ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

«Χαρτογράφηση των αλλαγών στην ακτογραμμή των νησιών Andaman, Nicobar, Ινδικός Ωκεανός με τη χρήση διαστημικών δεδομένων παρακολούθησης της γης»

Πτυχιακή εργασία του Σκλάβου Ευάγγελου Επιβλέπων καθηγητής: κ. Ι. Παρχαρίδης

Αθήνα, Φεβρουάριος 2008

<u>HEPIEXOMENA</u>

Πρόλογος	σελ.3
Περίληψη	σελ.4
Abstract	σελ.5
Εισαγωγή	σελ.6
Κεφάλαιο 1. Σεισμός και τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό.	σελ.7
1.1 Χαρακτηριστικά σεισμού	σελ 7
1.2 Χαρακτηριστικά των τσουνάμι	σελ. 11
1.3 Ανθρώπινες απώλειες από το τσουνάμι	σελ. 14
Κεφάλαιο 2. Ανθρωπογεωγραφικά στοιχεία γ	ια τα νησιά Nicobar,
Andaman	σελ. 17
2.1 Andaman	σελ.17
2.2 Nicobar	σελ. 18
Κεφάλαιο 3. Περιγραφή των χαρακτηριστικών τ	ων
Δορυφόρων	σελ. 20
3.1 Chris Proba	σελ. 20
3.2 Envisat	σελ 21
3.3 Ers 2	σελ. 23
Κεφάλαιο 4. Γεωγραφική κατανομή των επιπτώσεων	σελ. 26
Κεφάλαιο 5. Επεξεργασία διαχρονικών εικόνων για την	ανίχνευση
Αλλαγών	σελ. 38
5.1 Ειδικότερες επιπτώσεις στα νησιά Great, Little	
Nicobar	σελ. 46
Κεφάλαιο 6. Γενικά συμπεράσματα	σελ. 55
6.1 Η κατάσταση πριν το τσουνάμι του 2004	σελ. 56
6.2 Εξελίξεις μετά το τσουνάμι του 2004	σελ. 57
Κεφάλαιο 7. Βιβλιογραφία – Πηγές	σελ. 59

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στις 26 Δεκεμβρίου 2004 συνέβη ένας καταστροφικός σεισμός μεγέθους 9 της κλίμακας Ρίχτερ λίγο έξω από την Σουμάτρα, Ινδονησία. Ο σεισμός αυτός πυροδότησε το καταστροφικότερο τσουνάμι στην ιστορία προκαλώντας ζημιές σε 15 χώρες.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο « Χαρτογράφηση των αλλαγών στην ακτογραμμή των νησιών Andaman, Nicobar, Ινδικός Ωκεανός με τη χρήση διαστημικών δεδομένων παρακολούθησης της γης » έχει ως σκοπό την ανάδειξη των μεταβολών στην ακτογραμμή των περιοχών που επλήγησαν από τον σεισμό και το παραγόμενο τσουνάμι με έμφαση στα νησιά Andaman, Nicobar. Επεξεργαζόμενοι τα δορυφορικά δεδομένα πριν και μετά του τσουνάμι παραθέσαμε τις μεταβολές στην ακτογραμμή των νησιών αυτών και εξάγαμε τα συμπεράσματα μας πάνω στην οικολογική αυτή καταστροφή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Παρχαρίδη, ο οποίος με βοήθησε σε όλα τα στάδια της εργασίας μου και για την καθοριστική του συμβολή στην αποπεράτωση της. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Γεωγραφίας για την γνώση που μου παρείχαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου, οι οποίες με βοήθησαν στην σύνθεση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της εργασίας είναι να χαρτογραφηθούν οι αλλαγές στην ακτογραμμή των νησιών Andaman, Nicobar που βρίσκονται στο Ινδικό Ωκεανό εξαιτίας του σεισμού στις 26 Δεκεμβρίου 2004 που είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός καταστροφικού τσουνάμι που σάρωσε τις ακτές της Ινδονησίας, Μαλαισίας, Ταυλάνδης, Σρι Λάνκα, Ινδίας καθώς και της Βορειοδυτικής Αφρικής. Οι αλλαγές αυτές χαρτογραφήθηκαν με τη χρήση διαστημικών δεδομένων από την ESA.

Έμφαση δόθηκε στα νησιά Nicobar, Great και Little απ' όπου επεξεργαστήκαμε τις δορυφορικές εικόνες για να μπορέσουμε να διεξάγουμε τα συμπεράσματά μας για το μέγεθος της καταστροφής των ακτών. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε βάση του λογισμικού Erdas.

Στην εργασία αναφέρονται πρώτα κάποιες γενικές πληροφορίες για τον σεισμό και το μέγεθος του καθώς και για το παραγόμενο τσουνάμι. Επεξηγούνται αναλυτικά τα αίτια δημιουργίας του τσουνάμι, οι γεωγραφικές επιπτώσεις του και οι ανθρώπινες απώλειες που είχαμε. Παρουσιάζονται αναλυτικά φωτογραφίες, πριν το τσουνάμι και μετά, από τα νησιά που έχουν πληγεί και γίνεται μία αναφορά στους αυτόχθονες κατοίκους των νησιών αυτών ως προς τον τρόπο ζωής τους αλλά και την αντιμετώπισή τους από την κυβέρνηση της Ινδίας.

Κατόπιν γίνεται αναφορά στους 3 δορυφόρους απ'όπου αντλήσαμε τα δεδομένα, Chris Proba, Envisat, Ers2, επεξήγηση των δυνατοτήτων τους και των χαρακτηριστικών τους. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία των εικόνων που είχαμε μέσω του λογισμικού Erdas και με τη βοήθεια του περιβάλλοντος Google Earth καταφέραμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για την διάβρωση και τις αλλαγές στην ακτογραμμή των νησιών Great, Little Nicobar συγκρίνοντας εικόνες πριν και μετά τον σεισμό και το καταστροφικό τσουνάμι.

Τέλος, αναφέρονται κάποια γενικά συμπεράσματα και πολιτικές αντιμετώπισης για τέτοιες οικολογικές καταστροφές καθώς και τρόποι πρόληψης των τσουνάμι.

<u>ABSTRACT</u>

The intention of this assignment is to map the changes in the coastline of Andaman, Nicobar islands which are located in the Indian Ocean, because of the 26th of December earthquake resulting in a devastating tsunami wave which swept across the coasts of Indonesia, Malaysia, Thailand, Sri Lanka, India as well as Northwest Africa. These changes were mapped by the use of satellite data from ESA.

We emphasized on Andaman, Nicobar islands where we processed the satellite images to infer our conclusions for the magnitude of the coastline disaster. The data processing was performed on the basis of the operating program Erdas.

In this thesis we present some general information about the earthquake and the size of the tsunami wave, along with the explanation on how tsunamis are generated. We also present in general the affected areas with detailed satellite images and maps of pre and post tsunami. We estimate the total death toll and we summarize some facts about the life of the indigenous people of these islands and their treatment from the Indian Government.

Afterwards we summarize the potential and characteristics of the satellites, Chris Proba, Envisat, Ers2, from which we acquired the data. Then, we processed the satellite images with Erdas and with Google Earth we were able to monitor and verify the changes to the coastline of Andaman, Nicobar islands by comparing pre and post earthquake/tsunami images.

Finally, we reach our conclusion about such ecological disasters and we propose ways of dealing with natural disasters such as tsunami waves.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η χαρτογράφηση των αλλαγών στην ακτογραμμή των νησιών Andaman, Nicobar που βρίσκονται στον Ινδικό Ωκεανό. Οι αλλαγές στην ακτογραμμή προκλήθηκαν από τον σεισμό και το παραγόμενο τσουνάμι στις 26 Δεκεμβρίου 2004.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο παραθέτουμε κάποιες εισαγωγικές πληροφορίες για τον σεισμό, το μέγεθος του και το σημείο του επικέντρου του. Επίσης αναλύουμε τα χαρακτηριστικά και τα αίτια γένεσης ενός κύματος τσουνάμι, το μέγεθος της καταστροφής που προκλήθηκε εξαιτίας του και αναφέρουμε τις ανθρώπινες απώλειες.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρουμε πληροφορίες για τους αυτόχθονες κατοίκους των νησιών Andaman, Nicobar και κάνουμε μία ανθρωπογεωγραφική μελέτη. Επίσης παρουσιάζεται η στάση της Ινδικής κυβέρνησης απέναντι στους κατοίκους αυτούς και ο τρόπος που διοικεί τα νησιά αυτά.

Στο τρίτο κεφάλαιο έχουμε παρουσίαση και περιγραφή των χαρακτηριστικών των δορυφόρων απ' όπου αντλήσαμε τα δεδομένα μας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τις γεωγραφικές επιπτώσεις του παραγόμενου κύματος τσουνάμι και πως αυτό επηρέασε τις γειτονικές χώρες καθώς και τα γειτονικά νησιά Andaman. Παρατίθενται αναλυτικές εικόνες πριν και μετά το τσουνάμι για την καλύτερη κατανόηση της οικολογικής καταστροφής, ειδικά των κοραλλιογενών νήσων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι γεωγραφικές επιπτώσεις συγκεκριμένα στα νησιά που μας ενδιαφέρουν Great, Little Nicobar. Με την μελέτη διαχρονικών εικόνων επεξεργασμένων μέσω του λειτουργικού Erdas και με την βοήθεια του περιβάλλοντος Google Earth μπορέσαμε να επαληθεύσουμε τις μεταβολές στην ακτογραμμή και να εκτιμήσουμε το μέγεθος της καταστροφής.

Τέλος, εξάγουμε τα συμπεράσματα μας για αυτήν την οικολογική καταστροφή και προτείνουμε πιθανές λύσεις αντιμετώπισης μελλοντικών τσουνάμι.

Κεφάλαιο 1 : Σεισμός και τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό

1.1 Χαρακτηριστικά σεισμού

Η Ινδό-Αυστραλιανή πλάκα μετακινείται κάτω απ'την Ευρασιατική περίπου 70mm κάθε χρόνο. Οι πλάκες κλειδώνουν και μετακινούνται ελάχιστα για πολλά χρόνια ακόμα και αιώνες, η πίεση αυξάνεται αργά και σταθερά μέχρι που βρίσκει τρόπο να διοχετευθεί με τη μορφή καταστροφικών σεισμών. Αυτό έγινε και στις 26 Δεκεμβρίου το 2004 κάτω απ'τη Σουμάτρα και τη γραμμή ισοπέδωσης ανάμεσα στην Ινδό-Αυστραλιανή και Ευρασιατική πλάκα (εικ.1) (*Rosetto et al. 2006*)



Εικόνα 1. Χάρτης της περιοχής που έπληξε το τσουνάμι. Πηγή: www.andaman.org

Οι μεγάλες πλάκες συνήθως έχουν στις άκρες τους προσκολλημένες μικρότερες, οι οποίες κινούνται περισσότερο προς την κατεύθυνση των μεγάλων πλακών. Είναι συνήθως στην περιοχή εξαιρετικά γεωλογικά ενεργών γραμμών ισοπέδωσης. (*Banerjee et al. 2007*) Παρακάτω έχουμε ένα χάρτη που απεικονίζει την ρηξιγενή ζώνη της περιοχής Σουμάτρα-Andaman-Nicobar (εικ.2)



Εικόνα 2.Πηγή: Encarta encyclopedia

Στις 26 Δεκεμβρίου του 2004 συνέβη ένας υποθαλάσσιος σεισμός στις (07:58:53 τοπική ώρα) με επίκεντρο την δυτική ακτή της Σουμάτρας στην Ινδονησία (εικ.3). Ο σεισμός αυτός πυροδότησε μία σειρά καταστροφικών τσουνάμι στις ακτές των περισσότερων περιοχών που βρέχονται απ'τον Ινδικό Ωκεανό σκοτώνοντας μεγάλο αριθμό ανθρώπων και πλημμυρίζοντας τις περιοχές κατά μήκος της Νότιας και Νοτιοανατολικής Ασίας, συμπεριλαμβανομένης και της Ινδονησίας, Σρι Λάνκας, Ινδίας και Ταυλάνδης. (Lay et al. 2005)

Στα νότια της Σουμάτρας έχουν καταγραφεί σεισμοί το 1797, το 1833 και το 1861 περίπου 8R με 9R (*Newcomb & McCann 1987*), ισχυροί σεισμοί, σε αντίθεση με την περιοχή που συνέβη η σεισμική δόνηση η οποία δεν είχε δώσει ισχυρές σεισμικές δονήσεις (πάνω από 8 ρίχτερ). Παλαιογεωδετικές μελέτες βασισμένες σε χρόνιες έρευνες δείχνουν ότι σεισμοί τέτοιας έντασης συμβαίνουν κάθε 200 με 300 χρόνια σε αυτήν την περιοχή. (*Natawidjaja et al. 2004*) Σε διάρκεια δύο μηνών μετά την κύρια σεισμική δόνηση περίπου άλλοι 1000 σεισμοί καταγράφηκαν εκ των οποίων οι 100 είχαν μέγεθος ίσο ή πάνω από 5 R. (*Anu & Rajendran 2006*



Εικόνα 3. Το επίκεντρο του σεισμού. Πηγή: Encarta encyclopedia



Εικόνα 4 Πηγή:Encarta encyclopedia

Εικόνα 5, Σεισμολογική απεικόνιση

Παρακάτω απεικονίζεται η εξέλιξη της διάρρηξης από τα 30 μέχρι τα 420 δευτερόλεπτα μετά την σεισμική δόνηση (εικ.6). Ολόκληρο το φαινόμενο διήρκεσε 8 λεπτά (480 sec περίπου). Το επίκεντρο φαίνεται από το κόκκινο αστέρι έξω απ΄το νησί Simeulue κοντά στη Σουμάτρα (*Song, 2005*) (εικ. 4).



Εικόνα 6. Τα στάδια της διάρρηξης Πηγή: Encarta encyclopedia

Ο σεισμός αρχικά εκτιμήθηκε σε 9.0 της κλίμακας Richter. Τον Φεβρουάριο του 2005 επιστημονικές έρευνες αναθεώρησαν το μέγεθος σε 9.3. Το επίκεντρο του κυρίως σεισμού ήταν (3°19'N 95°51.24'E) ,περίπου 160χμ. δυτικά της Σουμάτρας, σε βάθος 30χμ. του μέσου ύψους της θάλασσας. (*Rosetto et al. 2006.*)

Η ολική ενέργεια του σεισμού ήταν περίπου 3,35 exajoules, όσο δηλαδή 930 τεραβατ ώρες. Εξαιτίας της τεράστιας ενέργειας που εκλύθηκε ο σεισμός προκάλεσε δονήσεις σε όλο τον κόσμο κυρίως μέσω των κυμάτων με αύξηση του ύψους τους κατά 1εκ. σε όλη τη γη. Επίσης η περιστροφή της γης διαφοροποιήθηκε με αποτέλεσμα να μικρύνει το μέγεθος της μέρας κατά 2,68 μικρο δευτερόλεπτα. (Leclerc et al. 2007) Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζεται ο χρόνος που έκανε το τσουνάμι να φτάσει στις περιοχές οι οποίες επλήγησαν από το καταστροφικό αυτό κύμα.

Χώρα	Απόσταση από το	Χρόνος άφιξης του
	επίκεντρο σε χμ.	τσουνάμι σε ώρες:λεπτά
Ινδονησία	116	0:10
Ταυλάνδη	610	2:10
Σρι λάνκα (Αν. Ακτή)	1690	2:00
Σρι λάνκα (Colombo)	1797	
Ινδία	2053	2:20
Μαλδίβες	2499	3:00
Σομαλία	5300	
Τανζανία	6314	

Πίνακας 1 Χρόνος άφιξης του τσουνάμι Πηγή: Rosetto et al. 2006.

1.2 Χαρακτηριστικά των τσουνάμι

Ο όρος τσουνάμι προέρχεται από τις ιαπωνικές λέξεις τσου που σημαίνει λιμάνι και νάμι που σημαίνει κύμα. Τα τσουνάμι είναι γιγαντιαία κύματα και προκαλούν τεράστιες καταστροφές στις παράκτιες περιοχές. (*Fujii & Satake., 2007*)

Τα αίτια γένεσης των τεράστιων αυτών κυμάτων είναι κατακόρυφες μετατοπίσεις του θαλάσσιου νερού που προκαλούνται από υποθαλάσσιους σεισμούς, οι οποίοι με τη σειρά τους προκαλούνται από την απότομη μετατόπιση κατά μήκος ενός υποθαλάσσιου ρήγματος. Τα τσουνάμι προκαλούνται συνήθως από σεισμούς μεγαλύτερους των 6,5 βαθμών Richter και εστιακού βάθους μικρότερου από 50 χμ. Δεν δημιουργούν τσουνάμι όλοι οι υποθαλάσσιοι σεισμοί. Η δημιουργία τους εξαρτάται από τη φύση και το μέγεθος της μετατόπισης του νερού πάνω από το σεισμικό επίκεντρο.

Δεύτερη αιτία γένεσης είναι οριζόντιες μετατοπίσεις της στήλης του νερού σαν αποτέλεσμα των δονήσεων του σεισμού. Ακόμα και σεισμοί που συμβαίνουν στην ξηρά μπορεί να προκαλέσουν τσουνάμι αν συμβούν κοντά σε ακτές.

Τρίτη αιτία γένεσης είναι η μετατόπιση του θαλάσσιου νερού με σχετική βιαιότητα που μπορεί να προκληθεί από ηφαιστειακές εκρήξεις και τέταρτον τσουνάμι προκαλούνται και από μεγάλης έκτασης υποθαλάσσιες κατολισθήσεις. (*Helal & Mehanna,* 2007)

Στην περίπτωση της μετατόπισης του θαλάσσιου πυθμένα, για κάποιον από τους λόγους που προαναφέρθηκαν, η στάθμη της θάλασσας ακριβώς πάνω από την περιοχή της υποχώρησης του πυθμένα πέφτει καθώς το νερό τείνει να πληρώσει τον κενό χώρο που δημιουργήθηκε από την μετατόπιση. Το νερό της επιφάνειας τότε ορμά βίαια στην περιοχή που έπεσε η θαλάσσια στάθμη για να αποκαταστήσει το επίπεδο της θάλασσας. Η αντιστάθμιση όμως είναι υπερβολική δημιουργώντας μια τοπική αύξηση της θαλάσσιας στάθμης που στη συνέχεια διαδίδεται προς τις ακτές σαν κύμα τσουνάμι. (Dutykh., 2007)

Τα κύματα αυτά διαθέτουν κάποια χαρακτηριστικά που τα κάνουν να ξεχωρίζουν. Καθώς ένα τσουναμι αρχίζει να διαδίδεται στον ωκεανό έχει τεράστιο μήκος κύματος που μπορεί να φτάσει και τα 500 χιλιόμετρα. Το ύψος του είναι πολύ μικρό φθάνοντας μόλις το 1 μέτρο και η περίοδος ποικίλει από 10 λεπτά έως και 2 ώρες. Εξαιτίας αυτών των χαρακτηριστικών του τσουναμι τα πλοία που κινούνται στην ανοιχτή θάλασσα, μακριά από τις ακτές, δεν αντιλαμβάνονται καθόλου την ύπαρξη των κυμάτων αυτών και φυσικά δεν διατρέχουν κανένα κίνδυνο. Η ταχύτητα την οποία αποκτούν τα κύματα αυτά είναι πολύ μεγάλη φθάνοντας τα 1000 χμ. την ώρα. Το ίδιο μεγάλη είναι και η ενέργεια την οποία μεταφέρουν. (Segur ,2006)

Όπως συμβαίνει με όλα τα κύματα όταν ένα τσουνάμι προσεγγίζει την ακτή και σταδιακά διαδίδεται σε ρηχά νερά, δηλαδή καθώς προσεγγίζει την υφαλοκρηπίδα, η ταχύτητα του μειώνεται, το ίδιο και το μήκος του ενώ το ύψος του αυξάνεται σημαντικά φθάνοντας μέχρι και 40μ.. Στο μεγάλο αυτό ύψος οφείλεται η καταστροφικότητα των κυμάτων αυτών. Προσεγγίζοντας την ακτή μπορούν να υποστούν διάθλαση σύγκλιση και απόκλιση συγκεντρώνοντας την ενέργεια τους σε συγκεκριμένα τμήματα της ακτής προκαλώντας τεράστιες καταστροφές σε παράκτιες περιοχές. (Dutykh, Dias, Kervella, ., 2006)

Ένα γεγονός τσουνάμι συνήθως δεν προκαλεί ένα μεμονωμένο κύμα αλλά μια σειρά κυμάτων που επηρεάζουν απανωτά μια ακτογραμμή για πάνω από 24 ώρες. Το πρώτο κύμα που φθάνει στην ακτή συνήθως δεν είναι το πιο καταστροφικό. Αν η άφιξη ενός τέτοιου κύματος στην ακτή αντιστοιχεί σε μια κοιλιά (trough) τότε το νερό μπορεί να αποσυρθεί εντελώς και να αποκαλυφθεί ο βυθός.

Από τα καταστροφικά τσουνάμι, το 90% συμβαίνουν στον Ειρηνικό ωκεανό. Τα περισσότερα τσουνάμι δημιουργούνται κατά μήκος μιας περιοχής που λέγεται ring of fire. Η ζώνη αυτή έχει μήκος 40000 χμ., περικυκλώνει τον Ειρηνικό ωκεανό και χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα. Υπολογίζεται ότι κατά μέσο όρο 2 τέτοια γεγονότα συμβαίνουν ετησίως. (*Abe., 1973*)

Η πρόγνωση των τσουνάμι είναι αρκετά δύσκολη αφού και το γενεσιουργό τους αίτιο που είναι ο σεισμός δεν μπορεί ακόμη να προβλεφθεί. Στα πλαίσια της προσπάθειας πρόγνωσης εντάσσεται η λειτουργία κέντρων προειδοποίησης τσουνάμι τα οποία προσπαθούν να ειδοποιήσουν αμέσως μετά τη δημιουργία ενός σεισμού που μπορεί να προκαλέσει ένα τέτοιο κύμα. Τα στοιχεία που προκύπτουν από σεισμογράφους, που εκτιμούν τη θέση και το μέγεθος των σεισμικών γεγονότων, συνδυάζονται με τη χρήση μοντέλων που μπορούν να εκτιμήσουν το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να φθάσουν τα κύματα αυτά καθώς και την ενέργεια που πιθανά καταναλώσουν σε

12

διάφορες παράκτιες περιοχές. Η στατιστική επεξεργασία των ήδη καταγεγραμμένων τσουνάμι βοηθά στην χαρτογράφηση των περιοχών και την ένταξη τους σε κάποιο βαθμό επικινδυνότητας. Οι παράκτιες περιοχές που διατρέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο είναι αυτές που έχουν χαμηλό υψόμετρο (συνήθως θεωρούνται αυτές που βρίσκονται κάτω από τα 10μ.).

Αρκετοί επιστήμονες που ασχολούνται με τη μελέτη του παράκτιου χώρου κάνουν έρευνες για τον εντοπισμό περιοχών που παλαιότερα επλήγησαν από τσουνάμι. Οι έρευνες αυτές περιλαμβάνουν τη μελέτη των παράκτιων ιζημάτων με σκοπό τον εντοπισμό στρωμάτων από υλικά που δείχνουν μια προέλευση από το βυθό βαθιάς θάλασσας που μπορούν να αποτεθούν στην ακτή μόνο από την επίδραση ενός τέτοιου γεγονότος. Το πάχος των στρωμάτων αυτών καθώς και η εξάπλωση του μπορεί να δώσει πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του παλαιο-τσουνάμι που το προκάλεσε. Πράγματι έχουν εντοπισθεί αρκετές περιοχές σε όλη τη γη που επλήγησαν από παλαιοτσουνάμι. Τέτοιες περιοχές είναι η χερσόνησος Καμτσάτκα της Ρωσίας που βρέχεται από τον Ειρηνικό ωκεανό όπου έχουν εντοπισθεί 40 διαφορετικά θαλάσσια στρώματα που αποδίδονται σε ισάριθμα μεγάλα τσουνάμι που προκλήθηκαν από μεγάλους σεισμούς

(Ε. Καρύμπαλης, 2004, Σημειώσεις Παράκτιας Γεωμορφολογίας, Αθήνα, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Τμήμα Γεωγραφίας)

1.3 Ανθρώπινες απώλειες από το τσουνάμι

Το τσουνάμι αυτό συγκαταλέγεται στις πιο καταστροφικές συνέπειες που έχει βιώσει η ανθρωπότητα τα πρόσφατα χρόνια από σεισμό και ήταν παγκοσμίως η τρίτη μεγαλύτερη καταστροφή που προκαλείται από κυματική δραστηριότητα. (Levy and Gopalakrishnan, 2005). Τα κύματα τσουνάμι δημιουργούνται από μεγάλου μεγέθους θαλάσσιες αναταραχές , όπως μετατοπίσεις του θαλάσσιου πυθμένα από σεισμικές δονήσεις, ηφαιστειακές εκρήξεις, υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, υποθαλάσσιες εκρήξεις ή συγκρούσεις μετεωριτών με τον ωκεανό (Bourgeois et al., 1988; Hills and Goda 1998; Bryant, 2001 ; Gedik et al. 2005; Ramachandran et al. 2005 ; Rasheed et al. 2006). Στον Ειρηνικό Ωκεανό τα τσουνάμι είναι ένα συχνό φαινόμενο, δεδομένου της σεισμογενούς περιοχής. Καταστροφικά τσουνάμι έχουν σαρώσει περιοχές στον Ατλαντικό και Ινδικό Ωκεανό (Murty and Barat, 1999 ; Altinok and Ersoy, 2000 ; Besana et al. 2004). Τον Δεκέμβριο του 2004 όμως το παραγόμενο τσουνάμι ήταν το πιο καταστροφικό και το πιο φονικό στην Ασιατική Ήπειρο.

Ταξίδεψε χιλιάδες χιλιόμετρα το κύμα αυτό σπέρνοντας την καταστροφή στις ακτές της Ινδονησίας, Ταϊλάνδης και Σρι Λάνκα προκαλώντας ανεπανόρθωτες ζημιές και σκορπώντας τον θάνατο (*Ioualalen et al. 2007*).

Ο σεισμός αυτός είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος καταγεγραμμένος διεθνώς καθώς και είναι μεγαλύτερος σε διάρκεια (500 δευτερόλεπτα) προκαλώντας σεισμό και σε απομακρυσμένες περιοχές όπως η Αλάσκα. Το παραγόμενο τσουνάμι έφτασε τα 30 μ. ύψος και προκάλεσε ζημιές και θανάτους ακόμα και μέχρι την Αφρική, 8.000χμ. μακριά απ'το επίκεντρο. (*Ammon et al. 2005*)

Συνολικά 8 ανθρώποι έχασαν τη ζωή τους στην νότιο Αφρική εξαιτίας της ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας. Ο αριθμός των θυμάτων φθάνει τις 400.000 περίπου και συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

14

Χώρες	Νεκροί	Τραυματίες	Άστεγοι	Σχόλια
Ινδονησία	320,000	100,000	700,000	Μόνο το νότιο κομμάτι της
				Σουμάτρα επηρεάστηκε
Σρι Λανκα	44,000	35,000	580,000	
Ιδία	22,000	-	380,000	Περίπου 14,500 πεθάναν στην
				ανατολική ακτή της Ινδίας και
				στα νησιά Andaman, Nicobar.
				Από τους 350,000 κατοίκους
				των νησιών αυτών πάνω από
				7,500 πεθάναν. Από τα δύο
				νησιά το Nicobar επλήγησε πιο
				πολύ.
Ταυλάνδη	14,000	8,500	-	Ανάμεσα στους νεκρούς ήταν
				πάνω από 2,400 ξένοι, κυρίως
				τουρίστες.
Μπούρμα	800	45	3,200	
Σομαλία	300	-	5,000	
Μαλδίβες	134	-	20,000	
Μαλαισία	75	300	-	
Τανζανία	10	-	-	
Σευχέλλες	3	-	-	
Μπαγκλαντές	2	-	-	
Νοτιος Αφρική	2	-	-	
Κένυα	1	2	-	
Υεμένη	1	-	-	
Σύνολο	400,000	144,000	1,600,000	

Πίνακας 2 Ο αριθμός των θυμάτων από το τσουνάμι Πηγή: www.andaman.org

Στις περιοχές αυτές, εξαιτίας και της τουριστικής περιόδου όπου συνέβη η καταστροφή είχε σαν αποτέλεσμα να έχουμε απώλειες τουριστών που συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Χώρα προέλευσης	Νεκροί, αγνοούμενοι (θεωρημένοι νεκροί)
Γερμανία	619
Σουηδία	575
Μεγάλη Βρετανία	248
Ιταλία	210
Νέα Ζηλανδία	209
Φινλανδία	189
Н.П.А.	169
Ελβετία	157
Αυστρία	114
Γαλλία	96
Ιαπωνία	93
Νορβηγία	84
Δανία	47
Αυστραλία	41
Χονγκ Κονγκ	40
Ολλανδία	39
Καναδάς	36
Νότιος Κορέα	20
Κίνα	18
Ουκρανία	17
Φιλιππίνες	15
Νοτιος Αφρική	15
Πολωνία	11
Αλλες	110

Πίνακας 3 Αριθμός θυμάτων, τουριστών, από το τσουνάμι Πηγή:

www.andaman.org

<u>Κεφάλαιο 2 : Ανθρωπογεωγραφικά στοιχεία για τα νησιά Nicobar,</u> <u>Andaman</u>

Τα νησιά αυτά βρίσκονται στον κόλπο της Βεγγάλης και αποτελούνται από 572 νησιά σύνολο. Η συνολική περιοχή έχει έκταση 8,249τχμ (Andaman-6,408 και Nicobar-1841). Πρωτεύουσα είναι το Port Blair.. Η θερμοκρασία ποικίλει από τους 23 στους 30 βαθμούς Κελσίου. Η υγρασία είναι στο 70 με 90% και το ποσοστό βροχόπτωσης είναι 3000 mms περίπου.

Τα νησιά αυτά είναι υπό την διοίκηση της Ινδίας και είναι χωρισμένα σε δύο περιφέρειες, την περιφέρεια Andaman και την περιφέρεια Nicobar. Η Ινδική κυβέρνηση έχει απαγορεύσει την είσοδο στα νησιά Nicobar παρά μόνο ειδικής άδειας και γενικότερα μη Ινδοί πολίτες απαγορεύεται να επισκεφθούν τα νησιά αυτά. (www.andaman.org/BOOK/chapter8/text8.htm)

2.1 Andaman

Τα νησιά Andaman ανέρχονται στα 550 εκ των οποίων τα 26 κατοικούνται. Το βορειότερο νησί είναι ο Landfall και το νοτιότερο το Μικρό Andaman. Το ψηλότερο σημείο είναι 732 μ. και βρίσκεται στο Βόρειο Andaman.

Υπάρχουν πέντε μεγάλα νησιά τα οποία είναι γνωστά ως Great Andaman που αποτελούνται από τα νότιο Andaman, βόρειο Andaman, μεσαίο Andaman, Baratang και Rutland. 4 στενοί πορθμοί χωρίζουν τα νησιά αυτά, το στενό του Austin μεταξύ βόρειου και μεσαίου Andaman, το στενό του Homfray μεταξύ μεσαίου Andaman και Baratang, το στενό του μεσαίου Andaman μεταξύ Baratang και νοτίου Andaman και το στενό του Macpherson μεταξύ νοτίου Andaman και Rutland το οποίο είναι και το μόνο στενό απ'το οποίο μπορούν να περάσουν πλοία. Μαζί με τα κύρια νησιά είναι και τα νησιά Landfall στο βορειότερο άκρο.

Η περιοχή των νησιών Andaman είναι το μόνο μέρος στην Ινδία με ενεργό ηφαίστειο, στο νησί Barren βορειοανατολικά του Port Blair. Επανήλθε στην ενεργό

δράση μετά από 200 περίπου χρόνια και εξερράγη τον Μάιο του 2005 με πιθανή εξήγηση τον σεισμό του 2004 και την επίδραση των τεκτονικών πλακών.

Ο συνολικός πληθυσμός ανέρχεται στους 314,239. Οι κάτοικοι των Andaman είναι δύο ειδών, οι αυτόχθονες ή Αβοριγίνες και οι μετανάστες. Πριν το 1858 τα νησιά Andaman κατοικούνταν μόνο από αυτόχθονες και μετά από τη συνθήκη του Penal και την Ινδική εξέγερση μη αυτόχθονες μπήκαν στην περιοχή.

Οι Αβοριγίνες αποτελούνται από 4 φυλές, τους Great Andamanese, Onges, Jarawas, και τους Sentinelese. Οι φυλές αυτές ανήκουν στη μεγάλη φυλή Negrito.

Η πρώτη φυλή είναι εγκατεστημένη στο νησί Strait και ήταν η πολυπληθέστερη φυλή πριν από την παγίωση της συνθήκης Penal. Κατόπιν διάφορες ασθένειες όπως γρίπη κατέκλυσαν τους ιθαγενείς και μείωσαν τον αριθμό τους σε μόλις 44.

Οι Onges είναι από τις πιο πρωτόγονες φυλές στην Ινδία. Κατοικούν στο Μικρό Andaman. Είναι κυρίως κυνηγοί. Έχουν βοηθηθεί από την κυβέρνηση με τρόφιμα, φάρμακα και στέγαση όπως και οι Great Andamanese και ο τωρινός πληθυσμός τους είναι 105.

Οι Jarawas κατοικούν στην δυτική ακτή του Μεσαίου Andaman και των Νότιων περιοχών. Είναι επιθετικοί και πολλές φορές κάνουν επιδρομές σε κοντινές περιοχές λεηλατώντας. Οι συγκεκριμένοι συνεχίζουν να κυνηγούν και να ζουν νομαδικά όντας πλήρως αυτάρκεις, κατασκευάζουν μόνοι τους τα όπλα τους και σιτίζονται χωρίς τη βοήθεια της κυβέρνησης. Επίσης ζουν σε προσωρινές καλύβες και είναι 300 συνολικά που ζουν αυτή τη στιγμή.

Οι Sentinelese κατοικούν στο μικρό βόρειο νησί Sentinel. Και αυτοί είναι επιθετικοί επίσης στους ξένους. Κυνηγούν και ψαρεύουν με τη βοήθεια κανό και στεγάζονται και αυτοί σε πρόχειρες καλύβες. Κυκλοφορούν γυμνοί και ο πληθυσμός τους υπολογίζεται στους 100.(www.andaman.org/BOOK/chapter8/text8.htm)

2.2 Nicobar

Τα νησιά Nicobar αποτελούνται από 22 νησιά από τα οποία μόνο τα 12 έχουν κατοίκους. Το βορειότερο νησί είναι του γκρουπ είναι το Car Nicobar. Το νοτιότερο είναι το γνωστό ως σημείο του Πυγμαλίωνα και απέχει 92 μίλια από τη Σουμάτρα.

Αποτελούνται από 3 υποπεριφέρειες, την βόρεια με το Car Nicobar και το ακατοίκητο Batti Malv, την κεντρική με τα νησιά Chowra, Teressa, Poahat, Katchall, Camorta, Nancowry, Trinket και το Tillangchong το οποίο είναι ακατοίκητο και αποτελεί καταφύγιο άγριας ζωής, και τέλος την νότια από τα Great Nicobar, Little Nicobar, Kondul, Puolomilo και άλλα μικρά νησάκια.

Το Car Nicobar έχει σχεδόν επίπεδη επιφάνεια και παρουσιάζει πολύ λίγους λόφους και βράχους στο εσωτερικό του. Τα νησιά Nacowry και Kamorta αποτελούν λιμάνια με το λιμάνι του πρώτου να αποτελεί ένα από καλύτερα και ασφαλέστερα λιμάνια του κόσμου.

Το νησί Katchal είναι ένα από τα μεγαλύτερα νησιά του γκρουπ και είναι και αυτό επίπεδο στο μεγαλύτερο τμήμα του.

Το Great Nicobar είναι το μεγαλύτερο νησί στο γκρουπ και είναι ως επί το πλείστον βραχώδες και ανισόπεδο. Το όρος Thullier έχει υψόμετρο 2,105 πόδια και είναι η ψηλότερη κορυφή. Το Little Nicobar είναι και αυτό γεμάτο λόφους. Τα νησιά αυτά χωρίζονται από τα Andaman 145χμ.

Οι άνθρωποι που ζουν στα νησιά αυτά ανέρχονται στους 42,068 εκ των οποίων το 70% περίπου είναι ιθαγενείς. Η περιφέρεια χωρίζεται σε δύο φυλές, τους Nicobari και τους Shompen. Οι πρώτοι είναι και οι πολυπληθέστεροι και κατοικούν σχεδόν σε όλα τα νησιά με τους δεύτερους να αποτελούν νομαδική φυλή και να κατοικούν σε πολύ μικρές εκτάσεις στο Great Nicobar.

Οι Nicobarese είναι 27,000 περίπου και κατοικούν κυρίως παραθαλάσσια. Έχουν διαφορές από μέρος σε μέρος και έτσι διακρίνονται στους κατοίκους του Car Nicobar, στους Chowra, στους Teressa με Bompoka, σε αυτούς του κεντρικού γκρουπ, σε αυτούς στο νότιο γκρουπ και στους shompen στο Great Nicobar. Οι διαφορές τους είναι κυρίως στη γλώσσα και στα ήθη.

Το οικολογικό σύστημα των νησιών Nicobar είναι πολύ ευαίσθητο καθότι τα αποθέματα νερού είναι περιορισμένα, υπάρχει μεγάλη έλλειψη πόσιμου νερού. Το 85% του Μεγάλου Nicobar έχει ανακηρυχθεί ως βιότοπος υψηλής σημασίας και για την προστασία του έχουν δημιουργηθεί δύο εθνικά περιβαλλοντικά πάρκα, το Campbell bay national park και το Galathea national park τα οποία θα προστατεύσουν την βιοποικιλότητα των περιοχών.(www.andaman.org/BOOK/chapter8/text8.htm)

Κεφάλαιο 3 : Περιγραφή των χαρακτηριστικών των δορυφόρων

3.1 Chris Proba





Εικόνα 7 Πηγή: http://earth.esa.int/proba/ *Εικόνα* 8

Το πρόγραμμα Proba (project for on-board autonomy) είναι μια τεχνολογική αποστολή επίδειξης από την ευρωπαϊκή διαστημική επιτροπή, χρηματοδοτούμενη στο πλαίσιο του προγράμματος ESA.

Το πρόγραμμα ξεκίνησε στα μέσα του 1998 και τον Οκτώβριο του 2001 εκτοξεύθηκε επιτυχώς ο δορυφόρος για προγραμματισμένη διάρκεια ενός χρόνου.

Ο Proba άφησε τον ινδικό ισημερινό τη Δευτέρα της 22^{ης} Οκτωβρίου για να πάρει θέση σε πολική τροχιά 600χμ. πάνω από την επιφάνεια της γης.

Ήταν το πρώτο διαστημικό σκάφος της ESA που ήταν εξοπλισμένο με δυνατότητες πλήρης αυτονομίας, πράγμα που σήμαινε οτι λειτουργούσε σχεδόν αβοήθητο, εκτελώντας καθημερινές ασκήσεις όπως πλοήγηση, μεταφορά ωφέλιμου φορτίου με πολύ μικρή βοήθεια από το προσωπικό της ESA στον γήινο σταθμό στο Βέλγιο.

Η πρωτοποριακή σχεδίαση και τα συστήματα καθοδήγησης ήταν αποτέλεσμα της συνεργασίας της ESA με την εταιρία βελγική Verhaert και άλλες ευρωπαϊκές για την επίτευξη της αυτόνομης διαστημικής πλοήγησης. Το ωφέλιμο φορτίο του δορυφόρου ήταν σχεδιασμένο να ελέγχεται από ένα πανίσχυρο υπολογιστικό σύστημα δίνοντας την

δυνατότητα στον δορυφόρο να εκτελεί σχεδιασμό πλοήγησης και έλεγχο προβλημάτων με μηδαμινή επίβλεψη από τη γη.

Τα εργαλεία πάνω στο σκάφος ήταν το Chris (compact high resolution imaging spectrometer, από τη SIRA,UK), DEBIE (debris in-orbit evaluator, από τη Finnavitec, Finland) και SREM (standard radiation environment monitor,από τη Contaives, Chezh). Ο proba μεταφέρει επίσης δύο όργανα απεικόνισης, μία ευρυγωνική κάμερα (Wac) και μία κάμερα υψηλής ανάλυσης (HRC) με 10 μέτρα ανάλυση και οι δύο κατασκευασμένες από την ΟΙΡ του Βελγίου.

Το διαστημικό σκάφος ζυγίζει 94κ. με τα 25 να είναι αφιερωμένα σε επιστημονικά όργανα παρατήρησης της γης σε αντίθεση με τα υπόλοιπα που είναι όργανα επίδειξης.

Το κυρίως όργανο απεικόνισης της γης, Chris, ζυγίζει μόνο 14 κ. και μετράει την κατευθυνόμενη φασματική αντανάκλαση. Έχει την δυνατότητα να απεικονίζει ταυτόχρονα 200 φασματικά κανάλια με χωρική ανάλυση 20μ. στο ναδίρ και 15χμ στο ζενίθ (εικ. 29). Η κάμερα υψηλής ανάλυσης είναι ασπρόμαυρη με ένα Cassegrain τηλεσκόπιο σε σμίκρυνση αποδίδοντας εικόνες γεωμετρικής ανάλυσης 5μ. Κάθε εικόνα καλύπτει περίπου μία περιοχή 4 * 4 χμ. Η κατευθυντική ικανότητα του σκάφους επιτρέπει στις δύο κάμερες να παίρνουν εικόνες από πολλαπλές γωνίες του ίδιο τόπου στην ίδια τροχιά. (www.esa.int/esaEO/SEM9WO2VQUD_index_0_m.html)

3.2 Envisat

Τον Μάρτιο του 2002, η ESA εκτόξευσε τον Envisat, έναν εξελιγμένο δορυφόρο παρατήρησης της γης με τροχιά πολική που σκοπός του είναι να μας εφοδιάσει με πληροφορίες για την ατμόσφαιρα, τον ωκεανό, τη γη και τον πάγο στους πόλους.

Το κύριο μέλημα του προγράμματος Envisat είναι να βοηθήσει την Ευρώπη να συλλέξει πληροφορίες πάνω στο περιβάλλον της γης. Οι βασικοί στόχοι είναι οι εξής :

 να εξασφαλίσει την διαχρονικότητα και την αντοχή στο μέλλον των παρατηρήσεων, περιλαμβάνοντας και τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί με βάσει τα ραντάρ.

21

να βελτιώσει την αποστολή του ers, κυριότερα την ωκεανογραφική και την αποστολή στον πάγο.

 να επεκτείνει το εύρος των παραμέτρων των παρατηρήσεων ούτως ώστε να φτάσει στο σημείο να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση της γνώσης των παραγόντων που καθορίζουν το περιβάλλον.

να κάνει μία σημαντική συνεισφορά στις περιβαλλοντικές
 μελέτες, κυρίως στον τομέα της ατμοσφαιρικής χημείας και της
 θαλάσσιας βιολογίας.

Όλα αυτά σχετίζονται με δύο δευτερεύοντες στόχους :

 να επιτραπεί μία πιο αποτελεσματική παρακολούθηση και διαχείριση των φυσικών αποθεμάτων της γης,

2) να κατανοήσουμε περισσότερο τις διαδικασίες της γης.

Ο δορυφόρος αυτός διανύει μία ηλιοσύγχρονη πολική τροχιά σε ύψος περίπου 800χμ. Ο κύκλος επανάληψης της τροχιάς διαρκεί 35 μέρες και προσφέρει μία ολοκληρωτική κάλυψη του πλανήτη σε μία έως τρείς μέρες.

Τα όργανα του δορυφόρου αυτού είναι το ASAR, το οποίο είναι ένα εξελιγμένο συνθετικό ραντάρ, που λειτουργεί στην c μπάντα, το MERIS, το οποίο είναι ένα φασματόμετρο, μέτριας φασματικής ανάλυσης που λειτουργεί στο φασματικό εύρος της ηλιακής ανακλώμενης ακτινοβολίας με 15 φασματικά κανάλια από τα 390νμ. μέχρι τα 1040νμ.

Το AATSR το οποίο είναι ένα ραδιόμετρο που αποσκοπεί στην εξακρίβωση της ακριβής θερμοκρασίας εδάφους, ούτως ώστε με βάσει τις τιμές 10 χρόνων που θα συλλέξει να μας δώσει πολύτιμες πληροφορίες για τις κλιματικές αλλαγές.

Το RA-2 είναι ένα όργανο που καθορίζει την διπλής κατεύθυνσης καθυστέρηση από την ηχώ του ραντάρ από το έδαφος της γης με πολύ μεγάλη ακρίβεια, λιγότερο από ένα nanosec. Επίσης μετράει τη δύναμη και τη μορφή της ανακλώμενης ακτίνας ραντάρ.

Το MWR, το οποίο είναι ένα μικροκυματικό ραδιόμετρο που μετράει την στήλη ενιαίου ατμοσφαιρικού υδρατμού και την ποσότητα νερού στα σύννεφα σύμφωνα με το

υψόμετρο. Είναι πολύτιμο όργανο για την μέτρηση εδαφικής υγρασίας και για έρευνες σε πάγο.

Το GOMOS, το οποίο μετράει ατμοσφαιρικά κατάλοιπα της φασματικής ανάλυσης στις ζώνες από 250νμ. έως 675νμ., από 756 σε 773νμ. και από 926 σε 952νμ. Επιπλέον έχει δύο φωτόμετρα τα οποία λειτουργούν σε δύο φασματικά κανάλια από 470νμ. σε 520νμ. και από 650νμ. σε 700 νμ.

Το MIPAS, το οποίο είναι ένα φασματόμετρο για τη μέτρηση υψηλής ανάλυσης αεριωδών φασματικών εκλύσεων της γης. Λειτουργεί στο κοντινό και μέσο υπέρυθρο όπου πολλά ατμοσφαιρικά αέρια αφήνουν ίχνη χρήσιμα για την ατμοσφαιρική χημεία.

Το SCIAMACHY, το οποίο είναι ένα φασματόμετρο απεικόνισης που μετρά παγκοσμίως ίχνη αερίων στην τροπόσφαιρα και στρατόσφαιρα.

Το DORIS,το οποίο είναι ένα μικροκυματικό σύστημα παρακολούθησης που καθορίζει την ακριβή τοποθεσία του envisat.

Το LRR, το οποίο είναι μια παθητική συσκευή που χρησιμοποιείται σαν ανακλαστήρας από τους σταθμούς εδάφους χρησιμοποιώντας υψηλής ενέργειας παλμικά laser. (*http://envisat.esa.int/*)

<u>3.3 Ers2</u>

Ο δορυφόρος αυτός είναι σχεδόν πανομοιότυπος με τον Ers1. Η πλατφόρμα είναι ίδια με τον γαλλικό Spot. Ο δορυφόρος αυτός καλείται να συνεχίσει την δουλειά που ξεκίνησε ο πρώτος, εφοδιασμένος όμως με κάποια νέα όργανα καταγραφής που θα μετρούν την ποσότητα όζοντος στην ατμόσφαιρα και θα παρακολουθούν την βλάστηση αποτελεσματικότερα.

Εκτοξεύθηκε το 1995 στις 21 Απριλίου και ζυγίζει 2516κ. Η τροχιά του είναι ηλιοσύγχρονη σε υψόμετρο 800χμ, με κλίση 98,5 μοίρες. Ο κύκλος επανάληψης τροχιάς είναι 35 μέρες.

Το ραντάρ του δορυφόρου αυτού, το SAR παράγει λεπτομερείς εικόνες όλη την ημέρα, παντός καιρού της γήινης επιφάνειας που χρησιμοποιούνται στην ωκεανογραφία, κλιματική έρευνα και την μελέτη των πάγων.

23

Επίσης οι εικόνες που παίρνονται βάσει του sar μας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες και για τα κύματα, τα ύψη τους, τα μέσα ύψη και την κατεύθυνσή τους.

Χρησιμεύει στην πρόγνωση του καιρού και των τυφώνων, όπως στην παρακάτω εικόνα που απεικονίζει κυκλωνική κατεύθυνση ανέμων στην δυτική Ιρλανδία.



Εικόνα 9 Πηγή: earth.esa.int/ers/

Το όργανο Gome, μας έδωσε τις πρώτες πληροφορίες για μετρήσεις αερίων στο διάστημα και αποτέλεσε επανάσταση στην ατμοσφαιρική τηλεπισκόπηση και την μελέτη της φυσικής και χημείας της ατμόσφαιρας (εικ. 9). Παράγει δεδομένα για το όζον στην στρατόσφαιρα και άλλα αέρια όπως NO2,SO2,HCHO,H20.

Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε πως το Gome δίνει τις μετρήσεις των αερίων που ελέγχουν το όζον καθώς και λεπτομέρειες της δομής της ατμόσφαιρας όπως εδώ για παράδειγμα, όπου τίθεται σε εφαρμογή η πολική δίνη.



Εικόνα 10 Πηγή : earth.esa.int/ers/

Εικόνα 11

Το ραδιόμετρο, ATSR, παράγει υψηλής ποιότητας δεδομένα που αφορούν την παγκόσμια θαλάσσια θερμοκρασία με μεγάλη πιστότητα και ακρίβεια, γεγονός που είναι απαραίτητο με τις αυξανόμενες απαιτήσεις της κλιματικής έρευνας (εικ. 10,11). Επίσης το όργανο αυτό μετράει το ποσοστό αεροζόλης στην ατμόσφαιρα και χρησιμεύει στην ανίχνευση φωτιάς.

Παρακάτω έχουμε μία εικόνα που απεικονίζει το φαινόμενο El Nino, το οποίο είναι ένα φαινόμενο της ωκεάνιας ατμόσφαιρας στον τροπικό Ειρηνικό επηρεάζοντας τον καιρό σε όλο τον κόσμο. Χαρακτηρίζεται από αλλαγές στο επίπεδο της θάλασσας και στην θερμοκρασία εδάφους, τα οποία ελέγχονται από το τη συνδυασμένη χρήση των RA και ATSR. (http://earth.esa.int/ers/)



Εικόνα 12 Πηγή: earth.esa.int/ers/

Κεφάλαιο 4 : Γεωγραφική κατανομή των επιπτώσεων

Έρευνες που έχουν γίνει στον θαλάσσιο πυθμένα δείχνουν οτι η τοπογραφία έχει επηρεαστεί σημαντικά. Ο σεισμός προκάλεσε υποθαλάσσιες κατολισθήσεις πλάτους αρκετών χιλιομέτρων (εικ.13), παρέσυρε βράχους βάρους εκατοντάδων τόνων στον πυθμένα προκαλώντας ένα βύθισμα πλάτους πολλών χιλιομέτρων.

Σύμφωνα με το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) πήραμε μετρήσεις για την μετατόπιση των νησιών εξαιτίας του σεισμού. Έχουμε οριζόντια μετακίνηση εδάφους από 1,5μ έως 6,6μ στα νοτιοδυτικά και κάθετη μετακίνηση εδάφους , κυρίως υποχώρηση, 0,5μ έως 2,8μ. κατά μήκος των νησιών Andaman, Nicobar. Έχουμε κατολίσθηση εδάφους υπό των νησιών αυτών κατά 3,8μ. έως 7,9μ (Andaman) και 11μ με 15μ (Nicobar). Το μέγεθος της διάρρηξης εκτιμάται περίπου στα 1500χμ με πλάτος 120χμ υπό του Middle Andaman έως 160χμ υπό του Great Nicobar. Μετρήσεις GPS κατά την διάρκεια 11 Ιανουαρίου έως 22 Ιανουαρίου 2005 στο Port Blair δείχνουν μαζική διαφοροποίηση στην μετασεισμική περίοδο. Περιορισμένα δεδομένα GPS από μετρήσεις του 1995 στα νησιά Andaman αποδεικνύουν έντονη συσσώρευση που διέφερε σημαντικά στα 10 χρόνια πριν τον σεισμό. (Gahalaut et al. 2006.)

Επίσης έρευνες δείχνουν ότι οι υδροφόροι ορίζοντες και τα υπόγεια ύδατα έχουν επηρεαστεί από το τσουνάμι και τον σεισμό στα νησιά αυτά. Τα υπόγεια ύδατα στα νησιά Andaman, Nicobar είναι η μόνη πηγή φρέσκου νερού και τώρα έχουν μολυνθεί. Υδρολογικές μελέτες αποδεικνύουν ότι οι υδροφόροι ορίζοντες σε μερικά σημεία έχουν επηρεαστεί από την σεισμική δόνηση και ρωγμές στο έδαφος επιτρέψανε την είσοδο θαλασσινού νερού σε αυτούς με αποτέλεσμα την μόλυνση του υπόγειου αποθέματος νερού. Στα σημεία όπου ο υδροφόρος ορίζοντας είναι στο επίπεδο της θαλάσσης μέσω των κυμάτων έχουν εισχωρήσει ιζήματα. Οι περιοχές των οποίων οι υδροφόροι ορίζοντες βρίσκονται πάνω από το επίπεδο της θαλάσσης δεν έχουν υποστεί καμία μόλυνση στα υπόγεια αποθέματα υδάτων. (*Singh et al. 2005)*



Εικόνα 13. Απεικόνιση με σόναρ της κατολίσθησης στην ακτή της Σουμάτρα. Πηγή: Encarta encyclopedia

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα μία τεράστια κατολίσθηση στα δυτικά της ακτής της Σουμάτρα προκλήθηκε από τον σεισμό και ήρθε στην επιφάνεια από το σόναρ του Βρετανικού Ναυτικού.



Εικόνα 14. Τρισδιάστατη απεικόνιση του τσουνάμι μετά από περίπου 15 λεπτά της δημιουργίας του. Πηγή: Encarta Encyclopedia

Παραπάνω βλέπουμε μια τρισδιάστατη απεικόνιση του τσουνάμι, περίπου 15 λεπτά μετά την δημιουργία του. Τα ψηλότερα κύματα 37μ. δημιουργήθηκαν γύρω απ'την πόλη Banda Aceh στην βορειότερη κορυφή της Σουμάτρα. Στον επόμενο χάρτη (εικ. 15) παρατηρούμε τις κόκκινες γραμμές που δείχνουν την πορεία του κύματος κατά μισάωρα διαλείμματα. Από το επίκεντρο του σεισμού (1) το τσουνάμι επεκτείνεται περίπου 700χμ/ώρα και με ύψος 37μ. Από την στιγμή που το κύμα φθάνει στην Banda Aceh (3) το ύψος του έχει ήδη μειωθεί στα 12μ., όταν φθάνει το νησί Sabang(4) έχει ύψος 6 μ. και όταν πλησιάζει την ακτή κοντά στο Sigli(5) έχει πέσει στα 5μ. το ύψος. Οι υπολογισμοί για τα ύψη έχουν γίνει βάσει των ζημιών σε συνάρτηση με την απόσταση που έχουν προκληθεί. Καθώς το κύμα προχωρεί και βορειότερα της κορυφής της Σουμάτρα δε χάνει σημαντικό μέγεθος του ύψους του αλλά μειώνεται η ταχύτητά του στα ρηχότερα νερά. Όταν πια φθάσει στο νησί Phuket(6) της Ταυλάνδης έχει ύψος 4,5μ. στην παραλία Karon και 5,5μ στην παραλία Patong.

Το κύμα εκτράπηκε από το νησί Simeulue(2) στα νότια του επικέντρου και στη δυτική ακτή της Σουμάτρα με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος να εκτραπεί δυτικά και βόρεια. Η μικρή καθυστέρηση μεταξύ της αρχικής και της εκτρεπόμενης κυματικής ενέργειας προκάλεσε δύο τσουνάμι προς τα νησιά Andaman(8), Nicobar(7). (*Claudio Vita-Finzi et al.* 2005)



Εικόνα 15. Οι ακτογραμμές και τα νησιά με σημαντικές απώλειες ανθρώπων και υλικών ζημιών είναι χρωματισμένες κόκκινες Πηγή: *Claudio Vita-Finzi et al. 2005*

Ο χάρτης παρακάτω δείχνει πόσο μακριά και πόσο γρήγορα το τσουνάμι ταξίδεψε (εικ. 16). Οι κόκκινες γραμμές δείχνουν την πορεία του κύματος στον Ινδικό Ωκεανό σε μισάωρα διαλείμματα. Είναι αξιοπρόσεχτο οτι η ταχύτητα του τσουνάμι δεν μειώνεται σημαντικά όσην ώρα κινείται σε βαθιά νερά (*www.andaman.org*). Το τσουνάμι που προκλήθηκε το 2004 δεν αναστάτωσε μόνο τον Ινδικό Ωκεανό, οι επιπτώσεις του ήταν παγκόσμιες στον Ατλαντικό αλλά και στον Ειρηνικό Ωκεανό. Αποδείχθηκε για πρώτη φορά πως τα κύματα αυτά ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις προσανατολιζόμενα μεταξύ των υποθαλάσσιων βουνοκορφών. (*Park et al, 2005*)



Εικόνα 16. Χάρτης που απεικονίζει την έκταση της καταστροφής του τσουνάμι .Πηγή: <u>www.andaman.org</u>

Αμέσως μετά τον σεισμό ακολούθησαν πολλοί μετασεισμοί με κυριότερο αυτόν των 8,7 ρίχτερ στα νησιά Simeulue-Nias που συνέβη στις 28 Μαρτίου 2005 χωρίς όμως να προκαλέσει τη δημιουργία καταστροφικού τσουνάμι (εικ. 17). Κατάφερε όμως να σκοτώσει εκατοντάδες ανθρώπους. Η σεισμική δόνηση έγινε σε βάθος 30χμ. νοτιοδυτικά της Σουμάτρας (*Kerr*, 2005).



Εικόνα 17. Χάρτης Simeulue-Nias Πηγή: www.andaman.org

Στα νησιά Nicobar στις 24 Ιουλίου 2005 σημειώνεται και άλλη σεισμική δόνηση κλίμακας 7,2 ρίχτερ σε βάθος 10χμ. Αυτός ο σεισμός έγινε κοντά στα δυτικά όρια της μετασεισμικής ζώνης της $26^{\eta\varsigma}$ Δεκεμβρίου 2004 (εικ. 18). Αυτό δεικνύει οτι η ζώνη εξακολουθεί να είναι σεισμικά ενεργή και σχηματίζει μια κωνικής μορφής περιοχή εκτεινόμενη περί τα 1200 χμ. βόρεια της Σουμάτρας. Το γεγονός αυτό ήταν ένας οριζόντιας μετατόπισης σεισμός που δημιούργησε οριζόντια μετακίνηση των πλακών σε αντίθεση με τον σεισμό της $26^{\eta\varsigma}$ Δεκέμβρη (*Kerr*, 2005).



Εικόνα 18. Σεισμική δόνηση 1200χμ. βόρεια της Σουμάτρας. Πηγή: www.andaman.org

Παρακάτω βλέπουμε εικόνες με την έκταση της καταστροφής που προκάλεσε το τσουνάμι στα νησιά Nicobar, ειδικότερα στο νησί Katchal.



Εικόνα 19 Πηγή www.crisp.nus.edu.sg/tsunami/ Εικόνα 20



Εικόνα 21 Πηγή :www.crisp.nus.edu.sg/tsunami/ Εικόνα 22

Το νησί Trinket (εικ.23) από τα νησιά αυτά παρατηρούμε οτι έχει υποστεί μεγάλες γεωλογικές αλλαγές στην ακτογραμμή του και πλέον δεν είναι κατοικήσιμο εφόσον οι καλλιέργειες έχουν καταστραφεί.



Εικόνα 23. Απεικόνιση πριν και μετά της καταστροφής του τσουνάμι στο νησί Trinket. Πηγή: www.andaman.org

Η παρακάτω εικόνα είναι από το μικρό Nicobar. Είναι συνδυασμός μιας εικόνας προ του τσουνάμι (ers 1) με μία μετά το κύμα (ers 2, κόκκινο) που δείχνει τις αλλαγές παρακείμενα των ακτών.



Εικόνα 24. Απεικόνιση του μικρού Nicobar μέσω διαχρονικών εικόνων για την ανίχνευση αλλαγών. Πηγή : tsunamiandaman.tn.nic.in/

Στα νησιά Andaman παρατηρούμε τις διαφορές στην ακτογραμμή του νησιού Sentinel και την μεγάλη οικολογική καταστροφή των κοραλλιογενών υφάλων που έχουν εκτεθεί πάνω από το επίπεδο της θάλασσας στο βόρειο μέρος του νησιού. Συνέβη ακριβώς το αντίθετο απ'οτι συνέβη στα νότια νησάκια τα οποία βούλιαξαν και έφτασαν 1-4 μέτρα κάτω από το επίπεδο της θάλασσας.

Στο νησί Sentinel (εικ. 25,26) δυστυχώς η ανύψωση των κοραλλιών καθιστά αδύνατη την επιβίωσή τους επειδή βρίσκονται πολύ ψηλά για να τα φτάσει η παλίρροια και πολύ ρηχά απ'την άλλη για να αντέξουν την έκθεση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 25 Εικόνα 26
Απεικόνιση της οικολογικής καταστροφής στο νησί Sentinel.
Πηγή : www.waveofdestruction.org/tsunami-photos/v/satellite/

Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται το νησί μέσω ραντάρ όπου προέρχεται από συνδυασμό δύο ξεχωριστών ASAR εικόνων από διαφορετικές ημερομηνίες (33 Ιουνίου 2004 και 30 Δεκεμβρίου 2004).

Το πράσινο χρώμα συμβολίζει τις περιοχές που ανυψώθηκαν μετά τον σεισμό. Είναι προφανές οτι η μεγαλύτερη ζημιά συγκεντρώνεται στους κοραλλιογενείς υφάλους γύρω απ' το νησί.



Εικόνα 27. Απεικόνιση των περιοχών που ανυψώθηκαν μετά το τσουνάμι που απεικονίζονται εδώ με πράσινο χρώμα. Πηγή : <u>www.waveofdestruction.org/tsunami-photos/v/satellite/</u>

Στο νησί Car Nicobar παρατηρούνται επίσης μεγάλες αλλαγές στην ακτογραμμή από την επίδραση του τσουνάμι ειδικότερα στο βόρειο, δυτικό και νότιο τμήμα του νησιού.



Εικόνα 28, car Nicobar πριν (21 Δεκ.04) και μετά(30 Δεκ. 04) το τσουνάμι Πηγή : <u>http://tsunamiandaman.tn.nic.in/nrsa-images.htm</u>

Στο βόρειο τμήμα(εικ.29) κατά μήκος των ακτών Sawai, Teetop και Passa έχουμε διάβρωση. Στο νότιο τμήμα(εικ.31) οι αλλαγές είναι εμφανέστερες στην περιοχή Kakkara όπου τα νερά έχουν εισχωρήσει βαθιά στη στεριά. Το δυτικό μέρος(εικ. 33) έχει υποστεί την μεγαλύτερη καταστροφή στην περιοχή Malacca όπου η καταστροφική δύναμη του τσουνάμι προκάλεσε ανεπανόρθωτη ζημιά στις ακτές.



Εικόνα 29, Βόρειο τμήμα ακτών Car Nicobar πριν το τσουνάμι Πηγή : <u>http://tsunamiandaman.tn.nic.in/nrsa-images.htm</u>



Εικόνα 30, Βόρειο τμήμα ακτών Car Nicobar μετά το τσουνάμι Πηγή : <u>http://tsunamiandaman.tn.nic.in/nrsa-images.htm</u>



Εικόνα 31, Νότιο τμήμα ακτών Car Nicobar πριν το τσουνάμι Πηγή : <u>http://tsunamiandaman.tn.nic.in/nrsa-images.htm</u>



Εικόνα 32, Νότιο τμήμα ακτών Car Nicobar μετά το τσουνάμι Πηγή : <u>http://tsunamiandaman.tn.nic.in/nrsa-images.htm</u>



Εικόνα 33, Δυτικό τμήμα ακτών Car Nicobar πριν το τσουνάμι Πηγή : <u>http://tsunamiandaman.tn.nic.in/nrsa-images.htm</u>



Εικόνα 34, Δυτικό τμήμα ακτών Car Nicobar μετά το τσουνάμι Πηγή : <u>http://tsunamiandaman.tn.nic.in/nrsa-images.htm</u>

<u>Κεφάλαιο 5 : Επεξεργασία διαχρονικών εικόνων για την ανίχνευση</u> <u>αλλαγών</u>

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν εικόνες ραντάρ από την περιοχή των νησιών Little Nicobar και Great Nicobar. Η πρώτη είναι από το 1992 (25 Ιανουαρίου 1992) (εικ.35)και η δεύτερη το 2005 (6 Ιανουαρίου 2005) (εικ.36) μετά το σεισμό και το καταστροφικό τσουνάμι.



Εικόνα 35, Great, Little Nicobar, 25/01/1992 Πηγή: Esa



Εικόνα 36, Great, Little Nicobar 6/01/2005, Πηγή Esa

Σκοπός ήταν να αναδειχθούν οι αλλαγές στην ακτογραμμή που προκλήθηκαν από το σεισμό ή το τσουνάμι. Οι αρχικές εικόνες χρειάστηκε να επεξεργαστούν με φίλτρα από το λογισμικό Erdas.

Τα φίλτρα χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν έμφαση σε κάποιες χωρικές κλίμακες που μας ενδιαφέρουν στην εικόνα. Μια εικόνα ξέρουμε ότι αποτελείται από συνιστώσες υψηλής και χαμηλής συχνότητας και τα φίλτρα μας βοηθούν στο να αφαιρέσουμε αυτές τις συνιστώσες και να πετύχουμε ανάδειξη των χαρακτηριστικών της εικόνας που μας ενδιαφέρουν. (Μιγκίρος, 2003 Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο)

Για την συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η επιλογή speckle suppression για τη μείωση του επιπέδου θορύβου στις εικόνες. Αποδείχτηκε οτι καλύτερη ανάλυση επιτεύχθηκε βάσει του φίλτρου Lee-sigma (εικ. 37,38).



Εικόνα 37, Εικόνα radar του 1992 επεξεργασμένη με φίλτρο Lee Sigma



Εικόνα 38, Εικόνα radar 2005 επεξεργασμένη με φίλτρο Lee Sigma

Τα φίλτρα sigma και Lee χρησιμοποιούν την στατιστική κατανομή των DN αξιών και υπολογίζουν τη σημασία κάθε εικονοστοιχείου. Ο κόκκος ή θόρυβος στις εικόνες ραντάρ μπορεί να υπολογιστεί από τον εξής μαθηματικό τύπο της τυπικής απόκλισης :

Standard Deviation
$$\Rightarrow \frac{\sqrt{VARIANCE}}{MEAN} = Coefficient Of Variation \Rightarrow sigma (\mathbf{O})$$

Ο συντελεστής της απόκλισης χρησιμοποιείται σαν παράμετρος εισόδου στα φίλτρα αυτά. Είναι επίσης χρήσιμος στο να υπολογίζει και να επεξεργάζεται ορατά και υπέρυθρα δεδομένα για εισαγωγή εικόνας αποτελούμενης από 4 φασματικές ζώνες.

Τα φίλτρα Lee βασίζονται στην υπόθεση οτι η μέση τιμή του εικονοστοιχείου είναι ίση με την τοπική μέση τιμή όλων των εικονοστοιχείων στην περιοχή που έχει επιλεγμένη ο χρήστης. Ο τύπος που μας δίνει το φίλτρο είναι :

 $DN_{out} = [Mean] + K[DN_{in} - Mean]$

Όπου mean = μέσος όρος εικονοστοιχείων στο παράθυρο επιλογής του χρήστη.

$$K = \frac{Var(x)}{\left[Mean\right]^2 \sigma^2 + Var(x)}$$

The variance of x [Var (x)] is defined as:

$$Var(x) = \left(\frac{[Variance within window] + [Mean within window]^{2}}{[Sigma]^{2} + 1}\right)$$

 $-[Mean within window]^2$

Το φίλτρο sigma είναι βασισμένο στην πιθανότητα της κατανομής Gaussian. Συνοπτικά, το 95,5% των τυχαίων δειγμάτων βρίσκονται μεταξύ της τυπικής απόκλισης. (Fieldguide Erdas, 1997)

Επόμενο βήμα για να μπορέσουμε να διεξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα των παράκτιων μεταβολών ήταν να διορθώσουμε γεωμετρικά τις εικόνες μέσω της επιλογής Geometric correction. Διορθώσαμε έτσι την εικόνα του '92 βάσει της εικόνας του '05 με τελικό αποτέλεσμα την διορθωμένη εικόνα του 1992. Καταφέραμε να κρατήσουμε τον συντελεστή R^2 κοντά στο 1 pixel έτσι ώστε τα συμπεράσματά μας να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβή.

Συγκρίνοντας τις δύο εικόνες παρατηρούμε διαφορές στην ακτογραμμή οι οποίες είναι αρκετά έντονες, ειδικότερα στο δυτικό μέρος του νησιού Great και στο βόρειο μέρος του Little Nicobar.

Για να μπορέσουμε να διακρίνουμε τις μεταβολές στην ακτογραμμή κρίθηκε αναγκαίο να δημιουργήσουμε μία διαχρονική εικόνα από τις εικόνες ραντάρ. Αποτέλεσμα είναι η παρακάτω εικόνα (εικ. 39). Έτσι με τη μέθοδο της επικάλυψης της διορθωμένης εικόνας (1992) πάνω στην μεταγενέστερη εικόνα (2005) δημιουργήθηκε η διαχρονική εικόνα (εικ. 39) που μας βοήθησε στην ανίχνευση των αλλαγών.



Εικόνα 39, Διαχρονική εικόνα για την ανίχνευση αλλαγών, αποτέλεσμα συνδυασμού των εικόνων ραντάρ 1992 και 2005.

Καταρχήν παρατηρούμε ότι στην διαχρονική μας εικόνα το κίτρινο χρώμα επικρατεί. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε καθόλου αλλαγές στο ανάγλυφο επειδή έχουμε ίση ποσότητα ανακλώμενης ακτινοβολίας. Γύρω από τα νησιά παρατηρούμε πράσινο χρώμα στην θάλασσα που οφείλεται σε κυματισμό και δεν νοείται κάποια μεταβολή. Στις περιοχές όπου κυριαρχεί το κόκκινο έχουμε υψηλή ποσότητα ανακλώμενης ακτινοβολίας και σημαίνει οτι έχουμε υποχώρηση του εδάφους

Οι περιοχές που απεικονίζονται με πολύ έντονο κόκκινο χρώμα στο δυτικό μέρος είναι κατά πάσα πιθανότητα κυματισμοί και δεν αποτελούν κάποια αλλοίωση στον γύρω χώρο. Ενδεχομένως η υποχώρηση του εδάφους να οφείλεται στον σεισμό αλλά κυρίως έχει να κάνει με την δραστηριότητα του τσουνάμι όπου σάρωσε τις ακτές στα νησιά αυτά. Στην ακτογραμμή των δύο νησιών όπου είναι και το αντικείμενο έρευνας παρατηρούμε ότι υπάρχει υποχώρηση του εδάφους ή καμία αλλαγή στο ανάγλυφο. Καμία περιοχή δεν έχει ανυψωθεί κατά μήκος των ακτογραμμών.

Στο νησί Great Nicobar οι μεγαλύτερες μεταβολές βρίσκονται στο νότιο τμήμα όπως βλέπουμε και στο βορειοδυτικό μέρος όπου μεγάλο μέρος της ακτογραμμής έχει υποχωρήσει αφήνοντας τα νερά να εισχωρήσουν προς την παράκτια περιοχή.

Στο νησί Little Nicobar οι μεγαλύτερες διαφορές εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα όπου βλέπουμε οτι η ζημιά είναι αρκετά εκτεταμένη με την θάλασσα να έχει εισχωρήσει βαθιά μέσα στη στεριά.

Από το περιβάλλον Google Earth (εικ. 40,41) μπορέσαμε να επαληθεύσουμε τις αλλαγές στα παράλια, όχι όμως σε όλες τις περιοχές καθότι μόνο μερικά σημεία των νησιών αποτελούνται από δορυφορικές εικόνες μεταγενέστερες του τσουνάμι και σε μερικά άλλα σημεία η νέφωση είναι πολύ πυκνή χωρίς να μας αφήνει να διακρίνουμε καλά το ανάγλυφο. Οι πληγείσες περιοχές έχουν αριθμηθεί (1 έως 12).



Εικόνα 40, Το νησί Little Nicobar όπως φαίνεται στο Google Earth



Εικόνα 41, Το νησί Great Nicobar όπως φαίνεται στο Google Earth

Σχεδόν όλες οι πληγείσες περιοχές στο νησί Little Nicobar φαίνονται καλά από το περιβάλλον Google Earth. Πατώντας στο πρόγραμμα την επιλογή file-save image σώζουμε την εικόνα μας για να μπορέσουμε να την επεξεργαστούμε μέσω του Photoshop. Αυτό το κάνουμε για να αναδείξουμε καλύτερα τον χρωματισμό και να διακρίνουμε ευκολότερα τη διάβρωση των παραλίων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της επιλογής image-adjustments-curves.

5.1 Ειδικότερες επιπτώσεις στα νησιά Great, Little Nicobar

Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε το βόρειο τμήμα του νησιού Little Nicobar (εικ.42) και τις καταστροφές που έχουν προκληθεί στην ακτογραμμή όσο είναι εφικτό από τα νέφη.



Εικόνα 42 Διαχρονική εικόνα ανίχνευσης αλλαγών (βόρειο μέρος του Little Nicobar)



Απεικόνιση των περιοχών 1,2 στο Google Earth

Παρακάτω (εικ. 43) εξακολουθούμε να βλέπουμε το βόρειο τμήμα του νησιού το οποίο και έχει υποστεί την μεγαλύτερη καταστροφή.



Εικόνα 43 Διαχρονική εικόνα ανίχνευσης αλλαγών (βόρειο μέρος του Little Nicobar)



Απεικόνιση της περιοχής 3 στο Google Earth

Παρακάτω προχωράμε στο βορειοδυτικό μέρος των παραλίων του νησιού (εικ.44) όπου και δω η θάλασσα έχει εισχωρήσει στα παράλια, σε μικρότερη όμως έκταση από το βόρειο μέρος αλλά και πάλι με έντονο το φαινόμενο. Η νεφοκάλυψη όπως φαίνεται από το Google Earth δεν μας εμποδίζει ώστε να δούμε καθαρά το μέγεθος της καταστροφής.



Εικόνα 44 Διαχρονική εικόνα ανίχνευσης αλλαγών (βορειοδυτικό μέρος Little Nicobar)



Απεικόνιση της περιοχής 4 στο Google Earth

Προχωρώντας προς το νότιο μέρος των δυτικών παραλίων διαπιστώνουμε εκτεταμένη διάβρωση των ακτών, όχι όμως σε τόσο μεγάλη έκταση όπως στα βόρεια (εικ. 45). Ο σεισμός και η δημιουργία του τσουνάμι δεν έχει επηρεάσει σημαντικά τη μορφή του αναγλύφου παρά μόνο περιμετρικά της ακτογραμμής.



Εικόνα 45 Διαχρονική εικόνα ανίχνευσης αλλαγών (νότιο μέρος Little Nicobar)



Απεικόνιση της περιοχής 5 στο Google Earth

Περνάμε τώρα στο νησί Great Nicobar το οποίο έχει υποστεί όπως προείπαμε καταστροφικές ζημιές στο δυτικό του μέρος. Δυστυχώς όμως δεν ήταν δυνατό να επαληθεύσουμε μέσω του Google Earth καθότι η δορυφορική εικόνα είναι προγενέστερη του τσουνάμι σε κείνη την περιοχή. Έτσι οι περιοχές κατά μήκος της δυτικής ακτογραμμής που παρουσιάζουν μεγάλες αλλαγές στην ακτογραμμή δεν ήταν δυνατόν να επαληθευτούν μέσω του Google Earth. Στο βόρειο τμήμα του νησιού επίσης εξαιτίας νεφοκάλυψης μερικά σημεία δεν είναι δυνατό να παρατηρηθούν.

Από το δυτικό μέρος (εικ. 46) η μόνη περιοχή που διακρίνεται είναι η κορυφογραμμή των παραλιών όπου παρατηρούμε την εισχώρηση των υδάτων κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην ακτή. Η νεφοκάλυψη πάλι μας εμποδίζει αλλά όχι τόσο όσο ώστε να μην διακρίνουμε την υποχώρηση του εδάφους και την πλημμυρισμένη ακτογραμμή.



Εικόνα 46 Διαχρονική εικόνα ανίχνευσης αλλαγών (δυτικό μέρος Great Nicobar)



Απεικόνιση της περιοχής 6 στο Google Earth

Κάτω ακριβώς από το νησάκι Kondul (εικ. 47), παρεμβάλλεται ανάμεσα στο Great και Little, έχουμε εισχώρηση της θάλασσας αρκετά βαθιά επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την ακτογραμμή.



Εικόνα 47 Διαχρονική εικόνα ανίχνευσης αλλαγών (βορειοδυτικό μέρος Great Nicobar)



Απεικόνιση των περιοχών 7,8 στο Google Earth

Στα ανατολικά παράλια στο μέσο του νησιού περίπου (εικ. 48), ανάμεσα στους κόλπους Anderson και Bananga έχουμε υποχώρηση της ακτογραμμής σε μικρό όμως βαθμό.



Εικόνα 48 Διαχρονική εικόνα ανίχνευσης αλλαγών (ανατολικό μέρος Great Nicobar)



Απεικόνιση των περιοχών 9,10 στο Google Earth

Κατεβαίνοντας προς το νότιο τμήμα του νησιού (εικ.49) παρατηρούμε στα νοτιοανατολικά παράλια μεγάλη διάβρωση εδάφους από τη θάλασσα. Σε αυτή την εικόνα, όπως διαπιστώνουμε και μέσω και του Google Earth, είναι ξεκάθαρο ότι οι αλλαγές στο ανάγλυφο έχουν προκληθεί από το τσουνάμι και τα ύδατα έχουν πλέον εισχωρήσει στη στεριά.



Εικόνα 49 Διαχρονική εικόνα ανίχνευσης αλλαγών (νοτιοανατολικό μέρος Great Nicobar)



Απεικόνιση των περιοχών 11,12 στο Google Earth

<u>Κεφάλαιο 6: Γενικά Συμπεράσματα</u>

Το τσουνάμι του 2004 στον Ινδικό Ωκεανό ήταν το πιο καταστροφικό στην ιστορία. Προκλήθηκε από τον γιγάντιο σεισμό στην Σουμάτρα-Ανταμάν και σάρωσε τις ακτές του Ινδικού Ωκεανού. Το σύνολο των θυμάτων και αγνοουμένων υπολογίζεται στους 230.000 (International Federation of Red Cross and red Crescent Societies, 2005) εκ των οποίων οι 163,795 στην Ινδονησία, 35.399 στην Σρι Λάνκα, 16.389 στην Ταυλάνδη και 298 στην Σομαλία.

Στον Ειρηνικό Ωκεανό είχε δημιουργηθεί αντίστοιχο τσουνάμι το 1960. Είχε προκληθεί από την σεισμό στην Χιλή ο οποίος είναι ο μεγαλύτερος καταγεγραμμένος σεισμός (9.5R). Το συγκεκριμένο τσουνάμι στοίχισε τη ζωή 1000 ανθρώπων στην ακτή της Χιλής, κατόπιν επεκτάθηκε στη Χαβάη αφαιρώντας 61 ζωές για να καταλήξει στις ακτές της Ιαπωνίας και να προκαλέσει άλλους 142 θανάτους. Μετά το συγκεκριμένο τσουνάμι ξεκίνησαν διεθνείς συνεργασίες για την επιστημονική μελέτη των κυμάτων αυτών καθώς και την δημιουργία ενός προειδοποιητικού συστήματος για τσουνάμι.

Αμέσως μετά το τσουνάμι του 1960 θεσπίστηκε η επιτροπή τσουνάμι IUGG (Intrenational Union of Geodesy and Geophysics). Η επιτροπή αυτή οργανώνει την εξάμηνη διεθνή συνάντηση ITS (International tsunami Symposium). Η 22^η συνάντηση έλαβε μέρος στα Χανιά, Ελλάδα από τις 27 Ιουλίου έως 29 το 2005 με περίπου 90 εκπροσώπους από 20 χώρες.

Η συνάντηση αυτή είχε τριπλό σκοπό. Πρώτον, την κριτική για τη διεθνή συνεργασία και εξέλιξη στην μελέτη των τσουνάμι τον τελευταίο μισό αιώνα. Δεύτερον, να περιγράψει τις επιπτώσεις του 2004 τσουνάμι και τελικώς να παρουσιάσει συνοπτικά μελέτες και αποτελέσματα για το τσουνάμι του 2004 και έπειτα, γεωλογικές μελέτες παλαιότερων τσουνάμι και μελέτες για την επικινδυνότητα των κυμάτων αυτών. (*Satake et al. 2007*)

6.1 Η κατάσταση πριν το τσουνάμι του 2004

Μετά το τσουνάμι του 1960 το οποίο επηρέασε πολλές χώρες γύρω από τον Ειρηνικό ωκεανό, ξεκίνησε μία διεθνή κινητοποίηση από την IOC (Intergovermental Oceanographic Commission) υπό την αιγίδα της UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). Το 1965 η IOC έστησε την ITIC (International Tsunami Information Center) στην Χαβάη με την υποστήριξη της Αμερικανικής NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Για τον μετριασμό της επικινδυνότητας των τσουνάμι στον Ειρηνικό Ωκεανό η ITIC συντονίζει τις προσπάθειες για εγκατάσταση συστημάτων προειδοποίησης σε χώρες που έχουν ανάγκη και συλλέγει πληροφορίες όσων αφορά τα κύματα τσουνάμι σε όλο τον κόσμο.

Για την παρακολούθηση και προειδοποίηση των τσουνάμι στον Ειρηνικό Ωκεανό έχουν εγκατασταθεί 3 προειδοποιητικά κέντρα. Το PTWC (Pacific Tsunami Warning Center) το οποίο ιδρύθηκε το 1949 και είναι το διεθνές προειδοποιητικό κέντρο για τον Ειρηνικό. Κατόπιν έχουμε το WC/ATWC (West Coast/Alaska Tsunami Warning Center) το οποίο ιδρύθηκε το 1969 και είναι το κέντρο που εξυπηρετεί την δυτική Αμερική και Καναδά. Το 2006 η Ιαπωνία ξεκίνησε την λειτουργία του βορειοδυτικού Ειρηνικού κέντρου. Αυτά τα κέντρα λειτουργούν υπό την επίβλεψη της Αμερικανικής ΝΟΑΑ και της Ιαπωνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και επιθεωρούν την σεισμική δραστηριότητα στον Ειρηνικό Ωκεανό και εκδίδουν προειδοποιητικά σήματα στις χώρες που κινδυνεύουν.

Το 1960, όταν έγινε ο σεισμός στην Χιλή και δημιούργησε το τσουνάμι στον Ειρηνικό Ωκεανό ξέραμε πολύ λίγα για την γένεση των τσουνάμι και τα αίτια που τα προκαλούν. Πολλές σύγχρονες θεωρίες όσον αφορά την σεισμολογία εξελίχθηκαν μετά το 1960. Η θεωρία του τεκτονισμού αναπτύχθηκε στην δεκαετία του 60 και τώρα πια εξηγεί τον μηχανισμό των μεγάλων σεισμών και τα αίτια των. Μαθηματικά σεισμολογικά μοντέλα που εξηγούν την γενεσιουργό αιτία και αναλύουν την φύση του φαινομένου ξεκίνησαν να παράγονται την δεκαετία του 1960 μαζί με την ίδρυση του παγκόσμιου σεισμολογικού ιδρύματος.

Στην δεκαετία του 1970 χρησιμοποιώντας θεωρίες και παραμέτρους από καταγεγραμμένα γεγονότα θεσπίστηκαν οι παράμετροι για τους μεγάλους σεισμούς,

56

όπως η κλίμακα Mw. Πλέον υπολογίστηκε η παραμόρφωση του θαλάσσιου υπεδάφους από συγκεκριμένα μοντέλα και ο ρόλος που παίζει το βάθος της θάλασσας στην δημιουργία του τσουνάμι.

Στη δεκαετία του 1980 οι σεισμογράφοι κατέγραφαν ψηφιακά κάτι το οποίο βελτίωσε την ποιότητα των δεδομένων και μείωσε το χρόνο προσπελασιμότητας των. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τον άμεσο υπολογισμό των παραμέτρων ενός σεισμού. Επίσης, μεγάλης έκτασης προσομοιώσεις τσουνάμι έγιναν εφικτές εκείνη τη δεκαετία.

Την δεκαετία 1990 οι εξελίξεις στον τομέα των υπολογιστών και του διαδικτύου έκαναν εφικτή την σύγκριση αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο. Στο παρόν τώρα, μετά από έναν μεγάλο σεισμό παράμετροι όπως η στάθμη της θάλασσας είναι άμεσα διαθέσιμοι μέσω του διαδικτύου. Κατανοούμε λοιπόν την χρησιμότητα των νέων τεχνολογιών στην μελέτη των τσουνάμι. (*Bhattacharjee, 2005*)

6.2 Εξελίξεις μετά το τσουνάμι του 2004

Η έλλειψη συστήματος προειδοποίησης στον Ινδικό Ωκεανό ήταν η αιτία για τις καταστροφικές επιπτώσεις του τσουνάμι. Το 2005 στη γενική συνέλευση της IOC προτάθηκε και υιοθετήθηκε να οργανωθούν ICGς (Intergovermental Coordination Groups) στους ωκεανούς και λεκάνες εκτός του Ειρηνικού. Είναι οι ICG/IOTWS (ICG for Indian Ocean Tsunami Warning and Mitigation System) ICG/NEAMTWC (ICG for the Tsunami Early Warning and Mitigation System in the northeastern Atlantic, the Mediterranean and connected seas), και ICG/CARIBE-EWS (ICG for Tsunami and Coastal Hazards Warning System for the Caribbean and Adjacent Regions).

Στην επιστημονική κοινότητα πληροφορίες για τη ζημιά του τσουνάμι, πλάνα και δεδομένα ανταλλάχθηκαν μέσω του TBB (Tsunami Bulletin Board) μέσα σε ένα μήνα από τις 26 Δεκεμβρίου. Εκατοντάδες επιστήμονες απ'όλο τον κόσμο πήραν μέρος σε έρευνες για την καταγραφή και συλλογή δεδομένων. Οι έρευνες δείξανε οτι τα ύψη του τσουνάμι φτάσανε τα 30 μ. στην Banda Aceh και πολύ μικρότερα στα νησιά Andaman <5μ.

Παρόλη την εξέλιξη της τεχνολογίας η πρόγνωση των τσουνάμι δεν είναι εφικτή ακόμα σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν ακριβή δεδομένα για ωκεανούς με μεγάλο βάθος σε αντίθεση με τα ρηχά νερά στα οποία δε μπορεί να γίνει έγκαιρη πρόγνωση και προειδοποίηση για δημιουργία τσουνάμι. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό να αναπτυχθεί τεχνολογία με την οποία να μπορούμε να παρακολουθούμε τις περιοχές οι οποίες είναι επιρρεπείς σε τσουνάμι καθότι είναι σχεδόν αδύνατο να χαρτογραφηθούν όλες οι ακτές και τα εδάφη τους και να καταχωρηθούν σε μία βάση δεδομένων.

Θα μπορούσαν να τοποθετηθούν έξω από τις ακτές σημαδούρες ικανές να αναπαραστήσουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες στα κέντρα προειδοποίησης για το αν έχει δημιουργηθεί κάποιο τσουνάμι και πόσο μεγάλο θα ναι το κύμα όταν φτάσει στην ακτή. Επίσης μπορούμε να εκμεταλλευτούμε και την τεχνολογία των δορυφόρων και μαζί με την εγκατάσταση μηχανημάτων σε λιμάνια που μετρούν την παλίρροια και την στάθμη της θάλασσας να μπορέσουμε να έχουμε μία έγκαιρη σχετικά προειδοποίηση του κόσμου για την εκκένωση των ακτών. (*Satake et al. 2007*)

Για μακροπρόθεσμες προγνώσεις τσουνάμι είναι σημαντικό να χρησιμοποιήσουμε αρχεία παλαιοτέρων τσουνάμι από ιστορικά αλλά και γεωλογικά δεδομένα. Η παλαιοσεισμολογική μελέτη των νησιών Nicobar, Andaman θα μας βοηθούσε να κατανοήσουμε την συχνότητα των σεισμών στον Ινδικό Ωκεανό.

Κεφάλαιο 7 : Βιβλιογραφία - Πηγές

- T. Rosetto, N. Peiris, A. Pomonis, S.M. Wilkinson, D. Del Re, R. Koo, S. Gallocher "The Indian Ocean tsunami of december 26, 2004: observations in Sri lanka and Thailand, 17 Νοεμβρίου 2006, Springer Science + Business Media

- K. Satake, E.A. Okal, and J.C. Borrero, "Tsunami and its hazard in the Indian an pacific oceans:introduction", Pure appl. Geopshys. 164 (2007) 249-259 0033-4553/07/030249-11, Birkhauser Verlag, Basel m 2007

- Gahalaut, V.K., Nagarajan, B., Catherine, J.K. and Kumar, S., 2006. Constraints on 2004 Sumatra–Andaman earthquake rupture from GPS measurements in Andaman–Nicobar Islands, Earth and Planetary Science Letters, 242, 365-374.

- Claudio Vita-Finzi, Department of Mineralogy, Natural History Museum, Cromwell Rd., London SW7 5BD, UK, Neotectonics and the 2004 and 2005 earthquake sequences at Sumatra

- V.S. Singh, National Geophysical Research Institute, Hyderabad 500 007, AP, India, Impact of the Earthquake and Tsunami of December 26, 2004, on the groundwater regime at Neill Island (south Andaman

- Lay, T., Kanamori, H., Ammon, C.J., Nettles, M., Ward, S.N., Aster, R.C., Beck, S.L., Bilek, S.L., Brudzinski, M.R., Butler, R., DeShon, H.R., Ekström, G., Satake, K. and Sipkin, S., 2005. The Great Sumatra–Andaman earthquake of 26 December 2004, Science, 308, 1127-1133.

- Jean-Pierre Leclerca, Corresponding Author Contact Information, E-mail The Corresponding Author, Christophe Bergera, Anthony Foulonb, Remi Sarrauteb and Lauriane Gabetb

aLaboratory of Chemical Engineering Science, LSGC-CNRS-ENSIC, 1 rue Grandville, B.P. 451, 54001 Nancy Cedex, France

bSolidarités, Villa Souchet, 105 Avenue Gambetta, 75020 Paris, France Received 3 July 2006; accepted 3 May 2007. Available online 6 December 2007

- Y. Tony Song, Department of Earth Science, University of California, Santa Barbara, The role of horizontal impulses of the faulting continental slope in generating the 26 December 2004 tsunami

- Ammon, C.J., Chen, J., Thio, H.-K., Robinson, D., Sidao, N., Hjorleifsdottir, V., Kanamori, H., Lay, T., Das, S., Helmberger, D., Ichinose, G., Polet, J. and Wald, D., 2005. Rupture process of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake, Science, 308, 1133-1139 - Park, J., Anderson, K., Aster, R., Butler, R., Lay, T., Simpson, D., 2005. Global seismographic network records the Great Sumatra– Andaman earthquake. EOS Trans. AGU 86 (6), 60.

- Kerr, R.A., 2005. Model shows islands muted tsunami after latest Indonesian quake. Science 308, 341

- Levy, J.K., Gopalakrishnan, C., 2005. Promoting disasterresilient communities: The Great Sumatra–Andaman earthquake of 26 December 2004 and the resulting Indian Ocean tsunami. Water Resour. Develop. 21 (4), 543–559

- Natawidjaja, D.H., Sieh, K., Ward, S.N., Cheng, H., Edwards, R.L., Galetzka, J. and Suwargadi, B.W., 2004. Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central Sumatran microatolls, Indonesia, Journal of Geophysical Research, 109, B04306.

- Newcomb, K.R. and McCann, W.R., 1987. Seismic history and seismotectonics of the Sunda Arc, Journal of Geophysical Research, 92, 421-439.

- Anu, R. and Rajendran, K., 2006. Co-seismic deformation along the Andaman-Nicobar arc based on GPS data and ground observations, Proc. Of the XVIII Kerala Science Congress, Akkulam, 29-31 January, 226-228

- Bourgeois, J., Hansen, T.A., Wiberg, P.L., Kauffman, E.G., 1988. A tsunami deposit at the cretaceous-tertiary boundary in Texas. Science 241 (4865), 567–570.

- Hills, J.G., Goda, M.P., 1998. Tsunami from asteroid and comet impacts: the vulnerability of Europe. Science of Tsunami Hazards 16 (1), 3–10

- Bryant, E., 2001. Tsunami. The underestimated hazard. Journal of Quaternary Science 18 (6), 581–582

- Gedik, N., Irtem, E., Kabdasli, S., 2005. Laboratory investigation on tsunami run-up. Ocean Engineering 32 (5-6), 513–528

- Ramachandran, S., Anitha, S., Balamurugan, V., Dharanirajan, K., Vendhan, K.E., Divien, M.I.P., Vel, A.S., Hussain, I.S., Udayaraj, A., 2005. Ecological impact of tsunami on Nicobar Islands (Camorta, Katchal, Nancowry and Trinkat). Current Science 89 (1), 195–200

- Rasheed, K.A.A., Das, V.K., Revichandran, C., Vijayan, P.R., Thottam, T.J., 2006. Tsunami impacts on morphology of beaches along South Kerala coast West Coast of India. Science of Tsunami Hazards 24 (1), 24–34

- Murty, T.S., Bapat, A., 1999. Tsunami on the coastlines of India. Science of Tsunami Hazards 17 (3), 167–172

- Altinok, Y., Ersoy, S., 2000. Tsunamis observed on and near the Turkish coast. Natural Hazards 21, 185–205

- Besana, G.M., Ando, M.H., Mirabueno, M.H., 2004. The May 17, 1992 event: tsunami and coastal effects in Eastern Mindanao, Philippines. Science of Tsunami Hazards 22 (2), 61–68

- Ioualalen, M., Asavanant, J., Kaewbanjak, N., Grilli, S.T., Kirby, J.T., Watts, P., 2007. Modeling the 26 December 2004 Indian ocean tsunami: case study of impact in Thailand. Journal of Geophysical Research-Oceans 112 (C7), C07024

- Banerjee, P., Pollitz, F.F., Nagarajan, B., Bürgmann, R., 2007. Coseismicslip distributions of the 26 December 2004 Sumatra–Andaman and 28 March 2005 Nias earthquakes from GPS static offsets. Bull. Seismol. Soc. Am. 97, 86–102

- M.A. Helal, M.S. Mehanna, 2007 Tsunamis from nature to physics, Department of Mathematics, Faculty of Science, University of Cairo, Giza, Cairo, Egypt

- Abe, K., 1973. Tsunami and mechanism of great earthquakes. Phys. Earth. Planet Int. 7, 143–153

- Fujii, Y., Satake, K., 2007. Tsunami source of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake inferred from tide gauge and satellite data. Bull. Seism. Soc. Am. 97

- Dutykh, D., Dias, F., 2007a. Water waves generated by a moving bottom. In: Kundu, Anjan (Ed.), Tsunami and Nonlinear waves. Springer Verlag (Geo Sci.)

- Segur H. Waves in shallow water. In: International workshop on tsunami and nonlinear waves, Calcutta, India, March 2006

- Dutykh, D., Dias, F., Kervella, Y., 2006. Linear theory of wave generation by a moving bottom. C.R. Acad. Sci. Paris Ser. I 343, 499–504

- Bhattacharjee, Y. (2005) Indian Ocean tsunami: in wake of disaster, scientists seek out clues to prevention. Science V. 307, pp. 22-23

- Ε. Καρύμπαλης, 2004, Σημειώσεις Παράκτιας Γεωμορφολογίας, Αθήνα, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Τμήμα Γεωγραφίας - Γ. Μιγκίρος Α. Παυλόπουλος, Ι. Παρχαρίδης, Ι.Γ.άτσης, Ε.Ψωμιάδης, 2003, Τηλεπισκόπηση- Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες, Αθήνα, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Τμήμα Γεωγραφίας

-Fieldguide Erdas, 1997

- Encarta Encyclopedia

<u>ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ</u>

www.andaman.org

www.crisp.nus.edu.sg/tsunami

http://tsunamiandaman.tn.nic.in/

www.waveofdestruction.org/tsunami-photos/v/satellite/

http://tsunamiandaman.tn.nic.in/nrsa-images.htm

http://earth.esa.int/proba

www.esa.int/esaEO/SEM9WO2VQUD_index_0_m.html

http://envisat.esa.int

http://earth.esa.int/ers/