περίπτωση υπολογισμού SST κάναμε χρήση εξισώσεων(Planck, Weng) οι οποίες στηρίζονται στα θερμικά κανάλια Landsat τα οποία με τη σειρά τους είναι πολύ καλά διαμετρημένα σε σχέση με τα προϊόντα MODIS, σε αντιδιαστολή με τον υπολογισμό chl-a που στηρίζεται σε αλγορίθμους που προέκυψαν έπειτα από παλινδρομήσεις που φέρουν σφάλματα.

Να επισημάνουμε και εδώ ξανά ότι οι μεγαλύτερες τιμές (max,max NASA) αντιστοιχούν σε εικονοστοιχεία πολύ κοντά στην ακτή, μέχρι τη CUZ και οι μικρότερες τιμές σε εικονοστοιχεία στα πιο ανοιχτά του ωκεανού, πέραν της CUZ. Αυτό αποτελεί χαρακτηριστική συνιστώσα του φαινομένου “coastal upwelling”, το οποίο στο θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας διπλωματικής έχουμε επισημάνει πως στηρίζει την εμφάνισή του σε κρύα παράκτια νερά.

Τέλος έπεται συγκεντρωτικό διάγραμμα που συνοψίζει όλα τα παραπάνω: σχεδόν ταύτιση των δύο μπλε καμπύλων(max τιμές) με λίγες εναλλαγές τους, καθώς επίσης και μικρές αποκλίσεις μεταξύ των κόκκινων γραμμών(min τιμές):



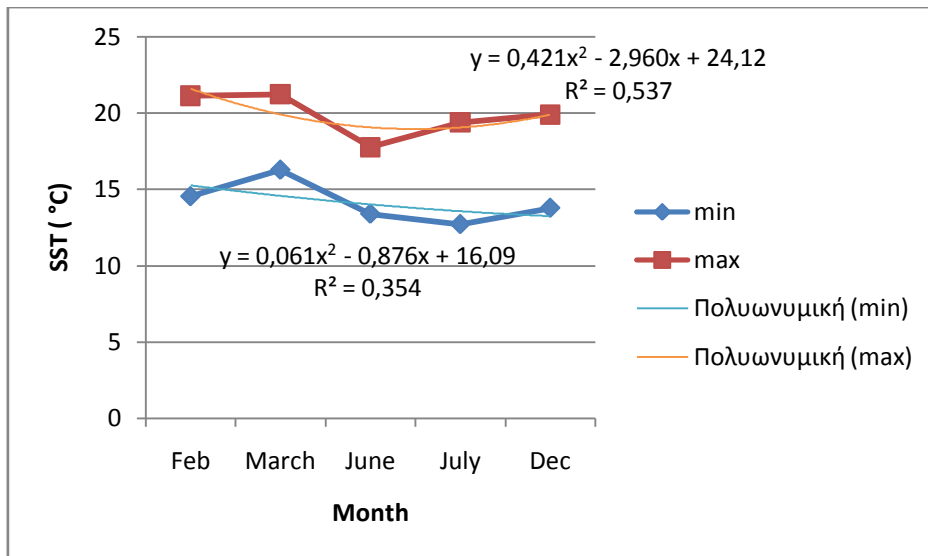
Διάγραμμα 65: Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεγίστων και ελαχίστων SST για τη Χιλή

### 6.3.2 Αποτελέσματα για τη Μπενγκουέλα (2016)

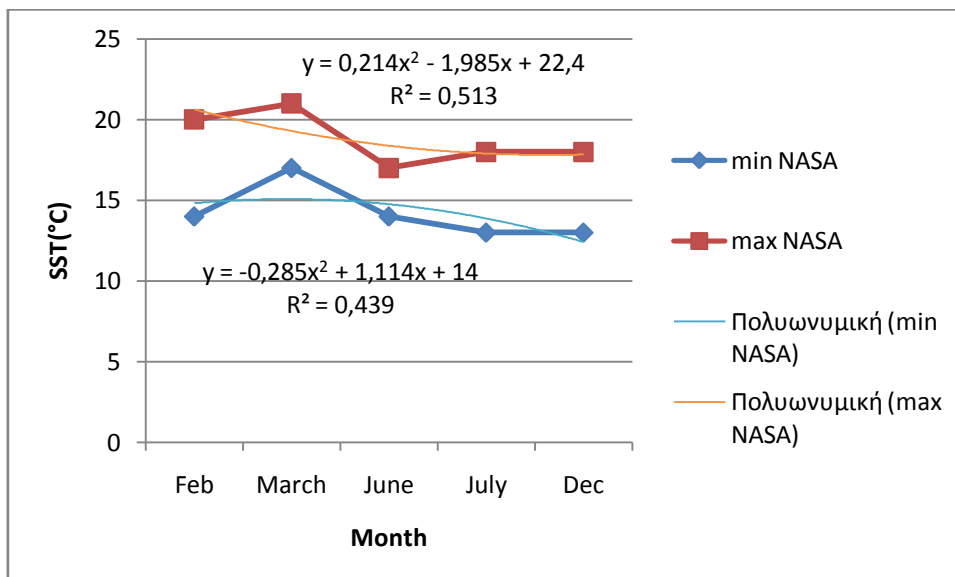
Η περιοχή της Μπενγκουέλα όπως φάνηκε και από τους παραχθέντες χάρτες για το 2016, εμφάνισε αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες με μεγιστοποίηση το μήνα Μάρτιο (21,3°C) και ελαχιστοποίηση τον μήνα Ιούλιο (12,7 °C). Είναι λογικό η θάλασσα να είναι πιο ψυχρή κατά τους χειμερινούς μήνες. Και σύμφωνα με τη NASA, μέγιστη τιμή αποκτά το Φλεβάρη (~20° C) και ελάχιστη τον Ιούλιο (~ 13 °C). Η ύπαρξη συνάφειας λοιπόν είναι αισθητή και θα απεικονιστεί και με τη βοήθεια αραχνοειδών διαγραμμάτων. Τα ακόλουθα διαγράμματα αναφέρονται μόνο στην δικιά μας επεξεργασία που έγινε για το 2016 και όχι στην επεξεργασία που έλαβε χώρα για τα έτη 2005-2016 ώστε να αποφανθούμε τι υφίσταται τον Ιούνιο.

Temperature ( °C )					
Month	min	max	mean	min NASA	max NASA
<b>Feb</b>	14,5375	21,1346	17,83605	14	20
<b>March</b>	16,2777	21,2318	18,75475	17	21
<b>June</b>	13,392	17,7731	15,58255	14	17
<b>July</b>	12,7087	19,3951	16,0519	13	18
<b>Dec</b>	13,7765	19,9039	16,8402	13	18

Πίνακας 69: Πίνακας τιμών SST για τη Μπενγκουέλα (2016)



**Διάγραμμα 66:** Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεγίστων και ελαχίστων για τη Μπενγκουέλα(2016)



**Διάγραμμα 67:** Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεγίστων και ελαχίστων από δεδομένα της NASA(2016)

Τα δυο διαγράμματα παρουσιάζουν ομοιομορφία στις κλίσεις τους, αποκτούν μέγιστα και ελάχιστα τους ίδιους ακριβώς μήνες, με μικρή διαφορά στις τιμές αυτές. Παρατηρείται μια πτώση της γραμμής τάσης για τους μήνες που έπονται του Μαρτίου, με μικρή άνοδο τον μήνα Δεκέμβρη.

Με βάση τα δύο παραπάνω διαγράμματα οι εξισώσεις 2<sup>ου</sup> βαθμού που περιγράφουν καλύτερα το φαινόμενο της ωκεάνιας ανάβλυσσης για τα δεδομένα θερμοκρασίας και θεωρώντας εξαρτημένη μεταβλητή (y) την SST και ανεξάρτητη (x) τους μήνες από Φλεβάρη μέχρι Δεκέμβρη, είναι οι εξής:

Για τα δικά μας δεδομένα:

$$Y=0.421x^2 - 2.96x + 24.12$$

για τα μέγιστα

$$Y=0,061x^2-0.876x+16.09$$

για τα ελάχιστα

Για τα δεδομένα της NASA:

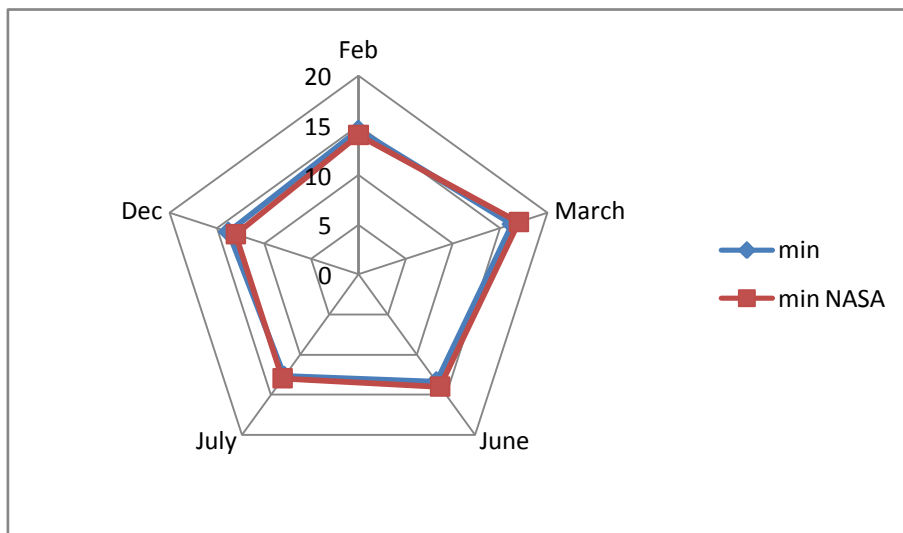
$$Y=0.214x^2 - 1.985x + 22.4$$

για τα μέγιστα

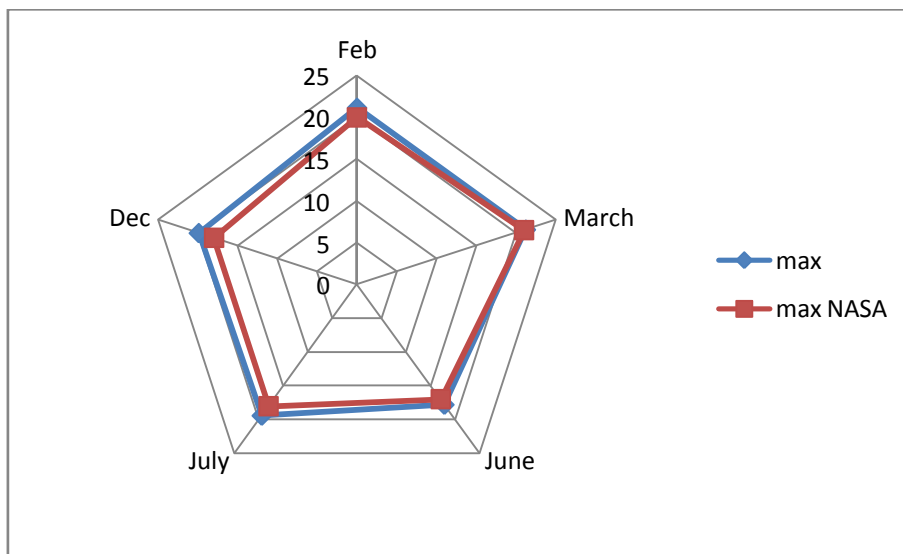
$$Y=-0,285x^2+1.114x+14$$

για τα ελάχιστα

Όπως έγινε και στην περίπτωση της χλωροφύλλης για την Μπενγκουέλα, έτσι και για τις θερμοκρασίες της για το έτος 2016 κατασκευάσαμε αραχνοειδή διαγράμματα, ένα για τα ελάχιστα και ένα για μέγιστα. Υπενθυμίζουμε πως οι γωνίες του διαγράμματος καταλαμβάνονται από τους μήνες και οι τιμές αυξάνονται όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς τις γωνίες δημιουργώντας έτσι μεγαλύτερους "ιστούς".



**Διάγραμμα 68:** Αραχνοειδές διαγράμματα ελαχίστων(min)

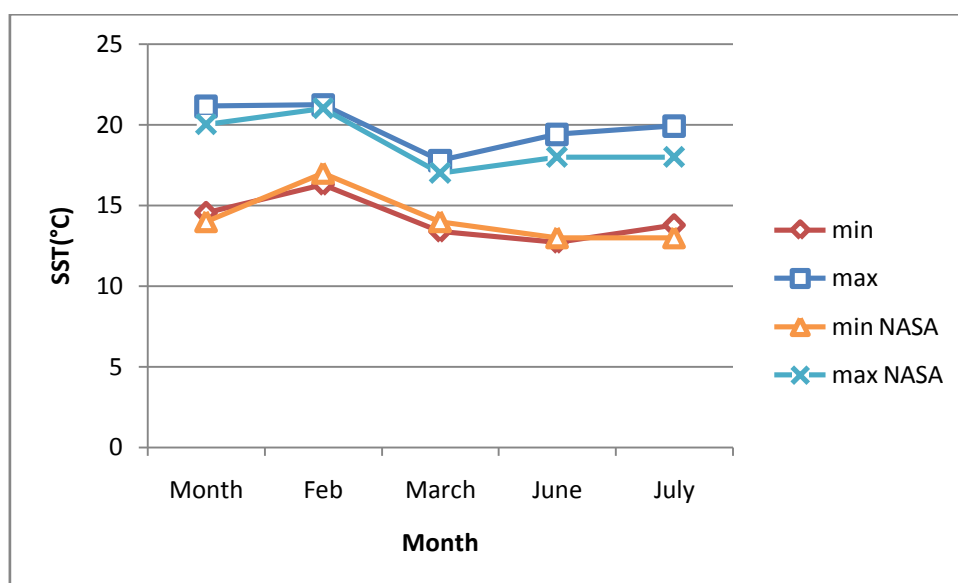


**Διάγραμμα 69:** Αραχνοειδές διάγραμμα μεγίστων (max)

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έχει ως εξής:

Οι δικές μας τιμές και αυτές της NASA είναι πολύ κοντά για αυτό και υπάρχει σχεδόν ταύτιση των μπλε και κόκκινων “ιστών”. Όπου υπάρχουν διαφοροποιήσεις οι μπλε γραμμές (δικές μας τιμές) περιβάλλουν τις κόκκινες πράγμα που επαληθεύει όσα έχουν επαληθευθεί και στα υπόλοιπα εδάφια περί μεγαλύτερου φάσματος τιμών της NASA. Στο αραχνοειδές διάγραμμα ελαχίστων ιδίως, παρατηρείται πλήρη ταύτιση των τιμών θερμοκρασίας για τους υπό μελέτη με τις μικρές διαφορές που αναφέραμε να οφείλονται στο γεγονός ότι η εκτίμηση των τιμών από το προϊόν της NASA έγινε χωρίς ακρίβεια δεκαδικού ψηφίου λόγω δυσκολίας ανάγνωσης των τιμών.

Εν κατακλείδι παρουσιάζουμε συνοπτικό διάγραμμα min και max τιμών για τα δικά μας εξαχθέντα αποτελέσματα και αυτά που αντλήσαμε από τη NASA.



Διάγραμμα 70: Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεγίστων και ελαχίστων SST για τη Μπενγκουέλα

## 6.4 Αποτελέσματα ανέμων

Το θεωρητικό υπόβαθρο περί κινήσεως των υδάτων σύμφωνα με τη θεωρία των δυνάμεων Coriolis υποδεικνύει κίνηση του νερού από τα αριστερά της κατεύθυνσης των ανέμων στην περίπτωση του νοτίου ημισφαιρίου. Έτσι, αναμένεται τα κινούμενα θερμά ύδατα να οδηγούνται αριστερά από την ακτή προς το εσωτερικό των ωκεανών (Ειρηνικός και Ατλαντικός). Σημειώνουμε πως στη περίπτωση των ανέμων μας ενδιαφέρει περισσότερο η διεύθυνση της κύριας συνιστώσας του, παρά το μέτρο του (ένταση). Ωστόσο η επεξεργασία που υλοποιήθηκε αφορά τόσο το μέτρο, όσο και τη κατεύθυνση των ανέμων.

### 6.4.1 Χιλή

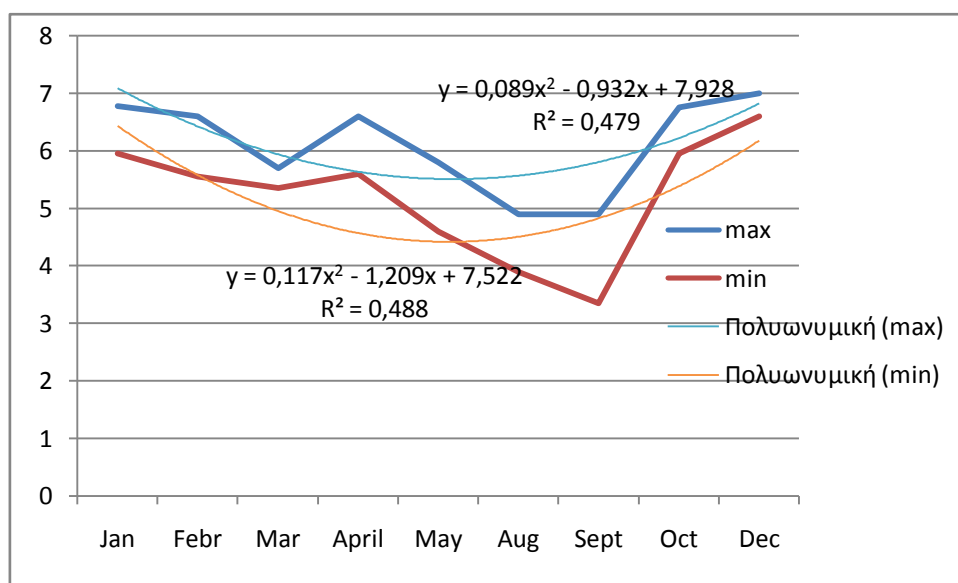
Σχετικά με τους ανέμους, παραπάνω παρατίθεται ο πίνακας με τις ταχύτητες των ανέμων για όλους τους μήνες των υπό μελέτη ετών από το 2005 ως το 2016 πλην του 2012. Αυτό που αποτελεί αναντίρρητη συνιστώσα ώστε να επιτευχθεί το φαινόμενο της ανάβλυσης

είναι η κατεύθυνση του ανέμου(διεύθυνση και φορά) και όχι τόσο το μέτρο του (ταχύτητα). Εν ολίγοις, όσον αφορά τη Χιλή, με βάση τα στιγμιότυπα ανέμου που αντλήσαμε από το παγκόσμιο προϊόν της NASA σε παραπάνω κεφάλαιο, μιας και βρισκόμαστε στο νότιο ημισφαίριο, τα διανύσματα –ιδίως τους χειμερινούς μήνες-έχουν την απαιτούμενη κατεύθυνση ώστε να επιτευχθεί το φαινόμενο: πνέουν παράλληλα στην ακτή και η έντασή τους αυξάνεται όσο πιο «μέσα» βρισκόμαστε στην CUZ.

Για να μιλήσουμε και με αριθμούς, η μέγιστη τιμή εντάσεως ανέμου σε m/sec εμφανίζεται τον Δεκέμβρη (7 m/sec) ενώ η ελάχιστη τον Σεπτέμβριο σχεδόν στο ήμισυ της μέγιστης (3,35 m/sec).

Wind speed (m/sec)		
Month	max	min
Jan	6,783333	5,95
Febr	6,6	5,55
Mar	5,7	5,35
April	6,6	5,6
May	5,8	4,6
Aug	4,9	3,9
Sept	4,9	3,35
Oct	6,75	5,95
Dec	7	6,6

Πίνακας 70:Πίνακας τιμών εντάσεως ανέμου για τη Χιλή ,ανά μήνα



Διάγραμμα 71:Διάγραμμα τιμών εντάσεως ανέμου για τη Χιλή

Οι άνεμοι χαρακτηρίζονται από υψηλή ένταση, με μικρή πτώση τον Σεπτέμβρη(πτώση καμπύλης ). Και στην περίπτωση των ανέμων, μικρότερη ένταση καταγραφόταν μακριά από την ακτή, και μεγαλύτερη κοντά. Οι τιμές εντάσεως σε συνδυασμό με την κατεύθυνσή τους, ευνοούν την εμφάνιση του upwelling, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων μηνών.

#### **6.4.2 Μπενγκουέλα**

Για τη δεύτερη περιοχή μελέτης μελετήθηκαν κυρίως τα διανύσματα του ανέμου, μιας και ήταν διαθέσιμα από τη NASA ημερησίως για όλο το 2006. Συμπεράναμε ότι οι άνεμοι πνέουν με διαφορετική κατεύθυνση για το καλοκαίρι και το χειμώνα:

- ❖ Το χειμώνα πνέουν από βορά προς δύση (North- West)
- ❖ Το καλοκαίρι πνέουν από νότο προς ανατολή (South-East)

Η ένταση τους είναι μεγαλύτερη όσο προχωράμε προς την ακτογραμμή. Και στην περίπτωση της Μπενγκουέλα μια κύρια συνιστώσα είναι παράλληλη προς την ακτή ,απαραίτητη προϋπόθεση για την εμφάνιση του φαινομένου της παράκτιας ωκεάνιας ανάβλυσης.

### **6.5 Συμπεράσματα**

Σε αυτό το τελευταίο υποκεφάλαιο εξάγονται συμπεράσματα στηριζόμενα σε όλη την εργασία. Απαρτίζεται από τρία μέρη: Στο πρώτο συνοψίζονται πληροφορίες που αφορούν το φαινόμενο της ωκεάνιας ανάβλυσης στο σύνολό του αλλά και πληροφορίες σχετικά με την εμφάνιση του φαινομένου στις δύο περιοχές που μελετήθηκαν. Στο δεύτερο μέρος εξήχθησαν συμπεράσματα που αναφέρονται στην καταλληλότητα ή μη των δορυφορικών δεδομένων, αλγορίθμων και δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Τέλος, στο τρίτο και τελευταίο μέρος της παρούσας ενότητας παραθέτουμε κάποιες προοπτικές για μελλοντική μελέτη του φαινομένου, στηριζόμενες στα αποτελέσματα που βγήκαν από τη διπλωματική εργασία.

#### **6.5.1 Συμπεράσματα περί του φαινομένου upwelling**

Το φαινόμενο της ωκεάνιας ανάβλυσης συνοπτικά συνδέεται με τις ακόλουθες παραμέτρους:

1. Οι δυνάμεις Coriolis σε συνδυασμό με δυνάμεις που οφείλονται στον άνεμο και στο νερό δημιουργούν την “Ekman μεταφορά” του θερμού νερού προς το εσωτερικό των ωκεανών, απομακρύνοντας το έτσι από την ακτή
2. Το φαινόμενο συνδέεται αναντίρρητα με μεγάλες συγκεντρώσεις chl-a και πιο ψυχρές θερμοκρασίες SST παράκτια
3. Οι πνέοντες άνεμοι πρέπει να έχουν τέτοια κατεύθυνση ώστε να ευνοούν την εμφάνιση του φαινομένου

4. Το φαινόμενο οδηγεί σε αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής και επομένως και της αλιείας, και ενώ τα συστήματα ανάβλυσης καταλαμβάνουν μονάχα το 1% της επιφάνειας των ωκεανών συνδράμουν κατά 50% στην παγκόσμια αλιεία

Συμπερασματικά για την πρώτη περιοχή μελέτης (Χιλή) :

- Πρόκειται για ένα εποχικό φαινόμενο
- Βρίσκεται σε έξαρση τους μήνες από Οκτώβρη μέχρι Γενάρη(καλοκαίρι για το νότιο ημισφαίριο) ενώ ελαχιστοποιείται από τον Μάιο ως τον Ιούλιο(χειμώνας για το νότιο ημισφαίριο)
- Συγκεντρώσεις chl-a πολύ υψηλότερες κοντά στην ακτή από ότι στα ανοιχτά του Ειρηνικού Ωκεανού
- Θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας(SST)ψυχρότερες στα παράκτια ύδατα, θερμότερες όσο περνάμε στα ανοιχτά του ωκεανού. Αυτό το συμπέρασμα χαρακτηρίζει αυτό καθαυτό το φαινόμενο(Ψυχρά ύδατα αναδύονται από τα βάθη και σπρώχνουν προς το εσωτερικό του ωκεανού τα θερμότερα)
- Πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις chl-a δεν ταυτίζονται απαραίτητως με ψυχρές θερμοκρασίες
- Η θερμοκρασία επιφάνεια θάλασσας (SST)είναι πιο υψηλή το καλοκαίρι και πιο χαμηλή το χειμώνα
- Τα διανύσματα ανέμων σε όλη τη διάρκεια του έτους –για όλη τη χρονοσειρά 2005-2016–πνέουν παράλληλα στην ακτή, με φορά από νότο προς βορά ακολουθώντας την κλίση της ακτογραμμής
- Οι τιμές εντάσεως ανέμων είναι αρκετά υψηλές , με κορύφωση το μήνα Δεκέμβρη και πτώση τον Σεπτέμβριο
- Υφίσταται μεταφορά Ekman του ζεστού στρώματος νερού κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου σπρώχνοντας έτσι το νερό προς τα αριστερά
- Το 2015 παρατηρήθηκε ιδιαίτερα χαμηλή τιμή chl-a πράγμα που οφείλεται στο φαινόμενο El Nino το οποίο παρατηρήθηκε τους τελευταίους μήνες του συγκεκριμένου έτους. Για αυτό και απορρίφθηκε το συγκεκριμένο έτος από τη μελέτη μας

Για την περιοχή της Μπενγκουέλα εξήχθησαν τα ακόλουθα:

- Πρόκειται για ένα φαινόμενο που εμφανίζεται όλο το χρόνο
- Βρίσκεται σε έξαρση όλους τους μήνες ,με κάποια στοιχειώδη μείωση τους δυο πρώτους μήνες του χειμώνα(Ιούνιο, Ιούλιο) για τα έτη 2016,2015,2014,2010,2007,2005. Σε κάποια άλλα έτη το φαινόμενο δεν εμφανίζει πτώση κανένα μήνα
- Εμφανίζεται σε πολύ μεγάλη περιοχή πολλών χιλιομέτρων κοντά στην ακτή που ξεκινάει από τη Μπενγκουέλα μέχρι τον κόλπο του Cape Town
- Συγκεντρώσεις chl-a πολύ υψηλότερες κοντά στην ακτή από ότι στα ανοιχτά του Ατλαντικού Ωκεανού



- Θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας (SST) ψυχρότερες στα παράκτια ύδατα, θερμότερες όσο περνάμε στα ανοιχτά του ωκεανού. Αυτό το συμπέρασμα χαρακτηρίζει αυτό καθαυτό το φαινόμενο (ψυχρά ύδατα αναδύονται από τα βάθη και σπρώχνουν προς το εσωτερικό του ωκεανού τα θερμότερα)
- Πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις chl-a δεν ταυτίζονται απαραίτητως με ψυχρές θερμοκρασίες
- Υψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας (SST) κυρίως το καλοκαίρι αλλά και αρκετά υψηλές κατά τη διάρκεια του χειμώνα
- Υψηλότερες θερμοκρασιακές τιμές από της Χιλής καθώς και ισχυρότερες συγκεντρώσεις chl-a
- Οι άνεμοι πνέουν από βορά→ δύση το χειμώνα και από νότο→ ανατολή το καλοκαίρι
- Υφίσταται μεταφορά Ekman του ζεστού στρώματος νερού κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου, σπρώχνοντας έτσι το νερό προς τα αριστερά

### 6.5.2 Αξιολόγηση των δορυφορικών δεδομένων

Εν συνεχεία αξιολογήθηκαν τα δορυφορικά δεδομένα ως εξής:

Ο υπολογισμός SST έγινε με βάση τα θερμικά κανάλια των Landsat TM(κανάλι 6) και Landsat 8 TIRS(κανάλια 10,11) που είναι πολύ καλά διαμετρημένα σε σχέση με τα προϊόντα MODIS για αυτό και οι υπολογιζόμενες θερμοκρασίες ήταν πολύ κοντά με τις θερμοκρασίες της NASA.

Οι εικόνες Landsat 8 λόγω του μεγάλου μεγέθους τους(2GB ασυμπίεστο και 1GB συμπιεσμένο) μας δυσκόλεψαν αρκετά στο “κατέβασμα” σε αντιδιαστολή με τις εικόνες του θεματικού χαρτογράφου και τις εικόνες Sentinel που είχαν αρκετά μικρότερο μέγεθος που δεν ξεπερνούσε τα 700MB.

Το πρόβλημα που παρουσιάστηκε στο αρχικό στάδιο της εργασίας μας είχε να κάνει με την έλλειψη αλγορίθμων chl-a από δεδομένα Landsat TM για τη Χιλή. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι που βρήκαμε για δεδομένα του θεματικού χαρτογράφου ήταν για τις περιοχές της Ινδονησίας ή αφορούσαν λίμνες και ποτάμια και επομένως δεν μας έκαναν.

Κατά το στάδιο της επεξεργασίας αποφανθήκαμε πως ο Sentinel 2 δεν ενδείκνυται για μελέτη του φαινομένου της ωκεάνιας ανάβλυσσης λόγω της ύπαρξης θορύβου σε όλα τα κανάλια του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και της ραβδοποίησης(pattern) που εμφάνισαν όλες οι εικόνες. Ωστόσο ο συγκεκριμένος δορυφόρος έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά για μελέτες που σχετίζονται με υδάτινα φαινόμενα οπότε δεν μπορούμε να πούμε πως δεν ενδείκνυται συνολικά για τη μελέτη ωκεάνιων φαινομένων. Από την άλλη ο Sentinel 3 αποτελεί την πλέον ιδανικότερη αποστολή για τους ωκεανούς, οι εικόνες δεν παρουσίασαν καθόλου θόρυβο παρά μόνο σύννεφα τα οποία πολύ εύκολα και γρήγορα μασκάραμε. Αν και είναι λίγα δεδομένα Sentinel 3 διαθέσιμα μιας και ξεκίνησε την αποστολή του τον Φεβρουάριο του 2016 τα αποτελέσματα ήταν πιο αξιόπιστα συγκριτικά με αυτά του Sentinel 2.

Τέλος, οι δορυφόροι που συνιστανται για τη μελέτη των ετών 2005-2016 είναι οι Landsat TM, Landsat 8, Sentinel 3 αν και υφίσταται έλλειψη δεδομένων για το έτος 2012.

### 6.5.3 Αξιολόγηση των χρησιμοποιηθέντων αλγορίθμων, δεικτών και εξισώσεων

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη Χιλή, βασιζόμενοι στα δεδομένα Landsat TM και Landsat 8 συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα, και οδήγησαν σε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα, όσον αφορά την εξαγωγή τιμών χλωροφύλλης (chl-a).

Αλγόριθμος	Δέκτης	Χρονολογία
$chl-a = 0.143314 + 0.208373 * TM2$	Landsat TM	2005-2011
$chl-a = 10^{(0.2412 - 2.0546 * \log(OI1/OI3) + 1.1776 * \log(OI1/OI3)^2 - 0.5538 * \log(OI1/OI3)^3 - 0.457 * \log(OI1/OI3)^4)}$ <b>OC3</b>	Landsat 8 OLI	2013-2016
$chl-a = 17.878 * (OI4 - OI1 / OI4 + OI1) + 5.636$ <b>NDWI</b>	Landsat 8 OLI	2013-2016

Πίνακας 71: Πίνακας χρησιμοποιηθέντων αλγορίθμων chl-a

Ο αλγόριθμος για την εξαγωγή χλωροφύλλης από δεδομένα Landsat TM ( $0.143314 + 0.208373 * TM2$ ) ήταν αρκετά εύκολος στη χρήση του καθώς χρησιμοποιούσε μονάχα ένα κανάλι, δεν απαιτούσε ατμοσφαιρική διόρθωση μιας και έκανε χρήση των ψηφιακών τιμών (DN) της εικόνας. Ωστόσο αποδείχθηκε λιγότερο αποτελεσματικός από τους OC3 και NDWI πιθανότατα επειδή αναφερόταν σε μια περιοχή λίγο βορειότερα από τη Χιλή και επομένως οι σταθερές ήταν ιδανικότερη για εκείνη τη περιοχή. Επιπλέον δε ξεχνάμε το γεγονός ότι ο αλγόριθμος ήταν απόρροια μαθηματικής παλινδρόμησης στηριζόμενη σε επί τόπου μετρήσεις άρα εμπεριέχοντας σφάλματα.

Ο αλγόριθμος OC3 είναι κατάλληλος μονάχα για μικρές συγκεντρώσεις chl-a ενώ ο NDWI για μεγαλύτερες. Στην εργασία μας θεωρήσαμε ως όριο για την χρήση ενός εκ των δύο τα  $3 \text{ mg} * \text{m}^{-3}$ .

Για δεδομένα Sentinel χρησιμοποιήθηκαν αντί αλγορίθμων οι δείκτες FLH/MCI και MCI για τα δεδομένα Sentinel 3 και Sentinel 2 αντίστοιχα. Αν και όπως προαναφέρθηκε οι εικόνες Sentinel 2 είχαν πολύ θόρυβο και δεν μπορούμε να είμαστε αντικειμενικοί σχετικά με τις παραχθείσες τιμές του δείκτη MCI, μπορούμε ομολογουμένως να πούμε πως ήταν και οι δύο δείκτες πολύ εύχρηστοι μέσω της πλατφόρμας SNAP. Συγκεκριμένα ο δείκτης FLH/MCI εμφάνισε κορεσμό για μεγάλες τιμές chl-a και οφείλει να γίνει καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα Sentinel 3 με σκοπό να αντιλαμβάνεται καλύτερα τη διαφοροποίηση των τιμών πάνω από ένα όριο.

Ακολουθεί παράθεση των δυο δεικτών για τις αποστολές Sentinel που εξήγαγε ο Gower το 2003:

## Sentinel 2

Δείκτης MCI, Gower, 2003:

$$MCI = L_2 - k \times \left( L_1 + (L_3 - L_1) \times \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_1} \right)$$

## Sentinel 3

Δείκτης FLH/MCI, Gower, 2003:

$$FLH = L_2 - k * \left( L_1 + (L_3 - L_1) \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_1} \right)$$

Οι εξισώσεις –σχέσεις για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας (SST) που οδήγησαν σε ακόμα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα από αυτά της χλωροφύλλης είναι οι εξής:

Εξίσωση	Δείκτης
$L_\lambda = ((L_{MAX_\lambda} - L_{MIN_\lambda}) / (QCAL_{MAX} - QCAL_{MIN})) * (QCAL - QCAL_{MIN}) + L_{MIN_\lambda}$ <b>Radiance</b>	Landsat TM
$T = K2 / \ln(K1 / L_\lambda + 1)$ <b>Planck</b>	Landsat TM, Landsat 8 TIRS
$SST = (T / (1 + (11.45 * T / 14380) * \ln(0.98)))$ <b>Weng</b>	Landsat TM, Landsat 8 TIRS
$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L$ <b>Radiance</b>	Landsat 8 TIRS

Πίνακας 72: Πίνακας χρησιμοποιηθέντων εξισώσεων SST

Όσον αφορά την περιοχή της Μπενγκουέλα, και σε αυτήν την περίπτωση τα αποτελέσματα ήταν πολύ κοντά με τις τιμές της NASA κυρίως για τα δεδομένα θερμοκρασίας. Εφόσον το έτος μελέτης ήταν το 2016 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μονάχα Landsat 8 με χρήση του αλγορίθμου NDWI (Zhang & Hang, 2015) για τη χλωροφύλλη, και την εξής σειρά εξισώσεων με σκοπό την εύρεση της θερμοκρασίας θάλασσας:

1.  $L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L$
2.  $T = K2 / \ln(K1 / L_\lambda + 1)$
3.  $SST = (T / (1 + (11.45 * T / 14380) * \ln(0.98)))$

#### **6.5.4 Προοπτικές για περαιτέρω μελέτη του φαινομένου**

Κλείνοντας, παρουσιάζουμε κάποιες προτάσεις για μελέτη του φαινομένου σε μελλοντικό στάδιο από άλλους ερευνητές, προτάσεις οι οποίες στηρίζονται κυρίως στα αποτελέσματα της επεξεργασίας που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Προτείνουμε λοιπόν τη μελέτη και ανάπτυξη κατάλληλων αλγορίθμων για δεδομένα Sentinel 3 οι οποίοι θα προκύπτουν από επί τόπου μετρήσεις και συνεπώς θα είναι απόρροια παλινδρομήσεων. Έτσι η εξαγωγή χαρτών χλωροφύλλης δε θα στηρίζεται μονάχα στους δείκτες που έχουν ήδη δημιουργηθεί, αλλά και σε αλγόριθμους όπως έγινε στην περίπτωση των δεδομένων Landsat 8. Σημαντικό είναι επίσης να βελτιωθούν και οι υπάρχοντες δείκτες καθώς και να βελτιωθούν οι υφιστάμενες πλατφόρμες (Sen2cor) για ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων.

Σημαντική είναι εξίσου η παραγωγή προϊόντων(χλωροφύλλης, θερμοκρασίας, ανέμων κτλ) Sentinel 3-όπως υπάρχουν αντίστοιχα τα προϊόντα της NASA και της NOA-και διάθεσής τους μέσα από το Copernicus. Τα προϊόντα αυτά θα συμβάλουν στη μελέτη του φαινομένου σε καλύτερη χωρική ανάλυση αποσκοπώντας στη βέλτιστη ανάπτυξη άλλων παράκτιων περιοχών οι οποίες εμφανίζουν το φαινόμενο αυτό σε μικροκλίμακα και οποίες δεν έχουν χαρακτηριστεί ως περιοχές ανάπτυξης του φαινομένου(πχ Ιεράπετρα Κρήτης).

Θα μπορούσε επιπροσθέτως να μελετηθεί σε πιο βάθος το φαινόμενο της ανάβλυσης και μιας και αποτελεί ένα περιβαλλοντικό φαινόμενο με ηχηρές διαστάσεις όσον αφορά την παγκόσμια αλιεία, σχετιζόμενο με άλλα σημαντικά φαινόμενα όπως το El Niño, είναι σημαντικό να μελετηθεί η εξέλιξή του σε συνάφεια με την κλιματική αλλαγή.

Τέλος, κρίνουμε αναγκαία την ανάπτυξη εφαρμογής για την ενημέρωση των αλιευτικών μονάδων ανάλογα με την εμφάνιση ή τη μείωση του φαινομένου, ώστε να είναι σε θέση τα αλιευτικά σκάφη να προγραμματίζουν τις δραστηριότητές τους καλύτερα.

## Βιβλιογραφία

- Καραθανάση Βασιλεία, (2014) *Ειδικά κεφάλαια τηλεπισκόπησης*, Αθήνα
- Δημήτριος Αργιαλάς, (1998) *Ψηφιακή τηλεπισκόπηση*, Αθήνα
- Δημήτριος Αργιαλάς, (1999) *Φωτοερμηνεία-τηλεπισκόπηση*, Αθήνα
- [1] *Carmen E. Morales, Samuel Hormazabal, Isabel Andrade, Marco A. Correa-Ramirez, (2013), Time-Space Variability of Chlorophyll-a and Associated Physical Variables within the Region off Central-Southern Chile*
- [2] *Ian S. Robinson, (2010) Discovering the ocean from space: the unique applications of satellite oceanography*
- [3] *Wolfgang Fennel, (1998) Theory of the Benguela Upwelling System, University of Rostock, Germany*
- [4] *Lalu Muhamad Jaelani, Resti Limehuwey, Nia Kurniadin, Adjie Pamungkas2, Eddy Setyo Koenhardono, and Aries Sulisetyono, (2016), Estimation of TSS and Chl-a Concentration from Landsat 8-OLI: The Effect of Atmosphere and Retrieval Algorithm*
- [5] *Maycira Pereira de Parias Costa, (2005) Coastal water chlorophyll estimation using Landsat TM*
- [6] *M. S. Salama, Hanan Farag, Maha Tawfik, (2014), Sentinel-2 Red-Edge bands Capabilities for Retrieving Chlorophyll-a, University of Twente*
- [7] *Emi Yati, (2016), Retrieval of chlorophyll- a and suspended sediment concentration using landsat 8 oli*
- [8] *J.F.R Gower, R. Doerffer, G.A Borstad, (1999), Interpretation of the 685 nm peak in the water-leaving radiance spectra in terms of fluorescence, absorption and scattering, and its observation by MERIS*
- [9] *Marié Smith, (2016), The use of reflectance classification for chlorophyll algorithm application across multiple optical water types in South African coastal waters, University of Cape Town*
- [10] *Vittorio Barale, Martin Gade, (2014), Remote Sensing of the African Seas*
- [11] *Teshale Tadesse Danbara, (2014), Deriving water quality indicators of lake Tana, Ethiopia from Landsat-8, University of Bahir Dar*

[12] J.R. Jensen, (2000) *Remote Sensing of the Environment, An Earth Resource Perspective* (Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall)

[13] Janet W. Campbell, (2003), *Development of Algorithms and Strategies for Monitoring Chlorophyll and Primary Productivity in Coastal Ocean, Estuarine and Inland Water Ecosystems*, University of New Hampshire

[14] Abduwasit Ghulam, (2010), *Calculating surface temperature using Landsat thermal imagery*, University of Saint Louis

[15] Z. Qin, A. Karnieli, P. Berliner, (2000), *A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region*

## Ιστότοποι

1. [http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=WIND\\_GLO\\_WIND\\_L4\\_REP\\_OBSERVATIONS\\_012\\_003](http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=WIND_GLO_WIND_L4_REP_OBSERVATIONS_012_003)
2. <https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html#ALGE>
3. <http://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html>
4. <https://coaps.fsu.edu/scatterometry/graphics/winds.php#qscat>
5. [https://coaps.fsu.edu/scatterometry/graphics/still.php#sth\\_ocn](https://coaps.fsu.edu/scatterometry/graphics/still.php#sth_ocn)
6. <https://winds.jpl.nasa.gov/missions/quikscat/#measurements>
7. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ekman\\_transport](https://en.wikipedia.org/wiki/Ekman_transport)
8. [http://podaac-tools.jpl.nasa.gov/soto-2d/soto.html?bounds\[\]=-114.521484375,301.2451171875,4&layers\[\]=jpl\\_ourcean\\_l4\\_\\_sst\\_\\_36000\\_x\\_18000\\_\\_daynight&date=2017-02-22](http://podaac-tools.jpl.nasa.gov/soto-2d/soto.html?bounds[]=-114.521484375,301.2451171875,4&layers[]=jpl_ourcean_l4__sst__36000_x_18000__daynight&date=2017-02-22)
9. <http://oceanmotion.org/html/background/ocean-in-motion.htm>
10. [http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap11/equat\\_upwel.html](http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap11/equat_upwel.html)
11. <https://earth.esa.int/workshops/ers97/papers/ballester/index-2.html>
12. <http://www.piscoweb.org/research/science-by-discipline/coastal-oceanography/upwelling-regions>
13. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-data-continuity-mission/>
14. [https://www.researchgate.net/post/Derive\\_Chlorophyll-a\\_from\\_LANDSAT\\_8](https://www.researchgate.net/post/Derive_Chlorophyll-a_from_LANDSAT_8)
15. <http://dasodata.gr/index.php/202-ndvi>
16. [http://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet\\_ndwi.pdf](http://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_ndwi.pdf)
17. [https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php)
18. <https://landsat.usgs.gov/landsat-processing-details>
19. <https://landsat.usgs.gov/landsat-8>
20. [https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7\\_Handbook.pdf](https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf)
21. [http://www.oceanopticsbook.info/view/overview\\_of\\_optical\\_oceanography/reflectances](http://www.oceanopticsbook.info/view/overview_of_optical_oceanography/reflectances)
22. <http://www.sa-venues.com/attractionswc/westcoast-attractions.htm>
23. <https://fromgitors.blogspot.com/2016/09/estimation-of-land-surface-temperature.html>
24. [http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/remote\\_sensing.html#landsat-definition](http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/remote_sensing.html#landsat-definition)
25. [http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/remote\\_sensing.html#conversion-to-surface-temperature](http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/remote_sensing.html#conversion-to-surface-temperature)
26. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B9%CE%BB%CE%AE>
27. <http://www.ski.com/blog/el-nino-expected-to-have-positive-effects-on-2016-chile-snowfall/>

28. [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BB\\_%CE%9D%CE%AF%CE%BD%CE%B9%CE%BF](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BB_%CE%9D%CE%AF%CE%BD%CE%B9%CE%BF)
29. <https://tesseractepoxes.wikispaces.com/%CE%9F%CE%B9+%CE%B5%CF%80%CE%BF%CF%87%CE%AD%CF%82+%CF%83%CF%84%CE%BF+%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B9%CE%BF+%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%AF%CF%81%CE%B9%CE%BF?responseToken=0a90b2b0739babf5c30ff7eb709cc2b7d>
30. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%84%CF%8C%CE%BD>
31. [https://earth.esa.int/documents/10174/950648/01\\_Thursday\\_OCT13\\_Shubha\\_Sathyendranath\\_Basics.pdf](https://earth.esa.int/documents/10174/950648/01_Thursday_OCT13_Shubha_Sathyendranath_Basics.pdf)
32. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-olci/resolutions>
33. [http://gers.uprm.edu/geol6225/pdfs/09\\_rs\\_water.pdf](http://gers.uprm.edu/geol6225/pdfs/09_rs_water.pdf)
34. <https://landsat.usgs.gov/what-landsat-8-quality-assessment-qa-band-and-how-it-used>