



ΑΝΟΙΚΤΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΚΥΠΡΟΥ

# ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

## Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

### ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

#### ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

Διαχρονική μελέτη αξιολόγησης του περιβάλλοντος σε  
ενεργειακή βιομηχανική εγκατάσταση με τεχνικές  
παθητικών συστημάτων τηλεπισκόπησης

*Ιωάννου Μαρία*

Επιβλέπων Καθηγητής

Γιώργος Μηλιαρέσης

Δεκέμβριος , 2014

# Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

## ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

### ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διαχρονική αξιολόγηση του περιβάλλοντος  
σε παράκτια ενεργειακή βιομηχανική εγκατάσταση  
με τεχνικές παθητικών συστημάτων τηλεπισκόπησης

Ιωάννου Μαρία

Επιβλέπων Καθηγητής

Γιώργος Μηλιαρέσης

Δεκέμβριος , 2014

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## Κεφάλαιο Πρώτο

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1.1. Εισαγωγή</b>   | <b>16</b> |
| <b>1.2. Συστήματα Τηλεπισκόπησης</b>                         | <b>17</b> |
| <b>1.3 Αρχή λειτουργίας των τηλεπισκοπικών ανιχνευτών</b>    | <b>18</b> |
| 1.3.1. Πηγή Ενέργειας  | 21        |
| 1.3.2. Ατμόσφαιρα  | 21        |
| 1.3.3. Δέκτης  | 22        |
| <b>1.4. Κατηγορίες δεκτών ανιχνευόμενης Η/Μ ακτινοβολίας</b> | <b>22</b> |
| <b>1.5. Σύστημα διαχείρισης-Επεξεργασίας Δεδομένων</b>       | <b>23</b> |
| 1.5.1. Φασματική Διακριτική Ικανότητα                        | 26        |
| 1.5.2. Χωρική Διακριτική Ικανότητα                           | 26        |
| 1.5.3. Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα                     | 27        |
| 1.5.4. Χρονική Διακριτική Ικανότητα                          | 27        |
| 1.5.5. Γεωγραφικό Πληροφορικό Σύστημα                        | 27        |
| <b>1.6. Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα</b>                           | <b>28</b> |
| <b>1.7. Μέλαν Σώμα - Θερμική Ακτινοβολία</b>                 | <b>29</b> |
| <b>1.8. Φασματική Υπογραφή</b>                               | <b>32</b> |
| <b>1.9. Τηλεπισκόπηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος</b>        | <b>34</b> |
| <b>1.10. Θαλάσσια ρύπανση</b>                                | <b>35</b> |
| <b>1.11. Η Προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος</b>         | <b>38</b> |
| <b>1.12. Επιπτώσεις πετρελαϊκής ρύπανσης</b>                 | <b>39</b> |
| 1.12.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις                           | 39        |
| 1.12.2. Κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις                     | 40        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1.13. Σημαντικά ατυχήματα</b>   | <b>42</b> |
| 1.13.1. Amoco Cadiz  | 42        |
| 1.13.2. Ss Atlantic Empress  | 44        |
| 1.13.3. Castillo De Bellver  | 44        |
| 1.13.4. Exxon Valdez   | 45        |
| 1.13.5. ABT Summer   | 48        |
| 1.13.6. MT Haven   | 50        |
| <b>1.14. Εκρήξεις σε Πλατφόρμες εξόρυξης</b>   | <b>49</b> |
| 1.14.1. Usumacinta.....  | 49        |
| 1.14.2. Nowruz Field.....  | 50        |
| <b>1.15. Καταγραφή προβλήματος</b>   | <b>51</b> |
| <b>1.16. Σκοποί και στόχοι</b>   | <b>53</b> |
| <b><u>Κεφάλαιο Δεύτερο</u></b>   |           |
| <b>2.1. Εισαγωγή</b>   | <b>54</b> |
| <b>2.2. Η Οικολογία του Κόλπου</b>   | <b>56</b> |
| <b>2.3. Ιστορική Αναδρομή του Ατυχήματος</b>   | <b>57</b> |
| <b>2.4. Τηλεπισκοπικά δεδομένα</b>   | <b>62</b> |
| <b>2.5. Πολυφασματικός σαρωτής MODIS</b>   | <b>69</b> |
| 2.5.1 Λειτουργία του σαρωτή MODIS  | 71        |
| 2.5.2. Φασματική Διακριτική Ικανότητα  | 72        |
| 2.5.3. Χωρική Διακριτική Ικανότητα   | 74        |
| 2.5.4. Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα (αριθμό διαβαθμίσεων του γκριζου)                       | 75        |
| 2.5.5. Χρονική Διακριτική Ικανότητα (Temporal resolution)  | 75        |
| 2.5.6. Εφαρμογές   | 75        |
| <b>2.6. Περιβαλλοντικές εφαρμογές του MODIS και Landsat στο παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον</b> | <b>77</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>2.7. Ωκεανοί &amp; Αλγόριθμοι</b>   | <b>78</b>  |
| <b>2.8. AVHRR (NOAA)</b>   | <b>83</b>  |
| <b>2.9. Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης</b>                               | <b>85</b>  |
| 2.9.1. Ελλάδα  | 87         |
| 2.9.2. Κύπρος  | 87         |
| <b><u>Κεφάλαιο Τρίτο</u></b>   |            |
| <b>3.1. Σκοπός και Στόχοι</b>  | <b>91</b>  |
| <b>3.2. Ερευνητικά Ερωτήματα</b>   | <b>92</b>  |
| <b>3.3. Δεδομένα</b>   | <b>92</b>  |
| 3.3.1. Εντοπισμός πετρελαιοκηλίδων από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες |            |
| 94   |            |
| 3.3.2. Δεδομένα χλωροφύλλης  | 105        |
| 3.3.3. Δεδομένα θερμοκρασίας θάλασσας  | 112        |
| 3.3.4. Θερμοκρασία Θάλασσας  | 114        |
| <b><u>Κεφάλαιο Τέταρτο</u></b>   |            |
| <b>4.1. Συζήτηση</b>   | <b>118</b> |
| <b><u>Κεφάλαιο Πέμπτο</u></b>  |            |
| <b>5.1. Συμπεράσματα</b>   | <b>121</b> |

---

Στους γονείς μου *Κωνσταντία* και *Αντώνη*

## Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέπων καθηγητή μου Δρ. Γεώργιο Μηλιαρέση για την εμπιστοσύνη του που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, αλλά και για τη συνολική επίβλεψή του ώστε αυτή να αποπερατωθεί επιτυχώς.

Η συνεχής και άμεση καθοδήγησή του ήταν ουσιαστική και καθοριστική και οι επιστημονικές του συμβουλές ανεκτίμητες, τόσο στην εκμάθηση των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, όσο και στη επίλυση προβλημάτων/αποριών που προέκυψαν στην πορεία αυτής.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόθερμα τα άτομα της οικογένειας μου που μου στάθηκαν στη διαδρομή αυτή. Θερμές ευχαριστίες οφείλω στους γονείς μου Κωνσταντία και Αντώνη για την ανιδιοτελή τους αγάπη και κατανόηση τους καθόλα τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών τόσο αλλά και για την παροχή των χρήσιμων συμβουλών τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την αγαπητή μου φίλη και συνάδελφο Ευσταθία για την συμπαράσταση της καθόλη την πορεία της διπλωματικής μου μελέτης καθώς και για της πολύτιμες συμβουλές της.

Τους ευχαριστώ όλους από καρδιάς και τους αφιερώνω την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

## Ελληνική Περίληψη

Η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων σε συνδυασμό με τη αστικοποίηση είναι πιθανόν να αυξήσει τη συχνότητα και την έκταση-επιπτώσεις των ενεργειακών ατυχημάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον της Κύπρου και της Ελλάδος. Το πρόβλημα εντείνεται σε συνδυασμό με την ανακάλυψη και προγραμματισμένη εκμετάλλευση των ενεργειακών κοιτασμάτων στο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου. Επομένως τα δύο κράτη με κοινά θαλάσσια σύνορα θα πρέπει να υιοθετήσουν τεχνικές και μεθοδολογίες που θα επιτρέπουν τη παρακολούθηση και εποπτεία του θαλάσσιου περιβάλλοντος με σκοπό τη πρόληψη, τη καταγραφή και αξιολόγηση των επιπτώσεων των περιβαλλοντολογικών ατυχημάτων. Από την άλλη πλευρά παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης που λειτουργούν χρησιμοποιώντας την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης προσφέρουν σχεδόν συνεχή και αδιάλειπτη παρακολούθηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος καταγράφοντας μια μεγάλη σειρά από βιοφυσικούς δείκτες. Άρα πρέπει να προσδιοριστούν ποιά δορυφορικά καταγραφικά συστήματα και δυνητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στο μέλλον για τη καταγραφή, τη παρακολούθηση και την εκτίμηση των επιπτώσεων θαλάσσιων περιβαλλοντολογικών ατυχημάτων σε πλατφόρμες εξόρυξης. Για αυτό το σκοπό γίνεται μελέτη του πλέον σύγχρονου και με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις ατύχημα σε ενεργειακή πλατφόρμα εξόρυξης πετρελαίου που συνέβη στις 20 Απριλίου του 2010 στο Κόλπο του Μεξικού το οποίο απείλησε με αφανισμό σχεδόν το σύνολο του οικοσυστήματος σε ηπειρωτική σχεδόν έκταση.

Τέτοιας κλίμακας ατυχήματα μπορεί να θεωρούνται σε συχνότητα σχεδόν σπάνια αλλά οι επιπτώσεις τους είναι ιδιαίτερα καταστροφικές και με μεγάλες και μακροχρόνιες επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Στην προκειμένη περίπτωση, αποδείχθηκε ότι τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης με μέτρια χωρική διακριτική ικανότητα, και μεγάλη χρονική και φασματική διακριτική ικανότητα είναι σε θέση να εντοπίσουν τόσο περιβαλλοντικά ατυχήματα που συσχετίζονται



με την καταστροφή πλατφόρμων εξόρυξης ενεργειακών πρώτων υλών όσο και να καταγράφουν την πορεία των πετρελαιοκηλίδων, και τις παράκτιες ζώνες που πλήττονται.

Επιπλέον τα βιοφυσικά δεδομένα (χλωροφύλλης και θερμοκρασίας) που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την μελέτη απέδειξαν ότι είναι δυνατόν να εντοπισθούν από θερμικά δεδομένα εκβολές ποτάμιων και υπόγειων υδάτων και να καταγράφουν τα ποσοστά της χλωροφύλλης στην παράκτια ζώνη προκειμένου να αξιολογηθεί η οικολογική δραστηριότητα και η ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα αποδείχθηκε ότι :

- Τα θαλάσσια ύδατα εγγυτέρα στην ακτογραμμή παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία τον χειμώνα από ότι το καλοκαίρι. Επιπλέον η θερμοκρασία την καλοκαιρινή περίοδο είναι υψηλότερη και τείνει να ομογενοποιηθεί σε όλο τον Κόλπο από Μάιο έως Σεπτέμβριο. Αυτό οφείλεται στην τροφοδοσία με ψυχρό νερό από τα ποτάμια της υδρολογικής λεκάνης του Μισισσιπή (μιας από τις μεγαλύτερες στον κόσμο). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει φυσική ανανέωση των νερών στην περιοχή και την μεταφορά ιζημάτων, μικροοργανισμών και θρεπτικών υλών που ανανεώνουν το οικοσύστημα.
- Παρά όμως όλη αυτή την εξωγενή συνεισφορά από τις εκβολές του Μισισσιπή ένα χρόνο μετά, τα επίπεδα της χλωροφύλλης παραμένουν μηδενικά κατά μήκος της ακτογραμμής και κυρίως στην παράκτια ζώνη Βόρεια της πλατφόρμας εξόρυξης. Δηλαδή η παράκτια ζώνη και ειδικά η αβαθή περιοχή σε απόσταση 3-4 χλμ από την ακτογραμμή έχει πληγεί ανεπανόρθωτα από την πετρελαιοκηλίδα και θα χρειαστεί πολύ χρόνος για να ανακάμψει.

Οι αιτίες οφείλονται τόσο στην πρωτογενή μόλυνση από την πετρελαιοκηλίδα όσο και σε δευτερογενή αίτια που συσχετίζονται με τον τρόπο αντιμετώπισης της. Πιο συγκεκριμένα:

- Η καταστροφή του πυθμένα (γκριλ, πλαγκτόν), η οποία αποτελεί και τροφή των μεγάλων θαλάσσιων θηλαστικών και καρχαριοειδών που τεκμηριώθηκε με τη δραματική μείωση των δελφινιών, φαλαινών και καρχαριών που ξεβράζονταν τα νεκρά στις ακτές της Λουϊζιάνα, του Μισισσιπή, της Αλαμπάμα και της Φλόριντα.

- Η χρήση της χημικής ουσία Corexit σε τεράστιες ποσότητες, (έναν τοξικό διαλύτη απαγορευμένο σε 20 χώρες) είχε επιπτώσεις που τεκμηριώθηκαν αφού πολλοί άνθρωποι που εργάστηκαν συχνά εθελοντικά για το καθαρισμό της πετρελαιοκηλίδας έχασαν τη ζωή τους, κυρίως από καλπάζοντες μορφές καρκίνου. Η BP ισχυρίστηκε ότι η χρήση της Corexit είχε σκοπό την παρεμπόδιση της εξάπλωσης πετρελαίου στις ακτές όμως ο αληθινός στόχος ήταν η συγκάλυψη της έκτασης της μόλυνσης για τη ελαχιστοποίηση της ευθύνης της.

Δηλαδή ο Κόλπος του Μεξικού και ειδικότερα η παράκτια ζώνη (ένα χρόνο μετά το ατύχημα) απέναντι από την πλατφόρμα εξόρυξης έχει μετατραπεί σε μια οικολογική έρημο, ενώ η διαρκής τροφοδοσία με θρεπτικές ύλες και μικροοργανισμούς από τον Μισισιπή, δεν είναι σε θέση ένα χρόνο μετά να αναστρέψει την κατάσταση ανεβάζοντας έστω και ελάχιστα τα επίπεδα της χλωροφύλλης. Είναι προφανές ότι, οι οργανισμοί που καταλήγουν στην ακτογραμμή έναντι του ατυχήματος πεθαίνουν εξ αιτίας της χημικής ρύπανσης του πυθμένα.

## Αγγλική Περίληψη

The exploitation of natural resources combined with urbanization is likely to increase the frequency and extent of impact-energy accidents in the marine environment of Cyprus and Greece. The problem is intensified in conjunction with the scheduled discovery and exploitation of energy reserves in the Eastern Mediterranean.

Thus the two states shared maritime borders should adopt techniques and methodologies that will allow monitoring and surveillance of the marine environment to the prevention, recording and evaluation of the impact of environmental accidents.

On the other hand, passive remote sensing systems that operate using the reflected electromagnetic radiation on the surface of the earth offer almost constant and continuous monitoring of the marine environment by recording a wide range of biophysical indicators. So we need to determine what satellite recording systems and potentially can be used in the future for recording, monitoring and assessment of environmental impacts of marine accidents in mining platforms.

For this purpose there is a study of the most modern and the biggest impact accident in energy oil platform which occurred on 20 April 2010 in the Gulf of Mexico which is threatened with extinction almost the whole ecosystem in almost continental extent. Accidents of this scale can be considered almost rare in frequency but their effects are particularly devastating and long and lasting impact on the marine environment.

In this case, it was shown that passive remote sensing systems with moderate spatial resolution, and large temporal and spectral resolution is able to identify both environmental accidents associated with the mining disaster platforms energy raw materials and to record the progress of oil spills, and coastal areas affected. Additional biophysical data (chlorophyll and temperature) used in this study demonstrated that it may be detected by thermal data estuaries and groundwater and record rates of chlorophyll in the coastal zone in order to assess the ecological activity and the quality of the natural environment. Specifically proved :

- Marine waters close to the coastline show much lower temperature in winter. Moreover, the temperature during summer is higher and tends to homogenize across the Gulf from May to September. This is due to the cold water supply from the rivers of the Mississippi basin (one of the largest in the world). This suggests natural renewal of water in the region and transport sediments, nutrients and microorganisms that enhance ecosystem.
- Despite all this extrinsic contribution from the mouth of the Mississippi one year later, the levels of chlorophyll remain zero along the coast and mainly in the coastal zone of the northern mining platform that the coastal zone and especially the shallow area within 3-4 miles from the coastline irreparably damaged by the oil spill and will take a long time to recover.

The causes attributable both in primary infection of the spill or secondary causes associated with how to deal with. More specifically:

- Damage to the bottom (krill, plankton), which is also fed large marine mammals and sharks documented the dramatic decline of dolphins, whales and sharks washed up dead on the shores of Louisiana, Mississippi, Alabama and Florida.
- The use of the chemical Corexit in huge quantities (a toxic solvent banned in 20 countries) had effects that were documented as many people who worked often volunteered to clean the spill died, mainly from rampant cancers. The BP argued that the use of Corexit was the purpose of preventing the spread of oil on the coast but the real goal was to conceal the extent of contamination to minimize its liability.

That the Gulf of Mexico and in particular the coastal zone (one year after the accident) against the mining platform has turned into an ecological desert, while the constant supply of nutrients and microorganisms from Mississippi, is unable to post a time reverse the situation by raising the slightest levels of chlorophyll. Clearly, organizations that lead the coastline against accidents die because of chemical contamination of bottom.

# **Πίνακες/ Εικόνες/Σχήματα/Γραφήματα**

## **ΠΙΝΑΚΕΣ**

**Πίνακας 2.3.1.** : Ποσότητα πετρελαίου διάχυσης στα θαλάσσια ύδατα

**Πίνακας 2.4.1.** : Χαρακτηριστικά των δορυφόρων Landsat 1-8 (Loveland and Dwyer, 2012)

**Πίνακας 2.5.2.1.** : Φασματικές περιοχές μέτρησης του MODIS

**Πίνακας 2.5.2.2.** : Φασματικές Ζώνες του MODIS

**Πίνακας 2.5.3.3.1.** : Προτεινόμενες εφαρμογές κάθε φασματικού καναλιού του MODIS.

**Πίνακας 3.3.3.1** : Κέντρα βάρους τάξεων

**Πίνακας 3.3.4.1:** Κέντρα βάρους τάξεων

## **ΕΙΚΟΝΕΣ**

**Εικόνα 1.3.1.** : Απορρόφηση χλωροφύλλης

**Εικόνα 1.5.1:** Κατηγορίες ανάλυσης δεδομένων

**Εικόνα 1.7.1.** : Η κατανομή της έντασης της φασματικής ακτινοβολίας του μέλανος σώματος ως προς το μήκος κύματος, σύμφωνα με το Νόμο του Planck.

**Εικόνα 1.13.1.1.** : Η βύθιση του Amoco Cadiz

**Εικόνα 1.13.3.1.** : Η έκρηξη του Castillo De Bellver

**Εικόνα 1.13.4.1.:** Το πετρελαιοφόρο Exxon Valdez

**Εικόνα 1.13.4.2.** : Προσπάθειες καθαρισμού πετρελαιοκηλίδας

**Εικόνα 1.13.5.1.:** Το Δεξαμενόπλοιο ABT Summer

**Εικόνα 1.14.1.1.** : Η πλατφόρμα Kab 101 και η πλατφόρμα Usumacinta Platform μια μέρα μετά την έκρηξη.

**Εικόνα1.14.2.1.** : Nowruz Field

**Εικόνα 2.1.1.** : Χάρτης του Μεξικού και της κεντρικής Αμερικής

**Εικόνα 2.1.2.:** Το ρεύμα του κόλπου. Τα νερά του ρεύματος του Κόλπου με κίτρινο και πορτοκαλί χρώμα (Απεικόνιση θερμοκρασιών των νερών του Ατλαντικού).

**Εικόνα 2.3.1.** : Προσπάθειες κατάσβεσης της πλατφόρμας

**Εικόνα 2.3.2.** : Χάρτης απεικόνισης του σημείου έκρηξης της πλατφόρμας Deepwater Horizon oil rig στο κόλπο του Μεξικού.

**Εικόνα 2.3.3.:** Απεικόνιση του σημείου διαρροής του πετρελαίου

**Εικόνα 2.3.4.** : Επιχείρηση καθαρισμού ακτών που πραγματοποιήθηκε από την οργάνωση HAZMAT για τον καθαρισμό ακτής στο Κόλπο του Μεξικού.

**Εικόνα 2.4.1.** : Μηχανή αναζήτησης Earth Explorer

**Εικόνα 2.4.2.:** Χρονοσειρά εκτόξευσης των δορυφόρων Landsat

**Εικόνα 2.4.3.** : Παγκόσμιο σύστημα τηλεσκοπικών δορυφόρων

**Εικόνα 2.5.1.:** Ο δέκτης MODIS προσαρτημένος στο δορυφόρο Terra

**Εικόνα 2.5.1.1.** : Σχηματική αναπαράσταση της «bow-tie» σάρωσης του MODIS

**Εικόνα 2.5.2.1.** : Δίοδοι ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και η κατανομή των καναλιών του MODIS.

**Εικόνα 2.7.1.:** Παγκόσμιος χάρτης για την nLW στα 443nm από τις 6 έως τις 13 Μαρτίου 2001.

**Εικόνα 2.8.1.** : Απεικόνιση της θαλάσσιας θερμοκρασίας παγκοσμίως από δεδομένα NOAA/AVHRR

**Εικόνα 2.9.1.** : Χρωματισμένες πετρελαιοκηλίδες στο κόλπο του Μεξικού κοντά στη περιοχή του Deepwater Horizon (Ιούνιος 2010)

**Εικόνα 2.9.1.1.:** Οικόπεδα προσφοράς προς εκμετάλλευση

**Εικόνα 2.9.2.1.** : Θαλάσσια οικόπεδα στην περιοχή της Κύπρου προς προσφορά για εκμετάλλευση

**Εικόνα 3.3.1.:** USGS, Modis data products table.

**Εικόνα 3.3.4.2. :** Ιουλίου

**Εικόνα 3.3.4.3. :** Οκτωβρίου

**Εικόνα 3.3.4.4. :** Δεκεμβρίου

**Εικόνα 3.3.4.5. :** Τάξεις θερμοκρασίας θάλασσας

**Εικόνα 3.3.4.7. :** Ζουμ στην περιοχή μελέτης όπου εμφανίζονται οι τάξεις 3, 7, 9, 16.

## **ΣΧΗΜΑΤΑ**

**Σχήμα 1.3.1:** Στοιχεία ενός ιδεατού συστήματος τηλεπισκόπησης

**Σχήμα 1.6.1. :** Οι ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (1 nm =  $10^{-9}$  m, 1  $\mu$ m =  $10^{-6}$  m, 1 mm =  $10^{-3}$  m, 1 cm =  $10^{-2}$  m)

**Σχήμα 1.8.1. :** Φασματικές υπογραφές γυμνό έδαφος, βλάστησης και νερό

**Σχήμα 1.10.1. :** Πηγές θαλάσσιας ρύπανσης

**Σχήμα 1.10.2.:** Στάδια διάλυσης

## **ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ**

**Γράφημα 3.3.4.1. :** Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους

**Γράφημα 3.3.4.2. :** Γραφική αναπαράσταση ενός υποσυνόλου των κέντρων βάρους

# Κεφάλαιο Πρώτο

## 1.1. Εισαγωγή

Στην εισαγωγή θα γίνει πρώτα μια αναδρομή των τεχνικών τηλεπισκόπησης της γήινης επιφάνειας καθώς και της αναγκαιότητας χρήσης των μεθόδων αυτών και στο θαλάσσιο περιβάλλον (Miliareisis and Tsatsaris 2011; Miliareisis and Tsatsaris 2010; Wan, 2008).

Στη συνέχεια γίνεται εκτενής αναφορά στη θαλάσσια ρύπανση αλλά και στους παράγοντες δημιουργίας αυτής. Μεταξύ άλλων αναλύονται τα στάδια διάλυσης πετρελαίου μετά την έκχυση του στη θάλασσα ανάλογα με το κλίμα που επικρατεί (Sterling, 1982).

Επιπλέον, γίνεται αναφορά των επιπτώσεων που η πετρελαϊκή ρύπανση επιφέρει στο περιβάλλον, στη κοινωνία αλλά και στην οικονομία (Barron, 2012; Miliareisis and Seymour 2011; Hossein and Cam, 2012).

Τέλος γίνεται αναφορά αρκετών ενεργειακών ατυχημάτων που μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί διαχωρίζοντας τα σε 2 μεγάλες κατηγορίες. Στις ενεργειακές εκρήξεις που έχουν σημειωθεί σε πλατφόρμες και στα ενεργειακά ατυχήματα που έχουν καταγραφεί σε πετρελαιοφόρα. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την περιγραφή του προβλήματος την αναγκαιότητα της έρευνας.

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με τα ατυχήματα σε ενεργειακές εγκαταστάσεις και στα συστήματα μεταφοράς και αποθήκευσης ενεργειακών πηγών και πιο εξειδικευμένα με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που μας δίνουν τα συστήματα τηλεπισκόπησης (AQUA, 2013; MODIS Web., 2013) και τα σύγχρονα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών. Αυτά τα αντικείμενα – Θέμα έχουν εξαιρετικά υψηλό ενδιαφέρον γιατί γίνεται εντατική εκμετάλλευση ενεργειακών πόρων και ιδιαίτερα κοιτασμάτων υδρογονανθράκων σε συνδυασμό με την εξάντληση των κοιτασμάτων επιχειρείται η εξόρυξη κοιτασμάτων ή πλησιέστερα σε κατοικημένες περιοχές και σε πιο δύσκολες γεωτεχνικές και γεωλογικές συνθήκες (Rao et al., 2006; Marnelis et al., 2007).

Γεγονός που αυξάνει τη πιθανότητα περιβαλλοντολογικών ατυχημάτων. Ιδιαίτερα στην περιοχή της ανατολικής μεσογείου και του Αιγαίου θα αυξησει τη διέλευση πλοίων με ενεργειακά φορτία (Lie et al., 2014, Allan et al., 2012).



Θα δημιουργηθούν νέες εγκαταστάσεις τόσο στο θαλάσσιο χώρο για τη εξόρυξη κοιτασμάτων όσο και στη παράκτια ζώνη που θα δημιουργηθούν σταθμοί αποθήκευσης και εγκαταστάσεις επεξεργασίας (Reuters, 2012, Allan et al., 2012.).

Η αιτία του μεγάλου όγκου των ενεργειακών φορτίων των εγκαταστάσεων εξόρυξης είναι τα νέα κοιτάσματα που έχουν βρεθεί στην Ανατολική Μεσόγειο Νότια της Κύπρου, τα πιθανολογούμενα κοιτάσματα φυσικού αερίου στα Νότια της Κρήτης ή επανεργοποίηση των κοιτασμάτων στο Πρίνο Νότια της Θάσου και τα πιθανολογούμενα κοιτάσματα στο Ιόνιο και στη Δυτική Ελλάδα (Anastasakis et al., 2006; NGE, 2013, Shultz et al., 2014).

## 1.2. Συστήματα Τηλεπισκόπησης

Επειδή σε αυτή τη διπλωματική θα αξιολογηθούμε με τις τεχνικές παρατήρησης και ελέγχου ενεργειακών ατυχημάτων στο θαλάσσιο χώρο με συστήματα δορυφορικής τηλεπισκόπησης που λειτουργούν με τη χρήση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης, θα γίνει μια εισαγωγική παρουσίαση στις αρχές και τις τεχνικές των παθητικών συστημάτων τηλεπισκόπησης. Με τον όρο τηλεπισκόπηση εννοείται η επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Η λέξη είναι σύνθετη και αποτελείται από το επίρρημα *τηλε-* και το ρήμα *επισκοπέω/-ώ*, δηλαδή παρατηρώ από μακριά. Στη διεθνή βιβλιογραφία με την χρήση του όρου Remote Sensing, Τηλεανίχνευση ή Τηλεπισκόπηση ορίζεται ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, τεχνικών ή και φυσιολογικών λειτουργιών, όπως για παράδειγμα η ανθρώπινη όραση. Στην πραγματικότητα, σήμερα με το όρο Τηλεπισκόπηση εννοούμε "την επιστήμη και τη τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάση της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία" (Miliareisis, 2013a). Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης αποτελεί στις μέρες μας το πλέον σύγχρονο τρόπο επιστημονικής παρατήρησης του περιβάλλοντος. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση με σκοπό τη παρατήρηση και τη παρακολούθηση της γης, άρχισε τη δεκαετία του 1960 όταν οι τεχνικές - δυνατότητες των δορυφόρων συνδυάστηκαν με την ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ στη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων (Mather, 2004, Allan et al., 2012.). Η τηλεπισκόπηση ασχολείται με την μελέτη της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή ανακλάται από τα αντικείμενα της γης και ορίζεται ως η μελέτη αντικειμένων και φαινομένων από απόσταση, μέσω καταγραφικών οργάνων που μεταφέρονται από δορυφορικά καταγραφικά συστήματα πραγματοποιείται η συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία πληροφοριών τα οποία δεν είναι σε επαφή με το υπο-μελέτη

αντικείμενο και καταγράφονται σε μορφή εικόνας (Zhou and Wong, 2004, Allan et al., 2012.). Η μείωση του κόστους διαχείρισης και επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων τις δυο τελευταίες δεκαετίες είχε σαν αποτέλεσμα τη ραγδαία ανάπτυξη της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων σε όλο ένα και περισσότερους τομείς όπως τη γεωργία, την αρχαιολογία, τη βαθυμετρία, τη χαρτογραφία, την κλιματολογία, τη μετεωρολογία, την ωκεανογραφία, τη δασοκομία, τη γεωλογία, τη γεωμορφολογία κ.α. (Alessandro et al., 2014, Allan et al., 2012).

Τα επιτεύγματα της χρησιμοποιούνται καθημερινά στην ζωή μας όσο και σε πολύ εξειδικευμένα πεδία επιστημών. Η καθημερινή πρόγνωση του καιρού γίνεται αξιοποιώντας δεδομένα από μετεωρολογικούς δορυφόρους, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή τεκμηριώνεται με τη χρήση δορυφόρων που παρακολουθούν τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη, το βαρυτικό πεδίο της Γης χαρτογραφείται με εξειδικευμένα δορυφορικά ζεύγη κ.ά.. το Κτηματολόγιο υλοποιείται με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες (Sylves and Comfort, 2010, Shultz et al., 2014).

Η παρατήρηση της επιφάνειας της Γης είναι δυνατή με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών) που ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Οι σαρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη ή να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα (αεροσκάφη, ελικόπτερα).

Ένα διαστημικό όχημα μπορεί να μεταφέρει περισσότερους από ένα ανιχνευτές αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλές φορές να προκαλείται σύγχυση μεταξύ του οχήματος και του σαρωτή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο δορυφόρος *Terra*, ο οποίος φέρει τον ανιχνευτή ASTER και τον ανιχνευτή MODIS (Lillesand et al., 2008, Shultz et al., 2014).

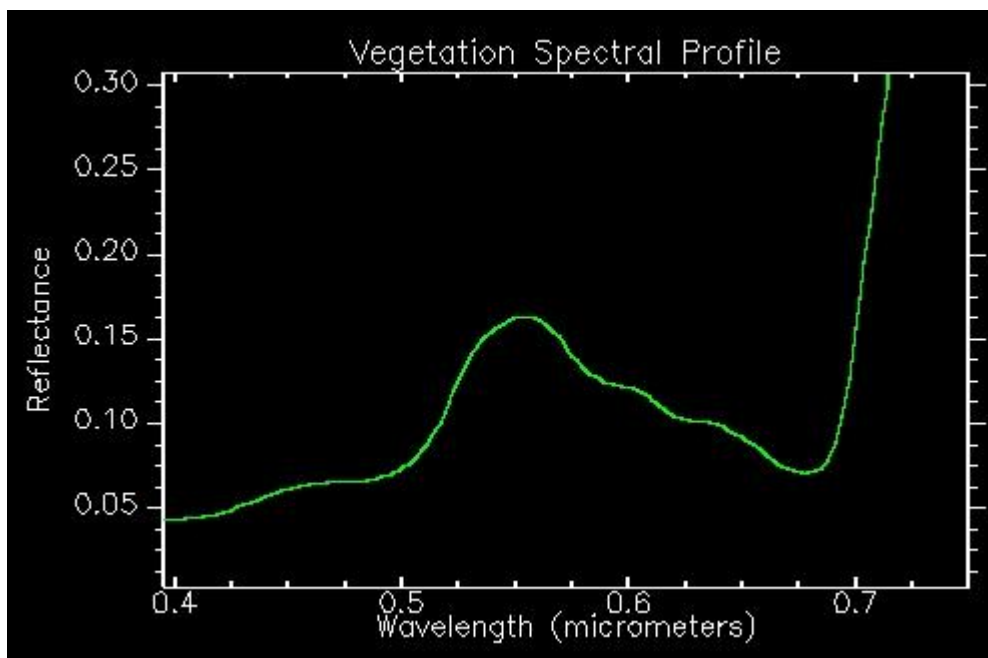
Τα δεδομένα που λαμβάνουμε που μεταδίδονται στη γη τα διακρίνουμε βάση του ανιχνευτή λήψης τους. Όταν λαμβάνουμε δεδομένα από τον ανιχνευτή ASTER τότε αναφερόμαστε σε δορυφορικές εικόνες ASTER, ενώ όταν λαμβάνουμε δεδομένα από τον ανιχνευτή MODIS αναφερόμαστε σε δορυφορικές εικόνες MODIS.

### **1.3 Αρχή λειτουργίας των τηλεπισκοπικών ανιχνευτών**

Η παρατήρηση της γήινης επιφάνειας μέσω της χρήσης ανιχνευτών γίνεται μέσω της μέτρησης του ποσοστού της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανακλάται από τα

διάφορα υλικά. Κάθε επιφάνεια, υλικό και αντικείμενο που βρίσκεται στη Γή αντανακλά με ένα και μοναδικό τρόπο την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος (Sylves and Comfort, 2010, Bahreini et al., 2012)

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χλωροφύλλη, η οποία βρίσκεται στα πράσινα μέρη των δέντρων και των φυτών, έχει την ιδιότητα να αντανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο πράσινο τμήμα του ορατού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και απορροφά στο μπλέ και κόκκινο τμήμα (Εικόνα 1.3.1.) . Ως αποτέλεσμα της συγκεκριμένης φασματικής συμπεριφοράς είναι να αντιλαμβανόμαστε το πράσινο των ζωντανών φυτών (Μιλιάρεσης, 2003).



Εικόνα 1.3.1. : Απορρόφηση χλωροφύλλης

[https://www.e-education.psu.edu/geog482fall2/c8\\_p5.html](https://www.e-education.psu.edu/geog482fall2/c8_p5.html)

Όλα τα υλικά μπορούν να εντοπισθούν, να απεικονισθούν και να μελετηθούν χρησιμοποιώντας την αντανακλαστική τους συμπεριφορά κατά παρόμοιο τρόπο (Zhou and Wong, 2004). Όταν χρησιμοποιείται το ορατό τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για την αναπαράσταση τότε έχουμε μια πραγματική έγχρωμη εικόνα που ισοδύναμη με αυτές που καταγράφουν οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές (Lillesand et al., 2008, Allan et al., 2012).

Στην τηλεπισκόπηση ένας ανιχνευτής μπορεί και «διαβάζει» αρκετά πέρα από το ορατό φάσμα. Υπάρχουν αισθητήρες που ανιχνεύουν ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, στο μέσο υπέρυθρο, στο θερμικό υπέρυθρο, στα μικροκύματα, κ.λπ. (Zhou and Wong, 2004).

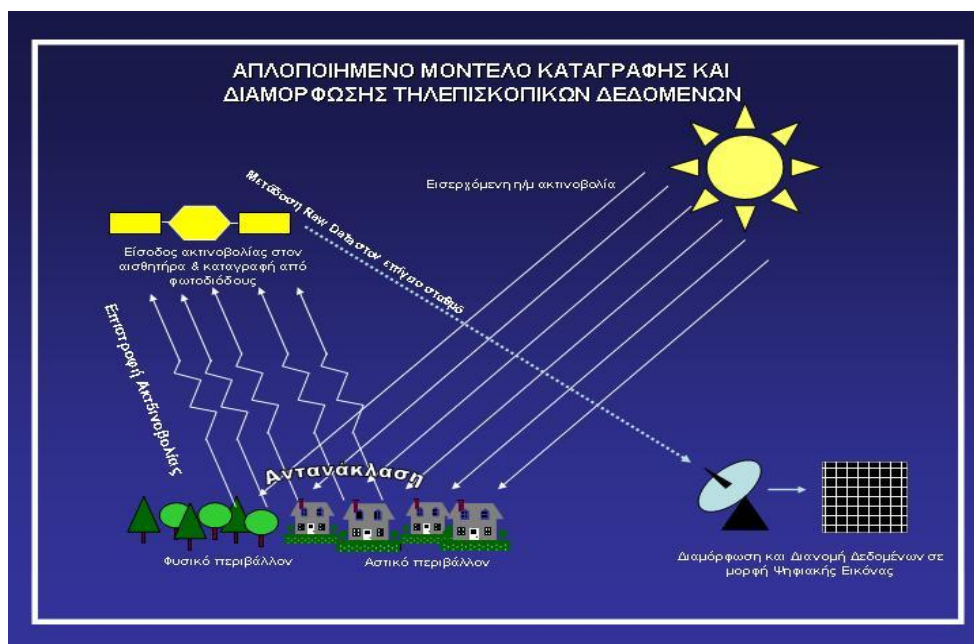
Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είμαστε σε θέση να λαμβάνουμε μια μεγάλη ποικιλία εικόνων, οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με τη φασματική ζώνη που λειτουργεί ο αισθητήρας. Ένας ανιχνευτής που λειτουργεί στο θερμικό υπέρυθρο δίνει μια θερμική εικόνα ενώ ένας ανιχνευτής που λειτουργεί στο ορατό φάσμα δίνει μια έγχρωμη εικόνα πραγματικού χρώματος (true color). (Sylves and Comfort, 2010, Baelum et al., 2012).

Μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (π.χ. ο ήλιος) που εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις, φωτίζει την επιφάνεια της Γης αφού περάσει μέσα από την ατμόσφαιρα, γεγονός που περιορίζει το φασματικό εύρος της ακτινοβολίας που τελικά θα προσπέσει στην επιφάνεια (Zhou and Wong, 2004, Bahreini et al., 2012). Ένα μέρος της ακτινοβολίας που τελικά καταφέρνει και φθάνει στη Γη ανακλάται, ένα άλλο μέρος διαχέεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μεταδίδεται ενώ ένα άλλο απορροφάται και αποδίδεται και πάλι στο περιβάλλον. Η ακτινοβολία που ανακλάται συνεχίζει να διέρχεται και πάλι μέσα από την ατμόσφαιρα με προορισμό το διάστημα (Zhou and Wong, 2004, Anderson et al., 2014).

Σε ύψος 300 ως 800 χιλιομέτρων όπου και βρίσκονται συνήθως σε τροχιά οι τεχνητοί δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με τους ανιχνευτές δέχονται την ακτινοβολία που ανακλάστηκε προς το διάστημα, διέρχεται μέσα από πρισματικές διατάξεις που τη διαχωρίζουν σε φασματικές ζώνες προκαθορισμένου εύρους, έπειτα οδηγείται σε φωτοδιόδους-CCDs που μετατρέπουν την ακτινοβολία (=ενέργεια) σε ηλεκτρικό σήμα (Μιλιάρεσης, 2003).

Το σήμα αυτό κβαντοποιείται σε μορφή δυαδικών αριθμών και μεταδίδεται προς τη Γη, στους επίγειους σταθμούς (ground stations) όπου το επεξεργάζονται, διορθώνεται και λαμβάνει την τελική μορφή ψηφιακής εικόνας που διανέμεται στους τελικούς χρήστες. Ανάλογα με το χαρακτηριστικό που επιθυμούμε να μελετήσουμε, επιλέγεται ο φασματικός τύπος του ανιχνευτή, ώστε να ληφθεί η μέγιστη ποσότητα πληροφοριών (Sylves and Comfort, 2010, Baelum et al., 2012).

Σε μια απλή περιγραφή του τρόπου που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούμε να αναφέρουμε ότι ένα ιδεατό σύστημα τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει:



Σχημα 1.3.1: Στοιχεία ενός ιδεατού συστήματος τηλεπισκόπησης

[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B7%CF%83%CE%B7#mediaviewer/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Remote\\_model.jpg](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B7%CF%83%CE%B7#mediaviewer/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Remote_model.jpg)

### 1.3.1. Πηγή Ενέργειας

Η ενέργεια που χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα τηλεπισκόπησης μπορεί να προέρχεται είτε από φυσική πηγή όπως αυτή του ήλιου (παθητικά καταγραφικά συστήματα) είτε από τεχνητή πηγή ενέργειας (που χρησιμοποιούν τα ενεργητικά καταγραφικά συστήματα), η οποία δεν είναι ομοιόμορφη (Μιλιάρες, 2003).

### 1.3.2. Ατμόσφαιρα

Η ατμόσφαιρα θα πρέπει να είναι αμελητέα και άνευ επιδράσεων στην ακτινοβολία της πηγής, η οποία προσπίπτει και στην συνέχεια αντανακλάται από την επιφάνεια της γης. Εάν το καταγραφικό σύστημα μεταφέρεται με αεροπλάνο τότε η επίδραση της ατμόσφαιρας μπορεί να θεωρηθεί μικρή. Στη περίπτωση όμως δορυφόρων, η ανακλώμενη στην επιφάνεια της γης ακτινοβολία διέρχεται από όλο το πάχος της ατμόσφαιρας με συνέπεια η επίδραση να

είναι πολύ μεγάλη. Οι επιδράσεις ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, τη σκέδαση και τη απορρόφηση (Mather, 2004; Lillesand et al., 2008).

### 1.3.3. Δέκτης

Σε ένα ιδεατό σύστημα τηλεπισκόπησης ο δέκτης έχει υψηλό δείκτη ευαισθησίας σε όλα τα μήκη κύματος και παρέχει δεδομένα μεγάλης χωρικής λεπτομέρειας σε απόλυτες τιμές φωτεινότητας για όλο το φάσμα. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει δέκτης που να είναι ευαίσθητος σε όλα τα μήκη κύματος (Mather, 2004).

## 1.4. Κατηγορίες δεκτών ανιχνεύομενης Η/Μ ακτινοβολίας

Ανάλογα με την προέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία αντανακλάται και στη συνέχεια ανιχνεύεται, οι δέκτες - σαρωτές (ή αισθητήρες) διακρίνονται σε παθητικούς και σε ενεργητικούς (Sylves and Comfort, 2010, Anderson et al., 2014).

- Παθητικοί σαρωτές είναι εκείνοι που ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από μία φυσική πηγή (συνήθως ο ήλιος).
- Ενεργητικοί σαρωτές είναι εκείνοι που «φωτίζουν» (προσβάλλουν) οι ίδιοι τον στόχο χρησιμοποιώντας τη δική τους πηγή ακτινοβολίας, π.χ. Εικονοληπτικά ραντάρ.

Ανάλογα με το πόσα κανάλια ανιχνεύουν και σε τι φασματικό εύρος οι σαρωτές διακρίνονται σε μονοφασματικούς ή πολυφασματικούς.

*Μονοφασματικός* είναι ο ανιχνευτής που καταγράφει σε μία φασματική ζώνη και μπορεί να ανιχνεύει τη φασματική ανάκλαση σε ένα μικρό (στενό) τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ή σε μια ευρύτερη περιοχή (Μιλιάρεσης, 2003).

Οι μονοφασματικοί ανιχνευτές καταγράφουν ολόκληρο το ορατό τμήμα και στο εγγύς υπέρυθρο (visible & near infrared) δίνουν δεδομένα (εικόνες) που καλούνται *παγχρωματικά*.

*Πολυφασματικός* (multispectral) είναι ο Ανιχνευτής που καταγράφει δεδομένα σε περισσότερες από μία φασματικές ζώνες.

Τέλος, ανιχνευτές που καταγράφουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πολλές φασματικές ζώνες, στενού εύρους, συνήθως 10-20 νανομέτρων καλούνται υπερφασματικοί.

## 1.5. Σύστημα διαχείρισης-Επεξεργασίας Δεδομένων

Το σύστημα διαχείρισης – επεξεργασίας δεδομένων λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο εκτελώντας άμεση επεξεργασία στη φασματική απόκριση ενός αντικειμένου της γήινης επιφάνειας που λαμβάνει χώρα και η οποία οδηγεί στιγμιαία στην αναγνώριση του αντικειμένου (Lillesand et al., 2008, Anderson et al., 2014).

*Προεπεξεργασία:* Η ορθή προεπεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι απαραίτητη για να απολειφθεί μια σειρά σφαλμάτων, αλλοιώσεων και μεταβολών που εάν παραμείνουν θα υποβαθμίσουν την ποιότητα της τελικής πληροφορίας και θα οδηγήσουν σε αλλοιωμένα ή λανθασμένα αποτελέσματα

Οι διορθώσεις κατά την διάρκεια της προεπεξεργασίας των δεδομένων χωρίζονται στις:

α) Γεωμετρικές διορθώσεις : Οι συγκεκριμένες διορθώσεις αφορούν την αναγωγή της εικόνας από την καμπύλη γεωμετρίας σε επίπεδη γεωμετρία. Σκοπός της συγκεκριμένης διόρθωσης είναι η απαλοιφή του σφάλματος που προέρχεται από την επιφάνεια του γήινου ελλειψοειδούς, της κίνησης γης και του τεχνητού δορυφόρου. Επιπλέον η συγκεκριμένη η διόρθωση επιβάλλεται όταν το ανάγλυφο της περιοχής είναι έντονο (ορθοδιόρθωση ή ορθοαναγωγή). Τέλος η εικόνα προβάλλεται σε γεωγραφικό ή προβολικό σύστημα συντεταγμένων για να μπορεί να συνδυασθεί με άλλα γεωγραφικά δεδομένα

β) Ραδιομετρικές διορθώσεις: Οι συγκεκριμένες διορθώσεις αφορούν την απαλοιφή απαλοιφή σφαλμάτων που οφείλονται στην απορύθμιση αισθητήρων του καταγραφέα και σε γενικά σε σφάλματα και αλλοιώσεις που προέρχονται από τα τεχνικά στοιχεία της διαδικασίας καταγραφής και μετάδοσης.

γ) Ατμοσφαιρικές διορθώσεις: Οι συγκεκριμένες διορθώσεις αφορούν την απαλοιφή

σφαλμάτων που προέρχονται από την επίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας και την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που αντανακλάστηκε από την γήινη επιφάνεια επιστρέφει στο διάστημα, διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα, τα συστατικά της οποίας (νερό σε αέρια φάση & αερολύματα) αλλοιώνουν την ποσότητα της εισερχόμενης στον αισθητήρα ακτινοβολίας.

Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις διακρίνονται σε μεθόδους *σταθερής τιμής* και σε μεθόδους *μετάδοσης ακτινοβολίας*. Η πρώτη ομάδα μεθόδων διορθώνει τα σφάλματα με την εφαρμογή μιας σταθερής τιμής (π.χ. διαίρεση με τον μέσο όρο της εικόνας) στις τιμές των pixels, ενώ η δεύτερη ομάδα μεθόδων συνδυάζει δεδομένα από την ίδια την εικόνα με κάποια προϋπολογισμένα μοντέλα ώστε να «ανακατασκευαστεί» η διάδοση της η/μ ακτινοβολίας σε δεδομένο χρόνο και τόπο. Ενδεικτικά αναφέρονται ως μετάδοσης ακτινοβολίας οι αλγόριθμοι MODTRAN.

*-Ανάλυση*

Η ανάλυση των τηλεπισκοπικών δεδομένων μπορεί να διακριθεί σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- Ποσοτική ανάλυση
- Ποιοτική ανάλυση
- Οπτική ανάλυση (ή φωτοερμηνεία).

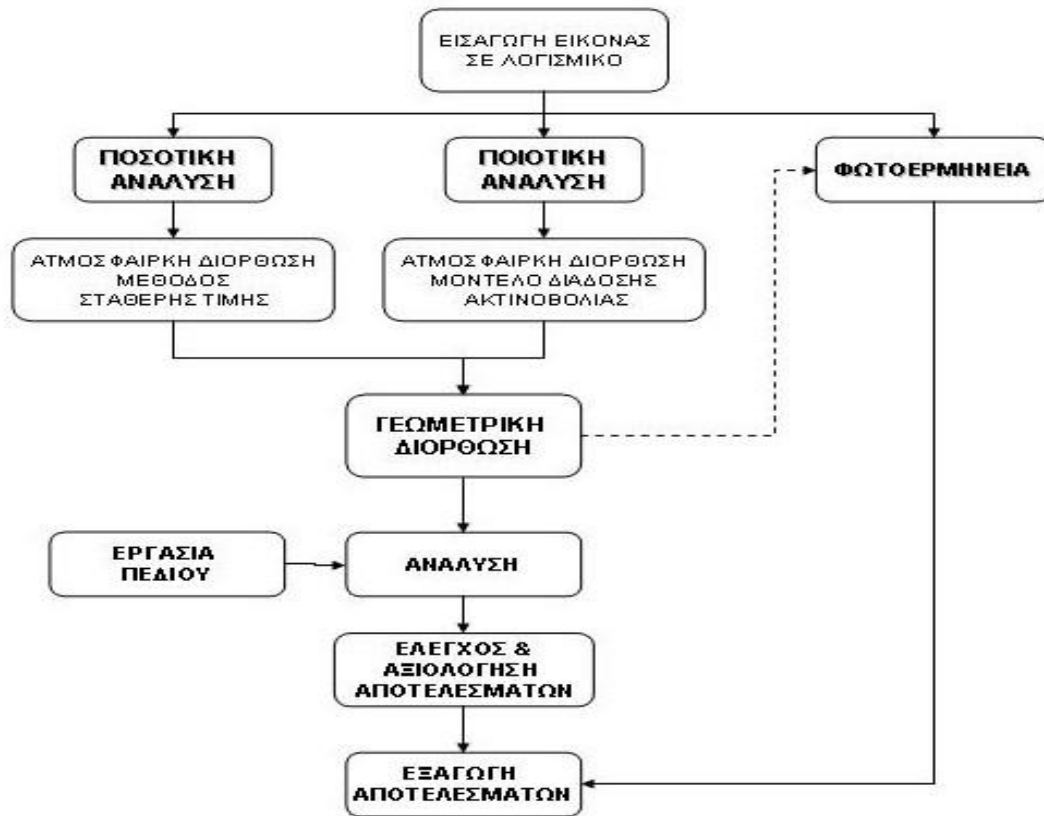
Στην πρώτη περίπτωση ζητούμενο είναι η μέτρηση μιας ιδιότητας - μεταβλητής, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας, γνωστή ως Sea Surface Temperature (SST). Στην περίπτωση της ποιοτικής ανάλυσης ζητούμενο είναι η αποτύπωση χαρακτηριστικών όπως οι χρήσεις γης ή ο εντοπισμός και αναγνώριση συγκεκριμένων υλικών.

Τέλος όταν ο αναλυτής εικόνας ερμηνεύει τα δεδομένα με οπτικό τρόπο, δηλαδή μεταφράζει το μοτίβο, το χρώμα και το σχήμα της διάταξης των pixels ώστε να εξάγει πληροφορίες αναφερόμαστε σε οπτική ανάλυση.

Κάθε κατηγορία απαιτεί διαφορετικά αντιμετώπιση και διαφορετικές μεθόδους και εργαλεία ανάλυσης. Επίσης και σε κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες απαιτείται διαφορετική



αντιμετώπιση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων δεδομένων (χωρική ανάλυση, φασματική ανάλυση και ραδιομετρική ανάλυση).



Εικόνα 1.5.1 : Κατηγορίες ανάλυσης δεδομένων

### **1.5.1. Φασματική Διακριτική Ικανότητα**

Η φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution) ενός καταγραφικού συστήματος αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο καταγράφεται η ανακλώμενη ακτινοβολία-ενέργεια (σε ποια κανάλια-ζώνες). Το ποιες περιοχές του φάσματος θα καταγραφούν και το εύρος τους έχει σχέση με τις εφαρμογές για τις οποίες έχει σχεδιασθεί το συγκεκριμένο καταγραφικό σύστημα.

Όσο πιο πολλές και πιο στενές είναι οι ζώνες, με τόσο πιο μεγάλη ακρίβεια καταγράφεται η καμπύλη φασματικής απόκρισης και τόσο μεγαλύτερη είναι η φασματική διακριτική ικανότητα του συστήματος (Sylves and Comfort, 2010, Ali, 2014).

### **1.5.2. Χωρική Διακριτική Ικανότητα**

Η χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution) καθορίζει την ελάχιστη επιφάνεια του εδάφους για την οποία μπορεί να γίνει η παρατήρηση, δηλαδή το ελάχιστο δυνατό μέγεθος αντικειμένου που μπορεί να διακριθεί. Στις ψηφιακές απεικονίσεις ορίζεται σαν το μέγεθος του εικονοστοιχείου (pixel) στο έδαφος και μετράται συνήθως σε μέτρα (Lillesand et al., 2008, Aerpli, 2012).

### **1.5.3. Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα**

Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (αριθμός διαβαθμίσεων του γκριζου), αναφέρεται στον αριθμό των διαβαθμίσεων που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας (Mather, 2004). Δηλαδή, κάθε ψηφιακό καταγραφικό σύστημα καταγράφει ένα ελάχιστο ( $H_{min}$ ) και ένα μέγιστο ( $H_{max}$ ) ποσό ενέργειας σε ένα φασματικό κανάλι.

Η διαφορά  $H_{max}-H_{min}$  τυποποιείται σε ένα ακέραιο αριθμό διαβαθμίσεων από 0 έως μια τιμή  $B$ , όπου  $B$  η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα. Είναι σαφές ότι για μεγαλύτερη τιμή του  $B$  τότε στο ίδιο εύρος διακύμανσης της ενέργειας ( $H_{max}-H_{min}$ ) η καταγραφή-διαφοροποίηση της προσλαμβανόμενης ενέργειας γίνεται με πιο λεπτομερή τρόπο (Sylves and Comfort, 2010, Aerpli, 2012). Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα έχει άμεση σχέση με το ελάχιστο ποσοστό ενέργειας που απαιτείται να προσληφθεί στο καταγραφικό σύστημα για να μεταβληθεί η διαβάθμιση του γκριζου με την οποία θα αναπαρασταθεί στην οθόνη.

Μετράτε σε bit για τις ψηφιακές απεικονίσεις και συνήθως το εύρος αυτών των τιμών κυμαίνεται στα 8-14 bit.

Για παράδειγμα, μια εικόνα 8 bit μπορεί να περιλαμβάνει σε ένα της κανάλι 256 ( $2^8$ ) διαβαθμίσεις έντασης, που όταν αναπαρασταθούν σε μια οθόνη μπορούν να αποδοθούν σε 256 διαφορετικούς τόνους του γκρι.

#### **1.5.4. Χρονική Διακριτική Ικανότητα**

Η χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution), αναφέρεται στη χρονική περίοδο στην οποία επαναλαμβάνεται η μέτρηση πάνω από την ίδια περιοχή μελέτης (Μιλιαρέσης, 2003).

#### **1.5.5. Γεωγραφικό Πληροφορικό Σύστημα**

Το γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα ολοκληρώνει τα δεδομένα σε μια γεωγραφική βάση δεδομένων επιτρέποντας τη πρόσβαση σε πολλούς χρήστες σε χρόνο πραγματικό έτσι ώστε να υποβοηθά τη λήψη αποφάσεων.

## 1.6. Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διακρίνεται σε ζώνες που παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά (Μηλιαρέσης, 2003). Κάθε φασματική ζώνη (π.χ. ορατό) περιέχει μία σειρά υποδιαίρεσεων (πχ μπλέ, πράσινο, κόκκινο). Οι υποδιαίρεσεις του φάσματος ορίζονται μάλλον αυθαίρετα ενώ στην πραγματικότητα η μετάβαση από ζώνη σε ζώνη είναι βαθμιαία.



**Σχήμα 1.6.1.** : Οι ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ,  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ,  $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ ,  $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$ )

Σαν εικόνα θεωρείται οποιαδήποτε φασματική καταγραφή ανεξάρτητα από το μήκος κύματος ή το καταγραφικό σύστημα που την δημιουργεί ενώ αντίθετα η φωτογραφία καταγράφεται σε μήκη κύματος από 0.3 - 09 m.

Το ανακλώμενο φάσμα (τα μήκη κύματος του οποίου μπορούν να ανακλαστούν και να διαθλασθούν με φακούς) εκτείνεται από 0.38 - 30  $\mu\text{m}$  και ορίζει το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται στη τηλεπισκόπηση. Ακολουθεί η περιγραφή και οι εφαρμογές κάθε ζώνης του φάσματος:

Υπεριώδης Ακτινοβολία: Εκτείνεται από 0.01  $\mu\text{m}$  έως 0.38  $\mu\text{m}$ . Όμως η ατμόσφαιρα επιτρέπει την διάδοση σε μήκη κύματος από 0.3  $\mu\text{m}$  έως 0.38  $\mu\text{m}$  (φωτογραφική υπεριώδης ζώνης) και αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ειδικά φιλμ και φίλτρα. Οι περισσότεροι

φακοί απορροφούν τη υπεριώδη στο μήκος κύματος 0.35  $\mu\text{m}$ . Οι εικόνες σε υπεριώδη καταγραφή έχουν χαμηλή αντίθεση εικόνας και μικρή διαχωριστική ικανότητα λόγω της ισχυρής ατμοσφαιρικής σκέδασης που λαβαίνει χώρα σε αυτά τα μήκη κύματος. Χρησιμοποιείται σπάνια. Μια εφαρμογή του είναι η ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων στην θάλασσα.

Ορατό φάσμα: Διαιρείται στα τρία βασικά χρώματα που ονομάζονται πρωτεύοντα αθροιστικά χρώματα επειδή κανένα από αυτά δεν μπορεί να αναπαραχθεί από την σύνθεση άλλων χρωμάτων. Εκτείνονται προσεγγιστικά από 0.4-0.5  $\mu\text{m}$  (μπλε), 0.5-0.6 (πράσινο) και 0.6-0.7 (κόκκινο). Όλα τα υπόλοιπα χρώματα μπορούν να αναπαραχθούν από την σύνθεση των τριών πρωτευόντων χρωμάτων.

Το χρώμα ενός αντικείμενου προκύπτει σαν συνάρτηση του μήκος κύματος του φωτός που ανακλά. Άρα η απορρόφηση εξηγεί το χρώμα που παίρνουν τα διάφορα σώματα. Ένα σώμα εμφανίζεται κόκκινο επειδή απορροφά την μπλε και την πράσινη ακτινοβολία. Ενδιάμεσα χρώματα εμφανίζονται όταν ένα αντικείμενο ανακλά περισσότερα πρωτεύοντα χρώματα και σε διαφορετικό βαθμό. Εάν ένα σώμα ανακλά πράσινο και κόκκινο σε ίσες ποσότητες (αναλογίες) τότε θα εμφανίζεται κίτρινο. Λευκό εμφανίζεται το σώμα που ανακλά πλήρως (100%) και τα τρία πρωτεύοντα χρώματα.

Υπέρυθρος Ακτινοβολία : Το διάστημα (0.7 – 1.3) και (1.3- 3)  $\mu\text{m}$  περιλαμβάνει την εγγύς και μέση υπέρυθρη ακτινοβολία αντίστοιχα και συμπεριλαμβάνει το φωτογραφικό υπέρυθρο (0.7 - 0.9 $\mu\text{m}$ ) που χρησιμοποιείται στις υπέρυθρες φωτογραφίες (Rees, 2013). Η ζώνη αυτή αντιστοιχεί στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και ανακλάται στην επιφάνεια της γης (ανακλώμενο υπέρυθρο).

Η ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο συμπεριφέρεται όπως το ορατό φάσμα. Συνεπώς οι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης που αναλύουν εικόνες στο εγγύς υπέρυθρο χρησιμοποιούν φίλτρα και φιλμ με χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνης της συμβατικής φωτογραφίας που καταγράφεται στο ορατό. Αντίθετα το διάστημα με μήκος κύματος; (3 – 14  $\mu\text{m}$ ) αποτελεί την άπω υπέρυθρη ζώνη, αντιπροσωπεύει το τμήμα της ακτινοβολίας που επανεκπέμπεται από τη γη και ουσιαστικά αποτελεί θερμική ενέργεια για αυτό το λόγο ονομάζεται θερμικό υπέρυθρο.

Το θερμικό υπέρυθρο απορροφάται από τους φακούς των φωτογραφικών μηχανών και έτσι δεν είναι ανιχνεύσιμο με συμβατικές φωτογραφικές μηχανές. Για την καταγραφή του θερμικού υπέρυθρου χρησιμοποιούνται ειδικά καταγραφικά συστήματα. Ιδιαίτερο

χαρακτηριστικό του είναι η χαμηλή απορρόφηση από την ομίχλη. Η υπέρυθη απορροφάται πλήρως από το νερό (μηδενική ανάκλαση) για αυτό τον λόγο η ακτογραμμή απεικονίζεται ευκρινέστερα στο θερμικό υπέρυθρο.

## 1.7. Μέλαν Σώμα - Θερμική Ακτινοβολία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τη φυσική του προσδιορισμού της θερμοκρασίας από απόσταση ενός αντικειμένου με τεχνικές τηλεπισκόπησης. Ως μέλαν σώμα έχει οριστεί ένα υποθετικό σώμα που συμπεριφέρεται ως ιδανική πηγή ενέργειας. Το υποθετικό αυτό σώμα απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του και χωρίς να ανακλά ή να διαχέει την προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, εκπέμπει ακτινοβολία ακριβώς ίση με αυτή που απορροφά (Rees, 2013).

Σύμφωνα με το νόμο του Kirchhoff, ο λόγος της εκπεμπόμενης προς την απορροφούμενη ακτινοβολία για κάθε μέλαν σώμα, στην ίδια θερμοκρασία είναι ίδιος και ισούται με τη μονάδα (Rees, 2013). Ο νόμος αυτός εισάγει την έννοια του συντελεστή εκπομπής (emissivity,  $\epsilon_\lambda$ ), ο οποίος έχει σχέση με την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα ανάλογα με τη σύσταση του (Li et al, 2013). Ως συντελεστής εκπομπής  $\epsilon_\lambda(T)$  ενός πραγματικού σώματος, για συγκεκριμένο μήκος κύματος  $\lambda$  (σε  $\mu\text{m}$ ) και θερμοκρασία  $T$  (σε  $\text{K}$ ), ορίζεται ο λόγος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας του σώματος  $R_\lambda(T)$  προς την εκπεμπόμενη ακτινοβολία του μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία  $W_\lambda(T)$  και θα είναι πάντοτε μικρότερος της μονάδας (Rees, 2013):

$$\epsilon_\lambda(T) = \frac{R_\lambda(T)}{W_\lambda(T)}$$

Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μέλανος σώματος  $W_\lambda$ , υπολογίζεται από το Νόμο του Planck, ο οποίος καθορίζει τη σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας που έχει ένα αντικείμενο και της υπέρυθρης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπει, με τον ακόλουθο τύπο

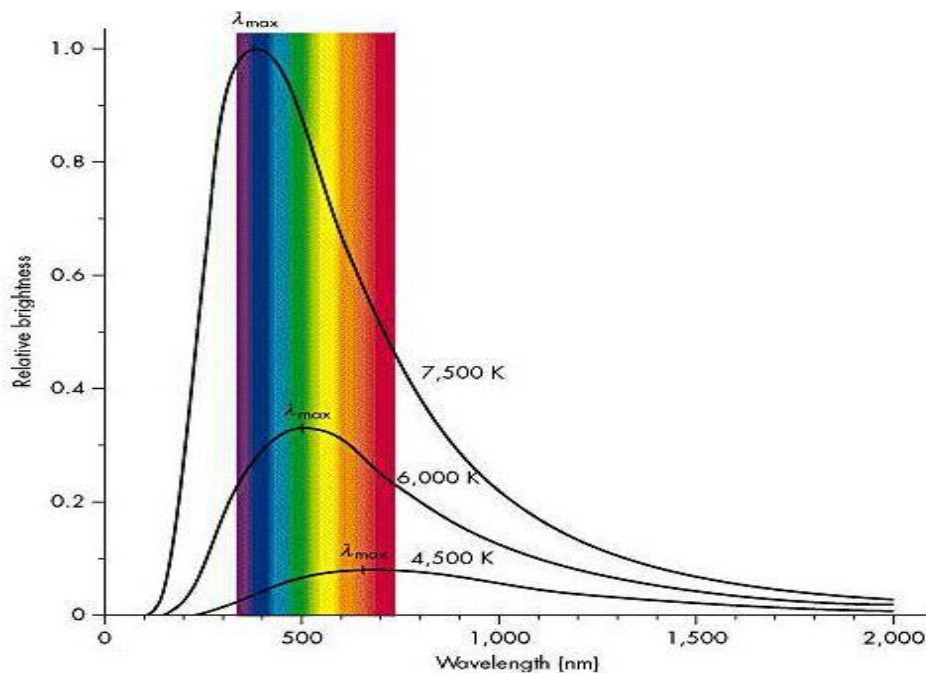
$$W_\lambda(T) = \frac{2 * \pi * h * c^2}{\lambda^5 (\epsilon^{hc/\lambda kT} - 1)} * 10^{-6}$$

όπου

$W_\lambda$  : ακτινοβολία μέλανος σώματος για μήκος κύματος  $\lambda$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

- H** : σταθερά Planck ( $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ )
- C** : ταχύτητα του φωτός στο κενό ( $2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ )
- K** : σταθερά Boltzmann ( $1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ )
- T** : απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin
- $\lambda$  : μήκος κύματος σε m
- E** : συντελεστής εκπομπής

Η απεικόνιση του μαθηματικού τύπου του Planck σε διάγραμμα για διάφορες θερμοκρασίες παράγει μια οικογένεια καμπυλών οι οποίες δεν τέμνονται. Η ένταση της ακτινοβολίας τους αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και μετατοπίζεται προς μικρότερα μήκη κύματος (Rees, 2013, Barker, 2011).



**Εικόνα 1.7.1.** : Η κατανομή της έντασης της φασματικής ακτινοβολίας του μέλανος σώματος ως προς το μήκος κύματος, σύμφωνα με το Νόμο του Planck.

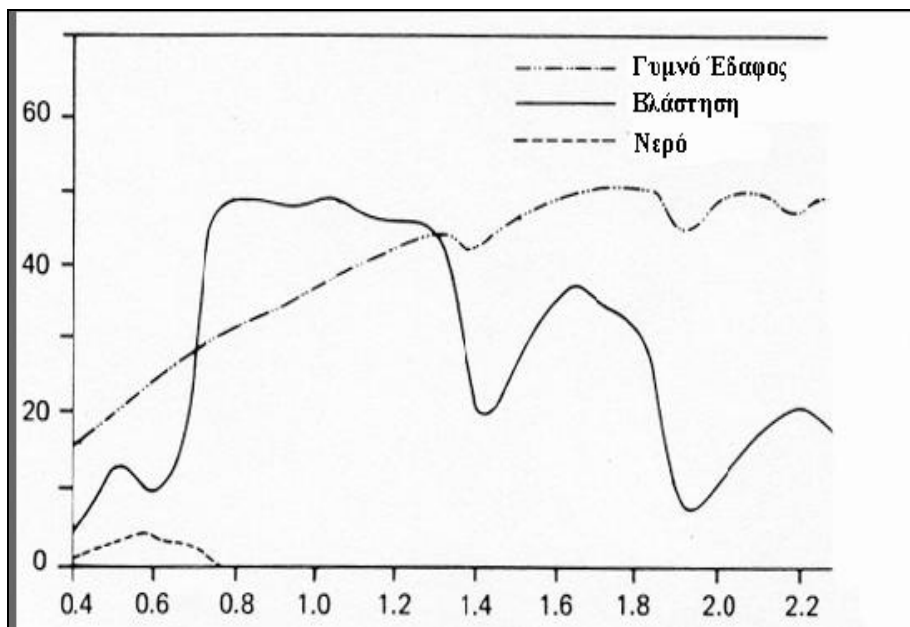
<http://physicsgg.me/2011/11/29/%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%84%CE%AF-%CE%B4%CE%B5%CE%BD%CF%85%CF%80%CE%AC%CF%81%CF%87%CE%BF%CF%85%CE%BD-%CF%80%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BD%CE%B1-%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%B1/>

## 1.8. Φασματική Υπογραφή

Τα φυσικά χαρακτηριστικά και η σύσταση κάθε αντικειμένου επηρεάζουν το ποσό της ακτινοβολίας που ανακλάται στα διάφορα μήκη κύματος με το δικό τους τρόπο. Κάθε υλικό παρουσιάζει ξεχωριστή κατανομή ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος  $\lambda$  (φασματική απόκριση).

Η καμπύλη φασματικής απόκρισης δηλαδή η καταγραφή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ως προς το μήκος κύματος ονομάζεται *φασματική υπογραφή* του αντικειμένου και είναι μοναδική για κάθε υλικό (Lillesand et.al., 2008, Aeppli, 2012). Η μελέτη της φασματικής υπογραφής ενός αντικειμένου μας επιτρέπει να επιλέξουμε τα τμήματα του φάσματος στα οποία είναι ευκολότερη η διάκριση ενός αντικειμένου από το περιβάλλον.

Οι διάφοροι τύποι επιφανειών, όπως το νερό, τα χερσαία εδάφη ή η βλάστηση, ανακλούν την ακτινοβολία με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα κανάλια.



Σχήμα 1.8.1. : Φασματικές υπογραφές γυμνό έδαφος, βλάστησης και νερό  
(<http://www.gisfun.50megs.com/Tilepiskopisi.html>)

Κατά κανόνα, το νερό αντανακλά την ακτινοβολία μόνο στην περιοχή του ορατού φάσματος. Καθώς το νερό δεν αντανακλά σχεδόν καθόλου στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, μπορεί



να διακριθεί με μεγαλύτερη ευκολία σε σύγκριση με άλλες επιφάνειες. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι υδατικές επιφάνειες είναι σκούρες (χαμηλές τιμές εικονοστοιχείου) απεικονίσεις που καταγράφονται στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος.

Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι και η φασματική υπογραφή των φυτών. Η χλωροφύλλη των αναπτυσσόμενων φυτών απορροφά την ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού και ιδιαίτερα στο κόκκινο που χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση, ενώ ανακλάται σχεδόν πλήρως η ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, καθώς είναι άχρηστη για το φυτό (Σχήμα 1.8.1). Με τον τρόπο αυτό τα φυτά αποφεύγουν την άσκοπη θέρμανση και την απώλεια υγρών λόγω της εξάτμισης. Κατά συνέπεια, η αντανάκλαση της βλάστησης στην περιοχή του ορατού φάσματος και στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου διαφέρουν σημαντικά.

## 1.9. Τηλεπισκόπηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος

Η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων σε συνδυασμό με τη αστικοποίηση (τουριστικές εγκαταστάσεις, λιμάνια, τουρισμός και βιομηχανικές εγκαταστάσεις) με το πέρασ των χρόνων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας και της έκτασης-επιπτώσεις των ενεργειακών ατυχημάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον κάτι που μας οδήγησε στη παρακολούθηση και εποπτεία του θαλάσσιου περιβάλλοντος με σκοπό τη πρόληψη, τη καταγραφή αλλά και την αξιολόγηση των περιβαλλοντολογικών ατυχημάτων (Sylves and Comfort, 2010, Aerpli, 2012).

Η ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών σε συνδυασμό με μόλυνση που μπορεί να υπάρξει στο θαλάσσιο περιβάλλον της περιοχής δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα που πολλές φορές είναι μη αναστρέψιμα.

Η παράκτια ζώνη είναι ζωτικής σημασίας από οικονομικής απόψεως και κατά συνέπεια απαιτείται συστηματική παρακολούθηση για τη ταχύτατη και αποτελεσματική εκτίμηση της ποιότητας του παράκτιου περιβάλλοντος και της προστασίας του.

Τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης λειτουργούν χρησιμοποιώντας την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης σε αντίθεση με τα ενεργητικά συστήματα τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούν την δική τους πηγή ενέργειας και συνήθως εκπέμπουν μικροκυματική ακτινοβολία (Miliaresis and Seymour, 2011, Ali, 2014).

Τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης αξιολογούνται με βάση την χωρική, φασματική, ραδιόμετρική, χρονική διακριτική ικανότητα (Mather, 2004, Aerpli, 2012). Το θαλάσσιο περιβάλλον αξιολογείται στο υπεριώδες, ορατό, υπέρυθρο, θερμικό τμήμα του φάσματος από τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης.

## 1.10. Θαλάσσια ρύπανση

Τα τελευταία χρόνια οι θαλάσσιες μεταφορές και οι λιμένες αποτελούν ζωτικής σημασίας για το διεθνές εμπόριο αλλά και τις διεθνείς συναλλαγές. Το 90 % του εσωτερικού εμπορίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης και πάνω από το 40 % του εσωτερικού της εμπορίου πραγματοποιείται δια θαλάσσης.

Η ηγετική θέση της Ευρώπης στο τομέα αυτό είναι αναμφισβήτητη, αφού κατέχει το 40 % του παγκόσμιου στόλου. Από τους ευρωπαϊκούς θαλάσσιους λιμένες διέρχονται ετησίως 3,5 δις τόνοι φορτίου και 350 εκατομμύρια επιβάτες. Από αυτά τα 350.000 περίπου άτομα εργάζονται σε λιμένες και συναφείς υπηρεσίες που παράγουν από κοινού προστιθέμενη αξία 20 περίπου δις ευρώ. (Trevors and Saier, 2010, Ali, 2014).

Η η ανάπτυξη τηλεσκοπικών μεθόδων χρησιμοποιούνται και βρίσκουν εφαρμογής και στο πεδίο μελέτης της θαλάσσιας ρύπανσης. Μέσω της χρήσης αυτών καθίσταται δυνατή η εκτίμηση των επιπτώσεων που μπορεί να υπάρξει σε μία θαλάσσια περιοχή μετά τη διαρροή πετρελαίου με σκοπό τη πρόβλεψη και επίγνωση των μελλοντικών επιπτώσεων που μπορεί να υπάρξουν και τα μεγέθη που μπορεί να λάβουν σε περιβαλλοντικό, οικονομικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο (Hossein and Cam, 2012, Aerpli, 2012).

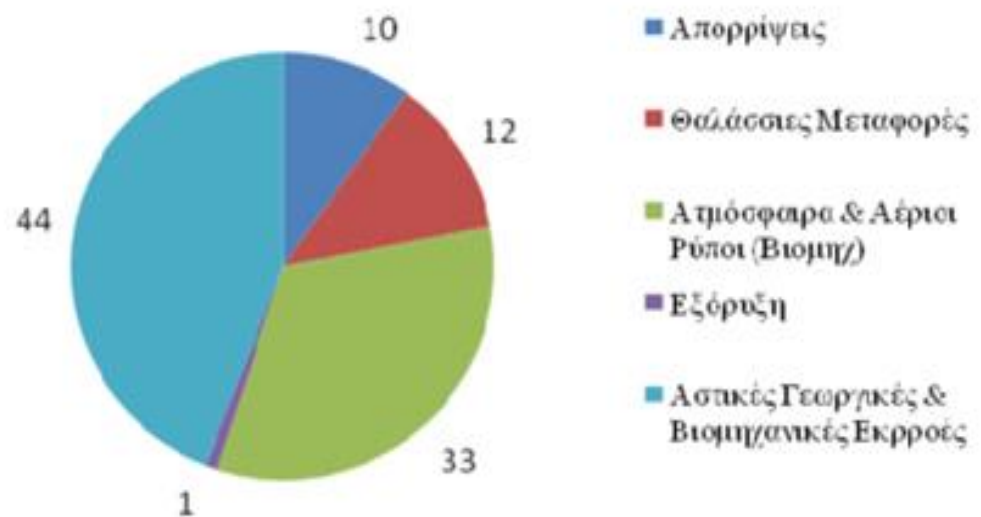
Ως Θαλάσσια ρύπανση χαρακτηρίζεται η άμεση ή έμμεση εισαγωγή διαφόρων ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον από τον άνθρωπο, η οποία μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές, όπως την επιβάρυνση της θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας, μεγάλους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, παρεμπόδιση πολλών θαλάσσιων δραστηριοτήτων και τη μείωση του επιπέδου ποιότητας της χρήσης και του πλούτου των θαλάσσιων υδάτων (Trevors and Saier, 2010, Aerpli, 2012).

Η έκχυση πετρελαίου στη θάλασσα είναι μία από τις χειρότερες μορφές ρύπανσης των θαλάσσιων υδάτων. Τα υδροδιαλυτά συστατικά του αργού πετρελαίου και των διυλισμένων προϊόντων του, περιέχουν μια ποικιλία ενώσεων που είναι τοξικές για ένα ευρύ φάσμα θαλασσιών οργανισμών.

Επιπλέον το πετρέλαιο προκαλεί διαταραχές και στη φυσιολογία και τη συμπεριφορά των οργανισμών, καθώς και αρκετές ανωμαλίες στην ανάπτυξη των ψαριών, οδηγώντας τελικά στον πρόωρο θάνατό τους.

1. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Αλεξόπουλος, 2009, Anderson et al., 2014, Veleva, 2011) η ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος μπορεί να διαχωριστεί σε γενικότερες κατηγορίες ανάλογα τις πηγές ρύπανσης:

- Αστική ρύπανση
- Γεωργική ρύπανση
- Βιομηχανική ρύπανση
- Ρύπανση από θαλάσσιες μεταφορές
- Μηχανική ρύπανση



**Σχήμα 1.10.1. : Πηγές θαλάσσιας ρύπανσης**

Έχει υπολογιστεί ότι κάθε χρόνο εξορύσσονται περίπου 3 δις. τόνοι αργού πετρελαίου από το οποίο το μισό περίπου αυτής της ποσότητας μεταφέρεται δια θαλάσσης. Από αυτά οι 3 εκατ. τόνοι μετά από ατυχήματα ή εκρήξεις καταλήγουν στη θάλασσα προκαλώντας σχεδόν κάθε χρόνο τη μόλυνση του θαλάσσιου νερού.

Παρόλα ταύτα μέχρι και σήμερα τα μέτρα πρόληψης κατά της ρύπανσης παρουσιάζουν εξαιρετικά δύσκολη εφαρμογή με αποτέλεσμα να μη έχουν μειωθεί μέχρι και σήμερα τα

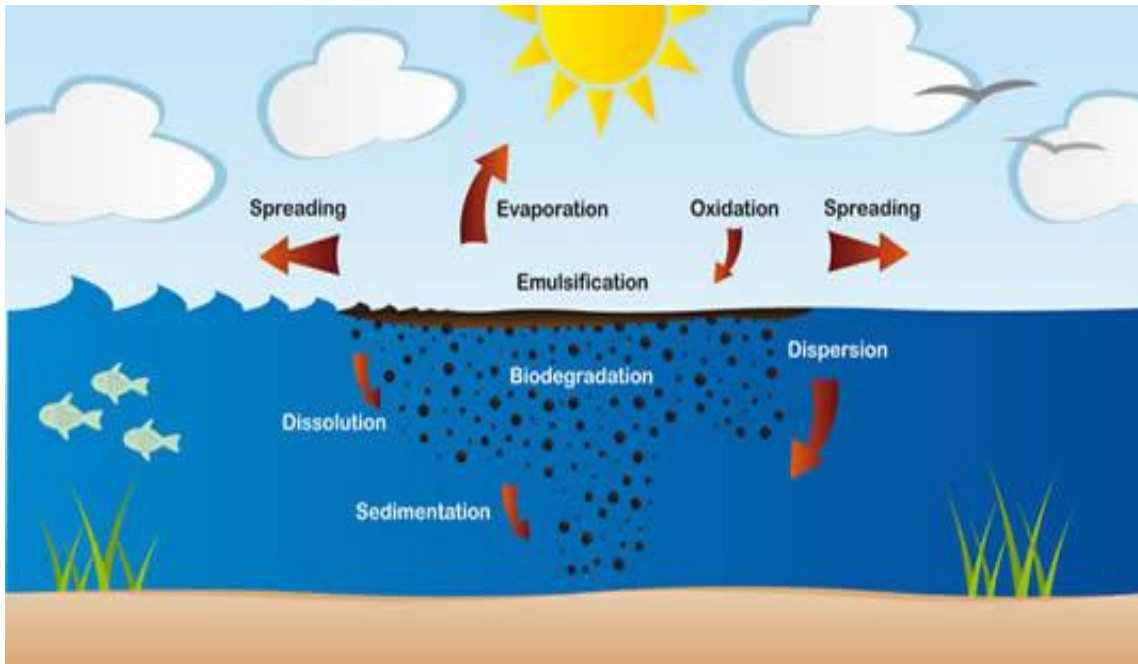
κρούσματα θανάτου. Το πετρέλαιο αποτελείται από 300 διαφορετικές χημικές ενώσεις το μεγαλύτερο ποσοστό από τις οποίες είναι υδρογονάνθρακες (Barras, 2011, Murchison, 2011). Η πετρελαιοκηλίδα που σχηματίζεται μετά την έκχυση του πετρελαίου στη θάλασσα αρχικά εξαπλώνεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας ως μια ενιαία κηλίδα. Μετά την επίδραση διαφόρων διεργασιών η κηλίδα αρχίζει να αλλοιώνεται, η εξάπλωση της είναι σπάνια ομοιόμορφη ενώ υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στο πάχος της.

Μετά από λίγες ώρες εξαιτίας των ανέμων και μέσω της δράσης των κυμάτων και τις αναταράξεις του νερού η κηλίδα σιγά σιγά αρχίζει και διασπάται, τότε θα σχηματίσουν στενές ζώνες ή χορτοκοπήματα παράλληλη προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Ο ρυθμός με το οποίο το πετρέλαιο εξαπλώνεται εξαρτάται επίσης και από τις επικρατούσες συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, τα ρεύματα νερού, τα παλιρροιακά ρεύματα και τις ταχύτητες ανέμου. Όσο πιο σοβαρές είναι οι συνθήκες, τόσο ταχύτερη είναι η διάδοση και η διάλυση του λαδιού.

Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν 8 κύρια στάδια διάλυσης πετρελαίου (ανάλογα με το κλίμα που επικρατεί):

- Διάδοση
- Εξάτμιση
- Διασπορά
- Γαλακτωματοποίηση
- Διάλυση
- Οξειδωση
- Καθίζηση και βύθιση
- Βιοαποικοδόμηση



**Σχήμα 1.10.2.:** Στάδια διάλυσης

<http://www.itopf.com/marine-spills/fate/weathering-process/>

Τα πτητικά συστατικά του πετρελαίου αποτελούν το 25% της ποσότητας του. Τα πτητικά συστατικά του πετρελαίου χρειάζονται για να εξατμιστούν πλήρως μερικές ώρες ή ημέρες ενώ τα υπόλοιπα συστατικά του σχηματίζουν σφαιρίδια πίσσας και παραμένουν στη επιφάνεια της θάλασσας, ένα μόνο από αυτό το τμήμα τους μπορεί και αποικοδομείται από τους διάφορους μικροοργανισμούς (Trevors and Saier, 2010, Aerpli, 2012). Τα υδροδιαλυτά συστατικά του αργού πετρελαίου και των διυλισμένων προϊόντων του, περιέχουν μια ποικιλία ενώσεων που είναι τοξικές για ένα ευρύ φάσμα θαλασσίων οργανισμών.

Τέλος έχει υπολογιστεί ότι το χρονικό διάστημα παραμονής πετρελαίου στη θάλασσα είναι περίπου 3 μήνες και αυτό σταδιακά καταλήγει στις ακτές με την μορφή σφαιριδίων πίσσας.

## 1.11. Η Προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος

Ως προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος ονομάζεται το σύνολο των ενεργειών, των μέτρων αλλά και των έργων που έχουν ως στόχο τη πρόληψη της υποβάθμιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, την αποκατάσταση, τη διατήρηση αλλά και την βελτίωση του.

Σύμφωνα με τη Πράσινη Βίβλο η αποτροπή της ρύπανσης από πλοία είναι ένα πρόβλημα που περιλαμβάνει τόσο την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος αλλά αφορά και τις θαλάσσιες μεταφορές.

Επιπλέον, σύμφωνα με αυτήν διαπιστώνεται η ανάγκη μιας ενοποιημένης, διατομεακής και πολυεπιστημονικής ευρωπαϊκής θαλάσσιας πολιτικής, η οποία θα καλύπτει όλες τις πτυχές που αφορούν τους ωκεανούς και τις θάλασσες.

## **1.12. Επιπτώσεις πετρελαϊκής ρύπανσης**

Η διαρροή πετρελαίου στο θαλάσσιο χώρο προκαλεί την υποβάθμιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος επηρεάζοντας τους ρυθμούς και κύκλους της ζωής σε αυτήν (Gundlach, 2005, Adcroft et al., 2010, Ali, 2014, , Atlas and Hazen, 2011).

Η πετρελαϊκή ρύπανση μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές στο θαλάσσιο περιβάλλον σε μια περιοχή.

Επιπλέον, ανεπανόρθωτες ζημιές προκαλούνται στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον στις παράκτιες περιοχές έχοντας και επηρεάζουν αρνητικά και την τοπική οικονομία (τουρισμός, ιχθυοκαλλιέργεια κ.α. ).

### **1.12.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

Οι συνέπειες που μπορεί να προκαλέσει η έκχυση μιας πετρελαιοκηλίδας στο περιβάλλον εξαρτάται από το είδος του πετρελαίου που διαφεύγει, τις καιρικές συνθήκες αλλά και την ευαισθησία της τοποθεσίας. Τα υδατοδιαλυτά συστατικά του αργού πετρελαίου και των διυλισμένων προϊόντων του, περιέχουν μια ποικιλία ενώσεων που είναι τοξικές για ένα ευρύ φάσμα θαλασσίων οργανισμών (Barras 2011, Murchison 2011, Beazley et al., 2012).

Ένα οικοσύστημα που έχει υποστεί περιβαλλοντική μόλυνση από πετρέλαιο επανέρχεται με αρκετά αργούς και φυσικούς ρυθμούς στην αρχική του κατάσταση. Ο ρυθμός και ο χρόνος επαναφοράς του συνήθως εξαρτάται από το μέγεθος αλλά και από την ευαισθησία της θαλάσσιας περιοχής.

Επιπλέον, η επαναφορά ενός οικοσυστήματος στη αρχική του κατάσταση και της επαναφοράς του με φυσικούς ρυθμούς στη αρχική του κατάσταση είναι ανάλογη και του μεγέθους της πετρελαιοκηλίδας αλλά και της τοξικότητας του πετρελαίου. Αυτός ο ρυθμός επαναφοράς μπορεί να επιταχυνθεί μόνο με ανθρώπινες προσπάθειες. (Robinson et al., 2006, Adalsteinsson, 2011, Beazley et al., 2012).

Οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις της απόρριψης ποσοτήτων πετρελαίου σε θαλάσσια ύδατα είναι:

- Η διαπερατότητα του φωτός μειώνεται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των υποθαλάσσιων φυτών.
- Η διαπερατότητα του ατμοσφαιρικού οξυγόνου μειώνεται στο υδάτινο σώμα, με αρνητικές επιδράσεις στη θαλάσσια οικολογία.
- Ο θάνατος πτηνών. Τα φτερά των πτηνών καλύπτονται με πετρέλαιο συγκολλούνται με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η πλεύση και το πέταγμα τους και να μειώνεται η θερμική μόνωση του σώματος τους από το ψυχρό νερό με αποτέλεσμα το θάνατο τους.
- Αν το φτέρωμα των πουλιών καλυφθεί με πετρελαιοειδή, τα πουλιά απειλούνται με θάνατο, ιδιαίτερα αν δεν μπορούν να πετάξουν για να βρουν τροφή. Τα θαλάσσια θηλαστικά αντίθετα δεν είναι τόσο ευάλωτα σε αυτήν την μορφή ρύπανσης.
- Η τοξική δράση των ορισμένων ενώσεων του πετρελαίου (π.χ. πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων). Οι τοξικές αυτές ουσίες συσσωρεύονται μέσω της τροφικής αλυσίδας σε ανώτερους ζωικούς οργανισμούς και στο άνθρωπο.
- Διαταραχή ολόκληρης της βιολογίας και της τροφικής αλυσίδας από το πλαγκτόν και τις προνύμφες μέχρι τα ψάρια, τα οστρακοειδή και τα πουλιά.
- Καταστροφή φυτών και φυκιών

### **1.12.2. Κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις**

Η θαλάσσια ρύπανση προκαλεί ανεπανόρθωτες ζημιές και σε κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο πλήττοντας ανεπανόρθωτα το τουρισμό. Οι παράκτιες περιοχές που έχουν υποστεί μόλυνση από πετρέλαιο έχει παρατηρηθεί ότι υποβαθμίζονται αισθητά έως από 80-95 % από την αρχική τους κατάσταση. Όπως είναι αναμενόμενο αυτό έχει ως αντίκτυπο στο κοινωνικό αλλά και στο οικονομικό τομέα της περιοχής. Από οικονομικής σκοπιάς οι ξενοδοχειακές μονάδες, τα καταστήματα αλλά και οι διάφορες τουριστικές επιχειρήσεις χάνουν τη φυσική τους ομορφιά και την αίγλη τους και αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι περιοχές αυτές να μην



αποτελούν πλέον πόλο έλξης για τους τουρίστες. (Mei and Yin, 2009, Murchison, 2011, Beazley et al., 2012).

Επιπλέον, η θαλάσσια ρύπανση προκαλεί απότομη αλλαγή και στο κοινωνικό επίπεδο αφού μια τέτοια καταστροφή συνήθως προκαλεί μετακίνηση πληθυσμού προς άλλες περιοχές κάτι που έχει ως αποτέλεσμα και την απότομη αύξηση της μετανάστευσης. Τέλος έχει παρατηρηθεί ότι η θαλάσσια ρύπανση αυξάνει τα κρούσματα καρκίνων και θανάτων σε μια περιοχή.

## 1.13. Σημαντικά ατυχήματα

Τα ενεργειακά ατυχήματα που συμβαίνουν στο πλανήτη γη προκαλούν ανεπανόρθωτες ζημιές στο υδάτινο ορίζοντα προκαλώντας το θάνατο και την αλλαγή ολόκληρης της τροφικής αλυσίδας του βενθικού τοπίου. Πιο συγκεκριμένα τα ενεργειακά ατυχήματα μπορούν να χωριστούν σε 2 κατηγορίες. Στα ενεργειακά ατυχήματα που συμβαίνουν μετά τη πρόσκρουση, διαρροή και βύθιση κάποιου πετρελαιοφόρου και στα ενεργειακά ατυχήματα που συμβαίνουν μετά την έκρηξη μιας πλατφόρμας (Robinson et al., 2006, Murchison, 2011). Η θαλάσσια περιοχή στην οποία συνέβη η έκρηξη και η διαρροή πετρελαίου ήταν εξαιρετικά πλούσια σε γλωρίδα και πανίδα.

Και στις δυο περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί ότι η ζημιά που προκαλείται στο υδάτινο ορίζοντα τις περισσότερες φορές είναι ανεπανόρθωτη και μη αναστρέψιμη (Barras, 2011, Murchison, 2011). Κατά το παρελθόν δεν είναι λίγες οι μελέτες που έχουν δείξει ότι το υδάτινο περιβάλλον δεν δύναται να επανέλθει στους φυσιολογικούς ρυθμούς ζωής του ακόμη μετά και από αρκετά χρόνια.

### 1.13.1. Amoco Cadiz

Στις 16 Μαρτίου του 1978 συνέβη ένα από τα παλαιότερα και σημαντικότερα ατυχήματα που έχουν καταγραφεί ποτέ στην Ιστορία. Το πετρελαιοφόρο Amoco Cadiz, το οποίο μετέφερε 1.604.500 βαρέλια (219.797 τόνοι) αργού πετρελαίου από τη Σαουδική Αραβία και Kharg Island, Ιράν καθοδόν από το Περσικό Κόλπο προς Ρότερνταμ προσάραξε έξω από την Βρετανία και στη συνέχεια βυθίστηκε (Courtot and Morel, 1986; Dauvin, 2000).

Ως αποτέλεσμα του ατυχήματος ολόκληρο το φορτίο του αργού πετρελαίου (που ανήκε στην Shell) μαζί με 4.000 τόνους μαζούτ διαίρρευσε στη θάλασσα και να ρύπανε και τα 180 μίλια της ακτής στη Βρετανία για το Τουρισμό και τη Αλιεία. Το πετρέλαιο που διείσδυσε στις παραλίες των παράκτιων περιοχών που συνέβη η διαρροή υπολογίζεται ότι διείσδυσε μέχρι και 20 ίντσες (500 mm) κάτω από την επιφάνεια της άμμου.

Η διαρροή πετρελαίου στο θαλάσσιο χώρο προκάλεσε την υποβάθμιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος επηρεάζοντας όλους τους ρυθμούς και κύκλους ζωής σε αυτής (Gundlach, 2005, Adams et al., 2013). Η θαλάσσια περιοχή στην οποία συνέβη η έκρηξη και η διαρροή πετρελαίου ήταν εξαιρετικά πλούσια σε γλωρίδα και πανίδα.

Επιπλέον, εξαιτίας της εκτεταμένης μεταφοράς άμμου που υπήρξε στις παραλίες κατά τη διάρκεια της κακοκαιρίας το πετρέλαιο ανιχνεύτηκε μέχρι και δύο έως και τρεις φορές χαμηλότερα στη στρώση άμμου από αυτή.

Ο καθαρισμός του πετρελαίου είχε ως αποτέλεσμα την μερική επαναφορά του οικοσυστήματος, το οποίο όμως ακόμη και σήμερα επανέρχεται σταδιακά με φυσικούς ρυθμούς στη αρχική του κατάσταση.

Τέλος επειδή οι μέθοδοι καθαρισμού πετρελαίου απαίτησαν τη χρήση σημαντικών οικονομικών πόρων της περιοχής και εξαιτίας της επίδρασης που είχε το ατύχημα στο περιβάλλον αλλά και στην οικονομία της περιοχής οι ξενοδοχειακές μονάδες, τα καταστήματα αλλά και οι διάφορες τουριστικές επιχειρήσεις της έχασαν την φυσική τους ομορφιά με αποτέλεσμα να μειωθεί αισθητά και η οικονομία της περιοχής (Oudot and Chaillan, 2010, Atlas and Hazen, 2011).



**Εικόνα 1.13.1.1.** : Η βύθιση του Amoco Cadiz

([http://en.wikipedia.org/wiki/Amoco\\_Cadiz\\_oil\\_spill#mediaviewer/File:Amoco\\_Cadiz\\_2.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Amoco_Cadiz_oil_spill#mediaviewer/File:Amoco_Cadiz_2.jpg))

### **1.13.2. Ss Atlantic Empress**

Στις 19 Ιουλίου του 1979 το Ελληνικό πετρελαιοφόρο SS Atlantic Empress, το οποίο μετέφερε 200 τόνους αργού πετρελαίου, συντρίβει με το πετρελαιοφόρο Aegean Captain, το οποίο και μετέφερε 200 τόνους αργού πετρελαίου, 18 μίλια ανατολικά της νήσου Tabago στη Καραϊβική.

Κατά τη στιγμή της σύγκρουσης του το πετρελαιοφόρο SS Atlantic Empress το οποίο έπλεε από τη Σαουδική Αραβία προς το Beaumont του Τέξας με φορτίο αργού πετρελαίου που ανήκε στη Mobil Oil ενώ το Aegean Captain ήταν καθ 'οδόν από την Αρούμπα προς τη Σιγκαπούρη (Batten et al., 1998, Adams et al., 2013, Barker, 2011).

Ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης ήταν ο θάνατος 26 ατόμων από το πλήρωμα του SS Atlantic Empress και ενός από το Aegean Captain. Η θαλάσσια περιοχή στην οποία συνέβη η έκρηξη και η διαρροή πετρελαίου ήταν εξαιρετικά πλούσια σε χλωρίδα και πανίδα. Η διαρροή πετρελαίου που σημειώθηκε ήταν η πέντη μεγαλύτερη που έχει σημειωθεί παγκοσμίως και η μεγαλύτερη που έχει ποτέ σημειωθεί σε μέγεθος διαρροής πετρελαίου από πετρελαιοφόρο. (Harold et al., 2014, Adcroft et al., 2010).

Παρόλα ταύτα δεν υπάρχουν σημαντικές καταγραφές σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που είχε η έκρηξη στη θαλάσσια περιοχή αφού δεν σημειώθηκε καμία μελέτη μετά την έκρηξη (Steadman et al., 2014, Adams et al., 2013)

### **1.13.3. Castillo De Bellver**

Στις 6 Αυγούστου του 1983 το Ισπανικό πετρελαιοφόρο oil Castillo de Bellver, το οποίο μετέφερε 250 τόνους αργού πετρελαίου, εξεράγει 80 Km ανοιχτά του κόλπου Table Bay, της Νότιας Αφρικής (Altwegg, 2008, Ackleh, 2012, Anderson et al., 2014).

Η θαλάσσια περιοχή στην οποία συνέβη η διαρροή πετρελαίου ήταν πλούσια σε χλωρίδα και πανίδα.

Αποτέλεσμα της έκρηξης του πετρελαιοφόρου ήταν η διαρροή 50-60 χιλιάδων τόνων αργού πετρελαίου στα θαλάσσια ύδατα της περιοχής. Η θαλάσσια περιοχή στην οποία συνέβη η έκρηξη και η διαρροή πετρελαίου ήταν εξαιρετικά πλούσια σε χλωρίδα και πανίδα. Το 50 % από το πληθυσμό των οστράκων και των ψαριών (Gertler et al., 2010, Adalsteinsson, 2011).

Παρόλα ταύτα οι μελέτες που έγιναν σε δείγματα πλαγκτόν και νερού έδειξαν ότι δεν υπήρξαν ιδιαίτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη διαρροή.



**Εικόνα 1.13.3.1. :** Η έκρηξη του Castillo De Bellver

(<http://www.toptenz.net/top-10-worst-oil-spills.php/castillo-de-bellver-worst-oil-spills-in-history>)

#### **1.13.4. Exxon Valdez**

Το βράδυ στις 23 προς 24 Μαρτίου του 1989 σημειώθηκε διαρροή πετρελαίου από το πετρελαιοφόρο Έξον Βαλντέζο που βρισκόταν καθοδόν, από το σταθμό ανεφοδιασμού της Αλάσκας προς τη Καλιφόρνια εξαιτίας μιας ξαφνικής αναγκαστικής αλλαγής που πραγματοποίησε στη πορεία του προς αποφυγή της πρόσκρουσης του με παγόβουνο (Trevors and Saier, 2010). Η θαλάσσια περιοχή στην οποία συνέβη η έκρηξη και η διαρροή πετρελαίου ήταν εξαιρετικά πλούσια σε χλωρίδα και πανίδα.

Η πετρελαιοκηλίδα που σχηματίστηκε πριν από 25 χρόνια στη Αλάσκα έχει μείνει στην παγκόσμια ιστορία ως μία από τις μεγαλύτερες οικολογικές καταστροφές του πλανήτη. Το πετρέλαιο που χύθηκε κάλυψε 1300 μίλια (2.100) από τις ακτές και 11.000 τετραγωνικά μίλια (28.000 Km<sup>2</sup>) του ωκεανού (Irvine et al., 2006, Orth, 2011).



**Εικόνα 1.13.4.1.:** Το πετρελαιοφόρο Exxon Valdez  
(<http://pdxretro.com/2011/03/exxon-valdez-oil-spill-was-22-years-ago-today/>)

Η πετρελαιοκηλίδα Valdez ήταν η μεγαλύτερη διαρροή πετρελαίου, η οποία είχε ποτέ δημιουργηθεί στα ύδατα των ΗΠΑ μέχρι και τις 20 Απριλίου του 2010 όπου και σημειώθηκε η έκρηξη του κόλπου του Μεξικού στο υπεράκτιο γεωτρήσιμο της BP Deepwater Horizon ( Birkland and Lawrence 2002, Orth, 2011). Το ατύχημα θεωρήθηκε ως ένα από τα χειρότερα και μεγαλύτερα που έχει σημειωθεί ποτέ παγκοσμίως με τεράστιες οικολογικές και περιβαλλοντικές καταστροφές άνευ προηγουμένου.



**Εικόνα 1.13.4.2.** : Προσπάθειες καθαρισμού πετρελαιοκηλίδας  
(<http://pdxretro.com/wp-content/uploads/2011/03/oil-spill-clean-up.jpg>)

Η Εταιρεία Exxon Shipping Company μετονομάστηκε σε Sea River Shipping Company και το πλοίο Exxon Valdez επισκευάστηκε και μετονομάστηκε σε Sea River Mediterranean για να μεταφέρει πετρέλαιο σε όλο τον Ατλαντικό Ωκεανό (Boehm et al., 2011, Orth, 2011). Το πλοίο απαγορεύτηκε από το νόμο να ξανά επιστρέψει στο Prince William Sound

### 1.13.5 ABT Summer

Στις 28 Μαΐου του 1991 το δεξαμενόπλοιο Λιβεριακής καταγωγής ABT SUMMER, το οποίο μετέφερε 260 τόνους ακατέργαστου πετρελαίου εξεράγει 900 μίλια από τις ακτές της Angola, Αφρική (Metcalf and Eddy, 2003, Orth, 2011). Η θαλάσσια περιοχή στην οποία συνέβη η έκρηξη και η διαρροή πετρελαίου ήταν εξαιρετικά πλούσια σε χλωρίδα και πανίδα. Στο σημείο της έκρηξης έσπευσαν 2 ρυμουλκά το Red Kestrel και το Red Robin μαζί με ένα αεροπλάνο για να σβήσουν τη φωτιά. Ως αποτέλεσμα της έκρηξης ήταν ο θάνατος 5 ατόμων από τα 32 άτομα του πληρώματος. Η πετρελαιοκηλίδα που δημιουργήθηκε εξαπλώθηκε σε έκταση καλύπτοντας την έκταση 80 τετραγωνικά μίλια από το δεξαμενόπλοιο (Wang, 1999, Orth, 2011). Το πλοίο συνέχισε να καίγεται για τρεις ημέρες και στο τέλος βυθίστηκε. Επειδή το ατύχημα που σημειώθηκε σε μεγάλη απόσταση από τις ακτές δεν είναι ξεκάθαρο πόσο πετρέλαιο κάηκε ή πόσο βυθίστηκε για να υπολογιστεί η περιβαλλοντική επίπτωση που είχε στο περιβάλλον (Gundlach, 1978, Ackleh, 2012, Adalsteinsson, 2011).



**Εικόνα 1.13.5.1.:** Το Δεξαμενόπλοιο ABT Summer  
(<http://as10.org/wp-content/uploads/2011/11/largest-oil-spill-abt-summer.jpg>)



### **1.13.6. MT Haven**

Το 1991 το MT Haven καθώς φόρτωνε 144,000 τόνους από ακατέργαστο πετρέλαιο εξεράγει και έπιασε φωτιά κάπου ανάμεσα στις ακτές της Γένοβα, Ιταλία. Η θαλάσσια περιοχή στην οποία συνέβη η έκρηξη και η διαρροή πετρελαίου ήταν εξαιρετικά πλούσια σε χλωρίδα και πανίδα. Ως αποτέλεσμα ήταν ο θάνατος 6 ατόμων του πληρώματος και η ροή 50,000 αργού πετρελαίου. Για τα επόμενα 12 χρόνια οι ακτές της Ιταλίας και της Γαλλία είχαν μολυνθεί ειδικά γύρω στη Γένοβα και τη νότια Γαλλία (Dietzenbacher and Mukhopadhyay, 2006, Osofsky et al., 2012, Orth, 2011).

## **1.14. Εκρήξεις σε Πλατφόρμες εξόρυξης**

Οι εκρήξεις σε πλατφόρμες συσχετίζονται άμεσα με την εκμετάλλευση ενεργειακών πόρων κυρίως φυσικού αερίου και πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον έχουν πολύ μεγάλες επιπτώσεις όπως θα φανεί στην συνέχεια γιατί απασφαλίζεται το κοίτασμα με συνέπεια τη συνεχή έκχυση ενεργειακών πόρων στο θαλάσσιο περιβάλλον ενώ το σφράγισμα κοιτάσματος είναι πολύ δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία και μπορεί να διαρκέσει μήνες (Barras, 2011 Murchison, 2011, Atlas and Hazen, 2011)

Ακολουθεί η συνοπτική περιγραφή των πιο σημαντικών ενεργειακών ατυχημάτων σε πλατφόρμες.

### **1.14.1. Usumacinta**

Το 1994, 16 μίλια από τις ακτές του Tabasco κοντά στο λιμάνι του Dos Bocas δημιουργήθηκε από τη κρατική εταιρεία πετρελαίου PEMEX δημιουργήθηκε η θαλάσσια πλατφόρα Kab 101. Η πλατφόρμα αυτή ήταν το σημείο έκρηξης που τελικά οδήγησε στο θάνατο 22 εργαζομένων (Johnson 2007, Osofsky et al., 2012).



**Εικόνα 1.14.1.1.** : Η πλατφόρμα Kab 101 και η πλατφόρμα Usumacinta Platform μια μέρα μετά την έκρηξη.

([http://en.wikipedia.org/wiki/Kab\\_101#mediaviewer/File:PozaKab121.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Kab_101#mediaviewer/File:PozaKab121.jpg))

## 1.14.2. Nowruz Field

Το 1983 ο χώρος πετρελαίου Nowruz Field που βρίσκεται στο κόλπου της Περσίας υπέστη μια σειρά από περιβαλλοντικά ατυχήματα προκαλώντας τεράστια οικολογική καταστροφή στη θαλάσσια περιοχή. Η θαλάσσια περιοχή στην οποία συνέβη η έκρηξη και η διαρροή πετρελαίου ήταν εξαιρετικά πλούσια σε χλωρίδα και πανίδα.

Στις 24 Ιανουαρίου του 1983 κατά τη διάρκεια του πρώτου πολέμου Ιράν-Ιράκ ένα πετρελαιοφόρο εφοδιασμού προσέκρουσε στην εξέδρα προκαλώντας τη διαρροή 1500 βαρελιών πετρελαίου/ημέρα στο θαλάσσιο χώρο. Μερικούς μήνες μετά η πλατφόρμα δέχτηκε επίθεση από το Ιράν με αποτέλεσμα έκρηξη της πλατφόρμας. Η πετρελαιοπηγή σκεπάστηκε μετά από μισό χρόνο, κατά τη διαδικασία της επιχείρησης 11 άνθρωποι πέθαναν (Asanuma et al., 1986, Osofsky et al., 2012).

Κατά τη διάρκεια του ίδιου μήνα εξαιτίας Ιρακινής επίθεσης προκλήθηκε έκρηξη σε μια ακόμη πλατφόρμα του θαλάσσιου χώρου στο Περσικό Κόλπο. Αποτέλεσμα ήταν η έκρηξη και διαρροή πετρελαίου στη θάλασσα 5000-1500 βαρέλια/ημέρα, για 2 χρόνια (Othumpangat and Castranova, 2014, Barker, 2011).

Ο συνολικός ρυθμός διαρροής πετρελαίου στο Περσικό κόλπο μέχρι τα μέσα Μαΐου ήταν μεταξύ 4.000 και 10.000 βαρέλια την ημέρα (Barras 2011, Osofsky et al., 2012).



**Εικόνα1.14.2.1. : Nowruz Field**  
(<http://www.abovetopsecret.com/forum/thread567113/pg1>)

## 1.15. Καταγραφή προβλήματος

Τα διάφορα ατυχήματα που έχουν συμβεί στο θαλάσσιο χώρο κατά καιρούς μπορεί να θεωρούνται σε συχνότητα σχεδόν σπάνια αλλά οι επιπτώσεις τους είναι ιδιαίτερα καταστροφικές και με μεγάλες και μακροχρόνιες επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη τηλεπισκοπικών μεθόδων με σκοπό τη μελέτη της θαλάσσιας ρύπανσης καθίσταται δυνατή μέσω της εκτίμησης της ποιότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος σε μεγάλη έκταση και με σχετικά χαμηλό κόστος.

Για το σκοπό αυτό κρίνεται αναγκαία η μακροχρόνια μελέτη των επιπτώσεων που μπορεί να υπάρξει σε μία θαλάσσια περιοχή μετά τη διαρροή πετρελαίου, με σκοπό την επίγνωση μελλοντικών επιπτώσεων που μπορεί να υπάρξουν και τα μεγέθη που μπορεί αυτές να λάβουν σε περιβαλλοντικό, οικονομικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενα κεφάλαια.

Το 2012 η Ελλάδα προκήρυξε την αναγγελία προσφοράς για την εκμετάλλευση πετρελαίου τριών οικοπέδων έχοντας ως στόχο την προσέλκυση μεγάλων πετρελαϊκών εταιρειών στον Ελλαδικό χώρο και σκοπό τη βοήθεια της οικονομικής της κατάστασης. Πιο συγκεκριμένα τα

οικόπεδα αυτά βρίσκονται στα Ιωάννινα, στο κόλπο του Πατραϊκού και στο κόλπο του Κατάκολου. Μέχρι στιγμής μερικές μόνο εταιρείες έχουν δεσμευτεί για τη εκμετάλλευση και παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Ελλάδα ενώ η προσφορά παραμένει ανοιχτή για τα επόμενα 25 χρόνια.

Το 2012 το Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού της Κύπρου ανακοίνωσε την αδειοδότηση και τη χορήγηση αδειών για την εξερεύνησης κοιτασμάτων υδρογονανθράκων και ακολούθως αδειών εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων.

Η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων σε συνδυασμό με τη αστικοποίηση (τουριστικές εγκαταστάσεις, λιμάνια, τουρισμός και βιομηχανικές εγκαταστάσεις) είναι πιθανόν να αυξήσει τη συχνότητα και την έκταση-επιπτώσεις των ενεργειακών ατυχημάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον της Κύπρου και της Ελλάδος. Επομένως τα δύο κράτη με κοινά θαλάσσια σύνορα θα πρέπει να υιοθετήσουν τεχνικές και μεθοδολογίες που θα επιτρέπουν τη παρακολούθηση και εποπτεία του θαλάσσιου περιβάλλοντος με σκοπό τη πρόληψη, τη καταγραφή και αξιολόγηση των επιπτώσεων των περιβαλλοντολογικών ατυχημάτων.

Από την άλλη πλευρά παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης που λειτουργούν χρησιμοποιώντας την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης (σε αντίθεση με τα ενεργητικά συστήματα τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούν την δική τους πηγή ενέργειας και συνήθως εκπέμπουν μικροκυματική ακτινοβολία) προσφέρουν σχεδόν συνεχή και αδιάλειπτη παρακολούθηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος καταγράφοντας μια μεγάλη σειρά από βιοφυσικούς δείκτες (Miliareisis, 2013a, Myers, 2013, Anderson et al., 2014).

Το πρόβλημα είναι ποίοι από αυτούς τους βιοφυσικούς δείκτες και ποιά δορυφορικά καταγραφικά συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί για τη καταγραφή, τη παρακολούθηση και την εκτίμηση των επιπτώσεων θαλάσσιων περιβαντολογικών ατυχημάτων σε πλατφόρμες εξόρυξης.

## 1.16. Σκοποί και στόχοι

Το πλέον σύγχρονο και με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις ατύχημα σε ενεργειακή πλατφόρμα εξόρυξης πετρελαίου είναι το ατύχημα που συνέβη στις 20 Απριλίου του 2010 στο Κόλπο του Μεξικού το οποίο απείλησε με αφανισμό σχεδόν το σύνολο του οικοσυστήματος σε ηπειρωτική σχεδόν έκταση (Kaiser and Snyder, 2013, Pennington-Gray et al., 2011).

Αρα προκειμένου να αποκτηθεί γνώση και εμπειρία για το πως οι τεχνικές τηλεπισκόπησης και τηλεπισκοπικά δεδομένα (μέτριας διακριτικής ικανότητας που έχουν μηδενικό κόστος και συνθέτουν μια παγκόσμια βιοφυσική γεωγραφική βάση δεδομένων σε ημερήσια βάση) χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση της ρύπανσης, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σήμερα για τη παρακολούθηση των επιπτώσεων.

Τέτοιας κλίμακας ατυχήματα μπορεί να θεωρούνται σε συχνότητα σχεδόν σπάνια αλλά οι επιπτώσεις τους είναι ιδιαίτερα καταστροφικές και με μεγάλες και μακροχρόνιες επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Με δεδομένο τις προκηρύξεις και την υλοποίηση ερευνών πετρελαίου στην ευρύτερη περιοχή Ελλάδος και Κύπρου μια τέτοια μελέτη θα συνεισφέρει στο προγραμματισμό των ενεργειών που είναι αναγκαίο να γίνουν για να θωρακιστεί σε θέματα περιβαλλοντικής προστασίας η λεκάνη της Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου.

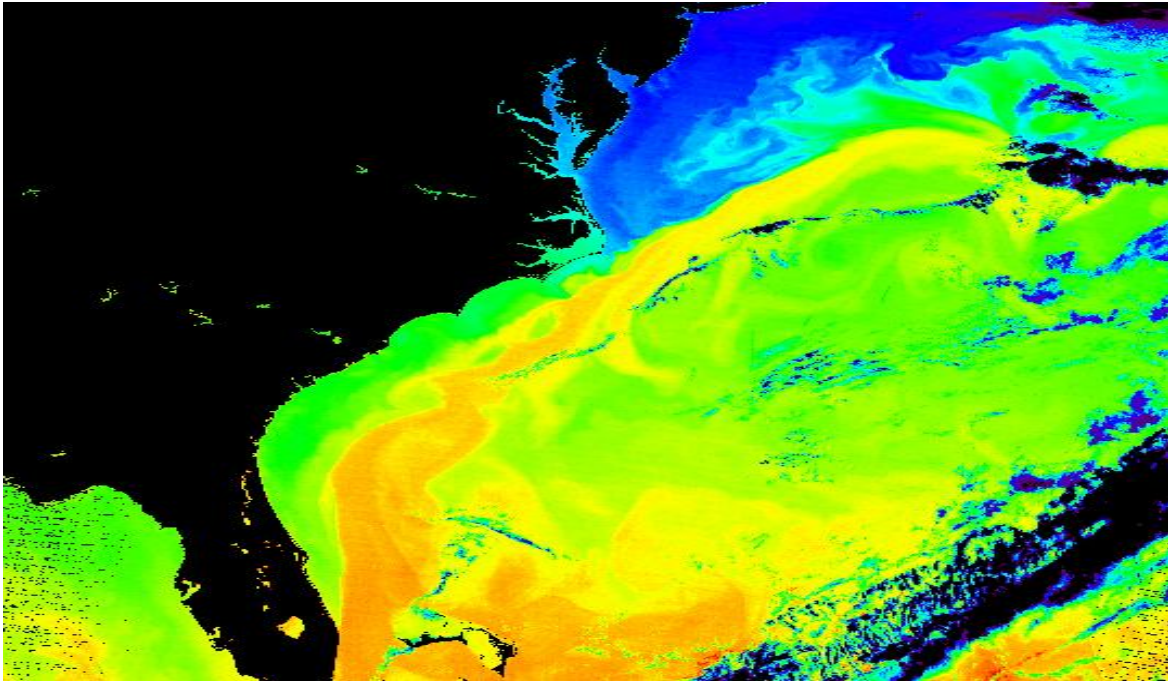


Ο κόλπος του Μεξικού αποτελείται από την ένωση 2 θαλάσσιων περασμάτων. Από το στενό της Φλόριντας και των ΗΠΑ ενώνεται με τον Ατλαντικό Ωκεανό ενώ μέσω του καναλιού του Γιουκατάν με τη Καραϊβική θάλασσα (με τη οποία διαμορφώνει την Αμερικάνικη Μεσόγειο) μεταξύ του Μεξικού και της Κούβας (Pool, 2006, Pennington-Gray et al., 2011).

Στα βορειοανατολικά, το Βόρειο και το βορειοδυτικό τμήμα της οριοθετείται από την ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών, στα νοτιοδυτικά από το Μεξικό και τέλος στα νοτιοανατολικά από τη Κούβα Το Ρεύμα του Κόλπου, μαζί με τη βόρεια προέκτασή του, είναι ένα ισχυρό, θερμό και ταχύ ρεύμα του Ατλαντικού Ωκεανού που δημιουργείται στον Κόλπο του Μεξικού, βγαίνει στον ωκεανό από τα στενά της Φλόριντα και ακολουθεί τις ανατολικές ακτές των Ηνωμένων Πολιτειών και της Νέας Γης πριν διασχίσει τον Ατλαντικό Ωκεανό. Σε συντεταγμένες περίπου 30° Δ, 40° Β, χωρίζεται στα δύο, και το βόρειο τμήμα κατευθύνεται προς τη Βόρεια Ευρώπη, ενώ το νότιο ανακυκλώνεται ανοιχτά της Δυτικής Αφρικής.

Το Ρεύμα του Κόλπου επηρεάζει το κλίμα της ανατολικής ακτής των ΗΠΑ και του Καναδά, αλλά και αυτό της Δυτικής Ευρώπης, της Ιρλανδίας και της Νορβηγίας. Αυξάνει τη θερμοκρασία του νερού, την περιεκτικότητά του σε αλάτι κ.ά., με αποτέλεσμα να παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος.

Τέλος οι παλιρροιακές διακυμάνσεις που παρουσιάζει είναι εξαιρετικά λίγες γεγονός που οφείλεται στη στενή σύνδεση του με τον ωκεανό. Σχεδόν η μισή μόνο από τη λεκάνη έχει ρηγά διπαλιρροιακά ύδατα



**Εικόνα 2.1.2.:** Το ρεύμα του κόλπου. Τα νερά του ρεύματος του Κόλπου με κίτρινο και πορτοκαλί χρώμα (Απεικόνιση θερμοκρασιών των νερών του Ατλαντικού).

[\(http://www.nasa.gov/\)](http://www.nasa.gov/)

## 2.2. Η Οικολογία του Κόλπου

Η βιοποικιλότητα του κόλπου χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικά πλούσια, κυρίως σε γαρίδες και στα βαθύτερα στρώματα ύδατος από κοράλλια. Το μέγεθος και η μοναδικότητα του κόλπου έχει οδηγήσει με τα χρόνια στη δημιουργία αρκετών κρατικών και εθνικών πάρκων αλλά και ενδιατημάτων με σκοπό τη διατήρηση της άγριας ζωής του (Ramírez and Guerrero 2012, Myers, 2013, Sole, 2011). Οι παράκτιες περιοχές του κόλπου είναι πλούσιες σε υγροτόπους, σπίτι για αρκετούς ζωτικούς φυσικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένων των υδρόβιων πτηνών που φωλιάζουν αλλά και των θαλάσσιων χελώνων (Pool, 2006, Pennington-Gray et al., 2011). Η διατήρηση της οικολογίας του κόλπου είναι άκρως αναγκαία για την συνέχιση των κύκλων ζωής που υπάρχουν στο κόλπο. Επιπλέον απαραίτητη κρίνεται η διατήρηση της για την τοπική οικονομία, την ψυχαγωγικής εμπειρίας αλλά και για τη συνολική ποιότητα ζωής.



## 2.3. Ιστορική Αναδρομή του Ατυχήματος

Στις 20 Απριλίου 2010 στο Κόλπο του Μεξικού πενήντα μίλια από τη ακτή της Λουιζιάνα (Η.Π.Α), μια έκρηξη σημειώθηκε στο υπεράκτιο γεωτρήπανο της BP Deepwater Horizon, αφήνοντας έντεκα εργαζόμενους νεκρούς και τραυματίζοντας άλλους δεκαεπτά (Kaiser and Snyder, 2013, Pennington-Gray et al., 2011, Myers, 2013).

Τέσσερις ημέρες αργότερα ανακαλύφθηκε ότι υπήρχε διαρροή πετρελαίου στο Κόλπο του Μεξικού, η οποία συνεχίστηκε για μεγάλο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα η οικολογική καταστροφή στη παράκτια ζώνη να είναι τεράστια και να χρειαστούν δυναμικές ενέργειες για να επανέλθουν τα χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα στην προηγούμενη τους κατάσταση (Chakrabarty et al., 2012, Pettit and Newman, 2012).

Η κυβέρνηση Ομπάμα από την πρώτη στιγμή παρέβλεψε τα λάθη της Εταιρείας BP και των άλλων «διαπλεκόμενων» πετρελαϊκών εταιρειών που εμπλέκονται στη υπόθεση, όπως η Transocean και η Halliburton. Έτσι η BP ως τώρα έχει καταβάλει στους ζημιωμένους πολίτες μόλις τρία δισεκατομμύρια δολάρια, και κάνει ότι μπορεί για να αποφύγει να πληρώσει τα υπόλοιπα εκτιμώντας ότι τα έξοδα για τον καθαρισμό είναι προφανώς αρκετά για να ξεπλύνει την ντροπή της (Pool, 2006, Pennington-Gray et al., 2011, Myers 2013).



**Εικόνα 2.3.1.** : Προσπάθειες κατάσβεσης της πλατφόρμας  
(<http://www.econews.gr/2013/07/25/fwta-gewtrisi-103386/>)

Σύμφωνα με την Αμερικανική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOOA) η ποσότητα του πετρελαίου που διαχύθηκε στη θάλασσα μετά την έκρηξη στη θαλάσσια πλατφόρμα *Deepwater Horizon* υπολογίζεται στα 4,9 εκατομμύρια βαρέλια.

Θεωρητικά η ποσότητα αυτή διαλύθηκε από ειδικά χημικά και εξαιτίας των ισχυρών ανέμων και ρευμάτων. Ενώ σύμφωνα με περαιτέρω υπολογισμούς της NASA η διαρροή υπολογίστηκε να είναι 5 φορές μεγαλύτερη από την αρχικά υπολογισθείσα.

**Πίνακας 2.3.1.** : Ποσότητα πετρελαίου διάχυσης στα θαλάσσια ύδατα.

|   |
|---|
| Σύμφωνα με τους υπολογισμούς της NOOA                     |
| 16% διαλύθηκε με τη χρήση χημικών                         |
| 13% απορροφήθηκε φυσικά                                   |
| 17% συλλέχθηκε απευθείας από την πλατφόρμα                |
| 5% κάηκε  |
| 3% της ποσότητας που διέρρευσε συλλέχθηκε από τη θάλασσα. |

Στην πραγματικότητα, βέβαια, το πετρέλαιο δεν εξαφανίστηκε το μεγαλύτερο μέρος του απλά βυθίστηκε δημιουργώντας ένα μαύρο στρώμα στο πυθμένα. Σύμφωνα με τον Τζορτζ Κρόζιερ ευρήματα πετρελαίου στο βυθό παρουσιάζονται μέχρι και σήμερα γεγονός που οφείλεται στους ρυθμούς εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου στο αμμώδη βυθό του κόλπου (Ramírez and Guerrero, 2012, Pettit and Newman, 2012).

Ανεξάρτητη ομάδα επιστημόνων από το Πανεπιστήμιο της Γεωργίας ότι το 70-80% του πετρελαίου που διέρρευσε παραμένει ακόμη και σήμερα στη θάλασσα και απειλεί το οικοσύστημα ενώ επεσήμανε πως τα υπολείμματα της διαρροής είναι «τοξικά για το τουρισμό» αλλά εκτιμά πως δεν συνιστούν περιβαλλοντική απειλή.

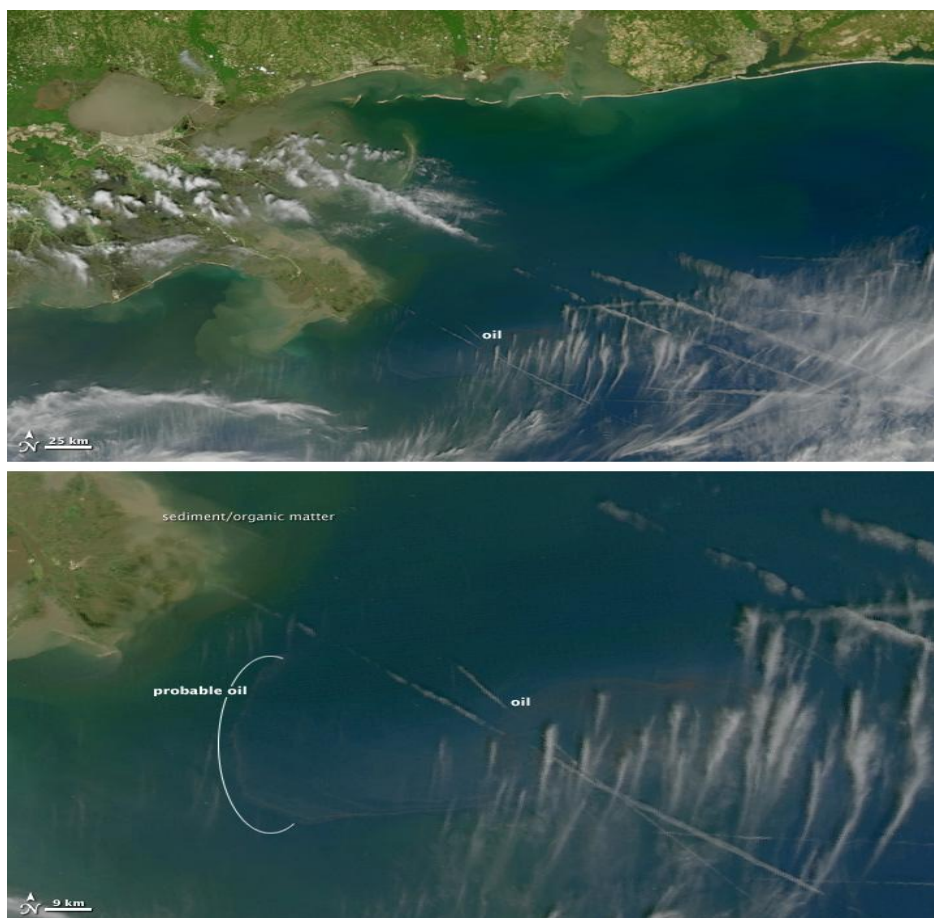


**Εικόνα 2.3.2.** : Χάρτης απεικόνισης του σημείου έκρηξης της πλατφόρμας Deepwater Horizon oil rig στο κόλπο του Μεξικού.

<http://www.britannica.com/blogs/2011/04/deepwater-horizon-oil-spill-year-picture-essay-day/>

Ως αποτέλεσμα της διάρρευσης ήταν η καταστροφή του πυθμένα (γκριλ, πλαγκτόν), η οποία αποτελεί και τροφή των μεγάλων θαλάσσιων θηλαστικών και καρχαριοειδών που ζουν στη περιοχή με αποτέλεσμα τη δραματική μείωση δελφινιών, φαλαινών και καρχαριών ξεβράζοντας τα νεκρά στις ακτές της Λουιζιάνα, του Μισισιπή, της Αλαμπάμα και της Φλόριντα (Kaiser and Snyder, 2013, Plater, 2010, Myers, 2013). Πολλοί άνθρωποι που εργάστηκαν συχνά εθελοντικά για το καθαρισμό της πετρελαιοκηλίδας χρησιμοποιώντας τη χημική ουσία Corexit σε τεράστιες ποσότητες, (έναν τοξικό διαλύτη απαγορευμένο σε 20 χώρες) έχασαν τη ζωή τους, κυρίως από καλπάζοντες μορφές καρκίνου, αν και οι πρόωροι θάνατοι τους συχνά αποδίδονται σε «φυσικά αίτια».

Η BP ισχυρίστηκε ότι ο σκοπός της ήταν η παρεμπόδιση της εξάπλωσης πετρελαίου στις ακτές όμως ο αληθινός στόχος ήταν η συγκάλυψη του για τη ελαχιστοποίηση της ευθύνης της.



**Εικόνα 2.3.3:** Απεικόνιση του σημείου διαρροής του πετρελαίου  
(<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=43841>)

Η επιτροπή που ανέλαβε να διερευνήσει τη διαρροή πετρελαίου στο κόλπο κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η οικολογική καταστροφή θα μπορούσε να έχει αποφευχθεί, ενώ ταυτόχρονα απέρριπτε ευθύνες και παραλείψεις στις τρεις εμπλεκόμενες επιχειρήσεις μεταξύ των οποίων η Transocean (Myers, 2013, Murchison, 2011).

Τον Ιούνιο του 2010 η επιστημονική μονάδα προστασίας της ατμόσφαιρας μετά από μετρήσεις που πραγματοποίησε στα αέρια και αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας πάνω από τη διαρροή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι εξαιτίας των πτητικών σωματιδίων (ελαφρύτερους υδρογονάνθρακες, πτητικές οργανικές ενώσεις) του πετρελαίου είχε δημιουργηθεί μία στενή νέφωση αέρα από επικίνδυνα για την υγεία αέρια (Plater, 2010, Myers, 2013, Abbriano, 2011).



**Εικόνα 2.3.4.** : Επιχείρηση καθαρισμού ακτών που πραγματοποιήθηκε από την οργάνωση HAZMAT για τον καθαρισμό ακτής στο Κόλπο του Μεξικού.

[http://ocean.nationalgeographic.com/ocean/photos/ocean-pollution/#/pollution03-beach-barrel-removal\\_16636\\_600x450.jpg](http://ocean.nationalgeographic.com/ocean/photos/ocean-pollution/#/pollution03-beach-barrel-removal_16636_600x450.jpg)

Πιο συγκεκριμένα οι μετρήσεις έδειξαν ότι το πρώτο 30 % του κλάσματος πετρελαίου εξατμίζονταν μέσα σε 10 ώρες ενώ το υπόλοιπο 10-20 % ήταν αυτό που δημιουργούσε αυτές τις αέριες εξατμίσεις. Παραδόξως οι βαρύτερες ενώσεις συνέβαλαν τα μέγιστα στη υπήνεμη σωματιδιακή ρύπανση του κόλπου. Αυτά τα ευρήματα οδήγησαν στη κατανόηση της δημιουργίας αρκετά ανεξήγητων συχνών οργανικών αερολυμάτων στη ατμόσφαιρα που δημιουργούνται παγκόσμιος, κάτι που στο μέλλον θα βοηθήσει τους ανθρώπους να αναπνέουν πιο ακίνδυνα (Abbriano, 2011, Ackleh, 2012).

Παρόλα ταύτα λίγους μήνες μετά οι Αμερικανικές αρχές έδωσαν ξανά άδεια στη BP και άλλες παρόμοιες επιχειρήσεις να ξαναρχίσουν τις υποβρύχιες υπεράκτιες εξορύξεις τους ενώ η Transocean λίγες εβδομάδες μετά έδωσαν στα ανώτατα στελέχη ειδικά μπόνους ύψους εκατομμυρίων δολαρίων με την αιτιολογία ότι το 2010 ήταν «η καλύτερη χρονιά σε επιδόσεις ασφάλειας στην ιστορία της».

## 2.4. Τηλεπισκοπικά δεδομένα

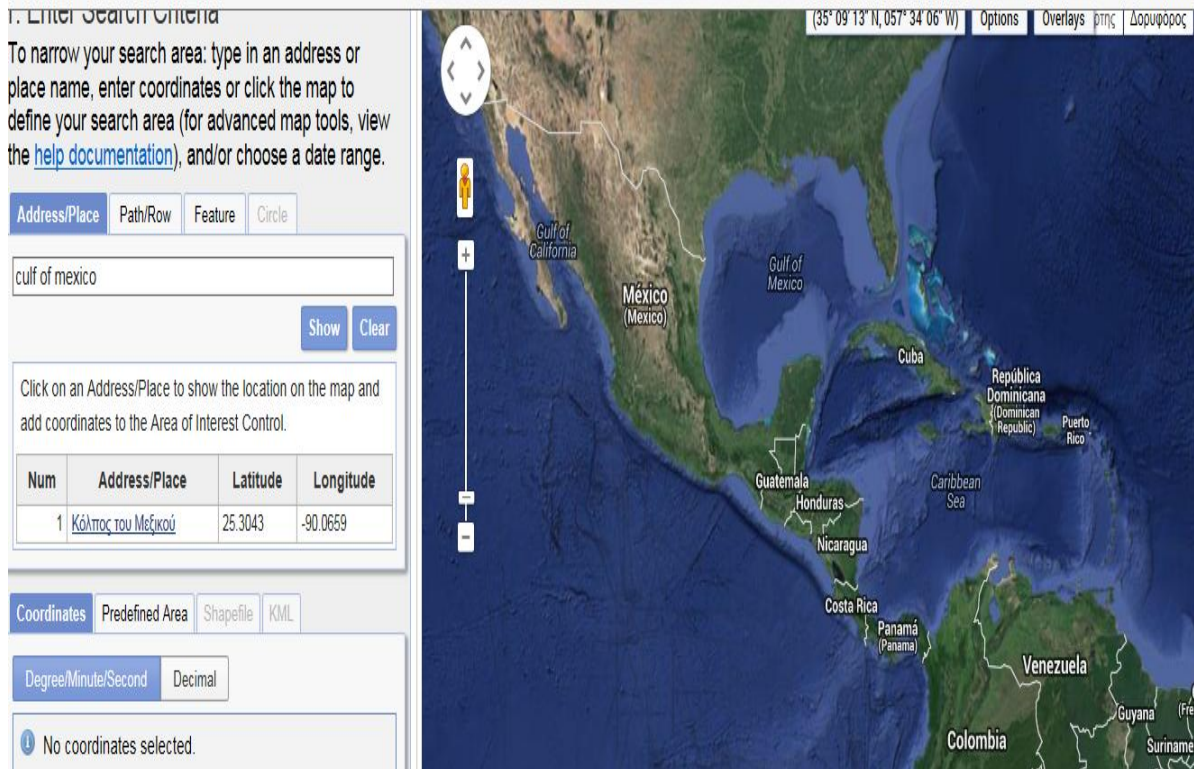
Τα πλέον σύγχρονα και με δεδομένα από παθητικά δορυφορικά συστήματα είναι αυτά του σαρωτή Landstat και MODIS που παρέχουν συνεχή κάλυψη της γήινης επιφάνειας σε ξηρά και θάλασσα. Ο MODIS παρέχει δεδομένα από το 2000 μέχρι σήμερα με μεγάλη περιοδικότητα σε ημερήσια βάση προσδιορίζοντας μια σειρά από βιοφυσικούς δείκτες όπως αναλύεται παρακάτω. Η σειρά Landstat παρέχει δεδομένα μια με δύο φορές το μήνα δηλαδή έχει μικρότερη συχνότητα επανάληψης από το MODIS αλλά καταγράφει δεδομένα από το 1970 έως σήμερα (Ramírez and Guerrero, 2012, Plater, 2010).

Τα δορυφικά καταγραφικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την καταγραφή βιοφυσικών παραμέτρων, καλύψεων Γης, δείκτες βλάστησης κ.α. . Ένα από τα πλέον πιο διαδεδομένα συστήματα είναι το σύστημα Thematic Mapper που βρίσκεται στη σειρά των δορυφόρων Landsat (Cracknell and Varotsos, 2012, Myers, 2013).

Η πρώτη καταγραφή βιοφυσικών δεδομένων ξεκίνησε στις 23/7/1972 την ημέρα καταγραφής του πρώτου εμπορικού δορυφόρου Landsat 1, ο οποίος χαρτογραφούσε σε περιοδική βάση τις καλύψεις γης στην επιφάνεια της γης και προσδιόριζε δείκτες βλάστησης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την ανάγκη θερμικής καταγραφής της επιφάνειας της γης σε περιοδική βάση οδήγησε στη δημιουργία του δορυφόρου Landsat 4 (εκτόξευση στις 16/07/1982) με θερμικό κανάλι (Leimgruber et al., 2005, Reed, 2012).

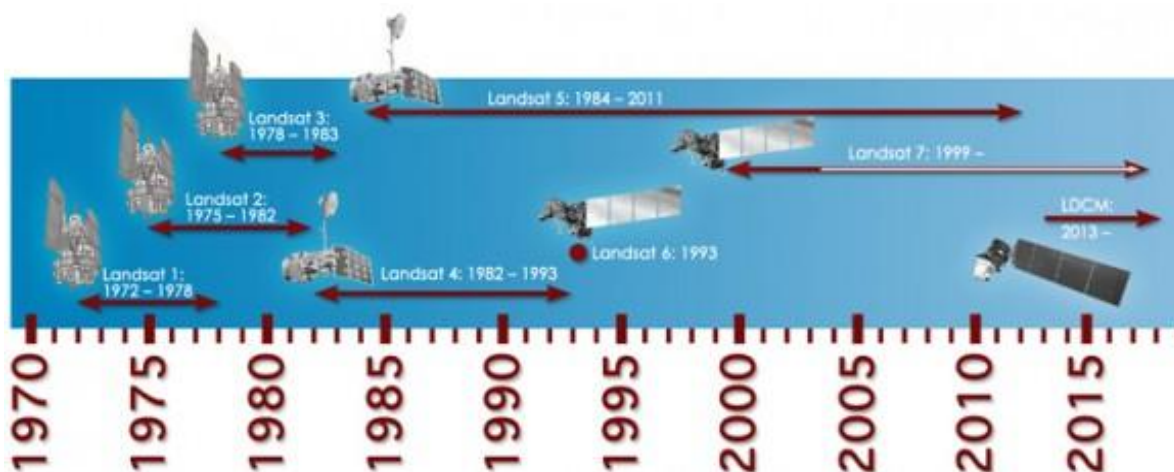
Η λήψη θερμικών εικόνων έδωσαν για πρώτη φορά τη δυνατότητα παρατήρησης των εποχικών μεταβολών της θερμοκρασίας στη ξηρά και σε υδάτινες μάζες, τον εντοπισμό της θερμικής ρύπανσης και θερμικών νησίδων σε αστικό χώρο προσδιορισμού των γεωθερμικών πεδίων και της ηφαιστειακής δραστηριότητας, παρακολούθηση των παγετώνων κ.λπ.

Μετά την λειτουργία των δορυφόρων Landsat έγινε δυνατή η σύνθεση των πρώτων φωτομωσαϊκών της επιφάνεια της Γης. Τα φωτομωσαϊκά αυτά διατίθεται ελεύθερα στο κοινό μέσω του ιστότοπου της Αμερικανικής Γεωλογικής Επισκόπησης (USGS) και είναι δυνατά για λήψη μέσω της χρήσης της μηχανής αναζήτησης του Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov>).



**Εικόνα 2.4.1. :** Μηχανή αναζήτησης Earth Explorer  
[\(http://earthexplorer.usgs.gov/\)](http://earthexplorer.usgs.gov/)

Οι δορυφόροι Landsat που έχουν εκτοξευτεί μέχρι σήμερα είναι 8. Οι Landsat 1,2 και 3 σταμάτησαν να στέλνουν τηλεσκοπικές απεικονίσεις στη Γη το 1978, 1982 και 1983 αντίστοιχα ενώ ο Landsat 6 δεν τέθηκε ποτέ σε λειτουργία εξαιτίας αποτυχημένης εκτόξευσης (Loveland and Dwyer, 2012, Reed, 2012). Η χωρική ανάλυση των δορυφόρων Landsat 1 και 2 ξεκίνησε στα 80 m και βελτιώθηκε στα 30 m πλην του θερμικού καναλιού 120 m στους Landsat 3, 4, 5. Τέλος η χωρική ανάλυση βελτιώθηκε ακόμη περισσότερο στις σειρές Landsat 6, 7 και 8 μετά τη προσθήκη του παγχρωματικού καναλιού χωρικής ανάλυσης 15m και τη βελτίωση του θερμικού καναλιού από 120 m σε 60 m. (Leimgruber et al., 2005, Reed, 2012, Beasley, 2010).



Εικόνα 2.4.2.: Χρονοσειρά εκτόξευσης των δορυφόρων Landsat

(<http://www.universetoday.com/99877/continuing-the-landsat-mission-new-satellite-launches-to-space/>)

Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της σειράς των δορυφόρων και των αισθητήρων Landsat φαίνονται αναλυτικότερα στο Πίνακα 2.4.1. . Η φασματική διακριτική ικανότητα της σειράς των δορυφόρων Landsat ξεκίνησε με 3 φασματικά κανάλια του φάσματος στο ορατό και τέσσερα κανάλια και τέσσερα κανάλια (2 στο ορατό και 2 στο εγγύς υπέρυθρο) του πολυφασματικού σαρωτή (MSS). Βελτιώθηκε στους Landsat 4 και 5 με την προσθήκη ακόμη 7 καναλιών (3 στο ορατό, 1 στο εγγύς υπέρυθρο, 2 στο μέσο υπέρυθρο και 1 στο θερμικό) του θεματικού χαρτογράφου (MP) πέραν του πολυφασματικού. Στο Landsat 7 μειώθηκε στα 8 φασματικά κανάλια (7 κανάλια του θεματικού χαρτογράφου και ένα παγχρωματικό) του Ενισχυμένου Θεματικού Χαρτογράφου (ETM+), για να βελτιωθεί στο Landsat 8 με την προσθήκη επιπρόσθετα ενός καναλιού στο ορατό και το θερμικό αντίστοιχα.



**Πίνακας 2.4.1. :** Χαρακτηριστικά των δορυφόρων Landsat 1-8 (Loveland and Dwyer, 2012).

| Αισθητήρες   | Δορυφόροι              | Φασματική Διακριτική Ικανότητα (μm)   | Χωρική Διακριτική Ικανότητα (m)   |
|--|------------------------|---|---|
| <b>Return Beam Vidicon (RVB)</b>   | Landsat 1, 2,3         | 0,46 - 0,58<br>0,58 - 0,68<br>0,69 - 0,83   | 80  |
| <b>Multi Spectral Scanner (MSS)<br/>Πολυφασματικός Σαρωτής</b>                       | Landsat 1, 2,3,4 και 5 | 0,50 - 0,60<br>0,60 - 0,70<br>0,70 - 0,80<br>0,80 - 1,10<br>10,40 - 12,60 <sup>1</sup>  | 57 X 79   |
| <b>Thematic Mapper (TM)<br/>Θεματικός Χαρτογράφος</b>                                | Landsat 4 και 5        | 0,45 - 0,52<br>0,52 - 0,60<br>0,63 - 0,69<br>0,76 - 0,90<br>1,55 - 1,75<br>2,08 - 2,35<br>10,40 - 12,50                                 | 30<br>Ορατό,<br>Εγγύς Υπέρυθρο,<br>Μέσο Υπέρυθρο<br><br>120 Θερμικό                         |
| <b>Enhanced Thematic Mapper (ETM+)<br/>Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος</b>         | Landsat 7              | 0,45 - 0,52<br>0,52 - 0,60<br>0,63 - 0,69<br>0,77 - 0,90<br>1,55 - 1,75<br>2,08 - 2,35<br>10,40 - 12,50<br>0,52 - 0,90 PAN              | 30<br>Ορατό,<br>Εγγύς Υπέρυθρο,<br>Μέσο Υπέρυθρο<br><br>60 Θερμικό<br>15 Παγχρωματικό (PAN) |
| <b>Operational Land Imager (OLI)</b>   | LDCM (Landsat 8)       | 0,43 - 0,45<br>0,45 - 0,52<br>0,53 - 0,60<br>0,63 - 0,68<br>0,85 - 0,89<br>1,56 - 1,66<br>2,10 - 2,30<br>1,36 - 1,39<br>0,52 - 0,90 PAN | 30<br>Ορατό,<br>Εγγύς Υπέρυθρο,<br>Μέσο Υπέρυθρο<br><br>15 Παγχρωματικό (PAN)               |
| <b>Thermal Infrared Sensor (TIRS)</b>  | LDCM (Landsat 8)       | 10, 30 - 11, 30<br>11, 50 - 12, 50  | 100   |
| <b>Κύκλος Τροχιάς: 18 ημέρες για Landsat 1,2,3 και 16 ημέρες για Landsat 4,5,7,8</b> |                        |   |   |
| <b>Ύψος: 900 km για Landsat 1, 2, 3 και 705 km για Landsat 4,5,7,8</b>               |                        |   |   |
| <b><sup>1</sup> Θερμικό κανάλι του Landsat 3</b>                                     |                        |   |   |

Οι βιοφυσικές εφαρμογές των δορυφόρων Landsat παρουσιάζουν το μειονέκτημα της χαμηλής διακριτικής ικανότητας των 16 ημερών (18 στους Landsat 1, 2, 3). Η οποία επιτρέπει τη συστηματική παρακολούθηση συγκεκριμένων περιοχών της επιφάνειας της Γης μόνο 23 φορές κατά τη διάρκεια ενός έτους (Loveland and Dwyer, 2012, Reed, 2012).

Σε αντίθεση με τη σειρά των δορυφόρων AQUA και TERRA που τέθηκε σε λειτουργία το 2000 και που έχει πολύ υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα.

Ο δορυφόρος Terra (EOS AM-1) είναι ένας ερευνητικός πολυεθνικός δορυφόρος της NASA, προϊόν συνεργασίας των Ηνωμένων Πολιτειών, της Ιαπωνίας και του Καναδά, ο οποίος τέθηκε σε τροχιά γύρω από τη γη στις 18 Δεκεμβρίου 1999, και άρχισε να συλλέγει δεδομένα στις 24 Φεβρουαρίου 2000 (MODIS Web, 2013). Ο δορυφόρος Terra (EOS AM-1) αποτελεί τη ναυαρχίδα του συστήματος παρατήρησης της Γης [Earth Observing System (EOS)]. Μετά ακολουθεί ο δορυφόρος Aqua (EOS PM-1), ο οποίος σε τροχιά γύρω από τη γη το Μάιο του 2002 και φέρει πάνω του τους ακόλουθους αισθητήρες:

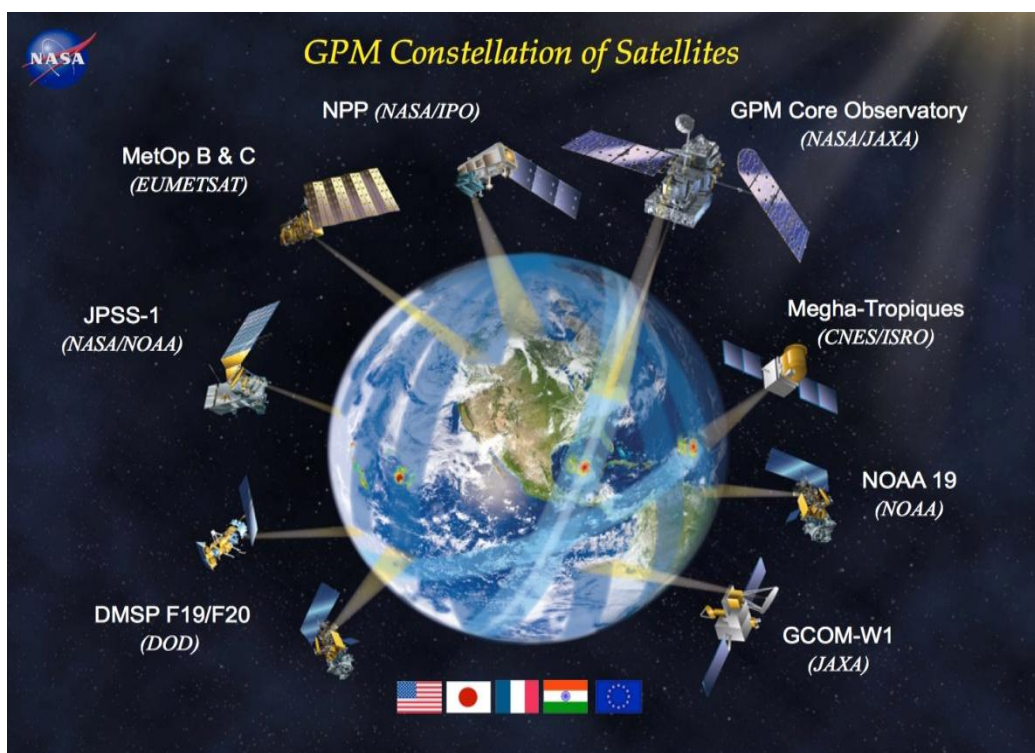
- **CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System):** Χαρτογράφηση στα σύννεφα και το ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας.
- **MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer):** Λήψεις από διαφορετικές οπτικές γωνίες χαρτογραφώντας το ποσοστό της ενέργειας και του οξυγόνου μεταξύ της γήινης επιφάνειας και της ατμόσφαιρας, καθώς και την προέλευση και τις μεταβολές στο κλίμα των διαφορετικών τύπων ατμοσφαιρικών στοιχείων όπως π.χ. την παρουσία σύννεφων στην ατμόσφαιρα.
- **MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere):** Χαρτογράφηση μόλυνσης της τροπόσφαιρας.
- **ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer):** Ραδιόμετρο που αποτελεί το μεγεθυντικό φακό και καταγράφει επιλεγμένα κομμάτια της επιφάνειας της Γης.
- **MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer):** Απεικονιστικό φασματοραδιόμετρο που χαρτογραφεί παραμέτρους της επιφάνειας της Γης, των ωκεανών και της κατώτερης ατμόσφαιρας. Ο δορυφόρος Aqua με τη σειρά του, πέρα από τους αισθητήρες **MODIS και CERES** φέρει και άλλους 4 αισθητήρες (AQUA, 2013, Beasley, 2010).
- **AMSRE (Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS):** εξελιγμένο ραδιόμετρο μικροκυμματικής αντίχνευσης που χαρτογραφεί τους ατμοσφαιρικούς υδρατμούς, τη βροχόπτωση, την έκταση των χιονιών και των παγετώνων και τους ανέμους στην επιφάνεια της θάλασσας.
- **AIRS (Atmospheric Infrared Sounder):** υπέρυθρης ακτινοβολίας μετρητής που χαρτογραφεί την επιφανειακή θερμοκρασία, τις ιδιότητες των νεφών και τη σύσταση της τροπόσφαιρας

- **AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit):** μικροκυματικό ραδιόμετρο που χαρτογραφεί την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και υγρασία.
- **HSB (Humidity Sounder for Brazil):** μετρητής που χαρτογραφεί την ατμοσφαιρική υγρασία.

Το ύψος της τροχιάς τους είναι στα 705 km, ενώ η τροχιά του TERRA γύρω από τη Γη συγχρονίζεται έτσι ώστε να περνά από βόρεια προς τα νότια, εγκάρσια του ισημερινού, δύο φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας, στις 10:30 και 22:30 αντίστοιχα. Ο AQUA περνά από νότια προς τα βόρεια, εγκάρσια του ισημερινού, δύο επίσης φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας, στις 01:30 και 13:30. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι βιοφυσικές παράμετροι να καταγράφονται τέσσερις φορές κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου (MODIS Web, 2013). Μεταξύ των αισθητήρων, το ραδιόμετρο (σαρωτής) ASTER δίνει εικόνες με χωρική ανάλυση 15, 30 και 90m στο ορατό, εγγύς και μέσο υπέρυθρο, καθώς και στο θερμικό υπέρυθρο αντίστοιχα (Beasley, 2010).

Η φασματική διακριτική του ικανότητα ανέρχεται στα 14 κανάλια, με την πλειοψηφία αυτών στο υπέρυθρο. Ο σαρωτής MODIS έχει και αυτός σχεδιαστεί για να παρέχει μετρήσεις υψηλής φασματικής διακριτικής ικανότητας σε 36 φασματικά κανάλια (MODIS Web 2013, Reed, 2012).

Η νέα αυτή γενιά δορυφόρων υψηλής χρονικής και φασματικής ικανότητας βελτιώνει και συμπληρώνει τη δυνατότητα λήψης δεδομένων που είχαν οι επιστήμονες από τη σειρά των δορυφόρων Landsat. Οι τηλεσκοπικές τους απεικονίσεις δε αποτελούν ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση της φυσικής γήινης επιφανείας, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας. Σύμφωνα με το Boyd (2009), μέχρι σήμερα πάνω από 100 δορυφορικές πλατφόρμες που μεταφέρουν αισθητήρες τηλεπισκόπησης έχουν τεθεί σε τροχιά και καταγράφουν δεδομένα (Εικόνα 2.4.3.).



**Εικόνα 2.4.3. :** Παγκόσμιο σύστημα τηλεσκοπικών δορυφόρων  
<http://www.enso.info/fe-lexikon/lexikon.htm>

## 2.5. Πολυφασματικός σαρωτής MODIS

Την άνοιξη του 1984, η NASA διαμόρφωσε επιτροπές οργάνων έχοντας ως στόχο την ανάπτυξη και την υλοποίηση των απαιτήσεων της επιστημονικής κοινότητας και των εννοιών για τον κάθε δέκτη που θα συμπλήρωνε το σύστημα EOS. Ένας από τους δέκτες που τέθηκε υπό εξέταση ήταν ο Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS) (Berninger et al., 2011, Sutton et al., 2013).

Ο οποίος θα περιελάμβανε πολλές ιδιότητες από τους δέκτες CZCS, AVHRR και HIRS, καθώς επίσης, και σχετικά χαρακτηριστικά από τον Landsat Thematic Mapper (TM).

Η επιτροπή για τον MODIS, αρχικά απαρτιζόταν από μία ομάδα δεκαεννέα επιστημόνων και τεχνικών τηλεπισκόπησης από κρατικά εργαστήρια και πανεπιστήμια, η οποία κατόπιν και εξέτασε τα τότε δεδομένα για την επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Αποτέλεσμα ήταν η ανάπτυξη ενός πλάνου που αφορούσε τον MODIS και απαρτιζόταν από δύο δέκτες. Ο πρώτος δέκτης ήταν ο δέκτης MODIS-N (nadir) και ο δέκτης MODIS-T (tilt). Ο MODIS-N ήταν ένα συμβατικό καρδιόμετρο φίλτρων απεικόνισης με 35 φασματικά κανάλια και ο MODIS-T ήταν ένα φασματόμετρο απεικόνισης 64 καναλιών, με την ικανότητα να παίρνει κλίση, ώστε να αποφεύγει τη λάμψη του ηλίου προερχόμενης από την επιφάνεια του ωκεανού (Magner and Salomonson, 1991, Barker, 2011, Barron, 2012).

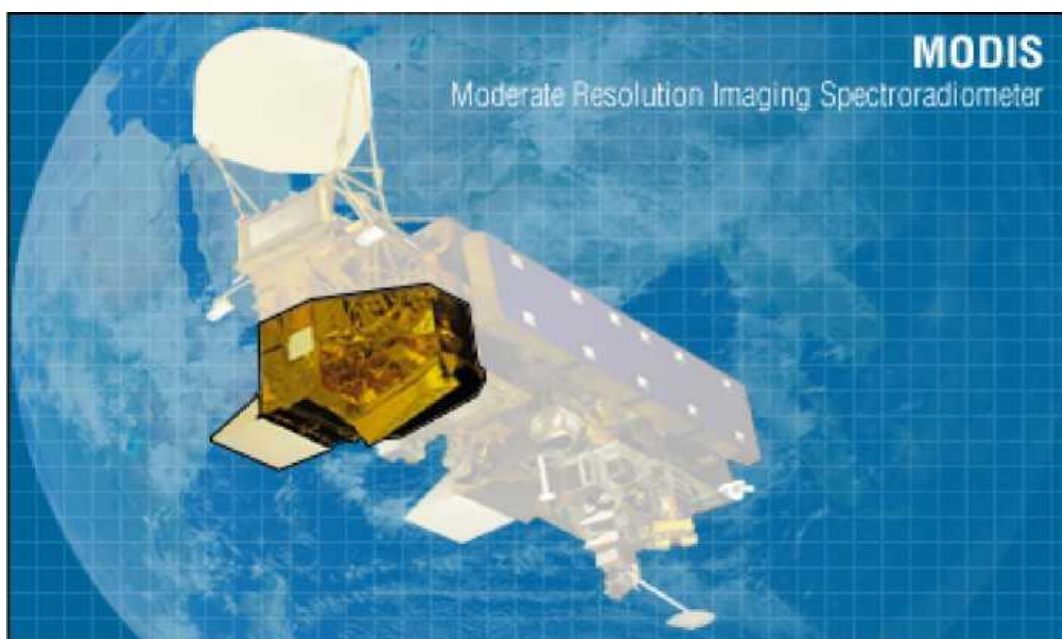
Η διαχείριση αλλά και η ανάπτυξη του συστήματος του MODIS ανατέθηκε στο επιστημονικό κέντρο Goddard Space Flight Center της NASA, όπου και αποφασίστηκε η κατασκευή του MODIS-T από τους ιδίους και η κατασκευή του MODIS-N από έναν επιλεγμένο ανάδοχο έργου.

Λίγο αργότερα από τη λήψη αυτής της απόφασης επαναπροσδιορίστηκε η ιδέα του προγράμματος EOS σε νέες βάσεις, σύμφωνα με τις οποίες η ανάπτυξη του MODIS-T δεν ήταν πλέον αναγκαία, οπότε αποφασίστηκε να τερματιστεί και να διατηρηθεί η ιδέα της ανάπτυξης του MODIS-N (Salomonson et al., 1989, Sabet et al., 2012).

Επιπλέον, για να αντισταθμιστεί μερικώς η απώλεια του MODIS-T, ο οποίος πρωτίστως επικεντρωνόταν στην παρακολούθηση και παρατήρηση του ωκεάνιου χρώματος αλλά και για να έχει καλύτερη ικανότητα παρακολούθησης της χρονικής μεταβλητότητας των νεφών και των όρων κάλυψης του εδάφους, αποφασίστηκε ότι ο MODIS θα ήταν σε μέσο-πρωινή τροχιά καθόδου και μέσο-απογευματινή τροχιά ανόδου, έτσι ώστε να αποφευχθεί η κατοπτρική

ανάκλαση και να διευκολυνθεί η παγκόσμια κάλυψη χωρίς την κλίση του αισθητήρα (Salomonson et al., 2005, Myers, 2013).

Στις 18 Δεκεμβρίου 1999, Ο MODIS, ως βασικό όργανο του προγράμματος της NASA, EOS εκτοξεύθηκε για να εφαρμοστεί στο δορυφόρο Terra για να επιτευχθεί η παγκόσμια παρακολούθηση της ατμόσφαιρας, των εδαφικών οικοσυστημάτων αλλά και των ωκεανών.



**Εικόνα 2.5.1.:** Ο δέκτης MODIS προσαρτημένος στο δορυφόρο Terra

(<http://aqua.nasa.gov/about/instrument/modis.php>)

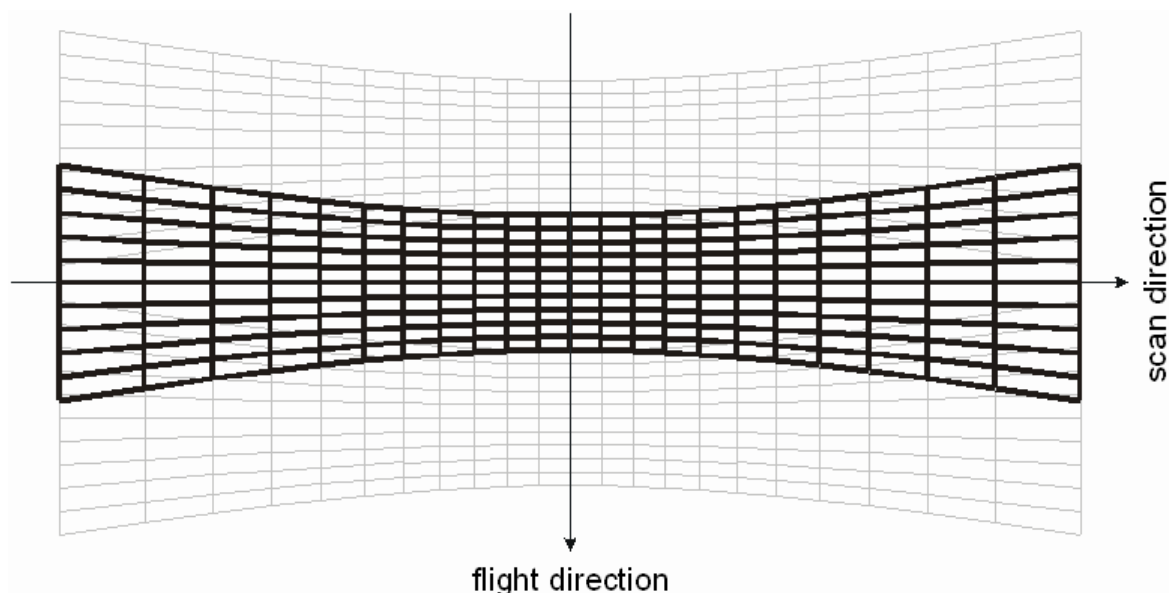
Έχοντας τα δεδομένα του MODIS (Level 1B) η επιστημονική ομάδα έκανε εξαιρετικά σημαντικά βήματα όσο αφορά την απόδοση του δέκτη έχοντας ως αποτέλεσμα να παραχθεί και να οριστεί η ποιότητα μιας υψηλότερης σειράς γεωφυσικών προϊόντων (Levels 2, 3, και 4) (Justice et al., 2002 , Sabet et al., 2012). Στις 4 Μαΐου 2002 εκτοξεύθηκε και ένα δεύτερο παρόμοιο όργανο με σκοπό την εφαρμογή του σε άλλο δορυφόρο του EOS, ο AQUA. Πλέον, ο MODIS κινείται πάνω σε δύο δορυφόρους και σε τροχιές που συμπληρώνουν ο ένας τον άλλο. Σκοπός είναι να παρέχονται παρατηρήσεις αργά το πρωί και νωρίς το απόγευμα που θα βοηθήσουν τους επιστήμονες στη μελέτη της ημερήσιας παραλλαγής των γρήγορα ποικίλων συστημάτων που παρέχονται σε μια μακροπρόθεσμη βάση δεδομένων με τις ίδιες γεωφυσικές παραμέτρους για τη μελέτη της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής (Savtchenko et. al., 2004, Sabet et al., 2012, Berninger et al., 2011).

## 2.5.1 Λειτουργία του σαρωτή MODIS

Η λειτουργία του MODIS βασίζεται στη συλλογή οπτικών και επιμέρους στοιχείων μέσω ενός εγκάρσιου καθρέφτη σάρωσης. Το μήκος της σάρωσης του MODIS είναι 10 km (κατά μήκος της τροχιάς στο ναδίρ) και το πλάτος της 2330 km (σε τροχιά). Το μήκος διάστασης τροχιάς σάρωσης οφείλεται στο οπτικό στήσιμο καθώς και στο μηχανισμό σαρώσεως του MODIS (Yu et al., 2005, , Sabet et al., 2012, Sherman, 2011).

Η διαφορά του αισθητήρα του MODIS από τους άλλους αισθητήρες είναι ότι σε κάθε μία γραμμή σάρωσης παρατηρούνται 10 γραμμές χωρικής ανάλυσης του 1 km (40 γραμμές με 250 m ανάλυση και 20 γραμμές με ανάλυση 500 m, αντίστοιχα). Ο συγκεκριμένος τρόπος σάρωσης του MODIS είναι γνωστός ως «*bow-tie*».

1. Όπως παρατηρούμε και στην Εικόνα 2.5.1.1 που παρουσιάζονται τρεις συνεχόμενες σαρώσεις του MODIS αποτελούμενες από δέκα γραμμές του ενός χιλιομέτρου, εξαιτίας του τρόπου σάρωσης του MODIS «οι σαρώσεις είναι μερικώς αλληλεπικαλυπτόμενες στις κατωφερέστερες γωνίες ναδίρ» (Xia, 2006, Sabet et al., 2012, Teich and Pemberton, 2014)



Εικόνα 2.5.1.1. : Σχηματική αναπαράσταση της «*bow-tie*» σάρωσης του MODIS

[http://eoweb.dlr.de:8080/short\\_guide/MODIS/Image1.gif](http://eoweb.dlr.de:8080/short_guide/MODIS/Image1.gif)

## 2.5.2. Φασματική Διακριτική Ικανότητα

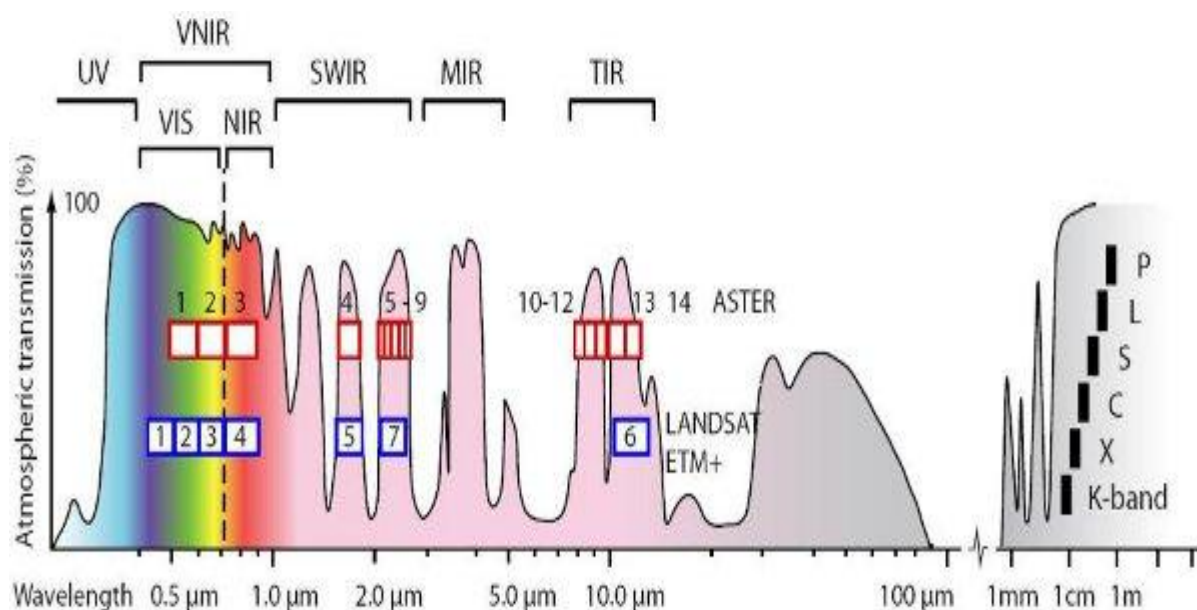
Ο αισθητήρας MODIS είναι ένα υψηλής φασματικής ικανότητας ραδιόμετρο που κάνει καταγράφει δεδομένων σε 36 φασματικά κανάλια (Πίνακα 2.5.2.1). Ο μεγάλος αριθμός των καναλιών επιτρέπει το προσδιορισμό των φασματικών υπογραφών και τον εντοπισμό αντικειμένων με ακρίβεια.

**Πίνακας 2.5.2.1. :** Φασματικές περιοχές μέτρησης του MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>)

| Κανάλι | Μήκος Κύματος (μm) | Κανάλι | Μήκος Κύματος (μm) | Κανάλι | Μήκος Κύματος (μm) |
|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|
| 1      | 0,620 -0, 670      | 13     | 0,662 -0, 672      | 25     | 4,482 – 4,549      |
| 2      | 0,841 -0, 876      | 14     | 0,673 -0, 683      | 26     | 1,360 – 1,390      |
| 3      | 0,459 – 0,479      | 15     | 0,743 – 0,753      | 27     | 6,535 – 6,895      |
| 4      | 0,545 – 0,565      | 16     | 0,862 – 0,877      | 28     | 7,175 – 7,475      |
| 5      | 1,230 – 1,250      | 17     | 0,890 – 0,920      | 29     | 8,400 – 8,700      |
| 6      | 1,628 – 1,652      | 18     | 0,931 – 0,941      | 30     | 9,580 – 9,880      |
| 7      | 2,105 – 2,155      | 19     | 0,915 -0,965       | 31     | 10,780 – 11,280    |
| 8      | 0,405 – 0,420      | 20     | 3,660 – 3,840      | 32     | 11,770 – 12,270    |
| 9      | 0,438 -0, 448      | 21     | 3,929 – 3,989      | 33     | 13,185 – 13,485    |
| 10     | 0,483 -0, 493      | 22     | 3,929 – 3,989      | 34     | 13,485 – 13,785    |
| 11     | 0,526 – 0,536      | 23     | 4,020 – 4,080      | 35     | 13,785 – 14,085    |
| 12     | 0,546 -0, 556      | 24     | 4,433 – 4,498      | 36     | 14,085 – 14,385    |



Στην Εικόνα 2.5.2.1., παρουσιάζονται οι δίοδοι της ακτινοβολίας της ατμόσφαιρας και η κατανομή των καναλιών του MODIS σε σύγκριση με τα ατμοσφαιρικά αυτά παράθυρα. Οι δίοδοι καθορίζουν τα μήκη κύματος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη τηλεπισκόπηση.



**Εικόνα 2.5.2.1.** : Δίοδοι ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και η κατανομή των καναλιών του MODIS.

<http://www.intechopen.com/books/geoscience-and-remote-sensing/optical-satellite-volcano-monitoring-a-multi-sensor-rapid-response-system>

Από τα 36 φασματικά κανάλια του MODIS, 10 καταγράφουν στο ορατό, 6 στο εγγύς υπέρυθρο, 4 στο μέσο υπέρυθρο και 16 στο άπω (θερμικό) ερυθρό (Yu et al., 2005, Sabet et al., 2012, Belanger et al., 2010). Αναλυτικότερα, η καταγραφή του κάθε φασματικού καναλιού στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.5.2.1.

**Πίνακας 2.5.2.2.** : Φασματικές Ζώνες του MODIS.

| Κανάλι | Φασματική Ζώνη Η/Μ Φάσματος | Κανάλι | Φασματική Ζώνη Η/Μ Φάσματος | Κανάλι | Φασματική Ζώνη Η/Μ Φάσματος |
|--------|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|-----------------------------|
| 1      | Ορατό-Κόκκινο               | 13     | Ορατό-Κόκκινο               | 25     | Άπω Υπέρυθρο                |
| 2      | Εγγύς Υπέρυθρο              | 14     | Ορατό-Κόκκινο               | 26     | Μέσο Υπέρυθρο               |

|    |               |    |                |    |              |
|----|---------------|----|----------------|----|--------------|
| 3  | Ορατό-Μπλε    | 15 | Εγγύς Υπέρυθρο | 27 | Άπω Υπέρυθρο |
| 4  | Ορατό-Πράσινο | 16 | Εγγύς Υπέρυθρο | 28 | Άπω Υπέρυθρο |
| 5  | Μέσο Υπέρυθρο | 17 | Εγγύς Υπέρυθρο | 29 | Άπω Υπέρυθρο |
| 6  | Μέσο Υπέρυθρο | 18 | Εγγύς Υπέρυθρο | 30 | Άπω Υπέρυθρο |
| 7  | Μέσο Υπέρυθρο | 19 | Εγγύς Υπέρυθρο | 31 | Άπω Υπέρυθρο |
| 8  | Ορατό-Μπλε    | 20 | Άπω Υπέρυθρο   | 32 | Άπω Υπέρυθρο |
| 9  | Ορατό-Μπλε    | 21 | Άπω Υπέρυθρο   | 33 | Άπω Υπέρυθρο |
| 10 | Ορατό-Μπλε    | 22 | Άπω Υπέρυθρο   | 34 | Άπω Υπέρυθρο |
| 11 | Ορατό-Πράσινο | 23 | Άπω Υπέρυθρο   | 35 | Άπω Υπέρυθρο |
| 12 | Ορατό-Πράσινο | 24 | Άπω Υπέρυθρο   | 36 | Άπω Υπέρυθρο |

### 2.5.3. Χωρική Διακριτική Ικανότητα

Ο MODIS είναι ένας μέσης χωρικής διακριτικής ανάλυσης αισθητήρας, με χωρική ανάλυση 250 m στα κανάλια 1 και 2, 500 m στα κανάλια 3 έως 7 και 1000 m στα κανάλια 8 έως 36.

## **2.5.4. Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα**

Το καταγραφικό σύστημα MODIS παρέχει ραδιομετρική διακριτική ικανότητα υψηλής ευαισθησία 12 (bit). Τα δεδομένα καταγράφονται και εκφράζονται σε  $2^{12}$  (=4096) επίπεδα και διαβαθμίσεις του γκρι (Kuma et al., 2014, Barker, 2011.). Η διάκριση αντικειμένων έχει ανάλογη σχέση με τη ραδιομετρική ικανότητα του καταγραφικού συστήματος για δεδομένη φασματική απόκριση. Πιο συγκεκριμένα όσο μεγαλώνει η ραδιομετρική ικανότητα τόσο αυξάνεται και η θεματική διακριτική ικανότητα. Στο ίδιο εύρος διακύμανσης κινείται και η καταγραφή και διαφοροποίηση της ενέργειας που προσλαμβάνεται και με τρόπο πιο λεπτομερές.

## **2.5.5. Χρονική Διακριτική Ικανότητα (Temporal resolution)**

Ο σαρωτής MODIS κινούμενος στο αστερίσκο των δύο δορυφορικών συστημάτων του Terra και του Aqua παρατηρεί όλη την επιφάνεια της Γης κάθε μία με δύο μέρες, σαρώνοντας συνολικά περιοχή πλάτους 2330 km. Μετρήσεις στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο και μέσο υπέρυθρο πραγματοποιούνται μόνο κατά τη διάρκεια της μέρας, ενώ οι ακτινοβολίες για το θερμικό υπέρυθρο (κανάλια 20-25, 27-36) μετρούνται αδιάκοπα.

## **2.5.6. Εφαρμογές**

Ο δορυφόρος MODIS σάρωσης αποτελεί χρήσιμο εργαλείο καταγραφής των παραμέτρων στην επιφάνεια της γης, τους ωκεανούς αλλά και την ατμόσφαιρας εξαιτίας της υψηλής φασματικής και ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας αλλά και της καλής επαναληπτικότητα που παρουσιάζει (Πίνακα 3.5.1.6.1).

Μετά την λειτουργία του έγινε δυνατή η εκτίμηση της θερμοκρασίας στην επιφάνειας της γης, η μελέτη των ωκεανών αλλά και η εκτίμηση και το ποσοστό της χλωροφύλλη στο νερού (Kuma et al., 2014, Barron, 2012, Belanger et al., 2010).

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα παροχής πληροφοριών που έχουν σχέση με τη βλάστηση, τη παγοκάλυψη, την ανακλαστικότητα εδαφών, το είδος των νεφών και των αέριων σωματιδίων (aerosols), την καύση βιομάζας, τη παγκόσμια κατανομή της ατμοσφαιρικής αστάθειας καθώς και το υετίσιμο ύδωρ.

**Πίνακας 2.5.6.1.:** Προτεινόμενες εφαρμογές κάθε φασματικού καναλιού του MODIS.

| <b>Κανάλια</b> | <b>Χρήση</b>  |
|----------------|---|
| 1-2            | Ξηρά, θάλασσα, νέφη, όρια αιωρούμενων σωματιδίων      |
| 3-7            | Ξηρά, θάλασσα, νέφη, ιδιότητες αιωρούμενων σωματιδίων |
| 8-16           | Χρώμα ωκεανών, φυτοπλαγκτόν, βιογενεία                |
| 17-19          | Περιογόμενοι στην ατμόσφαιρα υδρατμοί                 |
| 20-23          | Επιφάνεια, θερμοκρασία νεφών                          |
| 24-25          | Θερμοκρασία ατμόσφαιρας                               |
| 26-28          | Χαυτονοράωση νεφών (Cirrus Clouds) υδρατμοί           |
| 29             | Ιδιότητες νεφών                                       |
| 30             | Όζον  |
| 31-32          | θερμοκρασία επιφάνειας και νεφών                      |
| 33-36          | Υψος κρομμύων νεφών                                   |

## **2.6. Περιβαντολογικές εφαρμογές του MODIS και Landsat στο παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον**

Σήμερα οι τηλεπισκοπές τεχνικές, παθητικές μεθοδολογίες (ορατό και υπέρυθρο φάσμα), οι μικροκυματικές αλλά και τα ραντάρ (SAR, Synthetic Aperture Radar - Ραντάρ Συνθετικού Διαφράγματος) χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και τη μελέτη πετρελαιοκηλίδων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα με τη χρήση της τεχνική SAR ανιχνεύεται η διαφορά ανάμεσα στη ταχύτητα του πετρελαίου και του θαλάσσιου νερού, μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε μετεωρολογικές συνθήκες (δισιδύοντας τα νέφη) δυνητικά και να έχει υψηλή ανάλυση στο έδαφος. Παρόλα ταύτα επειδή η λήψη δεδομένων μέσω της τεχνικής SAR επηρεάζεται από τις θαλάσσιες συνθήκες που επικρατούν, την παρουσία φυτοπλαγκτόν αλλά και το γλυκό νερό πολλές φορές επηρεάζονται με αποτέλεσμα να μην είναι διαθέσιμα καθημερινά η να δίνουν ψευδή στοιχεία (Kuma et al., 2014, Selby, 2012, Belanger et al., 2010, Summerhays and De Villiers, 2012).

Σε αντίθεση τα πολυφασματικά δεδομένα του αισθητήρας MODIS χρησιμοποιούνται για τη παρακολούθηση του παράκτιου και θαλάσσιου περιβάλλοντος στο θαλάσσιο νερό, τη ανίχνευση ανωμαλιών αλλά και τη ανίχνευση και μελέτη πετρελαιοκηλίδων. Ο αισθητήρας MODIS χρησιμοποιείται σε διεπιστημονικές εφαρμογές αφού είναι κατάλληλος να μελετήσει γη, θάλασσα και ατμόσφαιρα. Ολόκληρη η γήινη επιφάνεια καλύπτεται από το MODIS κάθε δύο μέρες, αποκτώντας περιβαλλοντικές πληροφορίες σε μήκος κύματος από 0,4 έως 14,4 μm.

Η ραδιομετρική πληροφορία χωρίζεται σε 36 ζώνες από το ορατό έως το εγγύς και το θερμικό υπέρυθρο. Τα δεδομένα λαμβάνονται σε τρεις διαφορετικές χωρικές αναλύσεις που είναι 250m για τα κανάλια 1 - 2, 500m για τα κανάλια 3 - 19 και 1000m για τα κανάλια 20 - 36. Λαμβάνοντας το ραδιομετρικό σήμα και την υψηλή ανάλυση του ως οπτικός αισθητήρας εξαρτάται και αυτός σε μεγάλο βαθμό από τις μετεωρολογικές συνθήκες έχοντας ως αποτέλεσμα πολλές φορές να μη μπορούν να διεπισδύσουν σε περίπτωση νεφοκάλυψης. Τέλος, συγκριτικά οι πολυφασματικές εικόνες MODIS αποτελούν έναν εναλλακτικό τρόπο ανίχνευσης και χαρτογράφηση των πετρελαιοκηλίδων από τη τεχνική SAR.

## 2.7. Ωκεανοί & Αλγόριθμοι

Ο ωκεανός καλύπτει σχεδόν το 70% της επιφάνειας της Γης και αποτελεί ένα μοναδικό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει το περισσότερο νερό του πλανήτη. Επιπλέον από βιολογικής άποψης ο ωκεανός φιλοξενεί σημαντικά οικοσυστήματα αναπτύσσοντας το 25% της συνολικής βλάστησης του πλανήτη με την περισσότερη από αυτήν να εντοπίζεται σε λίγες παράκτιες περιοχές.

Σύμφωνα με τον Wunsch, οι ωκεανοί συμβάλλουν στην διαμόρφωση του περιβάλλοντος και παίζουν το ρόλο του παγκόσμιου ρυθμιστή του κλίματος (Seelye, 2004, Selby, 2012, Myers, 2013, Berninger et al., 2011). Τα ρεύματα που αναπτύσσονται στις θαλάσσιες περιοχές μεταφέρουν από τον Ισημερινό στους πόλους τη θερμότητα διαμορφώνοντας περίπου το 50 % της αλλαγής του κλίματος. Μέσω της χρήσης της τηλεπισκόπησης παρέχετε η δυνατότητα της παρακολούθησης των οικοσυστημάτων έχοντας ως στόχο την παρακολούθηση των παγετώνων, τόσο σε βραχυπρόθεσμες όσο και σε μακροπρόθεσμες μελέτες.

Επιπλέον το 50 % περίπου του ανθρώπινου πληθυσμού κατοικεί σε παράκτιες περιοχές ενώ οι πόλεις συνεχίζουν να αναπτύσσονται γεγονός και καθιστά την παρακολούθηση και τη διαχείριση της παράκτιας ζώνης και του θαλάσσιου περιβάλλοντος άκρως απαραίτητη.

Τέλος η παρακολούθηση του θαλάσσιου ορίζονται κρίνεται αναγκαία επειδή τα θαλάσσια οικοσυστήματα και οι πληθυσμοί αυτών είναι εξαιρετικά ευάλωτα σε καταστροφές που οφείλονται σε ανθρώπινο και μη παράγοντα, όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, ενεργειακά ατυχήματα, τσουνάμι, τυφώνες και κυκλώνες (Seelye, 2004, Selby, 2012, Sylves and Comfort 2012). Μερικοί από τους αλγόριθμους που έχουν αναπτυχθεί για τα προϊόντα του ωκεανού, χρησιμοποιούνται σε παραπάνω από ένα προϊόν.

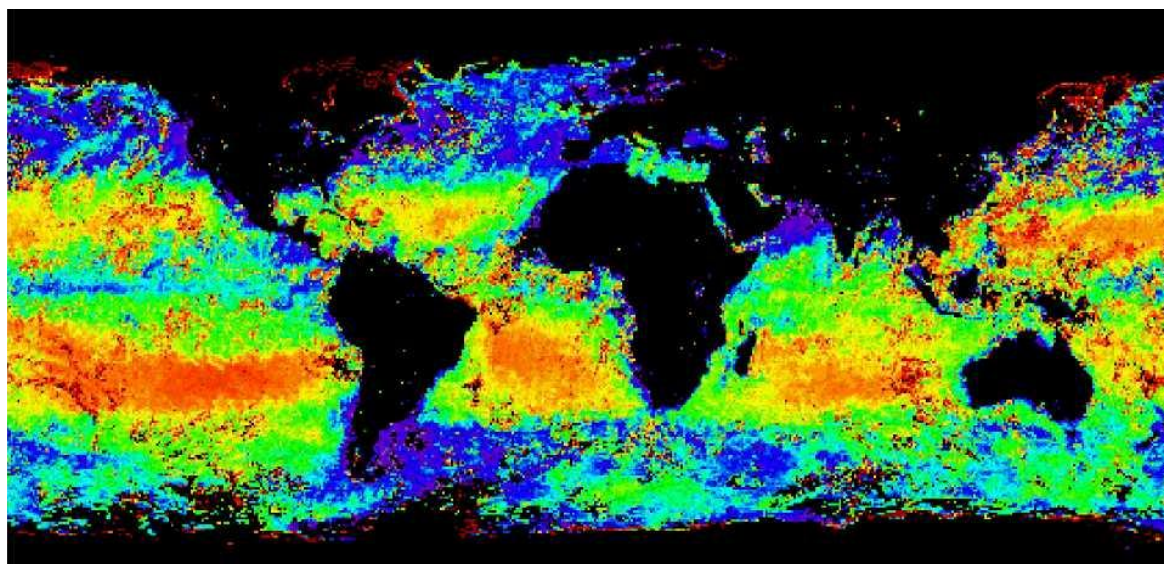
α. *MOD18-Normalized Water Leaving Radiance (nL<sub>w</sub>)-L2, L3*: Η συνολική ακτινοβολία που καταγράφεται από τους δέκτες προέρχεται σε ποσοστό 10% από τον ωκεανό και 90% από την ατμόσφαιρα.. Η ανάκτηση του σχετικού σήματος από τον ωκεανό για την ακτινοβολία

αποτελεί την ατμοσφαιρική διόρθωση και η ενδεδειγμένη παράμετρος είναι η Normalized Water Leaving Radiance (ομαλοποιημένη ακτινοβολία που επιστρέφει από την επιφάνεια του ωκεανού στο δέκτη), η οποία μεταφέρει πληροφορίες για τα ωκεάνια συστατικά και καταγράφεται στα κανάλια 8, 9, 10, 11, 12, 13 στα 412, 443, 488, 531, 551 και 667nm αντίστοιχα.

Έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι για την ατμοσφαιρική διόρθωση για το δέκτη CZCS, ωστόσο ο MODIS είναι σημαντικά καλύτερος του στη ραδιομετρική ανάλυση και η ατμοσφαιρική διόρθωση επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ο αλγόριθμος βασίζεται στα μοντέλα για το αεροζόλ σχεδιασμένα από τους Shettle και Fenn ως εξής: Εάν υποθέσουμε ότι η ακτινοβολία που επιστρέφει από το νερό είναι ίση με μηδέν ή αμελητέα, στα κανάλια του MODIS στο εγγύς υπέρυθρο (NIR near-infrared), δηλαδή στα κανάλια 15 στα 748nm και 16 στα 869nm, τότε το υπόλοιπο που προκύπτει είναι το αερόλυμα, το οποίο υπολογίζεται κατά προσέγγιση στα μήκη κύματος του ορατού με χρήση LUT's.

Τέλος για τις περιπτώσεις που τα νερά για τα οποία το φυτοπλαγκτόν και τα άμεσα προϊόντα αποσύνθεσής του ρυθμίζουν τις οπτικές ιδιότητες του νερού (Case 1 waters) εκεί χρησιμοποιούνται τα κανάλια στο NIR για την κατάλληλη επιλογή του μοντέλου για το αεροζόλ.



**Εικόνα 2.7.1.:** Παγκόσμιος χάρτης για την  $nL_w$  στα 443nm από τις 6 έως τις 13 Μαρτίου 2001.

<http://www.eeb.ucla.edu/test/faculty/nezlin/OceanColor.htm>

β. *MOD19-Pigment Concentration-L2, L3*: Η βιομάζα του φυτοπλαγκτόν συνήθως εκφράζεται με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a*. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται κατά κόρον για μελέτη ωκεανών λόγω της ευκολίας των μετρήσεων του και λόγω του ότι οι φωτοαυτότροφοι οργανισμοί περιέχουν χλωροφύλλη *a*.

γ. *MOD21-Chlorophyll a Pigment Concentration-L2, L3*: Ο αλγόριθμος για αυτό το προϊόν στηρίζεται στο ημιαναλυτικό βιο-οπτικό μοντέλο (semianalytical, bio-optical model) της καταγεγραμμένης από το δέκτη αντανάκλασης, πχ της normalized water-leaving radiance. Χρησιμοποιείται επίσης, για τα προϊόντα *MOD36-Total Absorption Coefficient-L2, L3* και *MOD24-Organic Matter Concentration-L2, L3* και έχει αναπτυχθεί, ώστε να γίνει δυνατός ο καθορισμός των εξής 4 μεταβλητών : Χλωροφύλλη *a*, Απορρόφηση από το διαλαλημένο οργανικό υλικό στα 400nm, Συντελεστής απορρόφησης του φυτοπλαγκτόν (675nm), Απορροφημένη ακτινοβολία από το φυτοπλαγκτόν ARP (absorbed radiation by phytoplankton).

δ. *MOD22-Instantaneously Photosynthetically Available Radiation-L2, L3*: Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος καθορίζει τρεις παράμετρους:

A) Την κατερχόμενη ακτινοβολία πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (downwelling irradiance) σε κάθε κανάλι του MODIS για το ορατό στα 412, 443, 488, 531, 551 και 667 nm<sup>6</sup>.

B) Την φωτοσυνθετικά στιγμιαία διαθέσιμη ακτινοβολία (instantaneous photo synthetically available radiation) IPAR, δηλαδή τη συνολική κατερχόμενη ροή των φωτονίων ακριβώς κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, στα 400 έως 700nm.

Γ) Την απορροφημένη ακτινοβολία από το φυτοπλαγκτόν ARP, δηλαδή μπορεί να προσδιοριστεί η ποσότητα που απορροφάται από το φυτοπλαγκτόν στα 3 πρώτα μέτρα της στήλης του νερού. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό επειδή εκεί εντοπίζεται το μεγαλύτερο μέρος από τους φωτοφόρους φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς (90%) Η καταγραφή γίνεται στα 685nm. (Carder et al., 2003, Selby, 2012, Myers, 2013, Smithson and Venette, 2013).

ε. *MOD25-Coccolith Concentration-L2, L3*: Τα κοκκολιθοφόρα είναι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί, οι οποίοι αποτελούνται από ασβέστιο CaCO<sub>3</sub>, και είναι η μεγαλύτερη πηγή ανθρακικού ασβεστίου στη γη. Ο αλγόριθμος του MODIS αναπτύχθηκε από δεδομένα του δέκτη SeaWiFS που αφορούσαν μια ακμή (bloom) κοκκολιθοφόρων στη θάλασσα Bering και από μία αξιολογη συλλογή δεδομένων πεδίου που έγιναν στον Ατλαντικό και Ινδικό ωκεανό (Howard and. Balch, 1999, Selby, 2012).



στ. *MOD28-Sea Surface Temperature-L2*: Η επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας (sea surface temperature SST) είναι μία από τις πιο σημαντικές μεταβλητές που προκύπτουν από τις μετρήσεις του MODIS. Η ανάκτηση δορυφορικών δεδομένων για την SST ξεκίνησε αρχικά από το δέκτη AVHRR, ωστόσο οι μετρήσεις από τον MODIS δεν είναι χειρότερες όσον αφορά την ακρίβεια, η οποία στηρίζεται:

- a. Στην καλή κατανόηση της συμπεριφοράς του ραδιόμετρου
- b. Στη σωστή βαθμονόμηση για την απόδοση καλά βαθμονομημένων ακτινοβολιών
- c. Στην ακριβή ατμοσφαιρική διόρθωση
- d. Στις αξιόπιστες τεχνικές για τον προσδιορισμό των εικονοστοιχείων που ‘μολύνονται’ από τις υπέρυθρες εκπομπές των νεφών
- e. Στην αξιόπιστη μέθοδο που προσδιορίζει τις υπόλοιπες ανακρίβειες.

Ο MODIS χρησιμοποιεί 5 φασματικά κανάλια για τις καταγραφές της SST. Τα κανάλια 31 και 32 στο θερμικό υπέρυθρο, που ανταποκρίνονται κατά προσέγγιση στα κανάλια 4 και 5 του AVHRR, το κανάλι 20 στο μέσο υπέρυθρο, παρόμοιο με το κανάλι 3 του AVHRR και τα κανάλια 22 και 23, δύο επιπλέον πολύ μικρού εύρους κανάλια του MODIS στο μέσο υπέρυθρο. Ο αλγόριθμος για τη μέτρηση της SST στο μακροκυματικό θερμικό υπέρυθρο (10-12μm) που χρησιμοποιείται μόνο για μετρήσεις κατά τη διάρκεια της νύχτας, είναι:

$$SST4 = c_1 + c_2 * J_{3.9}^7 + C_3 * (r_{3.9} - T_{4.0}^7) + C_4 * (\sec(z) - 1), \text{ όπου}$$

$T_{3.9}$  = θερμοκρασία φωτεινότητας στα 3.959 μm, σε βαθμούς °C στο κανάλι 31  $T_{4.0}$  = θερμοκρασία φωτεινότητας στα 4.050 μm, σε βαθμούς °C στο κανάλι 32  $\sec(z)$  = συνημίτονο της ζενίθιας γωνίας του δέκτη  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  και  $c_4$  οι εξαρτημένοι συντελεστές που προκύπτουν από την αντιστοιχία των θερμοκρασιών φωτεινότητας από τον MODIS και τις μετρήσεις πεδίου από πλωτήρες για την SST.

Ο αλγόριθμος για τη μέτρηση της SST στο βραχυκυματικό θερμικό υπέρυθρο που χρησιμοποιείται για μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι:

$$SST = c_1 + c_2 * T_{3.9} + c_3 * (T_{3.9} - T_{4.0}) + c_4 * (\sec(z) - 1) * (T_{3.9} - X_{4.0}). \text{ (Minnett et al., 2004)}$$

Στο μέσο θερμικό υπέρυθρο (3.7-4^m), δηλαδή για τα κανάλια 20, 22 και 23 η γενική μορφή του αλγόριθμου είναι:

$$SST_{i,k} = a + b * T_i + c * T_k + f(d), \text{ όπου:}$$

*i, k* αντιστοιχούν στα νούμερα 20, 22 και 23 και είναι ο όρος που αντιστοιχεί στη συνάρτηση  $f(d) = m * \cos(2 D(x + n)/365) + p$  και χρησιμοποιείται για την εξάλειψη των λαθών, με *a, b, c, m, n* και *p* να είναι οι συντελεστές υπολογισμένοι ξεχωριστά για κάθε μία από τις τρεις ζώνες γεωγραφικού πλάτους βάσει της απόστασης της από τον ισημερινό. (Brown et al., 1999, Selby, 2012, Woolfson, 2012).

**ζ. MOD31-Phycocyanin Concentration-L2, L3: Υπάρχουν τρεις κύριες ομάδες χρωστικών ουσιών που απαντώνται σε φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς και θαλάσσια βακτήρια:**

α) Οι χλωροφύλλες β) Τα καροτενοειδή γ) Οι φυκοβιλίνες, οι οποίες απαντώνται μόνο στα κυανοβακτήρια και τα ροδόφυτα. Η φυκοκυανίνη και η φυκοερυθρίνη (PE) αποτελεί μία κατηγορία μακρομοριακής χρωστικής πρωτεΐνης η οποία αποτελείται από χρωμοφόρα που απορροφούν το ηλιακό φως σε μήκη κύματος μεταξύ των 480-580nm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Τα χρωμοφόρα διακρίνονται στις φυκοερυθροβιλίνες (PEB), που δεσμεύουν το ηλιακό φως στα 565nm και τις φυκοροβιλίνες (PUB), που δεσμεύουν το ηλιακό φως στα 495nm.

Η συγκέντρωση των PEB προκύπτει ως προϊόν από την αντιστροφή του αριθμητικού μοντέλου της  $nL_w$ . Η φυκοερυθρίνη είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο μέτρησης επειδή συμβάλλει στη μελέτη της παγκόσμιας κατανομής των οργανισμών που τη διαθέτουν, όπως τα κυανοβακτήρια.

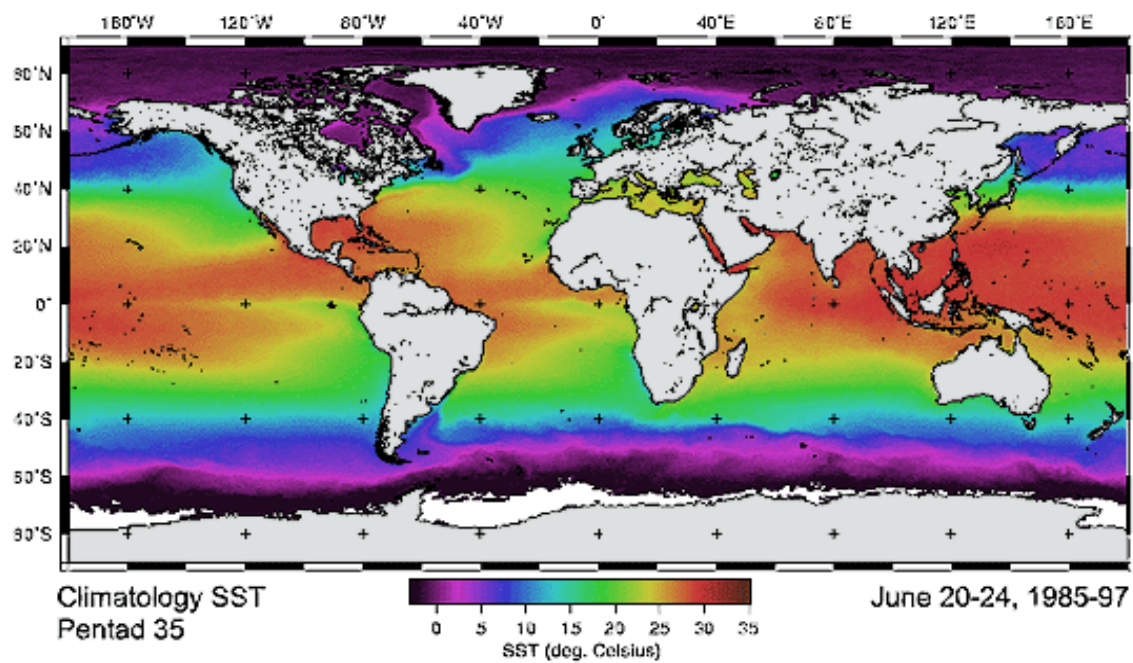
Τέλος ο θαλάσσιος οργανισμός *Trichodesmium*, ο οποίος και αποτελεί τον κυρίαρχο παραγωγό αζώτου στον ωκεανό, κατά καιρούς είναι η παραγωγή άνθρακα από κυανοβακτήρια περισσότερη από εκείνη του φυτοπλαγκτόν και σε μεγαλύτερης συγκέντρωσης. (Wayne et al., 1998, Selby, 2012, Myers, 2013).

**η. MOD39-Clear Water Epsilon-L2, L3:** Δεδομένου ότι η ατμοσφαιρική ακτινοβολία μπορεί να είναι δεκαπλάσια αυτής που προέρχεται από το νερό, η ακτινοβολία του αερολύματος πρέπει να συναχθεί επακριβώς στους αλγόριθμους, ώστε η χλωροφύλλη να υπολογιστεί εξίσου με ακρίβεια. Τα θαλάσσια αερολύματα είναι κατά κύριο λόγο μη απορροφητικά και κυριαρχούν πάνω από τον ωκεανό. Για αυτό το λόγο σχεδιάστηκε ο αλγόριθμος clear-water epsilon, για γίνεται δυνατός ο εντοπισμός του αερολύματος που απορροφάται στα μικρά μήκη κύματος του ορατού (μπλέ), βασισμένος στην εκ των προτέρων γνώση για τη  $nL_w$  στα 532, 551 και 667nm, που νερά).

## 2.8. AVHRR (NOAA)

Ο αισθητήρας AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) είναι ένας αισθητήρας πολύ υψηλής ανάλυσης που ξεκίνησε από την Εθνική υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) μπαίνοντας σε πολική τροχιά γύρω από τις πλατφόρμες (POES). Μέσω του αισθητήρα AVHRR γίνεται δυνατή η καταμέτρηση της ανακλαστικότητας της Γης σε 5 φασματικές ζώνες. Οι δύο στο κόκκινο (0,6 μικρόμετρα, 500 THz) και εγγύς υπέρυθρο (0,9 μικρόμετρα, 300 THz), η τρίτη στα 3,5 μικρόμετρα, και οι δύο τελευταίες στη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον πλανήτη, περίπου 11 και 12 μικρόμετρα, αντίστοιχα. Ο AVHRR είχε αρχικά ένα ραδιόμετρο με 4-καναλιών, ενώ η τελευταία έκδοση του (γνωστή ως AVHRR / 3 λαμβάνει δεδομένα από 6 κανάλια (Shavell, 2011, Selby, 2012).

Η Εθνική υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) έχει τουλάχιστον δύο μετεωρολογικούς δορυφόρους σε τροχιά ανά πάσα στιγμή, όταν ο ένας δορυφόρος διασχίζει τον Ισημερινό νωρίς το πρωί και νωρίς το βράδυ, ο άλλος διασχίζει τον Ισημερινό το απόγευμα και αργά το βράδυ. Ο κύριος αισθητήρας των δύο δορυφόρων είναι ο AVHRR. Τα δεδομένων που λαμβάνονται τις κατά τις πρωινές ώρες χρησιμοποιούνται συχνότερα για τις μελέτες της γης, ενώ τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους δύο δορυφόρους χρησιμοποιούνται για την μελέτη της ατμόσφαιρας και των ωκεανών (Cross, 1992, Shavell, 2011, Myers, 2013). Επιπλέον, επειδή τα δεδομένα από τους δύο δορυφόρους λαμβάνονται δυο φορές ημερησίως σε παγκόσμια κάλυψη εξασφαλίζεται ότι τα δεδομένα για κάθε περιοχή της γης δεν είναι περισσότερο από έξι ώρες παλιά. Το πλάτος λωρίδα και πλάτος περιοχής στην επιφάνεια της Γης που ο δορυφόρος μπορεί να "δει", είναι περίπου 2.500 χιλιόμετρα (1.500 μίλια). Η τροχιά δορυφόρων είναι μεταξύ 833 ή 870 χιλιόμετρα (+/- 19 χιλιομέτρων, μεταξύ 516 και 541 km) πάνω από την επιφάνεια της Γης. Τέλος η υψηλότερη ανάλυση εδάφους που μπορεί να ληφθεί από τα τρέχοντα μέσα, AVHRR, είναι 1,1 χιλιομέτρων (0,68 km), το οποίο σημαίνει ότι ο δορυφόρος καταγράφει διακριτά πληροφορίες για τις περιοχές με το αιτιολογικό ότι είναι 1,1 χιλιομέτρων. Αυτή η μικρότερη πραγματική μονάδα ονομάζεται ένα pixel. Τα δεδομένα AVHRR συλλέγονται συνεχώς από 1981 μέχρι και σήμερα (Cross A.M., 1992, Myers, 2013, Steinzor and Havemann, 2011).



**Εικόνα 2.8.1.** : Απεικόνιση της θαλάσσιας θερμοκρασίας παγκοσμίως από δεδομένα NOAA/AVHRR

([http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Very\\_High\\_Resolution\\_Radiometer](http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Very_High_Resolution_Radiometer))

## 2.9. Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης

Όλο και περισσότεροι άνθρωποι συνειδητοποιούν την ύπαρξη περιβαλλοντικών προβλημάτων τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα της ζωής τους σε καθημερινή βάση. Επιπλέον από τον 21ο αιώνα και μετά η αύξηση του πληθυσμού και κατ'επέκταση των καθημερινών μας απαιτήσεων είχε ως αποτέλεσμα την υπέρμετρη αλλά και την λανθασμένη διαχείριση των φυσικών πόρων έχοντας ως άμεσο αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής μας ακόμη και σε καθημερινή βάση (νερό, αέρα που αναπνέουμε κλπ.). Παράλληλα, η πλειονότητα του παγκόσμιου πληθυσμού ζει κάτω από το όριο της φτώχειας και είναι εκτεθειμένη σε θανατηφόρες αρρώστιες και φυσικές καταστροφές, προσπαθώντας σκληρά για τα δεδομένα για το δυτικό κόσμο αγαθά, όπως τροφή και καθαρό νερό (Jet et al., 2014, Myers, 2013, Barron, 2012, Bejarano et al., 2013). Ως αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία έντονων πιέσεων στα οικοσυστήματα που οδήγησαν στη εξαφάνιση ή απειλή άλλων ειδών αλλά και του ρόλου του ανθρώπου ως μέρος της βιόσφαιρας αλλά και της αλληλεξάρτησης του από τα υπόλοιπα είδη. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 πλήθος επιστημονικών ομάδων άρχισαν να συνειδητοποιούν την ολοένα και μεγαλύτερη ανάγκη για τη μελέτη της γης, ως ένα δυναμικό σύστημα φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών, που επιτελούνται σε ένα ευρύ φάσμα χρονικών και χωρικών διαβαθμίσεων (Salomonson et al., 2002, Jet et al., 2014, Belanger et al., 2010).

Από το 1972 ξεκίνησε η σειρά δορυφόρων Landsat όπως και άλλοι δέκτες συμπεριλαμβανομένων των High Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS-2) και Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) προσαρτήθηκαν στο δορυφόρο TIROS-N τον Οκτώβριο του 1978. Ακολούθησαν λίγο μεταγενέστερα οι δέκτες Total Ozone Monitoring Spectrometer (TOMS) και Coastal Zone Color Scanner (CZCS), που προσαρτήθηκαν στο δορυφόρο Nimbus-7 και οι οποίοι αποδείχθηκαν ορόσημα στη συστηματική παρακολούθηση της Γης ( Salomonson et al., 2002, Skogdalen and Vinnem, 2012, Vinnem, 2014).

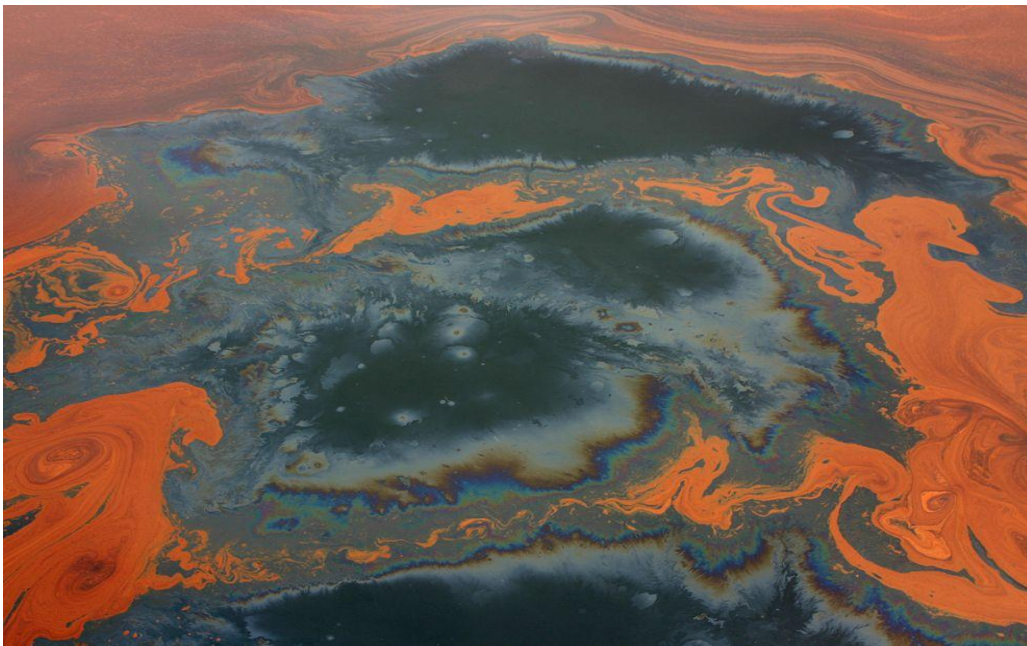
Η αποστολή αυτών των δεκτών στηριζόταν στην επίτευξη των εξής στόχων:

- Μέτρηση των γεωφυσικών παραμέτρων μέσω της χρήσης φασματικών καναλιών
- Μέτρηση των γεωφυσικών παραμέτρων σε παγκόσμια κλίμακα
- Μέτρηση των γεωφυσικών παραμέτρων μέσα στο χρόνο

Οι δέκτες αυτοί σχεδιάστηκαν έτσι ώστε, να καταγράφουν πληροφορίες για τις πιο κύριες παραμέτρους, όπως επιφανειακή θερμοκρασία θάλασσας (AVHRR), ατμοσφαιρικά προφίλ ατμόσφαιρας (HIRS) και συγκέντρωση χλωροφύλλης *a* (CZCS). Παράλληλα εκείνη την εποχή ενισχύθηκε η επεξεργαστική δύναμη των υπολογιστών με τη βοήθεια της τεχνολογίας, γεγονός που επέτρεψε την επέκταση των παραμετρικών μοντέλων από τοπική σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτή ήταν η κατάλληλη στιγμή για τη μελέτη της Γης ως σύστημα, σχέδιο που ονομάστηκε Earth Observing System (EOS).

Τα διάφορα ατυχήματα που έχουν συμβεί στο θαλάσσιο χώρο κατά καιρούς μπορεί να θεωρούνται σε συχνότητα σχεδόν σπάνια αλλά οι επιπτώσεις τους είναι ιδιαίτερα καταστροφικές και με μεγάλες και μακροχρόνιες επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον. (Strub et al., 2011, Anderson et al., 2014, Smith, 2010, Sutton et al., 2013).

Για το σκοπό αυτό κρίνεται αναγκαία η μακροχρόνια μελέτη των επιπτώσεων που μπορεί να υπάρξει σε μία θαλάσσια περιοχή μετά τη διαρροή πετρελαίου, με σκοπό την επίγνωση μελλοντικών επιπτώσεων που μπορεί να υπάρξουν και τα μεγέθη που μπορεί αυτές να λάβουν σε περιβαλλοντικό, οικονομικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο (Meyer and Arendt, 1993, Bejarano et al., 2013, Winkler and Gordon, 2013).



**Εικόνα2.9.1. :** Χρωματισμένες πετρελαιοκηλίδες στο κόλπο του Μεξικού κοντά στη περιοχή του Deepwater Horizon (Ιούνιος 2010)

<http://news.nationalgeographic.com/news/2011/03/110310-gulf-oil-spill-air-pollution-science-nation/>

## 2.9.1. Ελλάδα

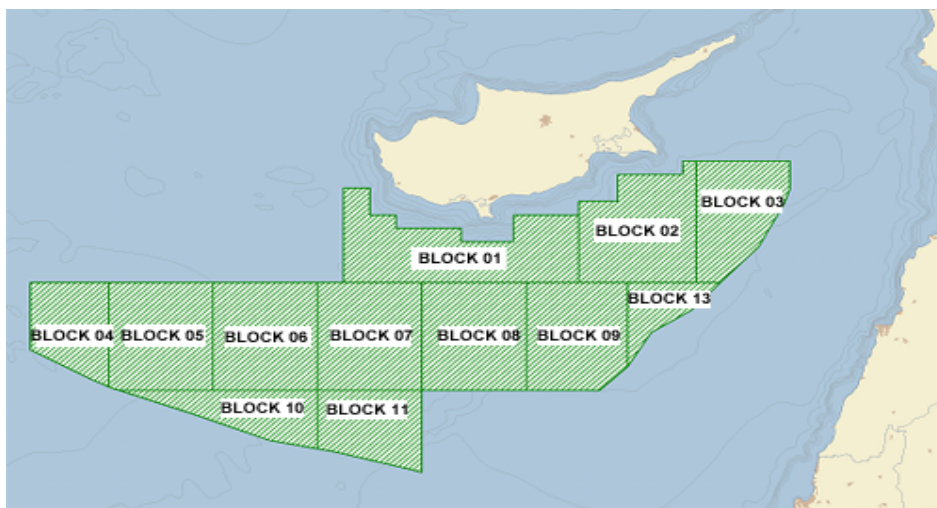
Το 2012 η Ελλάδα προκήρυξε την αναγγελία προσφοράς για την εκμετάλλευση πετρελαίου τριών οικοπέδων έχοντας ως στόχο την προσέλκυση μεγάλων πετρελαϊκών εταιρειών στον Ελλαδικό χώρο και σκοπό τη βοήθεια της οικονομικής της κατάστασης. Πιο συγκεκριμένα τα οικόπεδα αυτά βρίσκονται στα Ιωάννινα, στο κόλπο του Πατραϊκού και στο κόλπο του Κατάκολου. Μέχρι στιγμής μερικές μόνο εταιρείες έχουν δεσμευτεί για τη εκμετάλλευση και παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Ελλάδα ενώ η προσφορά παραμένει ανοιχτή για τα επόμενα 25 χρόνια.



**Εικόνα 2.9.1.1.:** Οικόπεδα προσφοράς προς εκμετάλλευση  
([http://www.psg.deloitte.com/NewsLicensingRounds\\_GR\\_120414.asp](http://www.psg.deloitte.com/NewsLicensingRounds_GR_120414.asp))

## 2.9.2. Κύπρος

Το 2012 το Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού της Κύπρου ανακοίνωσε την αδειοδότηση και τη χορήγηση αδειών για την εξερεύνηση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων και ακολούθως αδειών εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων. Η μελέτη και η αξιολόγηση των επιπτώσεων της έκρηξη που συνέβη στο κόλπο του Μεξικού στις 20 Απριλίου 2010 είναι αναγκαία καθώς ακόμη και σήμερα είναι δυνατόν ο εντοπισμός διαφόρων μεταβολών μέσω της χρήσης τηλεπισκοπικών μεθόδων.



**Εικόνα 2.9.2.1. :** Θαλάσσια οικόπεδα στην περιοχή της Κύπρου προς προσφορά για εκμετάλλευση

([http://www.psg.deloitte.com/NewsLicensingRounds\\_CY\\_120208.asp](http://www.psg.deloitte.com/NewsLicensingRounds_CY_120208.asp))



## Κεφάλαιο Τρίτο

### 3.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Θα μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο έγινε η παρακολούθηση της περιβαλλοντικής καταστροφής από παθητικά καταγραφικά συστήματα στο κόλπο του Μεξικού και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Τα παθητικά συστήματα μπορεί να είναι και σε αερομεταφερόμενα μέσα είτε σε δορυφορικά συστήματα. Στη προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες και εικόνες από το δορυφορικό σύστημα MODIS και NOAA (Liu et al., 2011, Myers, 2013).

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι τεχνικές αποτύπωσης και παρακολούθησης μιας περιβαλλοντικής κρίσης ευρείας κλίμακας και θα παρουσιαστούν δεδομένα και τεχνικές μέσω των οποίων μπορεί να γίνει εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο κόλπο του Μεξικού. Θα παρουσιαστεί η πρόσβαση στα δεδομένα μέσα από διαδικτυακούς τόπους (data web portals) καθώς και η συλλογή και προ-επεξεργασία των δεδομένων. Μετά την συλλογή και τυποποίηση των δεδομένων ακολουθούν δύο βήματα:

A) Η ερμηνεία και ο εντοπισμός πετρελαιοκηλίδων από εικόνες και

B) Η εκτίμηση περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων από διαχρονικές και ετήσιες εικόνες θερμοκρασίας και χλωροφύλλης. Στο δεύτερο στάδιο θα χρησιμοποιηθεί Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων (clustering) αποτελεί μια στατιστική μεθοδολογία, η οποία έχει ως στόχο το διαχωρισμό των αντικειμένων και την ομαδοποίηση τους σε δύο ή περισσότερες ομοειδείς θεματικές τάξεις μέσω της επιλογής του κατάλληλου αλγορίθμου. Πιο συγκεκριμένα ως ομοειδή θεματική τάξη ορίζεται ένα χωρικό σύνολο από εικονοστοιχεία που διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους στις τιμές φωτεινότητας τους (στις διάφορες φασματικές ζώνες, κανάλια) είτε στη θέση που κατέχουν στο χώρο ή στο χρόνο.

Επομένως μια θεματική τάξη ορίζεται όταν πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις: α) Μετά την πραγματοποίηση της φασματικής δειγματοληψίας του καταγραφικού συστήματος η θεματική τάξη να διαφέρει φασματικά από τις άλλες τάξεις β) Σε σχέση με τη χωρική διακριτική της ικανότητα να έχει μια στοιχειώδη (ελάχιστη) επιφανειακή εμφάνιση και να διακρίνεται σε επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Mather , 2004 , Smith et al., 2010, Skogdalen and Vinnem, 2012, Bejarano et al., 2013, Walton, 2012).

Στη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή επειδή όπως προαναφερθεί ο εντοπισμός, η χωρική και η χρονική εξάπλωση πραγματοποιείται μέσω της χρήσης της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης δεν γίνεται δυνατή η χρήση μιας πολυφασματικής δορυφορικής εικόνας, η οποία καταγράφει σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή στην επιφάνεια της γης σε διαφορετικά κανάλια-μήκη κύματος αλλά πολλών εικόνων, οι οποίες καταγράφουν τον ίδιο βιοφυσικό δείκτη (π.χ. χλωροφύλλη) σε τακτά χρονικά διαστήματα. Επομένως για κάθε εικονοστοιχείο γίνεται η χρήση ενός διανύσματος για τη καταγραφή π.χ. χλωροφύλλη, θερμοκρασία θάλασσας.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised clustering) γίνεται αυτομάτως μετά την επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων. από αλγορίθμους ομαδοποίησης (k-mean, ISODATA) μέσω λογισμικών πακέτων. Η χρήση αυτών δεν απαιτεί από το χρήστη τους να είναι γνώστης της ύπαρξης ή του είδους της πληροφορίας που εμπεριέχεται σε κάθε θεματική τάξη σε αντιδιαστολή με την επιβλεπόμενη (Tseng, 1995 Skogdalen and Vinnem, 2012).

Στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση για τη ταξινόμηση σε ομοειδείς θεματικές τάξεις χρησιμοποιείται η απόσταση του κάθε εικονοστοιχείου  $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)^T$  από το κέντρο συσσώρευσης  $\mu_i = (\mu_{i,1} + \mu_{i,2} + \dots + \mu_{i,p})^T$  των τιμών, όπως η Ευκλείδεια απόσταση (Mather, 2004, Skogdalen and Vinnem, 2012, Bianchi et al., 2011).

Γενικότερα ο τρόπος λειτουργίας των αλγορίθμων k-μέσων τιμών και ISODATA, περιλαμβάνει τα ακόλουθα τρία βήματα. Πρωταρχικά γίνεται ο προσδιορισμός του αριθμού των θεματικών τάξεων k, δηλαδή των κέντρων συσσώρευσης των τιμών  $\mu_i$  που θα εμπεριέχει η εικόνα, όπου  $\mu_i^{(0)} = 0, 1, 2, \dots, K$ .

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι αποστάσεις κάθε εικονοστοιχείου από τα K-κέντρα των θεματικών τάξεων και τέλος, το εικονοστοιχείο εντάσσεται στην θεματική τάξη από την οποία απέχει ελάχιστα. Το δεύτερο και τρίτο στάδιο επαναλαμβάνονται μέχρι η διαφορά μεταξύ των επαναλήψεων να είναι αρκετά μικρή (Lillesand et.al., 2008, Skogdalen and Vinnem, 2012, Walton, 2012, Sylves and Comfort, 2012).

Ακολουθεί το στάδιο της παρουσίασης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων και για τα δύο στάδια: α) Εντοπισμών πετρελαιοκηλίδων β) Εκτίμηση των δυνητικών περιβαντολογικών επιπτώσεων. Η όλη διαδικασία ολοκληρώνεται με το στάδιο εξαγωγής των συμπερασμάτων.

### 3.1 Σκοπός και Στόχοι

Σκοπος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης και τηλεπισκοπικών δεδομένων για τον εντοπισμό και τη παρακολούθηση της ρύπανσης που υπέστη η θαλάσσια περιοχή στο κόλπο του Μεξικού μετά την ενεργειακή έκρηξη που συνέβη στις 20 Απριλίου του 2010 σε πλατφόρμα της Εταιρίας BP κατά την εξόρυξη πετρελαίου (McCrea-Strub et al., 2011, Veleva, 2011, Bianchi et al., 2011, Walton, 2012).

Η κλίμακα συχνότητας ενός τέτοιου ατυχήματος θεωρείται σχεδόν σπάνια αλλά οι περιβαντολογικές του επιπτώσεις είναι ιδιαίτερα καταστροφικές και με μεγάλες, έχοντας μακροχρόνιες επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Επιπλέον, σκοπός της παρουσία διπλωματικής είναι η απόκτηση γνώσης και εμπειρίας για το πως οι τεχνικές τηλεπισκόπησης και τα τηλεπισκοπικά δεδομένα (μέτριας διακριτικής ικανότητας που έχουν μηδενικό κόστος και συνθέτουν μια παγκόσμια βιοφυσική γεωγραφική βάση δεδομένων σε ημερήσια βάση) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό και τη παρακολούθηση της ρύπανσης αποτελώντας σήμερα ένα σύγχρονο εργαλείο χρήσης για τη παρακολούθηση και τη μελέτη τέτοιων επιπτώσεων (Wickman, 2014, Veleva, 2011, Valvi 2013, Vinogradov, 2013, Watts, 2012).

Τέλος με δεδομένο τις προκηρύξεις για την υλοποίηση ερευνών στην ευρύτερη περιοχή Ελλάδος και Κύπρου για πετρέλαιο η συγκεκριμένη μελέτη μπορεί να αποτελέσει απαραίτητο εργαλείο για το προγραμματισμό των αναγκαίων ενεργειών που πρέπει να πραγματοποιηθούν βάζοντας ως πρωταρχικό στόχο τη θωράκιση και τη προστασία της λεκάνης της Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου (Meyer and Arendt, 1993, Werner and Locke, 2014, Bianchi et al., 2011).

## 3.2.Ερευνητικά Ερωτήματα

Τα βασικά ερωτήματα που καλείται να απαντήσει η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είναι τα εξής:

A) Μετά τη διαρροή πετρελαίου σε μία θαλάσσια περιοχή πόσο μακροχρόνιες είναι οι επιπτώσεις σε ένα σύστημα ; είτε αυτό αφορά το περιβαλλοντικό, το οικονομικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο ;

B) Η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων σε συνδυασμό με τη αστικοποίηση μπορεί να αυξήσει τη συχνότητα και την έκταση των επιπτώσεων των ενεργειακών ατυχημάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον ;

Γ) Ποίοι από αυτούς τους βιοφυσικούς δείκτες και ποιά από τα δορυφορικά καταγραφικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό τη καταγραφή, τη παρακολούθηση αλλά και την εκτίμηση των επιπτώσεων που μπορεί να υποστεί ένα θαλάσσιο περιβάλλον μετά από ένα ενεργειακό ατύχημα ;

## 3.3. Δεδομένα

Θα μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο έγινε η παρακολούθηση της περιβαλλοντικής καταστροφής από παθητικά καταγραφικά συστήματα στο κόλπο του Μεξικού και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες και εικόνες από το δορυφορικό σύστημα MODIS (Liu et al., 2011, Winkler and Gordon, 2013, Walton, 2012, Tabibzadeh and Meshkati, 2014).

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δεδομένα και τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο κόλπο του Μεξικού. Τα δεδομένα αυτά έχουν προκύψει από το καταγραφικό σύστημα MODIS και αντιστοιχούν στη ποσοστιαία εκτίμηση της χλωροφύλλης και στη θερμοκρασία της θάλασσας. Ο λόγος που επιλέχθηκαν είναι γιατί οι δυο παράγοντες (χλωροφύλλη, θερμοκρασία) σχετίζονται άμεσα με το θαλάσσιο οικοσύστημα (Tseng, 1995, Myers, 2013, Bianchi et al., 2011).

The image shows a screenshot of the USGS LP DAAC website. At the top, there is a header with the USGS logo and the tagline "science for a changing world". Below this, the NASA logo and "LP DAAC" are displayed, along with the text "LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER". A navigation menu includes links for HOME, ABOUT, DATA PRODUCTS, DATA ACCESS, TOOLS, USER COMMUNITY, and USER SERVICES. A search bar is present with the text "Search LP DAAC". On the left side, there is a sidebar menu with links to various product tables and policies. The main content area is titled "MODIS Data Products Table" and contains a brief description: "These links will direct you to specific information and access points for each of the MODIS Land Products distributed from LP DAAC". Below this, there are three expandable sections: "Radiation Budget Variables", "Ecosystem Variables", and "Land Cover Characteristics".

**Εικόνα 3.3.1.: USGS, Modis data products table.**

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των βιοφυσικών παραμέτρων του αισθητήρα MODIS προέρχονται από την ιστοσελίδα της Αμερικανικής Γεωλογικής Επισκόπησης [https://lpdaac.usgs.gov/products/modis\\_products\\_table](https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table).

Οι θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας (Land Surface Temperature, SST) αποτελούν βιοφυσικές παραμέτρους μεγάλης σπουδαιότητας. Η θερμοκρασία γενικότερα, αποτελεί βασική παράμετρο στη φυσική της επιφάνειας της γης αφού ελέγχει την ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας, ενώ συμμετέχει στο ενεργειακό ισοζύγιο, στις διαδικασίες της εξατμισοδιαπνοής και της απερίημωσης. Οι θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας, αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα των επιφανειακών ατμοσφαιρικών αλληλεπιδράσεων και των ενεργειακών ροών μεταξύ του εδάφους και της ατμόσφαιρας (Wan, 2008, Winkler and Gordon, 2013, Bianchi et al., 2011).

Δεδομένης της πολυπλοκότητας της επιφανειακής θερμοκρασίας πάνω από την ξηρά, οι επίγειες μετρήσεις δεν μπορούν να παρέχουν ουσιαστικά τιμές σε μεγάλες εκτάσεις. Με την ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης, δορυφορικά δεδομένα προσφέρουν τη μοναδική δυνατότητα για μέτρηση της θερμοκρασίας σε όλη την υδρόγειο με αρκετά υψηλή χρονική ανάλυση (Xiao and Xu, 2010, Murchison, 2011, Smith, 2010, Walters, 2013, Werner and Locke 2014).

Επί του παρόντος, δορυφορικοί αισθητήρες που καταγράφουν στο θερμικό υπέρυθρο αποτελούν τα μόνα διαθέσιμα λειτουργικά συστήματα που συλλέγουν δεδομένα θερμοκρασιών (SST) σε τακτικές χωρικές και χρονικές αναλύσεις (Tseng, 1995, Anderson et al., 2014, Bianchi et al., 2011, Veil, 2013, Zellmer, 2011).

Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των δεδομένων σε σχέση με επίγειες μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών είναι ότι παρέχουν μια σταθερή χωρική ανάλυση των θερμοκρασιών ημέρας και νύχτας. Επιτρέπουν έτσι την χωρική ανάλυση και ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με το πώς διαφορετικές παράμετροι, όπως το είδος της γης, η χρήση γης, το υψόμετρο, η απόσταση από τη θάλασσα, επιδρούν στη θερμοκρασία.

### **3.3.1.Εντοπισμός πετρελαιοκηλίδων από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες**

Η τοπογραφική φωτογραμμετρία ασχολείται με την κατάρτιση του τοπογραφικού διαγράμματος μιας περιοχής με ορισμένη κλίμακα και χρησιμοποιεί γι' αυτόν τον σκοπό φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από ένα συγκεκριμένο σημείο. Αν το σημείο αυτό βρίσκεται πάνω στο έδαφος, τότε η εργασία αυτή καλείται φωτογραμμετρία ή φωτογραμμομετρία ή φωτοτοπογραφία. Αν το σημείο λήψης των φωτογραφιών βρίσκεται στον χώρο, δηλαδή η λήψη έγινε από αεροπλάνο, τότε η εργασία λέγεται αεροφωτογραφία (α).

Η α. διαδόθηκε πολύ γρήγορα στα πλεονεκτήματά της, που είναι η ταχύτητα λήψης αεροφωτογραφιών και το ότι δεν περιορίζεται από τη διαμόρφωση του εδάφους και τις αποστάσεις. Η ανάπτυξη της αεροπορίας κατά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο και μετά, έδωσε νέα ώθηση στη φωτογραμμετρία, γιατί έκανε δυνατή τη λήψη αεροφωτογραφιών μεγάλης ακρίβειας και καθαρότητας, με ταχύτητα και σε συνεχείς σειρές (λωρίδες) σε μεγάλα τμήματα εδάφους. Αυτό συνέβαλε στην επικράτηση της α. και στον περιορισμό της απλής φωτογραμμετρίας για ειδικές περιπτώσεις.

Η λήψη των αεροφωτογραφιών γίνεται κατά παράλληλες σειρές (λωρίδες) και από ειδικές φωτογραφικές μηχανές, που έχουν έναν αυτόματο μηχανισμό. Αυτός ρυθμίζει τον χρόνο λήψης κάθε αεροφωτογραφίας σε σχέση με τη ταχύτητα πτήσης και το ύψος του αεροπλάνου, που ακολουθεί ορισμένη διεύθυνση και πετά σε καθορισμένο ύψος.

Οι αεροφωτογραφίες αυτές λαμβάνονται έτσι ώστε καθεμία να επικαλύπτει την επόμενη κατά 60% κατά τη διεύθυνση της πτήσης και κατά 30% την πλαϊνή παράλληλη φωτογραφία, που θα ληφθεί όταν το αεροπλάνο πάρει την αντίθετη διεύθυνση επιστροφής για να βγάλει την επόμενη παράλληλη σειρά φωτογραφιών. Με τις αλληπάλλληλες σειρές φωτογραφιών σχηματίζεται το φωτομωσαϊκό, το οποίο απεικονίζει ολόκληρη την περιοχή που φωτογραφήθηκε. Σε κάθε ζεύγος αεροφωτογραφιών απεικονίζεται κατά 60% ή 30% η ίδια περιοχή. Αυτό αποτελεί τη στερεοσκοπική βάση για την απόδοση της οριζοντιογραφικής και υψομετρικής αναπαράστασης του εδάφους ύστερα από μετρήσεις.

Για να πραγματοποιηθεί αυτό, οι αεροφωτογραφίες θα πρέπει να τοποθετηθούν όπως ακριβώς λήφθηκαν από το αεροπλάνο, δηλαδή: διεύθυνση, προσανατολισμός και γωνία απόκλισης.

Η φασματική ευαισθησία της φωτογραφίας γενικά κυμαίνεται από 0.3  $\mu\text{m}$  (εγγύς υπεριώδες/near-ultraviolet) έως 0.9  $\mu\text{m}$  (εγγύς υπέρυθρο). Διαφορετικές περιοχές του φάσματος μπορούν να καταγραφούν χρησιμοποιώντας ποικίλους συνδυασμούς φιλμ και φίλτρων.

Συνήθως οι καταγραφές γίνονται στο:

- a) Παγχρωματικό με φασματική ευαισθησία λίγο μεγαλύτερη από αυτή του ανθρώπινου ματιού (0.3 - 0.7  $\mu\text{m}$ ). Δηλαδή είναι ευαίσθητο στο υπεριώδες και στο ορατό τμήμα του φάσματος. Τα αντικείμενα του φυσικού περιβάλλοντος απεικονίζονται με διαφορετικές διαβαθμίσεις του γκρι. Έτσι αντικείμενα που στην πραγματικότητα έχουν διαφορετικά χρώματα διακρίνονται εάν στο εύρος φασματικής ευαισθησίας του φιλμ ανακλούν διαφορετική ποσότητα ακτινοβολίας. Είναι δύσκολο να διακριθούν οι διαφορετικοί τύποι βλάστησης σε αυτό το φιλμ.

Το παγχρωματικό φιλμ μειονεκτεί γιατί αποδίδει σαν μια διαβάθμιση του γκρι, μία εκτίμηση της μέσης φωτεινότητας σε ένα ευρύ τμήμα του φάσματος κάνοντας δύσκολη την ερμηνεία των αντικειμένων του φυσικού περιβάλλοντος. Από την άλλη πλευρά το ανθρώπινο μάτι μπορεί να διακρίνει μόνο 64 διαβαθμίσεις του γκρι ενώ μπορεί να διακρίνει 20.000 χρωματικές αποχρώσεις. Επιπλέον στο φυσικό περιβάλλον τα χρώματα είναι συνδεδεμένα με συγκεκριμένες θεματικές κατηγορίες (πράσινο με την βλάστηση, μπλε με το νερό, άσπρο με το χιόνι, κ.α.).

b) Έγχρωμο φιλμ. Έχουν τρία στρώματα, το πρώτο είναι ευαίσθητο στην μπλέ, το δεύτερο στην πράσινη και μπλέ και το τρίτο στην κόκκινη και μπλέ. Επειδή δεν ενδιαφέρει η καταγραφή της μπλέ ακτινοβολίας στο δεύτερο και τρίτο στρώμα, μετά το πρώτο παρεμβάλλεται ένα φίλτρο (κίτρινο) που απορροφά την μπλέ.

c) Έγχρωμο υπέρυθρο. Πρώτα χρησιμοποιήθηκε σε στρατιωτικές εφαρμογές επειδή τονίζει την διαφορά στην ανάκλαση στο (ανακλώμενο) υπέρυθρο της υγιούς βλάστηση (μεγάλη ανάκλαση) από την νεκρή βλάστηση. Το φιλμ αποτελείται από τρία στρώματα που είναι ευαίσθητα στην πράσινη (0.5-0.6), κόκκινη (0.6-0.7) και ανακλώμενη υπέρυθρη (0.7-0.9) ενώ ένα φίλτρο (κίτρινο) απορροφά εντελώς την μπλε ακτινοβολία. Τα μπλε αντικείμενα εμφανίζονται μαύρα (αφού η αντίστοιχη ακτινοβολία απορροφάται) ενώ με αποχρώσεις του μπλε εμφανίζονται τα αντικείμενα που είναι ευαίσθητα στην ανακλώμενη υπέρυθρη ακτινοβολία, ενώ η νεκρή βλάστηση (κομμένα κλαδιά που χρησιμοποιούνται για απόκρυψη στρατιωτικών μονάδων) εμφανίζεται πράσινη.

Με το που δημοσιοποιήθηκε το ατύχημα άμεση ήταν η αντίδραση του Υπηρεσίας Ωκεανογραφίας και Μετεωρολογίας (NOAA) των ΗΠΑ σε συνεργασία με την Ακτοφυλακή και την ΝΑΣΑ. Στη περιοχή στην οποία συνέβη το ατύχημα γύρω από την πλατφόρμα άντλησης άλλα και κατά μήκος της ακτογραμμής στην περιοχή του κόλπου του Μεξικού, έγιναν αεροφωτογραφικής και συντέθηκαν φωτομωσαικά των διαδοχικών φωτογραφιών με παγχρωματικές και έγχρωμες λήψεις όπως φαίνεται στις εικόνες (Εικόνα 3.3.1.1, Εικόνα 3.3.1.2, Εικόνα 3.3.1.3, Εικόνα 3.3.1.4, Εικόνα 3.3.1.5, Εικόνα 3.3.1.6, Εικόνα 3.3.1.7, Εικόνα 3.3.1.8, Εικόνα 3.3.1.9, Εικόνα 3.3.1.10, Εικόνα 3.3.1.11, Εικόνα 3.3.1.12, Εικόνα 3.3.1.13) που ακολουθούν.

MOD21-Chlorophyll a Pigment Concentration-L2, L3: Ο αλγόριθμος για αυτό το προϊόν στηρίζεται στο ημιαναλυτικό βίο-οπτικό μοντέλο (semianalytical, bio-optical model) της καταγεγραμμένης από το δέκτη αντανάκλασης,  $\rho_{\lambda}$  της normalized water-leaving radiance. Χρησιμοποιείται επίσης, για τα προϊόντα MOD36-Total Absorption Coefficient-L2, L3 και MOD24-Organic Matter Concentration-L2, L3 και έχει αναπτυχθεί, ώστε να καθοριστούν οι εξής 4 μεταβλητές:

1. χλωροφύλλη α,
2. απορρόφηση από το διαλελυμένο οργανικό υλικό στα 400nm,
3. συντελεστής απορρόφησης του φυτοπλαγκτού (675nm) και
4. απορροφημένη ακτινοβολία από το φυτοπλαγκτόν ARP (absorbed radiation by phytoplankton) που αναφέρεται και παρακάτω.



Μία μοναδική πτυχή αυτού του αλγόριθμου που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης α είναι ότι δε βασίζεται σε μια απλή εξίσωση παλινδρόμησης στηριγμένη στην παγκόσμια βάση δεδομένων, αλλά στο ημιαναλυτικό βιο-οπτικό μοντέλο, όπως προαναφέρθηκε.

Ωστόσο, οι βιο-οπτικές παράμετροι αλλάζουν σύμφωνα με την επικρατούσα διανομή των ειδών σε εποχιακή και γεωγραφική βάση, λόγω των αλλαγών στη συγκέντρωση των θρεπτικών, της διαθεσιμότητας του ηλιακού φωτός και της θερμοκρασίας. Πληροφορίες για αυτές τις παραμέτρους αντλούνται κατά συνέπεια από τα δεδομένα του MODIS για την επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας.

Ημιαναλυτικός αλγόριθμος για τη χλωροφύλλη α, σύμφωνα με τον (Kendall., 2003)

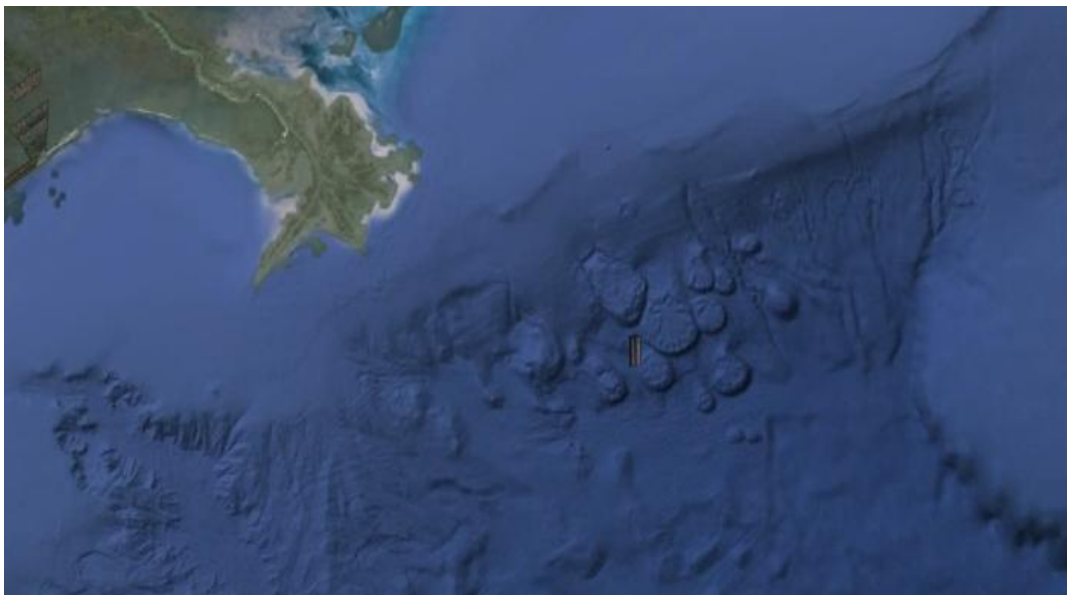
$$\text{Chl}_a = 10 \cdot (0.283 - 2.753 \cdot R + 1.457 \cdot R^2 + 0.659 \cdot R^3 - 1.403 \cdot R^4), \text{ όπου}$$

$$R = \log_{10}((R_{rs443} > R_{rs488}) / R_{rs551})$$

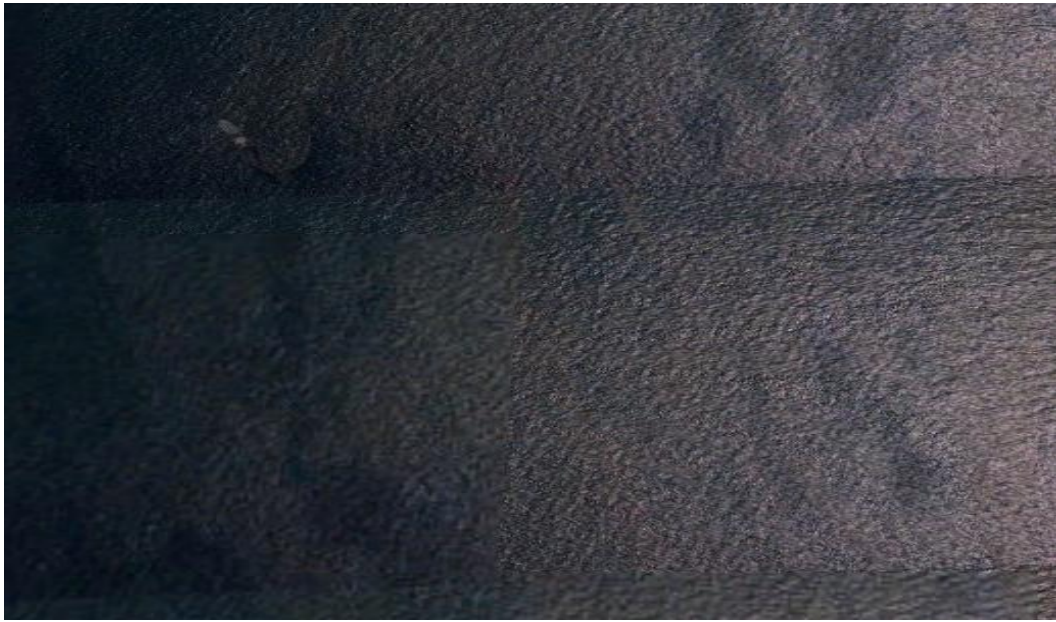
$$R_{rs} = nLw / F_0; \text{ (Remote sensing reflectance)}$$

$$F_0 = \text{κοσμική ακτινοβολία (extraterrestrial solar irradiance)}$$

$$nLw = \text{water leaving radiance στα } 443, 488 \text{ και } 551 \text{ nm.}$$



**Εικόνα 3.3.1.1.** : Η περιοχή που έγινε η διαρροή και το ανάγλυφο του πυθμένα.



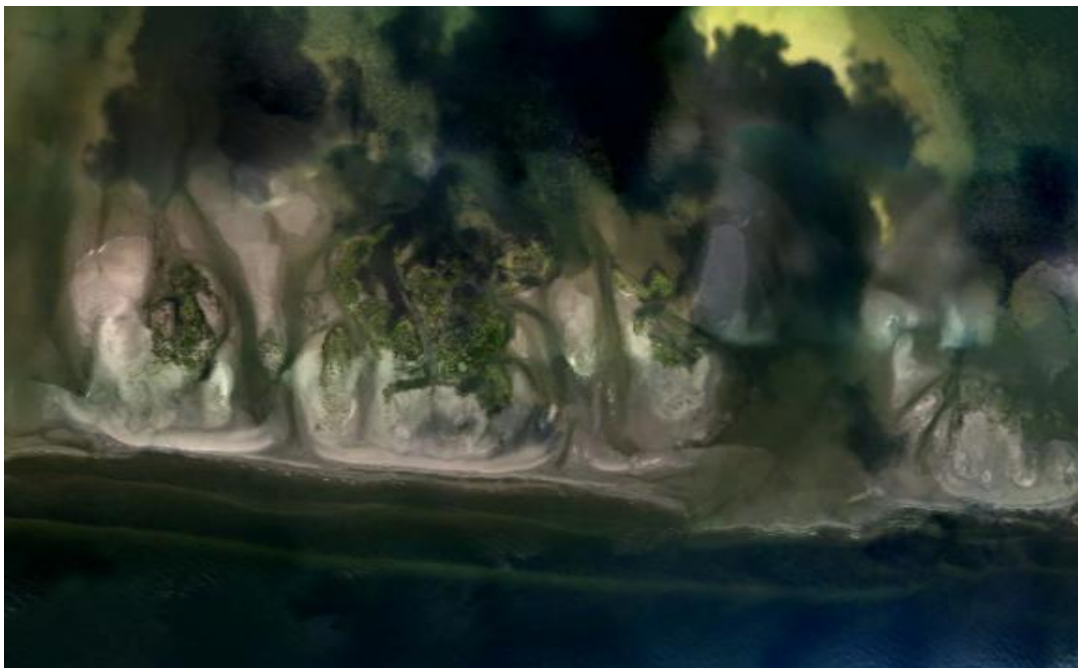
**Εικόνα 3.3.1.2.:** Πετρελαιοκηλίδες σε αεροφωτογραφία στην περιοχή της διαρροής.



**Εικόνα 3.3.1.3.:** Φωτομωσιακό από αεροφωτογραφίες στην περιοχή της διαρροής



**Εικόνα 3.3.1.4.:** Πετρελαιοκηλίδες στην παράκτια ζώνη



**Εικόνα 3.3.1.5.:** Έγχρωμη αεροφωτογραφία λήψη στην παράκτια ζώνη στην οποία φαίνεται ανάγλυφα το πρόβλημα

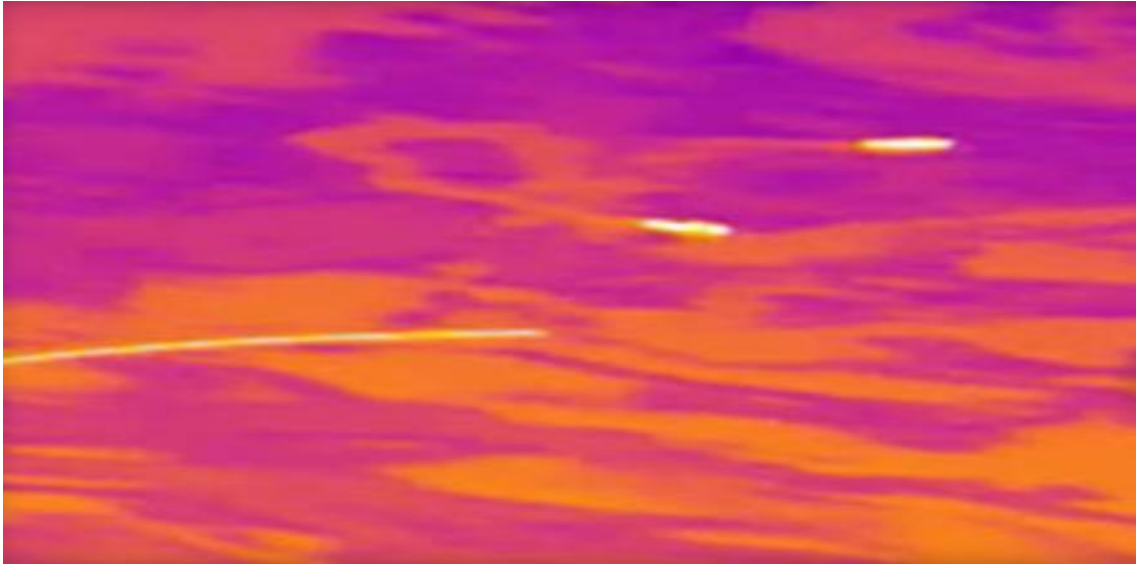


**Εικόνα 3.3.1.6.** : Έγχρωμη αεροφωτογραφία λήψη στην παράκτια ζώνη στην οποία φαίνονται πετρελαιοκηλίδες.



**Εικόνα 3.3.1.7.** : Στις έγχρωμες φωτογραφίες οι πετρελαιοκηλίδες παίρνουν ένα πορτοκαλί-καφέ χρώμα όσο πιο πολύ αναμιγνύονται με το θαλασσινό νερό.

Οι υπέρυθρες αεροφωτογραφίες αποδείχθηκαν ιδιαίτερα χρήσιμες γιατί επέτρεψαν τον εντοπισμό όχι μόνο των συνεκτικών πετρελαιοκηλίδων με μεγάλο πάχος, αλλά και των πολύ λεπτών στρωμάτων πετρελαιοκηλίδων που κάλυπταν σχεδόν το σύνολο του Κόλπου αποτρέποντας την οξυγόνωση της θάλασσας.



**Εικόνα 3.3.1.8 :** Η χρήση έγχρωμων υπέρυθρων εικόνων για τον εντοπισμό και των πολύ λεπτών στρωμάτων πετρελαιοκηλίδων



**Εικόνα 3.3.1.9. :** Υπέρυθρη εικόνα

Η χωρική διακριτική ικανότητα των φωτογραφιών που χρησιμοποιήθηκαν στον Κόλπο του Μεξικού ήταν 30 cm περίπου. Επιπλέον κάθε αεροφωτογραφία καλύπτει μικρή περιοχή στο έδαφος και υπήρχε μεγάλος αριθμός αεροφωτογραφιών για την κάλυψη μιας μικρής περιοχής.

Τα κυριότερα προβλήματα ήταν οι αλλαγές στις συνθήκες φωτισμού (σύννεφα, σκιές) από φωτογραφία σε φωτογραφία, ο μεγάλος όγκος των δεδομένων και η χρονοβόρα διεργασία συνάρθρωσης των αεροφωτογραφιών για την σύνθεση του φωτομηχανικού.

Από πλευράς επιχειρησιακής το πρόβλημα ήταν ότι το φαινόμενο δεν ήταν στιγμιαίο, άλλα συνεχίστηκε η διαρροή με αμείωτο ρυθμό για πολλές μέρες, ενώ η πετρελαιοκηλίδες που δημιουργούνται άλλαζαν διεύθυνση ανάλογα με τα ρεύματα και τις μετεωρολογικούς συνθήκες πλήττοντας διαφορετικές παράκτιες ζώνες. Λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων των αεροφωτογραφιών του κόστους λήψης, αποδείχθηκε σκοπιμότερη η παρακολούθηση με λήψης μικρότερης χωρικής διακριτικής ικανότητας που κάλυπταν την ευρύτερη περιοχή (Uhlmann, 2011, Selby, 2012, Shavell, 2011).

Έτσι από τις αεροφωτογραφίες οι αρχές στράφηκαν στους δορυφόρους όπως ο Aqua, ο Terra και η σειρά των δορυφόρων NOAA για την παρακολούθηση του φαινομένου. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα καταγραφικά συστήματα MODIS και AVHRR που είχαν το πλεονέκτημα ότι κάλυπταν μεγάλες εκτάσεις (πχ το πλάτος κάλυψης μιας εικόνας MODIS της τάξης των 2.000 km) ενώ η φασματική τους διακριτική ικανότητα περιελάμβανε πολλά κανάλια τόσο στο Ορατό όσο και στο υπέρυθρο.



**Εικόνα 3.3.1.10. :** Η περιοχή που καλύπτει μια δορυφορική εικόνα MODIS

Επομένως υπήρχε κάλυψη σε περιοδική βάση αρκετές φορές την ημέρα ενώ σε κάθε εικόνα συμπεριλαμβάνετε σχεδόν το σύνολο της περιοχής μελέτης.



**Εικόνα 3.3.1.11.:** Έγχρωμο σύνθετο από τον δορυφόρο MODIS που υποδεικνύει την θέση και την δυναμική της πετρελαιοκηλίδας.



**Εικόνα 3.3.1.12.:** Δορυφορική εικόνα MODIS την 21/4/2010



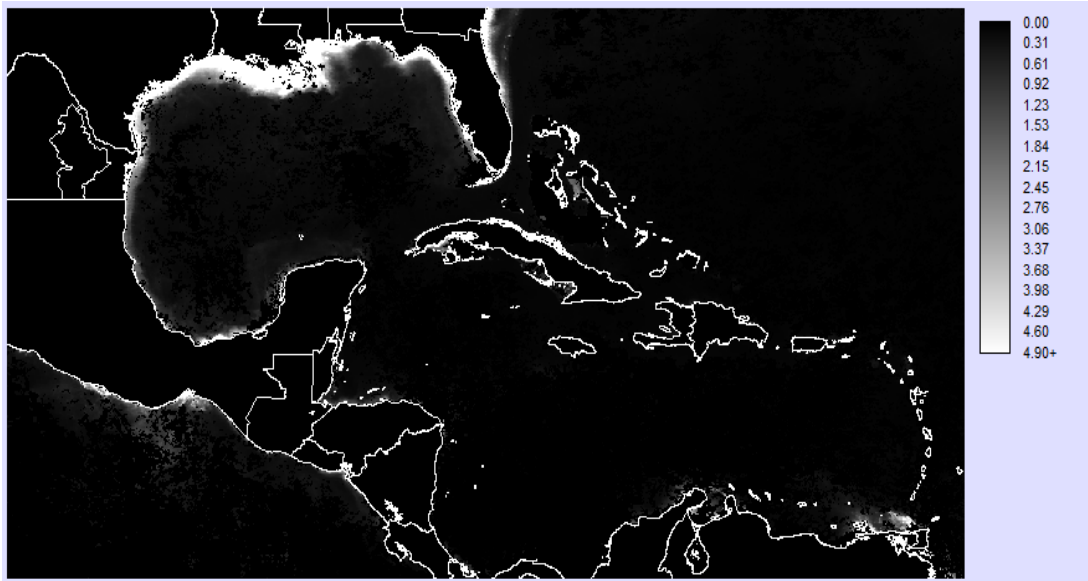
**Εικόνα 3.3.1.13.:** Μεγέθυνση στην προηγούμενη Δορυφορική εικόνα MODIS της 21/4/2010. Στον κύκλο φαίνεται η πλατφόρμα να καίγεται και η πετρελαιοκηλίδα όπου έχει εξαπλωθεί σχεδόν στο σύνολο του Κόλπου.

Στις δορυφορικές εικόνες επειδή η περιοχή καλύπτεται με ομοιόμορφο τρόπο σε μια ενιαία πολυφασματική εικόνα, ήταν δυνατό να εφαρμοστούν αυτοματοποιημένες τεχνικές επεξεργασίας όπως επιβλεπόμενη ταξινόμηση και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση για τον εντοπισμό των πετρελαιοκηλίδων και του βαθμού εξάπλωσης τους.

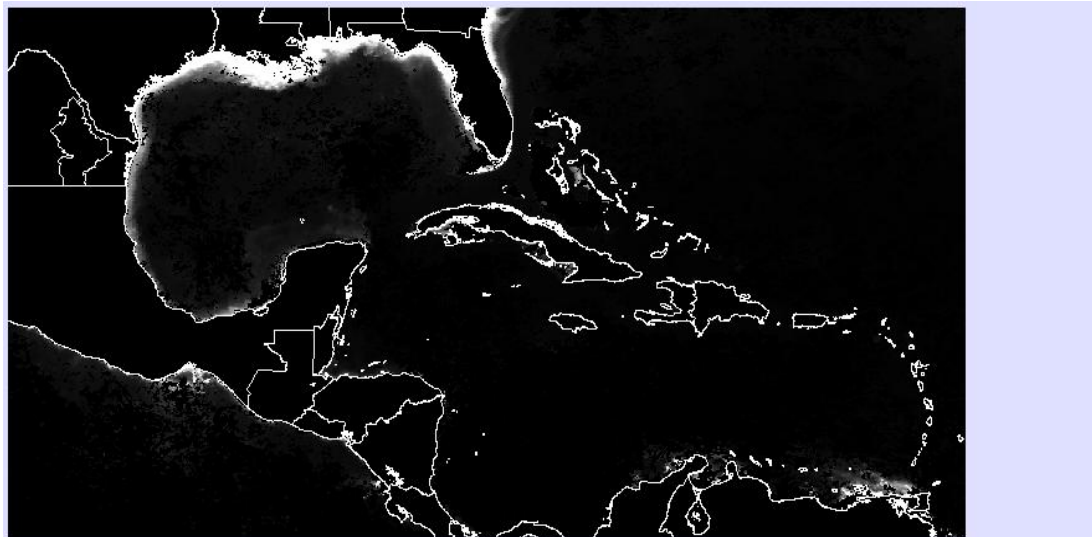
### **3.3.2. Δεδομένα χλωροφύλλης**

Υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας των δεδομένων MODIS, επίπεδο 0 (ανεπεξεργαστα δεδομένα), το επίπεδο 1 (δεδομένα ακτινοβολίας) και το επίπεδο 2 (μέσα στο οποίο βρίσκονται προϊόντα γεωφυσικά). Υπάρχει επίσης ένα Επίπεδο 3 ([http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MY1DMM\\_CHLORA](http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MY1DMM_CHLORA)) , κατασκευασμένο από τα δεδομένα της δειγματοληψίας στο επίπεδο 2 σε μικρότερη χωρική διακριτική ικανότητα (4 km για τα δεδομένα χλωροφύλλης). Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εκτιμήσεις του επιπέδου 3 για την χλωροφύλλη που εκφράζεται σαν ποσοστιαία αναλογία της επιφάνειας της θάλασσας σε κάθε εικονοστοιχείο. Ακολουθούν οι εικόνες με τις μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις στην περιοχή μελέτης.

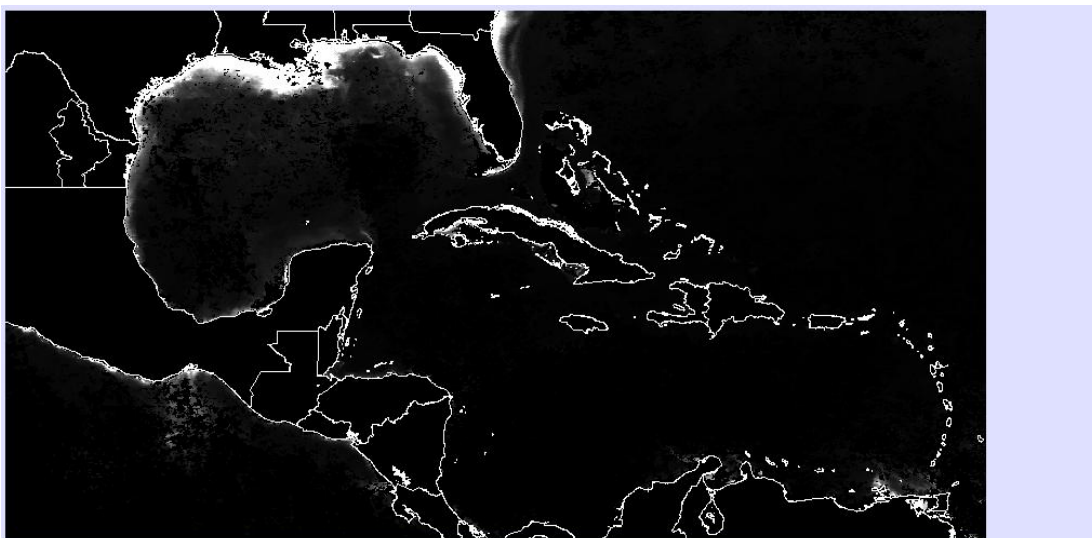




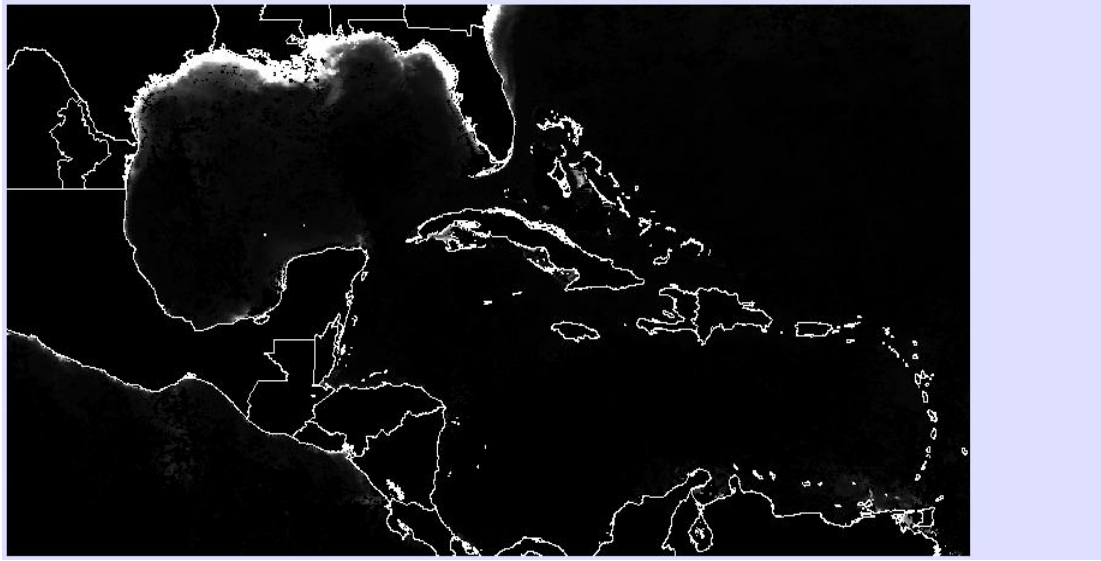
**Εικόνα 3.3.2.1. : Ιανουαρίου**



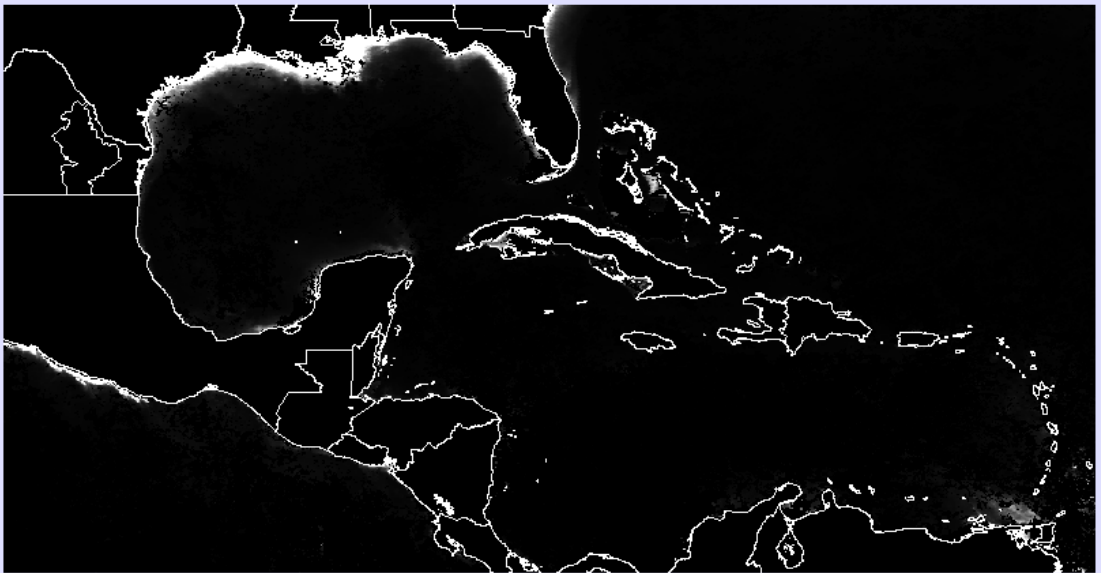
**Εικόνα 3.3.2.2. : Φεβρουαρίου**



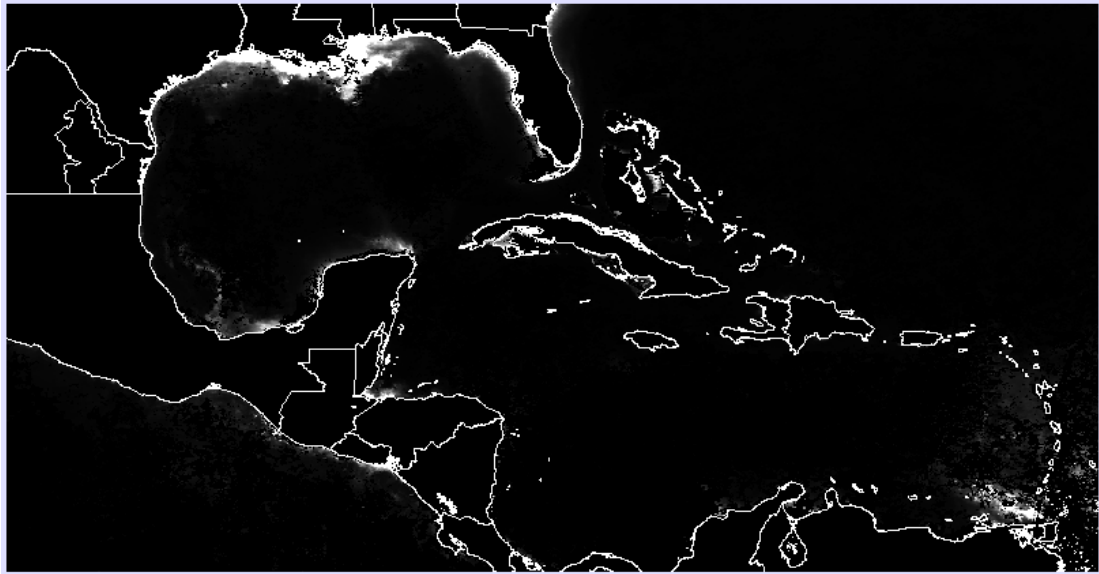
**Εικόνα 3.3.2.3. : Μαρτίου**



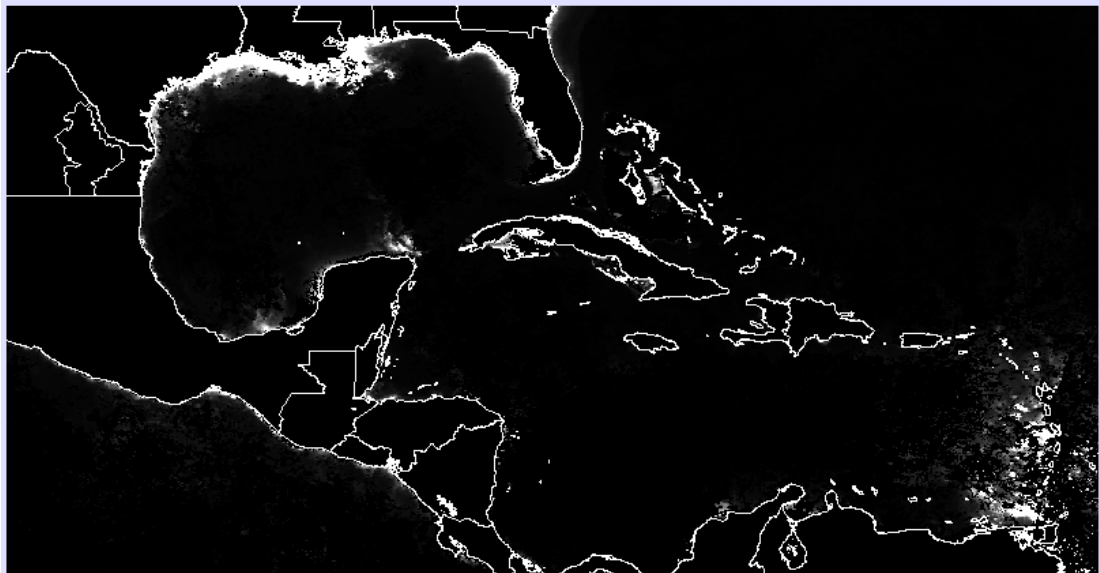
**Εικόνα 3.3.2.4. : Απριλίου**



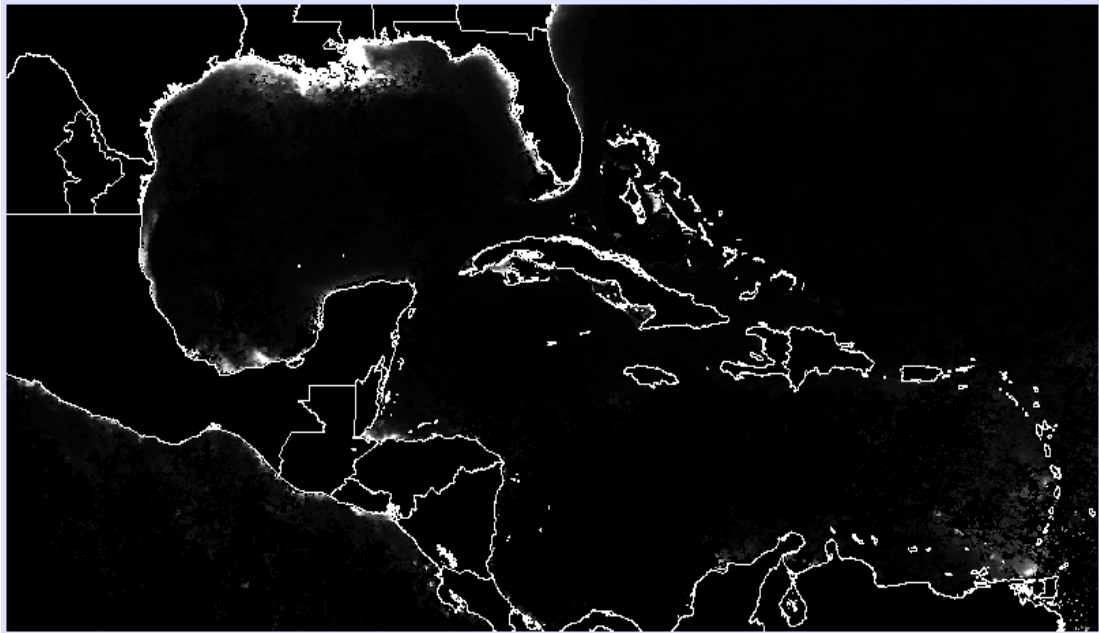
**Εικόνα 3.3.2.5. : Μαΐου**



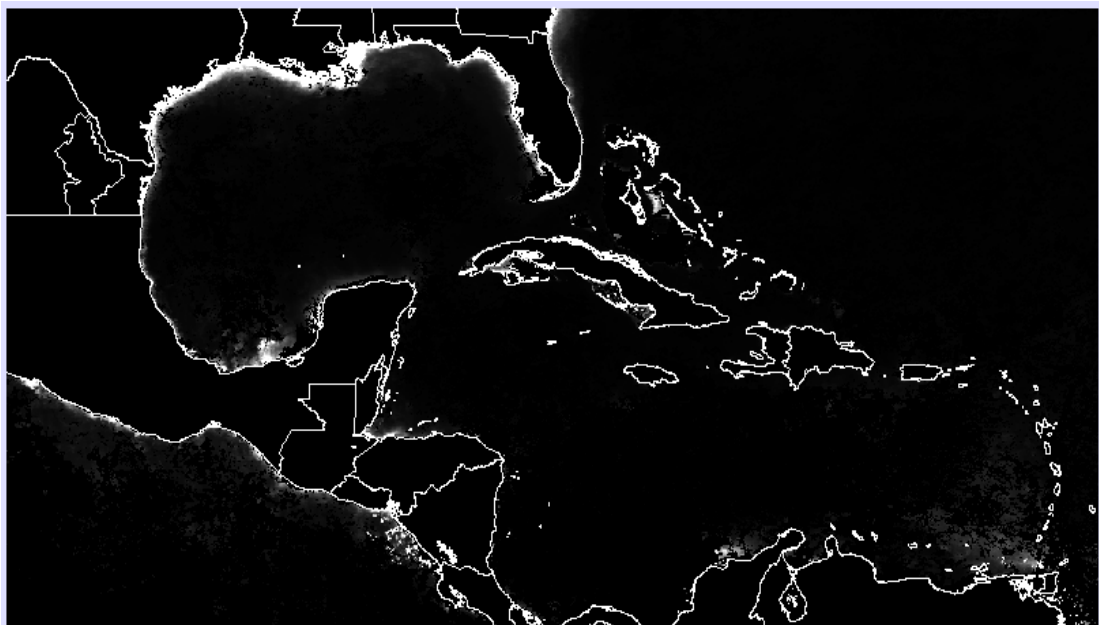
**Εικόνα 3.3.2.6. :** Ιουνίου



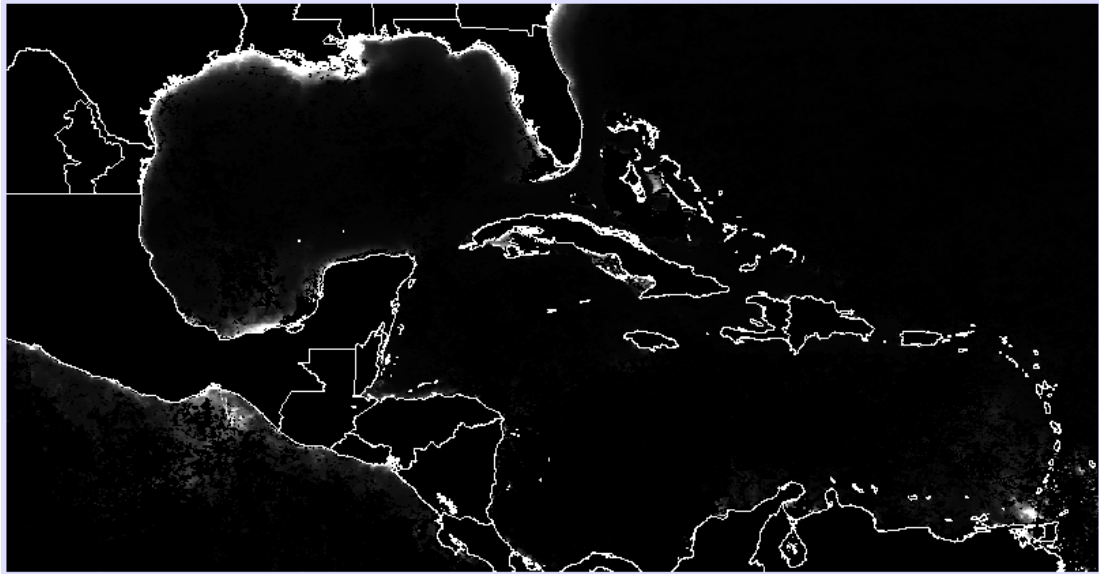
**Εικόνα 3.3.2.7. :** Ιουλίου



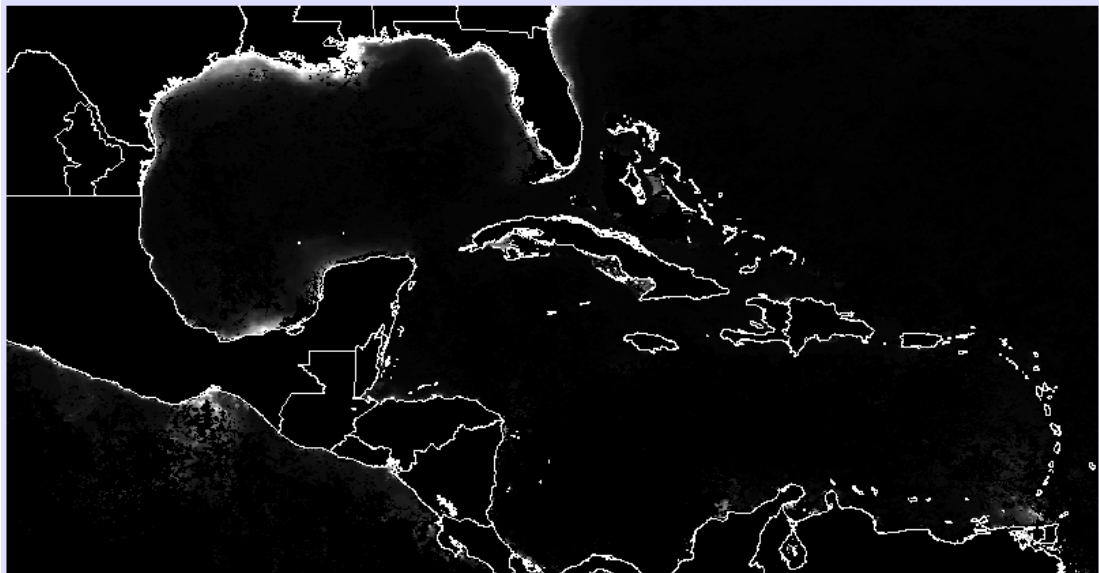
**Εικόνα 3.3.2.8. :** Αυγούστου



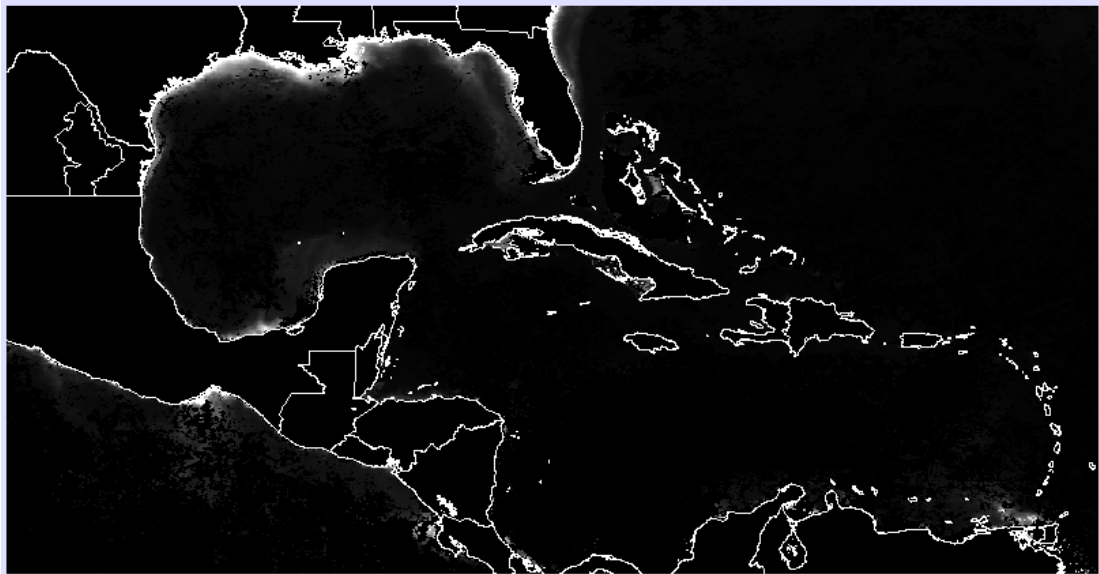
**Εικόνα 3.3.2.9. :** Σεπτεμβρίου



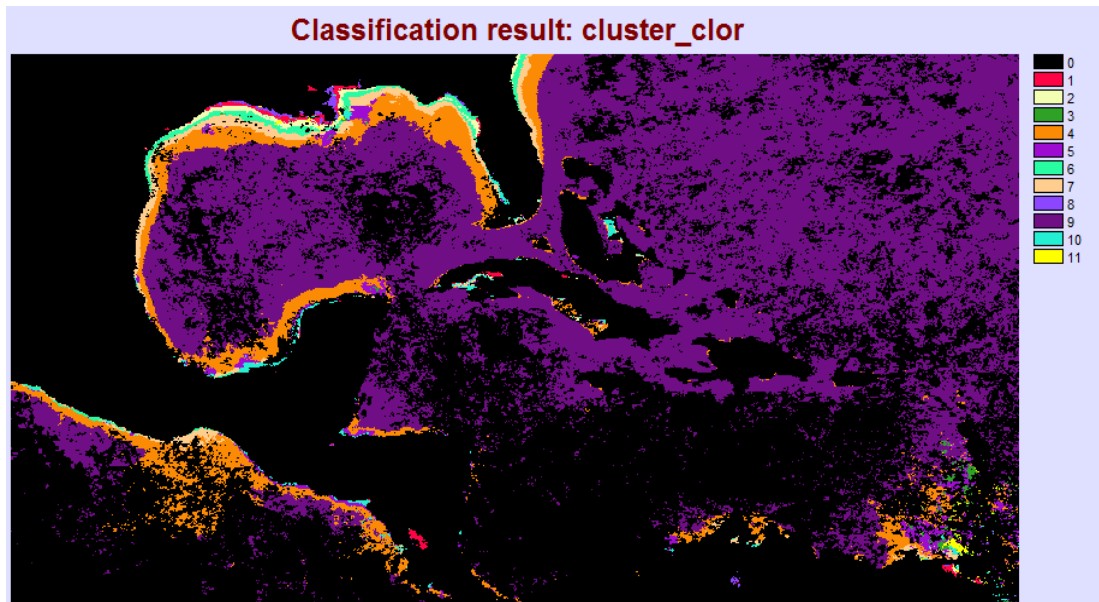
**Εικόνα 3.3.2.10. :** Οκτωβρίου



**Εικόνα 3.3.2.11. :** Νοεμβρίου



Εικόνα 3.3.2.12.: Δεκεμβρίου

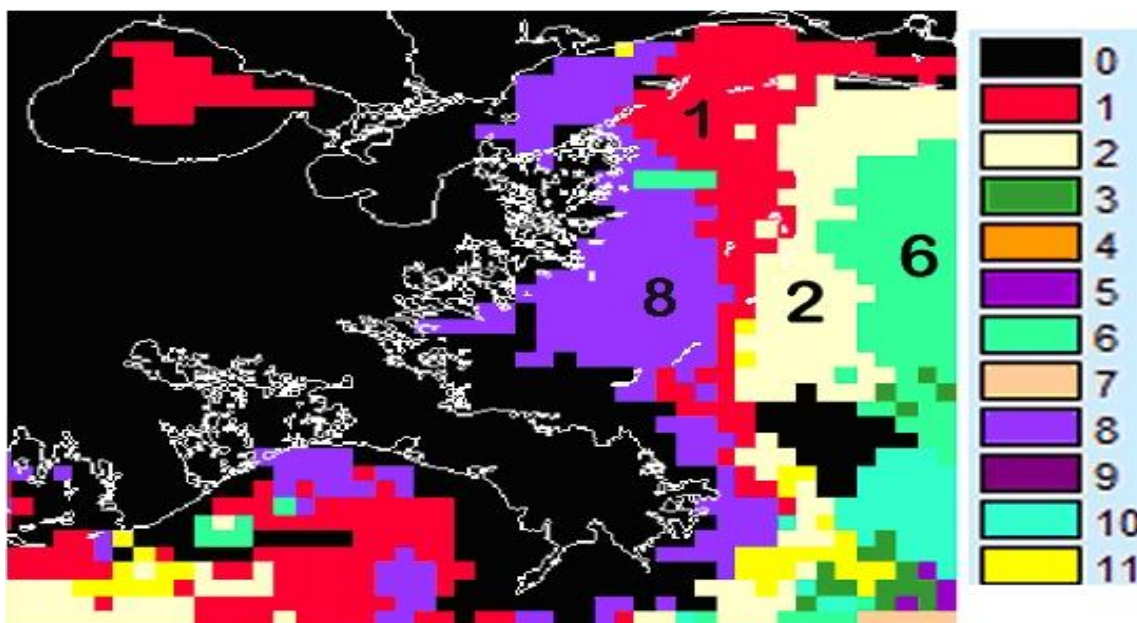


Εικόνα 3.3.2.13. : Τάξεις χλωροφύλλης.

Πίνακας 3.3.2.1 : Κέντρα βάρους τάξεων

| Cluster | Ian  | Feb | Mar | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---------|------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0       | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 1       | 10.4 | 8.5 | 9.7 | 10.6 | 10.0 | 10.8 | 12.1 | 9.5 | 9.7 | 8.4 | 6.5 | 6.5 |

|    |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |
|----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 2  | 7.3  | 6.3 | 8.2  | 9.0  | 6.4  | 5.6  | 8.2  | 4.7  | 4.3  | 3.8  | 3.3 | 3.5 |
| 3  | 0.7  | 0.6 | 0.6  | 0.5  | 0.8  | 1.9  | 10.1 | 1.2  | 0.7  | 0.8  | 0.5 | 0.6 |
| 4  | 0.6  | 0.6 | 0.7  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.5 | 0.6 |
| 5  | 0.6  | 0.7 | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 2.2  | 2.3  | 1.4  | 1.2  | 0.8  | 0.7 | 0.6 |
| 6  | 5.6  | 5.4 | 6.5  | 6.4  | 5.0  | 2.4  | 3.5  | 2.1  | 2.5  | 2.3  | 2.2 | 2.3 |
| 7  | 2.5  | 2.8 | 2.6  | 1.6  | 1.1  | 1.0  | 1.0  | 0.9  | 1.0  | 1.1  | 1.2 | 1.4 |
| 8  | 12.4 | 9.3 | 12.0 | 14.8 | 15.5 | 20.5 | 22.8 | 17.6 | 15.7 | 13.3 | 9.3 | 8.2 |
| 9  | 0.2  | 0.2 | 0.2  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1 | 0.1 |
| 10 | 2.6  | 2.3 | 2.2  | 2.0  | 2.3  | 5.4  | 3.6  | 4.2  | 5.0  | 3.5  | 2.5 | 2.4 |
| 11 | 3.4  | 2.1 | 2.4  | 2.2  | 2.5  | 5.6  | 31.3 | 3.0  | 2.7  | 3.3  | 2.0 | 1.9 |



Εικόνα 3.3.2.14. : Μεγέθυνση στο σημείο του ατυχήματος

### 3.3.3. Δεδομένα θερμοκρασίας θάλασσας

Οι θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας (SST) στο MODIS συμπεριλαμβάνονται σε ένα προϊόν που λέγεται MYD11C3 V5 το οποίο είναι διαθέσιμο σε τυποποίηση CMG 0.05 Dec monthly (Climate Modeling Grid) με χωρική διακριτική ικανότητα  $0.05^{\circ}$  μοίρες και χρονική διακριτική ικανότητα 1 μήνα.

- Για να προσδιοριστούν οι μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις των δεικτών SST για κάθε εικονοστοιχείο χρησιμοποιούνται οι μέρες κάθε μήνα οι οποίες είναι ελεύθερες από νέφωση και για τις οποίες έγινε λήψη δεδομένων (Cai et al., 2010, Bulgarelli and Djavidnia, 2012).
- Η τυποποίηση των τιμών SST είναι σε ακέραιες τιμές ανά εικονοστοιχείο και έχουν εύρος τιμών 2 byte μη προσημασμένα.
- Το δυνητικό εύρος δηλ. των τιμών ανά εικονοστοιχείο είναι από 0 έως +32767. Για τις ανάγκες τυποποίησης του SST χρησιμοποιείται εύρος ακέραιων αριθμών στο διάστημα 7500-65535 και η σχέση μετατροπής των κωδικοποιημένων τιμών από Kelvin σε τιμές Celsius είναι η ακόλουθη:

$$(X*0,02)-273$$

- Το προϊόν MYD11C3 V5 περιλαμβάνει στρώματα δεδομένων ημερήσιας και νυχτερινής παρατήρησης SST, δεδομένων ποιοτικού ελέγχου, χρόνων κάλυψης, γωνιών ζενίθ, ημερών χωρίς νέφωση και ειδικών εκπομπών για τα φασματικά κανάλια 20, 22, 23, 29, 31 και 32.
- Τα δεδομένα αυτά έχουν επικυρωθεί στο επίπεδο 2 μέσω εργασιών πεδίου και μελετών επικύρωσης της λάμψης.

Τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα από 01/08/2002. Η κάθε εικόνα έχει συμπιεσμένο μέγεθος 80 MB, είναι σε γεωγραφικές συντεταγμένες (Lon/Lat) και η τυποποίηση του αρχείου είναι HDF EOS.



### 3.3.4. Θερμοκρασία Θάλασσας

Ακολουθούν οι εικόνες με τις μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις στην περιοχή μελέτης για τον Απρίλιο, Ιούλιο, Οκτώβριο και Δεκέμβριο.



Εικόνα 3.3.4.1. : Απριλίου



Εικόνα 3.3.4.2. : Ιουλίου

Window from 04 c: 1844 r: 1400 to c: 2897 r: 1948

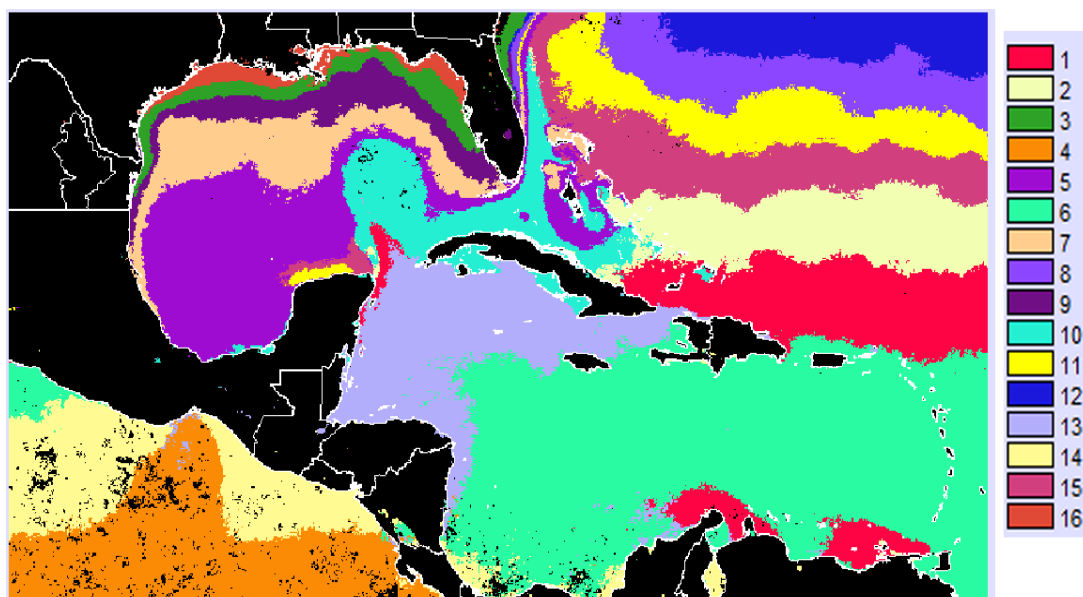


Εικόνα 3.3.4.3. : Οκτωβρίου

Window from 04 c: 1844 r: 1400 to c: 2897 r: 1948



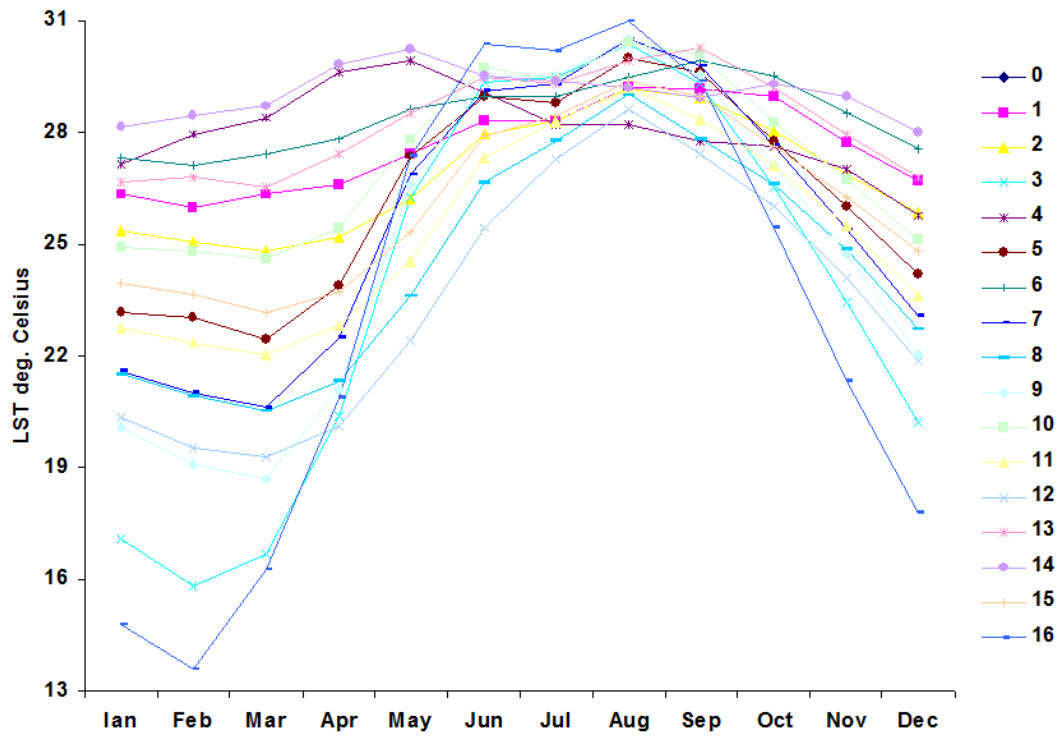
Εικόνα 3.3.4.4. : Δεκεμβρίου



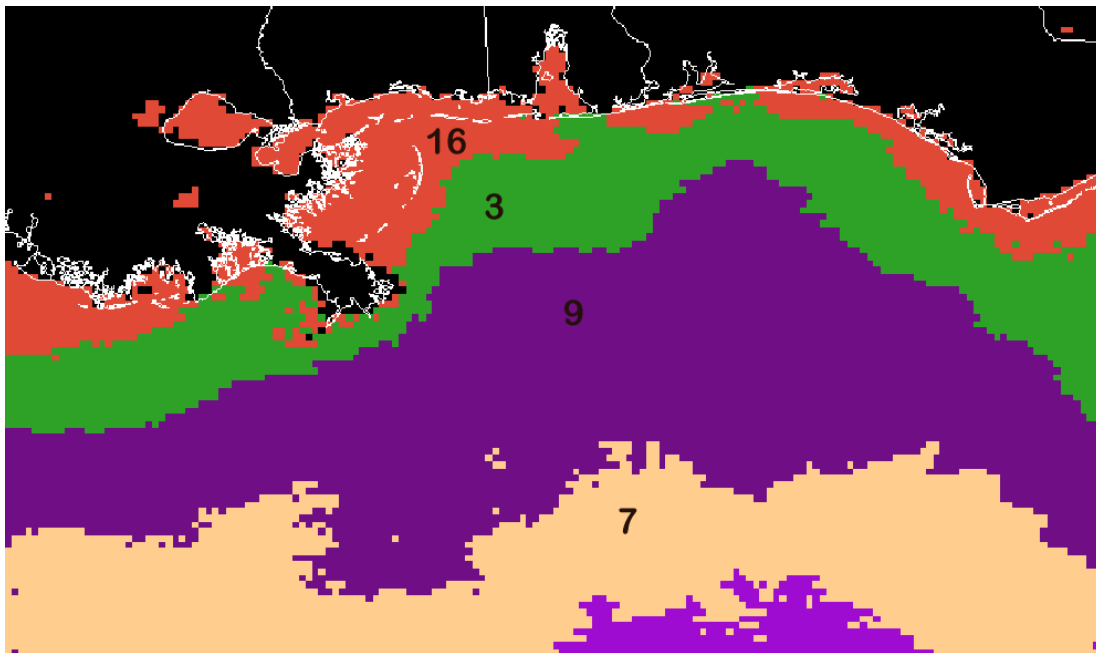
Εικόνα 3.3.4.5. : Ταξεις θερμοκρασίας θάλασσας

Πίνακας 3.3.4.1: Κέντρα βάρους τάξεων

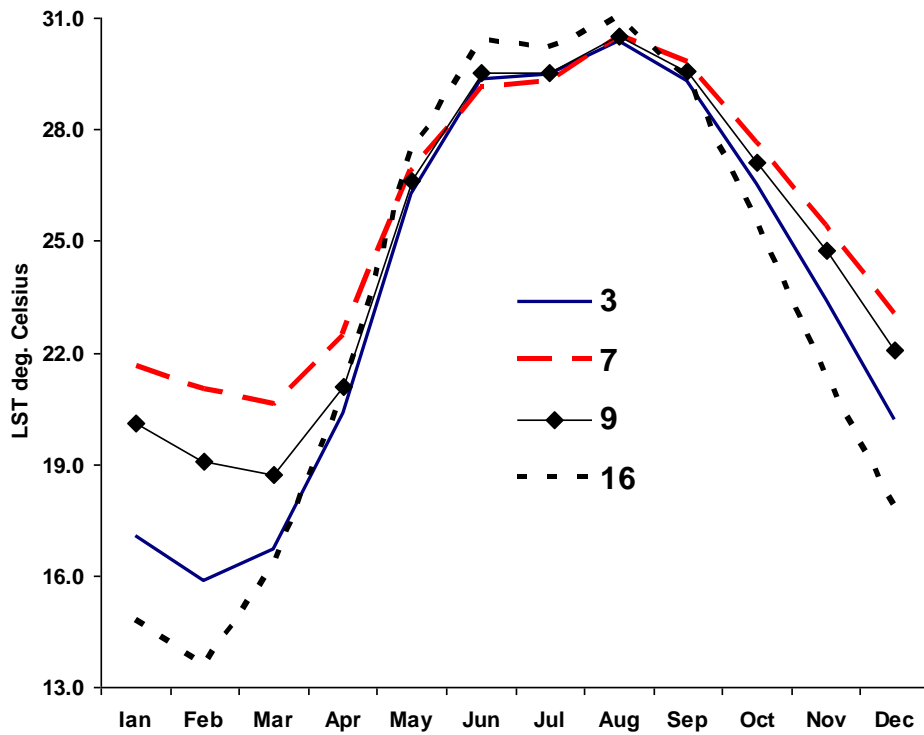
| Ταξεις | Ian  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 1      | 26.3 | 26.0 | 26.4 | 26.6 | 27.4 | 28.3 | 28.3 | 29.2 | 29.2 | 29.0 | 27.7 | 26.7 |
| 2      | 25.3 | 25.0 | 24.8 | 25.2 | 26.2 | 28.0 | 28.3 | 29.2 | 28.9 | 28.0 | 26.9 | 25.8 |
| 3      | 17.1 | 15.8 | 16.7 | 20.4 | 26.3 | 29.4 | 29.5 | 30.4 | 29.3 | 26.5 | 23.4 | 20.2 |
| 4      | 27.1 | 28.0 | 28.4 | 29.6 | 29.9 | 29.1 | 28.2 | 28.2 | 27.8 | 27.6 | 27.0 | 25.8 |
| 5      | 23.1 | 23.0 | 22.4 | 23.9 | 27.4 | 29.0 | 28.8 | 30.0 | 29.6 | 27.8 | 26.0 | 24.2 |
| 6      | 27.3 | 27.1 | 27.4 | 27.8 | 28.6 | 29.0 | 29.0 | 29.5 | 29.9 | 29.5 | 28.5 | 27.6 |
| 7      | 21.6 | 21.0 | 20.6 | 22.5 | 26.9 | 29.1 | 29.3 | 30.5 | 29.8 | 27.6 | 25.4 | 23.1 |
| 8      | 21.5 | 20.9 | 20.5 | 21.3 | 23.6 | 26.7 | 27.8 | 29.0 | 27.8 | 26.6 | 24.9 | 22.7 |
| 9      | 20.1 | 19.1 | 18.7 | 21.1 | 26.6 | 29.5 | 29.5 | 30.5 | 29.6 | 27.1 | 24.7 | 22.0 |
| 10     | 24.9 | 24.8 | 24.6 | 25.4 | 27.8 | 29.8 | 29.4 | 30.4 | 30.1 | 28.3 | 26.7 | 25.1 |
| 11     | 22.8 | 22.4 | 22.0 | 22.8 | 24.6 | 27.3 | 28.3 | 29.2 | 28.4 | 27.1 | 25.5 | 23.6 |
| 12     | 20.4 | 19.5 | 19.3 | 20.1 | 22.4 | 25.5 | 27.3 | 28.6 | 27.4 | 26.0 | 24.1 | 21.9 |
| 13     | 26.6 | 26.8 | 26.5 | 27.4 | 28.5 | 29.5 | 29.3 | 29.9 | 30.3 | 29.2 | 28.0 | 26.8 |
| 14     | 28.1 | 28.4 | 28.7 | 29.8 | 30.2 | 29.5 | 29.4 | 29.2 | 29.0 | 29.3 | 29.0 | 28.0 |
| 15     | 24.0 | 23.6 | 23.2 | 23.7 | 25.3 | 27.9 | 28.4 | 29.4 | 29.0 | 27.6 | 26.2 | 24.8 |
| 16     | 14.8 | 13.6 | 16.3 | 20.9 | 27.4 | 30.4 | 30.2 | 31.0 | 29.4 | 25.4 | 21.3 | 17.8 |



Γράφημα 3.3.4.1 : Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους



Εικόνα 3.3.4.7. : Ζούμ στην περιοχή μελέτης όπου εμφανίζονται οι τάξεις 3, 7, 9, 16



Γράφημα 3.3.4.2. : Γραφική αναπαράσταση ενός υποσυνόλου των κέντρων βάρους

## Κεφάλαιο Τέταρτο

### 4.1. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι τάξεις 16 και 3 (που προέκυψαν από την κατάτμηση των δεδομένων θερμοκρασίας) που είναι εγγυτέρα στην ακτογραμμή παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία τον χειμώνα από τις τάξεις 7 και 9 (Εικόνα 3.3.4.7, Γράφημα 3.3.4.2) . Επιπλέον η θερμοκρασία την καλοκαιρινή περίοδο είναι υψηλότερη και τείνει να ομογενοποιηθεί (είναι σχεδόν ίδια από σε όλες τις τάξεις) από Μάιο έως Σεπτέμβριο. Αυτό οφείλεται στην τροφοδοσία με ψυχρό νερό από τα ποτάμια της υδρολογικής λεκάνης του Μισισσιπή (μιας από τις μεγαλύτερες στον κόσμο). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει φυσική ανανέωση των νερών στην περιοχή και την μεταφορά ιζημάτων, μικροοργανισμών και θρεπτικών υλών που ανανεώνουν το οικοσύστημα.

Παρά όμως όλη αυτή την εξωγενή συνεισφορά από τις εκβολές του Μισισσιπή ένα χρόνο μετά, τα επίπεδα της χλωροφύλλης παραμένουν μηδενικά κατά μήκος της ακτογραμμής και κυρίως στην παράκτια ζώνη Βόρεια της πλατφόρμας εξόρυξης (Εικόνα 3.3.3.14, Πίνακας 3.3.3.1). Δηλαδή η παράκτια ζώνη και ειδικά η αβαθή περιοχή σε απόσταση 3-4 χλμ από την ακτογραμμή έχει πληγεί ανεπανόρθωτα από την πετρελαιοκηλίδα και θα χρειαστεί πολύ χρόνος για να ανακάμψει.

1. Οι αιτίες οφείλονται τόσο στην πρωτογενή μόλυνση από την πετρελαιοκηλίδα όσο και σε δευτερογενή αίτια που συσχετίζονται με τον τρόπο αντιμετώπισης της. Πιο συγκεκριμένα: η καταστροφή του πυθμένα (γκριλ, πλαγκτόν), η οποία αποτελεί και τροφή των μεγάλων θαλάσσιων θηλαστικών και καρχαριοειδών που τεκμηριώθηκε με τη δραματική μείωση των δελφινιών, φαλαινών και καρχαριών που ξεβράζονταν τα νεκρά στις ακτές της Λουϊζιάνα, του Μισισσιπή, της Αλαμπάμα και της Φλόριντα (Kaiser and Snyder, 2013, Murchison, 2011, Bianchi et al., 2011, Smith, 2010).
- Η χρήση της χημικής ουσία Corexit σε τεράστιες ποσότητες, (έναν τοξικό διαλύτη απαγορευμένο σε 20 χώρες) είχε επιπτώσεις που τεκμηριώθηκαν αφού πολλοί άνθρωποι

που εργάστηκαν συχνά εθελοντικά για το καθαρισμό της πετρελαιοκηλίδας έχασαν τη ζωή τους, κυρίως από καλπάζοντας μορφές καρκίνου. Η BP ισχυρίστηκε ότι η χρήση της Corexit είχε σκοπό την παρεμπόδιση της εξάπλωσης πετρελαίου στις ακτές όμως ο αληθινός στόχος ήταν η συγκάλυψη της έκτασης της μόλυνσης για τη ελαχιστοποίηση της ευθύνης της.

Δηλαδή ο Κόλπος του Μεξικού και ειδικότερα η παράκτια ζώνη (ένα χρόνο μετά το ατύχημα) απέναντι από την πλατφόρμα εξόρυξης έχει μετατραπεί σε μια οικολογική έρημο, ενώ η διαρκής τροφοδοσία με θρεπτικές ύλες και μικροοργανισμούς από τον Μισισιπή, δεν είναι σε θέση ένα χρόνο μετά να αναστρέψει την κατάσταση ανεβάζοντας έστω και ελάχιστα τα επίπεδα της χλωροφύλλης. Είναι προφανές ότι οι οργανισμοί που καταλήγουν στην ακτογραμμή έναντι του ατυχήματος πεθαίνουν εξ αιτίας της χημικής ρύπανσης του πυθμένα..

### 5.1. Συμπεράσματα

Η τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τη χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την παρακολούθηση των αλλαγών του περιβάλλοντος. Όπως καταδεικνύουν και οι εφαρμογές που παρουσιάστηκαν η χαρτογράφηση με βιοφυσικούς δείκτες συμβάλει στην παρακολούθηση των επιπτώσεων, στον εντοπισμό διαχρονικών αλλαγών.

Αναμφίβολα η επεξεργασία και χαρτογράφηση των δορυφορικών σημαντικό εργαλείο για τη διεξαγωγή προβλέψεων συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος και στην υποστήριξη και στο σχεδιασμό προγραμμάτων αποκατάστασης αυτού. Επιπρόσθετα σημαντική είναι και η χρησιμότητα τους στον περιβαλλοντικό και χωροταξικό σχεδιασμό.

Η μελέτη του Κόλπου του Μεξικού μέσω της χρήσης τηλεπισκοπικών μεθόδων έχει κατά το παρελθόν βοηθήσει στον εντοπισμό της κόκκινης παλίρροιας που κατά την δεκαετία του 1840 είχε σημειωθεί στις δυτικές ακτές της Φλόριντα. Οι επιστήμονες χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες μπόρεσαν να χαρτογραφήσουν την έκταση της κόκκινης παλίρροιας και στην συνέχεια να παρακολουθήσουν τον τρόπο εξάπλωσης του με τη πάροδο του χρόνου.

Οι κόκκινες παλίρροιες προκαλούνται από μικροσκοπικά φύκια που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του ωκεανού, περιστασιακά δίνοντας ένα κοκκινωπό-καφέ απόχρωση. Οι δορυφόροι ανιχνεύουν τις αλλαγές στον τρόπο που η επιφάνεια της θάλασσας αντανακλά το φως. Αυτές οι αλλαγές οφείλονται στην αλλαγή συγκέντρωσης της χλωροφύλλης που συνήθως οφείλεται στη συγκέντρωση των φυκιών αλλά και άλλων φυτών στον ωκεανό. Επιπλέον από το 2014 και μετά οι επιστήμονες μέσω της χρήσης δορυφορικών εικόνων μπόρεσαν να παρατηρήσουν την ανάπτυξη και την άνθιση των φυκιών στον Κόλπο του Μεξικού.



Στην παρούσα διπλωματική εργασία αποδείχθηκε ότι τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης με μέτρια χωρική διακριτική ικανότητα, και μεγάλη χρονική και φασματική διακριτική ικανότητα είναι σε θέση να εντοπίσουν τόσο περιβαλλοντικά ατυχήματα που συσχετίζονται με την καταστροφή πλατφόρμων εξόρυξης ενεργειακών πρώτων υλών όσο και να καταγράψουν την πορεία των πετρεαιοκηλίδων, και τις παράκτιες ζώνες που πλήττονται.

Επιπλέον τα βιοφυσικά δεδομένα (χλωροφύλλης και θερμοκρασίας) που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την μελέτη απέδειξαν ότι είναι δυνατόν να εντοπισθούν από θερμικά δεδομένα εκβολές ποτάμιων και υπόγειων υδάτων και να καταγράφουν τα ποσοστά της χλωροφύλλης στην παράκτια ζώνη προκειμένου να αξιολογηθεί η οικολογική δραστηριότητα και η ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος.

Πιο συγκεκριμένα αποδείχθηκε ότι:

- Τα θαλάσσια ύδατα εγγύτερα στην ακτογραμμή παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία τον χειμώνα από. Επιπλέον η θερμοκρασία την καλοκαιρινή περίοδο είναι υψηλότερη και τείνει να ομογενοποιηθεί σε όλο τον Κόλπο από Μάιο έως Σεπτέμβριο. Αυτό οφείλεται στην τροφοδοσία με ψυχρό νερό από τα ποτάμια της υδρολογικής λεκάνης του Μισισσιπή (μιας από τις μεγαλύτερες στον κόσμο). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει φυσική ανανέωση των νερών στην περιοχή και την μεταφορά ιζημάτων, μικροοργανισμών και θρεπτικών υλών που ανανεώνουν το οικοσύστημα.
- Παρά όμως όλη αυτή την εξωγενή συνεισφορά από τις εκβολές του Μισισσιπή ένα χρόνο μετά, τα επίπεδα της χλωροφύλλης παραμένουν μηδενικά κατά μήκος της ακτογραμμής και κυρίως στην παράκτια ζώνη Βόρεια της πλατφόρμας εξόρυξης. Δηλαδή η παράκτια ζώνη και ειδικά η αβαθή περιοχή σε απόσταση 3-4 χλμ από την ακτογραμμή έχει πληγεί ανεπανόρθωτα από την πετρελαιοκηλίδα και θα χρειαστεί πολύ χρόνος για να ανακάμψει.

Οι αιτίες οφείλονται τόσο στην πρωτογενή μόλυνση από την πετρελαιοκηλίδα όσο και σε δευτερογενή αίτια που συσχετίζονται με τον τρόπο αντιμετώπισης της.

Πιο συγκεκριμένα:

- Η καταστροφή του πυθμένα (γκριλ, πλαγκτόν), η οποία αποτελεί και τροφή των μεγάλων θαλάσσιων θηλαστικών και καρχαριοειδών που τεκμηριώθηκε με τη δραματική μείωση των δελφινιών, φαλαινών και καρχαριών που ξεβράζονταν τα νεκρά στις ακτές της Λουϊζιάνα, του Μισισιπή, της Αλαμπάμα και της Φλόριντα (Kaiser and Snyder, 2013, Murchison, 2011, Abbriano, 2011).
- Η χρήση της χημικής ουσία Corexit σε τεράστιες ποσότητες, (έναν τοξικό διαλύτη απαγορευμένο σε 20 χώρες) είχε επιπτώσεις που τεκμηριώθηκαν αφού πολλοί άνθρωποι που εργάστηκαν συχνά εθελοντικά για το καθαρισμό της πετρελαιοκηλίδας έχασαν τη ζωή τους, κυρίως από καλπάζοντας μορφές καρκίνου. Η BP ισχυρίστηκε ότι η χρήση της Corexit είχε σκοπό την παρεμπόδιση της εξάπλωσης πετρελαίου στις ακτές όμως ο αληθινός στόχος ήταν η συγκάλυψη της έκτασης της μόλυνσης για τη ελαχιστοποίηση της ευθύνης της.

Δηλαδή ο Κόλπος του Μεξικού και ειδικότερα η παράκτια ζώνη (ένα χρόνο μετά το ατύχημα) απέναντι από την πλατφόρμα εξόρυξης έχει μετατραπεί σε μια οικολογική έρημο, ενώ η διαρκής τροφοδοσία με θρεπτικές ύλες και μικροοργανισμούς από τον Μισισιπή, δεν είναι σε θέση ένα χρόνο μετά να αναστρέψει την κατάσταση ανεβάζοντας έστω και ελάχιστα τα επίπεδα της χλωροφύλλης. Είναι προφανές ότι, οι οργανισμοί που καταλήγουν στην ακτογραμμή έναντι του ατυχήματος πεθαίνουν εξ αιτίας της χημικής ρύπανσης του πυθμένα..

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αλεξόπουλος Α., (2009). Διεθνές Θαλάσσιο Περιβαντολογικό Δίκαιο. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
2. Μηλιαρέσης Γ., (2003). Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπηση. ΙΩΝ, Περιστέρι 243 σ.

## ΑΓΓΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

3. Abbriano R.M., Carranza M.M., Hogle S.L., Levin R.A., Netburn A.N., Seto K.L., Snyder S.M., Franks P.J.S., (2011). Deepwater Horizon Oil Spill: A Review of the Planktonic Response. *Oceanography* 24(3):294-301.
4. Ackleh A.S., Ioup G.E., Ioup J.W., Ma B., Newcomb J.J., Pal N., Sidorovskaia N.A., Tiemann C., (2012). Assessing the Deepwater Horizon oil spill impact on marine mammal population through acoustics: Endangered sperm whales, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(3):2306-14.
5. Adalsteinsson D., Camassa R., Harenberg S., Lin Z., McLaughlin R.M., Mertens K., Reis J., Schlieper W., White B., (2011). Subsurface Trapping of Oil Plumes in Stratification: Laboratory Investigations. In: Liu Y, MacFadyen A, Ji Z-G, Weisberg RH, editors. *Monitoring and Modeling the Deepwater Horizon Oil Spill: A Record-Breaking Enterprise*. Washington DC: AGU. p. 257-262.
6. Adams E.E., Socolofsky S.A., Boufadel M., (2013). Comment on “evolution of the macondo well blowout: simulating the effects of the circulation and synthetic dispersants on the subsea oil transport”. *Environmental Science & Technology*, 47(20):11905.
7. Adcroft A., Hallberg R., Dunne J.P., Samuels B.L., Galt J.A., Barker C.H., Payton D., (2010). Simulations of underwater plumes of dissolved oil in the Gulf of Mexico. *Geophysical Research Letters* 37.

8. Aeppli C., Carmichael C.A., Nelson R.K., Lemkau K.L., Graham W.M., Redmond M.C., Valentine D.L., Reddy C.M., (2012). Oil weathering after the deepwater horizon disaster led to the formation of oxygenated residues. *Environmental Science & Technology* 46(16):8799-807.
9. Alessandro W.D, Brusca K., Kyriakopoulos S., Bellomo S., Calabrese A., (2014). Geochemical traverse along the “Sperchios Basin – Evoikos Gulf” graben (Central Greece). Origin and evolution of the emitted fluids, *Marine and Petroleum Geology*, 55, 295-308.
10. Algorithm Theoretical Basis Document Instantaneous Photosynthetically Available Radiation and Absorbed Radiation by Phytoplankton, Version 7, [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod20.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod20.pdf), (Accessed 01/11/2014).
11. Algorithm Theoretical Basis Document, Version 4, [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod23.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod23.pdf). (Accessed 02/09/2014).
12. Ali A.O., Hohn C., Allen P.J., Ford L., Dail M.B., Pruet S., Petrie-Hanson L., (2014). The effects of oil exposure on peripheral blood leukocytes and splenic melanomacrophage centers of Gulf of Mexico fishes, *Marine Pollution Bulletin*, 79(1-2):87-93.
13. Allan S.E., Smith B.W., Anderson K.A., (2012). Impact of the Deepwater Horizon Oil Spill on Bioavailable Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Gulf of Mexico Coastal Waters, *Environmental Science & Technology* 46(4):2033-9.
14. Altwegg R., Crawford R.J.M., Underhill L G., Williams A.J., (2008). Long-term survival of de-oiled Cape gannets *Morus capensis* after the Castillo de Bellver oil spill of 1983, *Biological Conservation*, 141(7), 1924-1929.
15. Anastasakis G., Piper D. J.W., M. Dermitzakis, Karakitsios V., (2006). Upper Cenozoic stratigraphy and paleogeographic evolution of Myrtoon and adjacent basins, Aegean Sea, Greece, *Marine and Petroleum Geology*, 23 (3), 353-369.
16. Anderson S.S., Peterson C.H., Cherr G., Ambrose R., Anghera S., Bay S., Blum M.J., Condon R., Dean T., Graham W. et al., (2014). Understanding and Properly Interpreting the 2010 Deepwater Horizon Blowout. In: Somasundaran P, Patra P, Farinato RS, Papadopoulos K, editors. *Oil Spill Remediation: Colloid Chemistry-Based Principles and Solutions*. Wiley. p. 19-58.

17. AQUA (2013). Aqua Project Science. National Aeronautics and Space Administration, NASA . <http://aqua.nasa.gov/about/instruments.php>, (Accessed 7/10/2014).
18. Asanuma I., Muneyama K., Sasaki Y., Iisaka J., Yasuda Y., Emori Y.,(1986).Satellite thermal observation of oil slicks on the persian gulf, *Remote Sensing of Environment*, 19 (2), 171-186.
19. Atlas R., Hazen T.C., (2011). Oil biodegradation and bioremediation: A tale of the two worst spills in U. S. history. *Environmental Science & Technology* 45(16):6709-6715.
20. Baelum J., Borglin S., Chakraborty R., Fortney J.L., Lamendella R., Mason O.U., Auer M., Zemla M., Bill M., Conrad M.E., et al., (2012). Deep-sea bacteria enriched by oil and dispersant from the Deepwater Horizon spill. *Environmental Microbiology* 14(9):2405-16.
21. Barker C.H., (2011). A Statistical Outlook for the Deepwater Horizon Oil Spill In: Liu Y, MacFadyen A, Ji Z-G, Weisberg RH, editors. *Monitoring and Modeling the Deepwater Horizon Oil Spill: A Record-Breaking Enterprise*. Washington DC: AGU. p. 237-244.
22. Barnes, W.L., Pagano, T.S., Salomonson, V., (1998). Prelaunch characteristics of the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) on EOS-AMI.
23. Barras K., (2011). *International Marine Environmental Law (Oil Pollution), Operational Oceanography in the 21st Century*, 731-740.
24. Barron M. G., (2012). *Ecological Impacts of the Deepwater Horizon Oil Spill: Implications for Immunotoxicity, Gulf Breeze, toxicology pathology*, 40 (2), 315-320.
25. Batten S.D., Allen R.J.S., Wotton C.O.M., (1998). The effects of the Sea Empress oil spill on the plankton of the Southern Irish Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 36 (10) 764-774.
26. Beazley M.J., Martinez R.J., Rajan S., Powell J., Piceno Y.M., Tom L.M., Andersen G.L., Hazen T.C., Van Nostrand J.D., Zhou J. et al., (2012). Microbial Community Analysis of a Coastal Salt Marsh Affected by the Deepwater Horizon Oil Spill. *PLoS ONE*, 7(7):e41305.

27. Bejarano A.C., Levine E., Mearns A.J., (2013). Effectiveness and potential ecological effects of offshore surface dispersant use during the Deepwater Horizon oil spill: A retrospective analysis of monitoring data, *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(12):10281-10295.
28. Belanger M., Tan L., Askin N., Wittnich C., (2010). Chronological effects of the Deepwater Horizon Gulf of Mexico oil spill on regional seabird casualties. *Journal of Marine Animals and Their Ecology* 3(2):10-14.
29. Berninger J.P., Williams E.S., Brooks B.W., (2011). An initial probabilistic hazard assessment of oil dispersants approved by the United States National Contingency Plan. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30(7):1704-1708.
30. Bianchi T.S., Cook R.L., Perdue E.M., Kolic P.E., Green N., Zhang Y.L., Smith R.W., Kolker A.S., Ameen A., King G et al., (2011). Impacts of diverted freshwater on dissolved organic matter and microbial communities in Barataria Bay, Louisiana, USA. *Marine Environmental Research* 72(5):248-257.
31. Birkland T.A., Lawrence R.G., (2002). The Social and Political Meaning of the Exxon Valdez Oil Spill, *Spill Science & Technology Bulletin*, 7 (1–2) 17-22.
32. Boehm P.D., Page D.S., Neff J.M.Brown., J.S., (2011). Are sea otters being exposed to subsurface intertidal oil residues from the Exxon Valdez oil spill, *Marine Pollution Bulletin*, 62(3) 581-589.
33. Brown O.B., Minnett P.J, Evans R., Kearns E., Kilpatrick K., Kumar A., Sikorski R., Zavody A., (1999). MODIS Infrared Sea Surface Temperature Algorithm Algorithm, Theoretical Basis Document, Version 2.0, [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod25.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod25.pdf), (Accessed 02/04/2014).
34. Bulgarelli B., Djavidnia S., (2012). On MODIS Retrieval of Oil Spill Spectral Properties in the Marine Environment. *Ieee Geoscience and Remote Sensing Letters* 9(3):398-402.
35. Cai G., Huang X., Du M., Liu Y., (2010). Detection of natural oil seeps signature from SST and ATI in South Yellow Sea combining ASTER and MODIS data *International Journal of Remote Sensing*, 31, 17-18, 4869-4885.
36. Chakrabarty P., Lam C., Hardman J., Aaronson J., House P. H., Janies D.A., (2012). SPECIES MAP: a web-based application for visualizing the overlap of

distributions and pollution events, with a list of fishes put at risk by the 2010 Gulf of Mexico oil spill, *Biodiversity and Conservation*, Volume 21,7,1865-1876.

37. Courtot P., Morel G., (1986). Evolution of the Amoco-Cadiz Hydrocarbons in the River Aber-Benoit *Strategies and Advanced Techniques for Marine Pollution Studies*. NATO ASI Series 9, 327-356.
38. Cracknell A. P., Varotsos C. A., (2012). Satellite systems for studies of atmospheric ozone, *Remote Sensing and Atmospheric Ozone*, Springer Praxis Books, 79-147.
39. Cross A.M., (1992). Monitoring marine oil pollution using AVHRR data: observations off the coast of Kuwait and Saudi Arabia during January 1991. *Journal: International Journal of Remote Sensing* Volume 13, 4, 781-788.
40. Dauvin J.C., (2000). The Muddy Fine Sand *Abra alba*–*Melinna palmata* Community of the Bay of Morlaix Twenty Years After the Amoco Cadiz Oil Spill, *Marine Pollution Bulletin*, 40 (6), 528-536.
41. Dietzenbacher E., Mukhopadhyay K., (2006). An Empirical Examination of the Pollution Haven Hypothesis for India: Towards a Green Leontief Paradox, *Environmental and Resource Economics*, 36 (4) 427-449.
42. Gertler C., Yakimov M.M., Malpass M.C., Golyshin P.N., (2010). Shipping-Related Accidental and Deliberate Release into the Environment, *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology*, 243-256.
43. Gordon H. R. and Balch W.M., (1999). MODIS Detached Coccolith Concentration.
44. Gundlach E. R., (2005). Oil Spills, *Encyclopedia of Earth Science Series*, *Encyclopedia of Coastal Science* , 734-736.
45. Gundlach, E.R., and Hayes M.O., (1978). Vulnerability of Coastal Environments to Oil Spill Impacts. *Marine Technology Society*. 12 (4): 18-27.
46. Harold P.D., Souza A.S., Louchart P., Russell D., Brunt H., (2014). Development of a risk-based prioritisation methodology to inform public health emergency planning and preparedness in case of accidental spill at sea of hazardous and noxious substances (HNS), *Environment International*. 72, 157-163.
47. Hossein S.A., Cam M.A., (2012). Share market reaction to the BP oil spill and the US government moratorium on exploration, Australia, *Australian journal of management*,

- 37 (1) 61-76. [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod20.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod20.pdf), (Accessed 02/08/2014).
48. Irvine G.V., Mann D. H., Short J. W., (2006). Persistence of 10-year old Exxon Valdez oil on Gulf of Alaska beaches: The importance of boulder-armoring, *Marine Pollution Bulletin*, 52(9) 1011-1022.
49. Kaiser M. J., Snyder B. F., (2013). The Offshore Drilling Industry and Rig Construction in the Gulf of Mexico, *Lecture Notes in Energy*, 8.
50. Kendall L., Carder F., Chen R., and Hawes S. K., (2003). MODIS Ocean Science Team Algorithm Theoretical Basis Document Instantaneous Photosynthetically Available Radiation and Absorbed Radiation by Phytoplankton, Ver. 7, [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod20.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod20.pdf) (Accessed 14/9/2014).
51. Kuma S.V.V.A., Babu K. N., Shukla A. K., (2014). Comparative Analysis of Chlorophylla Distribution from SeaWiFS, MODIS-Aqua, MODIS-Terra and MERIS in the Arabian Sea, *Marine Geodesy*.
52. Leimgruber P., Christen C. A., Laborderie A., (2005). The Impact of Landsat Satellite Monitoring on Conservation Biology. *Environmental Monitoring and Assessment*, 106, (1-3), 81-101.
53. Lie O.E., Fuerstenau J., Bellas S., Tsifoutidis G. (2014). A Fresh Look at the Oil and Gas Potential of Greece. *GEOEXPRO* Vol.10, No.6, 24-29.
54. Lillesand T., Kiefer R.W., Chipman J. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*, 6th Edition John Wiley & Sons New York, 768 p.
55. Liu B., Li Y., Chen P., Guan Y., Han J., (2011). "Large oil spill surveillance with the use of MODIS and AVHRR images," *Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE)*, 1317,1320, 24-26.
56. Loveland T.R., Dwyer J.L. (2012): *Landsat: Building a strong future. Remote Sensing of Environment*, 122, 22-29.
57. Magnier TJ, Salomonson VV, 1991, Moderate Resolution Imaging Spectrometer-Tilt (MODIS-T).
58. Marnelis F., Roussos N., Rigakis N., Karakitsios V., (2007). Structural geology of the western Greece fold and thrust belt 1, (47) 14-17.



59. Mather P. (2004). Computer processing of Remotely-sensed images (3rd edition). John Wiley and Sons.
60. McCrea-Strub A., Kleisner K., Sumaila U. R, Swartz W., Watson R., Zeller D., Pauly D., (2011). Potential Impact of the Deepwater Horizon Oil Spill on Commercial Fisheries in the Gulf of Mexico Fisheries, 36, 7, 332-336.
61. Mei H., Yin Y., (2009). Studies on marine oil spills and their ecological damage, Journal of Ocean University of China 8, (3) 312-316.
62. Metcalf., Eddy., (2003). Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th ed, New York: McGraw-Hill.
63. Meyer-Arendt K.J., (1993). Geomorphic Impacts of Resort Evolution along the Gulf of Mexico Coast: Applicability of Resort Cycle Models, Tourism vs Environment: The Case for Coastal Areas, The GeoJournal Library, 26, 125-138.
64. Miliareisis G., (2013a). Thermal anomaly mapping from night MODIS imagery of USA, a tool for environmental assessment. Environmental Monitoring & Assessment 185(2):1601-1612.
65. Miliareisis G., Seymour K.ST. (2011). Mapping the spatial & temporal SST variations in Red Sea, revealing a probable regional geothermal anomaly from Pathfinder V5 data. Int. J. of Remote Sensing, 32(07):1825-1842.
66. Miliareisis G., Tsatsaris A. (2010). Thermal terrain modeling of spatial objects, a tool for environmental and climatic change assessment. Environmental Monitoring & Assessment, 164(1-4):561-572.
67. Miliareisis G., Tsatsaris A. (2011). Mapping the spatial and temporal pattern of day-night temperature difference in Greece from MODIS imagery. GIScience & Remote Sensing, 48(2):210-224.
68. Minnett P.J., Brown O. B., Evans R. H. Key., E. L, Kearns E. J., Kilpatrick K., Kumar A., Maillet K. A. and Szczodrak G., (2004) Sea-surface temperature measurements from the Moderate- Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on Aqua and Terra.
69. MODIS Web. (2013). National Aeronautics and Space Administration, NASA. <http://modis.gsfc.nasa.gov> (Accessed 14/9/2014).

70. MODIS Ocean Color (2013). National Aeronautics and Space Administration, NASA. <http://modis.gsfc.nasa.gov> (Accessed 14/9/2014).
71. NGE,(2013). Hopes for Greek Offshore Natural Gas Reserves. NATURAL GAS EUROPE. <http://www.naturalgaseurope.com/hopes-for-greek-offshore-natural-gas-reserves> (Accessed 18/11/2014).
72. Othumpangat S. and Castranova V., (2014).Oil Spills, In Encyclopedia of Toxicology (Third Edition), Academic Press, Oxford, 677-681.
73. Oudot J., Chaillan F., (2010). Pyrolysis of asphaltenes and biomarkers for the fingerprinting of the Amoco-Cadiz oil spill after 23 years, Comptes Rendus Chimiee 13(5) 548-552.
74. Pool C.A., (2006). Current Research on the Gulf Coast of Mexico, Journal of Archaeological Research, 14,3,189-241.
75. Ramírez-L.H., Guerrero-Z.A., (2012). Main Facts of the Oil Spill in the Gulf of Mexico, Experimental and Theoretical Advances in Fluid Dynamics, Environmental Science and Engineering, 491-496.
76. Rao P. S., M. F. Ansari, C. P. Gajrani, A. Kumar, P. Nema, S. Devotta (2006). Atmospheric Concentrations of Sulphur Dioxide in and Around a Typical Indian Petroleum Refinery. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 77 (2), 274-281.
77. Rees W.G. (2013). Physical Principal of Remote Sensing. (3rd edition). Cambridge University Press.
78. Reuters., (2012). Greece looks out to sea for gas wealth salvation .Center of geopolitical analyses. <http://www.reuters.com/article/2012/10/03/us-greece-gasidUSBRE8920KF201> (Accessed 18/11/2014).
79. Robinson P R., Shaheen E.I., Shaheen E I., (2006). Environmental Pollution Control,Practical Advances in Petroleum Processing, 395-447.
80. Salomonson V. V., Barnes W., Xiong J., Kempler S., Masuoka E., ( 2002). An Overview of the Earth Observing System MODIS Instrument and Associated Data Systems Performance, NASA/Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland.
81. Salomonson, V. V., Barnes, W. L., Maymon, P. W., Montgomery, H. E., & Ostrow,

- H., (1989). MODIS: advanced facility instrument for studies of the earth as a system.
82. Seelye Martin, 2004, *An Introduction to Ocean Remote Sensing*, Cambridge University Press, ISBN 0 521 80280 6.
83. Selby B., (2012). In re: Oil Spill by the Oil Rig Deepwater Horizon on the Gulf of Mexico, on April 20, 2010, Order, Aug. 26, 2011. *Harvard Environmental Law Review* 36(2):533-566.
84. Shavell S., (2011). Should BP Be Liable for Economic Losses Due to the Moratorium on Oil Drilling Imposed after the Deepwater Horizon Accident. *Vanderbilt Law Review* 64(6):1993-2008.
85. Sherman E.F., (2011). The BP Oil Spill Litigation and Evolving Supervision of Multidistrict Litigation Judges. *Mississippi College Law Review* 30(2):237-254.
86. Shultz J.M., Walsh L., Garfin D.R., Wilson F.E., Neria Y., (2014). The 2010 Deepwater Horizon Oil Spill: The Trauma Signature of an Ecological Disaster. *The Journal of Behavioral Health Services & Research*: In Press.
87. Smithson J., Venette S., (2013). Stonewalling as an Image-Defense Strategy: A Critical Examination of BP's Response to the Deepwater Horizon Explosion. *Communication Studies* 64(4):395-410.
88. Sole S., (2011). BP's Compensation Fund: A Buoy for Both Claimants and BP. *Journal of Corporation Law* 37(1):245-264.
89. Steadman D., Appleby T., Hawkins J., (2014). Minimising unsustainable yield: Ten failing European fisheries, *Marine Policy*, 48,192-201.
90. Steinzor RI, Havemann A., (2011). Too Big to Obey: Why BP Should Be Debarred. *William and Mary Environmental Law and Policy Review* 36(1):4.
91. Sterling L. B., (1982). Review of pollutants in petroleum refinery wastewaters and effect upon aquatic organisms, *Environment International*, 7 (4), 271-283.
92. Summerhays K., De Villiers CJ., (2012). Oil Company Annual Report Disclosure Responses to the 2010 Gulf of Mexico Oil Spill. *Journal of the Asia-Pacific Centre for Environmental Accountability* 18(2):103-130.
93. Sutton J., Spiro E., Butts C., Fitzhugh S., Johnson B., Greczek M., (2013). Tweeting the Spill: Online Informal Communications, Social Networks, and Conversational

- Microstructures during the Deepwater Horizon Oilspill, *International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management* 5(1):58-76.
94. Sylves R. T., Comfort L. K., (2010). The Exxon Valdez and BP Deepwater Horizon Oil Spills Reducing Risk in Socio-Technical Systems, *American behavioral Scientist*, 56 (1), 76-103.
  95. Sylves R.T., Comfort L.K., (2012). The Exxon Valdez and BP Deepwater Horizon Oil Spills, *American Behavioral Scientist* 56(1):76-103.
  96. Tabibzadeh M., Meshkati N., (2014). Learning from the BP Deepwater Horizon accident: risk analysis of human and organizational factors in negative pressure test. *Environment Systems and Decisions: In Press*.
  97. Teich J., Pemberton M., (2014). Epidemiologic Studies of Behavioral Health Following the Deepwater Horizon Oil Spill: Limited Impact or Limited Ability to Measure. *The Journal of Behavioral Health Services & Research: In Press*.
  98. Trevors J. T., Saier M. H., (2010). The Legacy of Oil Spills, *Water, Air, & Soil Pollution*, 221(1-4), 1-3.
  99. Tseng, W.Y, (1995). *International Journal of Remote Sensing*, 16, 18, 3481-3482.
  100. Uhlmann D.M., (2011). After the Spill is Gone: The Gulf of Mexico, Environmental Crime, and the Criminal Law. *Michigan Law Review* 109(8):1416-1461.
  101. Valvi A.C., Fragkos K.C., (2013). Crisis Communication Strategies: A Case of British Petroleum. *Industrial and Commercial Training* 45(7):1-1.
  102. Veil S.R., Sellnow T.L., Wickline M.C., (2013). British Petroleum: An Egregious Violation of the Ethic of First and Second Things. *Business and Society Review* 118(3):361-381.
  103. Veleva V.R., (2011). Response to Lewis's Lessons on Corporate "Sustainability" Disclosure from Deepwater Horizon, *New Solutions* 21(2):215-7.
  104. Vincent V., Salomonson, William Bames and Edward J. Masuoka, (2005). Introduction to MODIS and an Overview of Associated Activities.
  105. Vinnem J.E., (2014). Lessons from Macondo Accident. *Offshore Risk Assessment vol 1.: Springer London*. p. 165-177.

106. Vinogradov (2013). The Impact of the Deepwater Horizon: The Evolving International Legal Regime for Offshore Accidental Pollution Prevention, Preparedness, and Response, *Ocean Development & International Law* 44(4):335-362.
107. Walters A.B., Drescher C., Baczwaski B., Aiena B., Darden M., Johnson L., Buchanan E., Schulenberg S., (2013). Getting Active in the Gulf: Environmental Attitudes and Action Following Two Mississippi Coastal Disasters. *Social Indicators Research*: In Press.
108. Walton L.R., Cooley S.C., Nicholson J.H., (2012). A Great Day for Oiled Pelicans: BP, Twitter, and the Deep Water Horizon Crisis Response. *Public Relations Journal* 6(4):1-29.
109. Wan Z., (2008). New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products. *Remote Sensing of Environment*, 112, 59-74.
110. Wang Z., Fingas M., Page D.S., (1999). Oil spill identification. *Journal of Chromatography A*. 843: 369-411.
111. Watts M., (2012). A Tale of Two Gulfs: Life, Death, and Dispossession along Two Oil Frontiers. *American Quarterly* 64(3):437-467.
112. Werner D., Locke C., (2014). Impact of the Gulf Oil Spill on Mental Health in Alabama Coastal Communities: "The Loss of a Season". *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 32(1):64-81.
113. Wickman C., (2014). Rhetorical Framing in Corporate Press Releases: The Case of British Petroleum and the Gulf Oil Spill *Journal: Environmental Communication: A Journal of Nature and Culture*, 8, 1, 3-20.
114. Winkler D.T., Gordon B.L., (2013). The Effect of the BP Oil Spill on Volume and Selling Prices of Oceanfront Condominiums. *Land Economics* 89(4):614-631.
115. Woolfson C., (2012). Preventable disasters in the offshore oil industry: from Piper Alpha to Deepwater Horizon. *New Solutions* 22(4):497-524.
116. Xia X., (2006). Significant overestimation of global aerosol optical thickness by MODIS over land, *Chinese Science Bulletin*.51, 23, 2905-2912.

117. Xiao K., Xu H., (2010). "Detection of Oil Spill in Mexico Gulf Based on MODIS Data," *Multimedia Technology*, 1,4, 29-31.
118. Yu C.P., Fedosejevs G., Tiscareño-López M., Arnold J.G., (2005). Assessment of MODIS-EVI, MODIS-NDVI and VEGETATION-NDVI Composite Data Using Agricultural Measurements: An Example at Corn Fields in Western Mexico, *Environmental Monitoring and Assessment*. 119, (1-3) 69-82.
119. Zellmer S.B., Mintz J.A., Glicksman R.L., (2011). Throwing Precaution to the Wind: NEPA and the Deepwater Horizon Blowout. *George Washington Journal of Energy and Environmental Law* 2(2):62-70.
120. Zhou T., Wong K.V., (2004). Studying atmospheric exposure risks during oil spills using a localized computational model, *engineering for the maritime environment*, 218. (1) 23-30.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## Ακρωνύμια και Συμβολισμοί

**Θ.** : Θερμοκρασία

**SST** : θερμοκρασία θαλάσσης

**MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)**: Δορυφορικός Αισθητήρας

**ΣΓΠ**: Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών