

ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ

Α. Τσώκος¹, Γεωλόγος M.Sc., Υποψήφιος Διδάκτορας Ε.Μ.Π.
Ε. Κώτση², Γεωλόγος M.Sc.
Ε. Βασιλάκης², Λέκτορας ΕΚΠΑ

¹Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (Ε.Λ.Ε.), Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.)

²Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Σχολή Θετικών Επιστημών
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το φαινόμενο της έντονης μεταβολής των ακτογραμμών σε βάθος χρόνου αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στο σχεδιασμό τεχνικών έργων κατά μήκος της παράκτιας ζώνης. Στην παρούσα εργασία περιγράφεται μια μεθοδολογία που έχει στόχο την ποσοτικοποίηση του ρυθμού της μεταβολής μιας ακτογραμμής και ιδιαίτερα την ταχύτητα διάβρωσής της. Ένα μεγάλο τμήμα της ακτογραμμής του Νότιου Κορινθιακού Κόλπου (Κιάτο - Ξυλόκαστρο) έχει επιλεγεί για αυτή τη μελέτη, λόγω των έντονων φαινομένων διάβρωσης που έχουν παρατηρηθεί σε αρκετά μεγάλο μήκος.

Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία, περιλαμβάνει το συνδυασμό διαφορετικών τύπων δεδομένων τηλεπισκόπησης, που συνθέτουν μια χρονοσειρά από το 1987 μέχρι το 2012. Πρόέρχονται από την ορθοαναγωγή ιστορικών αναλογικών παγχρωματικών αεροφωτογραφιών υψηλής ευκρίνειας (1987, 1996) και σύγχρονων ψηφιακών πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων με υψηλή διακριτική ικανότητα (2000, 2008, 2012). Σε κάθε περίπτωση έγινε ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων και βελτιστοποίηση του οπτικού αποτελέσματος με σκοπό τη χάραξη της ακτογραμμής κάθε χρονικής περιόδου με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια, ενώ έγινε εισαγωγή, σύγκριση και γεωστατιστική ανάλυσή τους σε περιβάλλον Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών. Κατασκευάστηκε ένας μεγάλος αριθμός τομών κάθετα προς την ακτή (ανά 100 μέτρα) σε κάθε μία από τις οποίες υπολογίστηκε η μετατόπιση της ακτογραμμής.

Τα αποτελέσματα αφορούν στον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της θέσης της ακτογραμμής για την τελευταία 25-ετία για κάθε τομή, ενώ η ακρίβειά τους μας επιτρέπει να προβλέψουμε τη μελλοντική θέση της σε περίπτωση που δεν συμβούν σημαντικές παρεμβάσεις στην περιοχή. Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να ποσοτικοποιηθεί ο φυσικός κίνδυνος της παράκτιας διάβρωσης στην πιλοτική περιοχή. Υπολογίστηκε ότι η μέση τιμή του ρυθμού απώλειας της παραλιακής ζώνης είναι της τάξης των 0.24 m/έτος, ενώ εντοπίστηκαν και περιοχές με ακραίες τιμές της τάξης του 1 m/έτος, αυξάνοντας κατακόρυφα την επικινδυνότητα κάποιων σημείων.

SHORELINE CHANGE DETECTION AND COASTAL EROSION MONITORING USING DIGITAL PROCESSING OF A TIME SERIES OF HIGH SPATIAL RESOLUTION REMOTE SENSING DATA

A. Tsokos¹, Geologist M.Sc., c. Ph.D. NTUA
E. Kotsi², Geologist M.Sc.
E. Vasilakis², Lecturer UOA

¹Laboratory of Harbour Works (L.H.W.), Department of Civil Engineering
National Technical University of Athens (N.T.U.A.)

² Faculty of Geology and Geoenvironment, School of Science
University of Athens (U.O.A.)

ABSTRACT

The long term change of the shoreline is a phenomenon, which is factored in the design of construction projects along the coastal line. This study presents a methodology that aims to quantify the displacement rate of the shoreline and most importantly the coastal erosion rate. This study was conducted over a large part of the southern coast of the Corinthian Gulf (from Kiato moving westward to Xylokaastro) because of the intensity of the phenomenon in the largest part of the aforementioned area.

The methodology described in this paper, involves the combination of different types of remote sensing data, which make up a time series of representations of the coastline spanning from 1987 to 2012. The representation of the shoreline is based on topographically corrected (ortho-rectified), historical, analogue, panchromatic, high resolution aerial photos of the area (1987, 1996) and modern, digital, multispectral, high resolution satellite images (2000, 2008, 2012). In all cases the images were digitally processed and optically optimized in order to produce a highly accurate representation of the shoreline in each time period. All the data were imported in a Geographic Information System platform, where they were subjected to comparison and a geo-statistical analysis. A large number of sections perpendicular to the coast (every 100 meters) was drawn and the relative motion of the coastline was calculated for each of them.

The results of the study describe the calculation of the displacement rate of the relative position of the shoreline for the last 25-year period and their accuracy allows us to predict its future position of the shoreline, in the case that no significant intervention is performed in the region. The applied methodology was used in order to quantify the risk of coastal erosion in the area of study. The average rate of loss of coastal zone was calculated at an average around 0.24 m/yr for the whole area of study although in places it reached values up to 1 m/yr, dramatically increasing the risk of a natural disaster in these spots.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φαινόμενο της έντονης μεταβολής της ακτογραμμής σε βάθος χρόνου αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στο σχεδιασμό των τεχνικών έργων κατά μήκος της παράκτιας ζώνης [(De Pippo et al., 2008), (Anthoff et al., 2010), (Nicholls and Hoozemans, 1996)]. Δεδομένου ότι ένας μεγάλος αριθμός των ανθρώπινων δραστηριοτήτων λαμβάνουν χώρα κοντά ή κατά μήκος της ακτογραμμής (EUROSION, 2004) είναι σημαντικό να εντοπισθούν τα επικίνδυνα τμήματα και να ποσοτικοποιηθεί ο φυσικός κίνδυνος της παράκτιας διάβρωσης όσο το δυνατόν με μεγαλύτερη ακρίβεια (Evans et al., 2004). Η αλλαγή της τοπογραφίας κατά μήκος της ακτής και κυρίως των έντονων φαινομένων διάβρωσης που έχουν παρατηρηθεί σε αρκετά μεγάλο μήκος κυρίως λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης [(Kloehn et al., 2008), (Rijn, 1998)] στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών μπορεί να δώσει στους επιστήμονες τη δυνατότητα να μελετήσουν τις παράκτιες αλλαγές με διάφορες μεθοδολογίες προκειμένου να υπολογίσουν το ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής [(Zuidam and Zuidam-Cancelado, 1979), (Harke and Richmond, 2000), (Alhim and Niemeyer, 2009)]. Για τον προσδιορισμό του ρυθμού απαιτείται μια χρονική σειρά δεδομένων, η οποία να πηγαίνει αρκετά πίσω στο χρόνο [(Malthus and Mumby, 2003), (Boak and Turner, 2005)]. Τα δεδομένα αυτά συνήθως αφορούν δεδομένα τηλεπισκόπησης είτε αναλογικά (αεροφωτογραφίες) είτε ψηφιακά (δορυφορικές εικόνες). Οι εικόνες αυτές μπορούν να επεξεργαστούν ψηφιακά και να ερμηνευθούν έτσι ώστε να αποτελέσουν μια πολύτιμη πηγή πληροφοριών για το έτος λήψης τους. Η διαδικασία της ψηφιακής επεξεργασίας είναι προ απαιτούμενη για την δημιουργία ορθοδιορθωμένων συνόλων για κάθε χρονική περίοδο με στόχο την παραγωγή συγκρίσιμων μεταξύ τους δεδομένων, αλλά και τον προσδιορισμό μιας σειράς περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Vassilakis, 2012). Η συλλογή δεδομένων υπαίθρου και η επιβεβαίωση στο πεδίο είναι αναγκαία για τον προσδιορισμό των πραγματικών αιτιών των παράκτιων αλλαγών, οι οποίες μπορεί να σχετίζονται είτε με φυσικά αίτια, είτε με ανθρώπινη παρέμβαση ή και τα δύο μαζί.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η υπό μελέτη περιοχή βρίσκεται στον Κορινθιακό Κόλπο του οποίου οι νότιες παράκτιες ζώνες βρίσκονται υπό τεκτονικό έλεγχο. Ένας μεγάλος αριθμός από ενεργές ρηξιγενείς ζώνες με γενικές κλίσεις προς βορρά, αναπτύσσονται σχεδόν παράλληλα με τη σημερινή ακτογραμμή και συμβάλλουν στη διαρκή διάνοιξη του Κόλπου, κατά μήκος ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης, με ρυθμούς της τάξης των 14 mm/έτος, όπως αυτό έχει διαπιστωθεί από μετρήσεις GPS [(Briole et al., 2000), (Hollenstein et al., 2008), (McClusky et al., 2003), (Vassilakis et al., 2011)]. Το φαινόμενο αυτό έχει άμεση επίδραση στη μεταβολή της θέσης της ακτογραμμής. Οι έντονες μεταβολές στην θέση της ακτογραμμής σε βάθος χρόνου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της παράκτιας ζώνης του Νότιου Κορινθιακού κόλπου.

Σχεδόν σε ολόκληρη τη παράκτια ζώνη του Νότιου Κορινθιακού κόλπου εκβάλλουν μικρότερα ή μεγαλύτερα ποτάμια, των οποίων οι κοίτες διέρχονται εγκάρσια στις προαναφερθείσες ενεργές τεκτονικές ζώνες (Vassilakis et al., 2007). Το αποτέλεσμα αυτών

των κινήσεων είναι η συνεχής ανύψωση των βόρειων ακτών της Πελοποννήσου και κατά συνέπεια η έντονη κατά βάθος διάβρωση, η οποία συμβάλλει στη συνεχή τροφοδοσία των δελταϊκών περιοχών με υλικά προερχόμενα από αυτή. Έτσι, κατά μήκος της παράκτιας ζώνης εντοπίζονται αλλουβιακοί σχηματισμοί και σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων που αποτελούνται από αδρομερή υλικά όπως άμμοι και κροκαλολατύπες στις κοίτες των χειμάρρων, ενώ κατά θέσεις έχουν σχηματιστεί αναβαθμίδες μικρού πάχους. Οι αποθέσεις των παλαιών ακτών προοδευτικά υποχωρούν και καλύπτονται από προσχώσεις και υλικά προερχόμενα από την αποσάθρωση των γύρω σχηματισμών (Katsikatsos et al., 1984).

Οι μορφολογικές κλίσεις στην παράκτια ζώνη είναι ομαλές παρουσιάζοντας μικρές τιμές έως 5%. Οι εργασίες υπαίθρου επιβεβαίωσαν τις χαμηλές κλίσεις και την έλλειψη κρημνών, τουλάχιστον κατά μήκος της περιοχής μελέτης. Το τμήμα που έχει επιλέγει για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι μήκους 14,5 km και εκτείνεται από το τέλος του παράκτιου Δήμου Σικυωνίων έως και το Δήμο Ξυλοκάστρου. Στην περιοχή μελέτης έχει καταγραφεί μεγάλη οικιστική και τουριστική ανάπτυξη κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, ενώ σε όλο το μήκος της παράκτιας ζώνης έχουν κατασκευαστεί λιμενικά έργα με σκοπό τον περιορισμό της διάβρωσης.

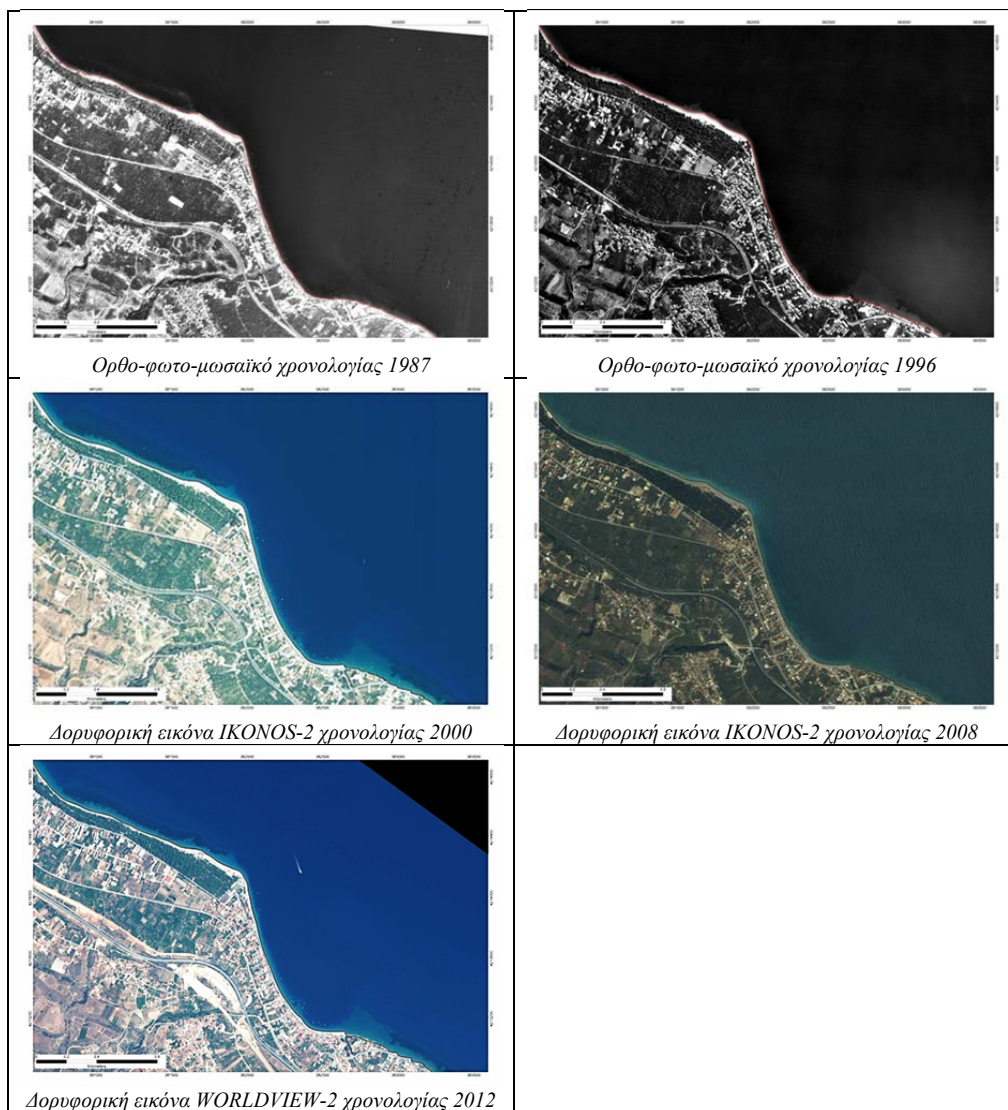
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μελέτη έγινε με τη χρήση δύο διαφορετικών τύπων πληροφοριών. Ιστορικές αναλογικές παγχρωματικές αεροφωτογραφίες υψηλής ευκρίνειας [(Zuidan and Zuidam-Cancelado, 1979), (Harke and Richmond, 2000)] και σύγχρονες ψηφιακές πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες με υψηλή διακριτική ικανότητα. Η λήψη των αεροφωτογραφιών έγινε κατά τη διάρκεια του 1987 και του 1996, ενώ οι δορυφορικές εικόνες απεικονίζουν την περιοχή μελέτης κατά τα έτη 2000, 2008 και 2012 (Εικ. 1). Ο συνδυασμός του συνόλου των δεδομένων διορθώθηκε και καταχωρήθηκε στο ίδιο σύστημα προβολής, ενώ καλύπτει ένα χρονικό διάστημα 25 ετών. Σε όλα τα στάδια της μεθοδολογίας που περιγράφεται παρακάτω χρησιμοποιήθηκε το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (Mugnier, 2002).

Οι αναλογικές αεροφωτογραφίες σαρώθηκαν σε σαρωτή υψηλής ανάλυσης (1200 dpi) (Chaaban et al., 2012) και ακολούθως συνορθώθηκαν με τη χρήση φωτογραμμετρικού λογισμικού πακέτου (Vassilakis and Papadopoulou, 2014). Για την γεωμετρική διόρθωση τόσο των σαρωμένων αεροφωτογραφιών, όσο και των ψηφιακών δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου, το οποίο δημιουργήθηκε από ισοϋψείς και υψομετρικά σημεία τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5000, με χωρική ανάλυση 10 μέτρα. Χρησιμοποιήθηκε φωτογραμμετρικό λογισμικό για την ταυτοποίηση σημείων μεταξύ των αεροφωτογραφιών ή των δορυφορικών και των σημείων ελέγχου (Moore, 2000). Τα σημεία ελέγχου έχουν γνωστές συντεταγμένες (X,Y) και υψομετρικά στοιχεία. Η διαδικασία της ορθοαναγωγής των αεροφωτογραφιών οδήγησε στην δημιουργία δύο παγχρωματικών μωσαϊκών, ένα για κάθε χρόνο παρατήρησης (1987 και 1996).

Αντίστοιχα η ορθοαναγωγή των δορυφορικών εικόνων είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή τριών πολυφασματικών μωσαϊκών, για τα έτη 2000, 2008 και 2012 (Gens, 2010). Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τους δορυφόρους Ikonos-2 (για τα έτη 2000 και 2008) με χωρική διακριτική ικανότητα 1 μέτρου και Worldview-2 (για το έτος 2012) με χωρική ανάλυση 0.5 μέτρου. Οι εικόνες που

παρήχθησαν βασίστηκαν στα αρχικά δεδομένα και ως εκ τούτου τα ψηφιακά προϊόντα ήταν 16 bit. Οι τελικές εικόνες μετατράπησαν σε 256 τιμές της κλίμακας του γκρι (8 bit).

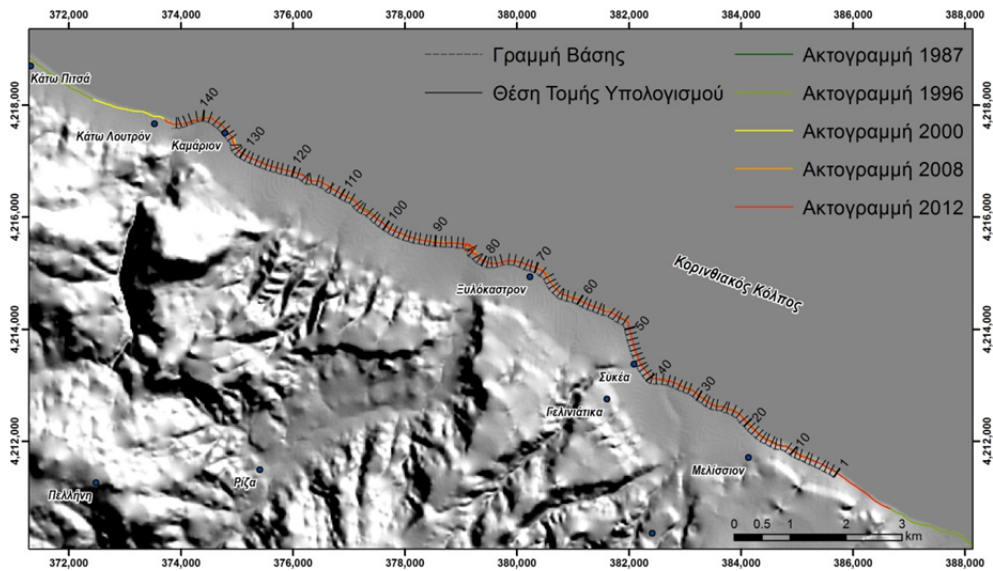


Εικόνα 1. Δείγμα της χρονοσειράς των δεδομένων τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν, για την περιοχή μεταξύ Ξυλοκάστρου-Συκιάς. Είναι ορατή η μεταβολή στην ακτογραμμή καθώς και κάποιες μεταβολές στην ξηρά. Όλα τα δεδομένα έχουν υποστεί ορθοαναγωγή σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.

Η χρήση του ορατού τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για τα συλλεχθέντα δεδομένα τηλεανίχνευσης παρέχει μια ομοιογένεια και αντικειμενικότητα στην

μεθοδολογία. Με τη χρήση ψηφιακών τεχνικών ερμηνείας εικόνας ψηφιοποιήθηκε η ακτογραμμή για διαφορετικές περιόδους μελέτης. Το δυσκολότερο σημείο ήταν να εντοπιστούν με ακρίβεια τα σημεία επαφής της θάλασσας με τη χέρσο, έτσι ώστε να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η θέση της ακτογραμμής. Προκειμένου να προσδιοριστεί ακριβέστερα η χάραξη της ακτογραμμής έγινε εξισορρόπηση του ιστογράμματος της εικόνας και σε μερικές περιπτώσεις εφαρμόστηκε ένας συντελεστής βαρύτητας, ο οποίος ήταν διαφορετικός για κάθε αεροφωτογραφία και προσδιορίζονταν τόσο από τα στοιχεία της πτήσης, όσο και από την προσανατολισμό του ηλιακού φωτός τη δεδομένη στιγμή λήψης των αεροφωτογραφιών.

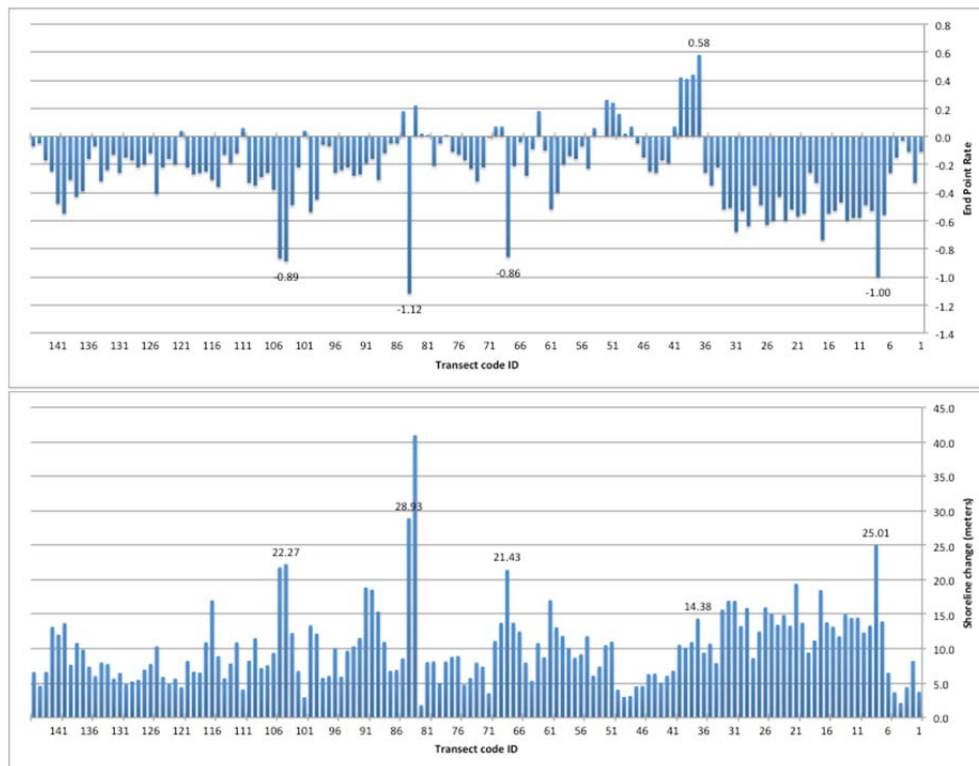
Σημαντικό στοιχείο της παρούσας μελέτης αποτέλεσε η υιοθέτηση μιας μεθοδολογίας προκειμένου να υπάρξει μια αντικειμενική και συγκρίσιμη παρατήρηση για το σύνολο της περιοχής μελέτης. Θα πρέπει επίσης η μεθοδολογία αυτή να είναι τόσο λεπτομερής και ακριβής ώστε να προχωρήσει σε ποσοτικοποίηση της διάβρωσης ή απόθεσης σε κάθε περιοχή. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε μια επέκταση του λογισμικού ESRI ArcGIS v.10 που δημοσιεύθηκε από την USGS και πρόκειται για το ψηφιακό σύστημα ανάλυσης ακτογραμμών (Digital Shoreline Analysis System v.4.3). Η επέκταση DSAS επιτρέπει τη δημιουργία κάθετων τομών των ιστορικών ακτογραμμών προς μια σταθερή ευθεία που ορίζει ο χρήστης σε μια δεδομένη απόσταση (Εικ. 2). Οι μετρήσεις αυτές δίνουν ποσοτικά στοιχεία αλλαγής στις θέσεις της ακτογραμμής, αλλά και αρκετά χρήσιμα στατιστικά στοιχεία. Η απόσταση μεταξύ κάθε τομής ορίστηκε στα 100m. Ο πίνακας των στατιστικών που εξάγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για τη δημιουργία γραφημάτων, είτε για την οπτικοποίηση αυτών σε ένα περιβάλλον GIS (Εικ. 3).



Εικόνα 2. Οι θέσεις τομών για τον υπολογισμό μεταβολής της ακτογραμμής. Διακρίνονται επίσης και τα ίχνη των ακτογραμμών για κάθε έτος.

Τα στατιστικά αυτά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν σε όλο το μήκος της ακτογραμμής που μελετήθηκε. Σε κάθε τμήμα είχαμε πέντε μετρήσεις, μία για κάθε χρονοσειρά που χρησιμοποιήθηκε. Δημιουργήθηκαν συνολικά περίπου 100 τομές για την ποσοτικοποίηση της αύξησης ή της υποχώρησης της ακτής, αλλά και για τον υπολογισμό του ποσοστού μεταβολής κατά την χρονική περίοδο 1987 έως 2012.

Τα ποσοτικά αποτελέσματα δεν είναι ομοιογενή για όλο το μήκος της ακτογραμμής. Παρ' όλα αυτά υπολογίστηκε ότι η μέση τιμή του ρυθμού απώλειας της παραλιακής ζώνης είναι της τάξης των 0.24 μέτρων/έτος. Αξιοσημείωτο είναι ότι εντοπίστηκαν και περιοχές με ακραίες τιμές της τάξης του 1 μέτρου/έτος. Οι περιοχές αυτές είναι κυρίως περιοχές με μεγάλη οικιστική ανάπτυξη κατά μήκος της παράκτιας ζώνης, αυξάνοντας κατακόρυφα την επικινδυνότητα κάποιων σημείων.



Εικόνα 3. Στατιστικά διαγράμματα όπου παρουσιάζονται οι ρυθμοί απόθεσης (+) ή διάβρωσης (-) σε κάθε τομή (πάνω) καθώς και η συνολική μεταβολή (κάτω).

4. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

Στην περιοχή του παραθαλάσσιου χωριού Μελίσσι το φαινόμενο της διάβρωσης, όπως αυτό καταγράφεται στις αεροφωτογραφίες του 1987 και 1996, καθώς και στις δορυφορικές εικόνες που επεξεργάστηκαν είναι έντονο (τομές 1-36). Η ακτή υποχωρεί

αρκετά από το 1987 έως και σήμερα. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι μέσα σ' αυτές τις δεκαετίες αναπτύχθηκε ο οικισμός Μελισσίου πάνω στην ακτή χωρίς ενδεχομένως να γίνει κάποιο έργο προστασίας της ακτής.

Δυτικά του χωριού Συκιά βρίσκεται η παραλιακή ζώνη του Ξυλοκάστρου (τομές 55-81). Εκατέρωθεν του τουριστικού περιπτέρου η ακτή πληρώνεται με φερτά υλικά από τον ποταμό Σύθα (Τρικάλινός). Ακριβώς μπροστά από την πλατεία του Αγίου Βλάσση κατασκευάστηκε το 1992 κυματοθραύστης, ο οποίος έχει δημιουργήσει tombolo. Για την προστασία του παραλιακού δρόμου έχει κατασκευαστεί τοιχίο που εκτείνεται από την περιοχή του τουριστικού περιπτέρου και σε μήκος 1,5km. Το τοιχίο έχει θωρακιστεί με φυσικούς ογκόλιθους. Δυτικά του κυματοθραύστη έχουν κατασκευαστεί πρόβολοι από φυσικούς ογκόλιθους αλλά και από σκυρόδεμα. Ο ποταμός Σύθας εκβάλει αμέσως μετά το τέλος της θωρακίσεως. Παρά το γεγονός ότι ο ποταμός Σύθας αποτελεί σημαντική πηγή φερτών υλικών, η ακτή κατά μήκος της περιοχής του Ξυλοκάστρου οπισθοχωρεί. Η οπισθοχώρηση αυτή οφείλεται, εκτός από τη διαβρωτική δράση των κυμάτων, και στο γεγονός ότι τα υλικά που αποθέτει ο ποταμός πολλές φορές έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο στην κατασκευή πολύ σημαντικών τεχνικών έργων, όσο και για την πλήρωση διαφόρων σημείων κατά μήκος του παραλιακού μετώπου.

Αμέσως δυτικά της παραλιακής ζώνης Ξυλοκάστρου βρίσκεται η παραλιακή ζώνη Καμαρίου (τομές 87-145). Στο όριο των δύο αυτών παραθαλάσσιων περιοχών εκβάλουν δύο χείμαρροι. Ο χείμαρρος Σπαρτίλας και ο χείμαρρος Κολώνες έχουν κοινές εκβολές παρ' όλα αυτά έχουν πολύ μικρή στερεοπαροχή. Στην ακτή Καμαρίου εκβάλει επίσης και ο ποταμός Αραχωβίτικος. Δυστυχώς ο ποταμός αυτός δεν έχει τόσο μεγάλη στερεοπαροχή ώστε το ίζημα που αποθέτει να είναι ικανό να ανακόψει την διαβρωτική δράση των κυμάτων. Η διάβρωση της ακτής φαίνεται ακόμα και στην περιοχή των εκβολών του Αραχωβίτικου.



Εικόνα 4. Θέση κατά μήκος του παραλιακού μετώπου Μελισσίου, όπου η έντονα διαβρωτική δράση των κυμάτων έχει προκαλέσει σοβαρές ζημιές ακόμη και στο προστατευτικό τοιχίο κατά μήκος του παραλιακού δρόμου (αριστερά). Δεξιά φαίνονται καταστροφές σε κτίσματα κατά μήκος της παραλίας του Καμαρίου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση ιστορικών αναλογικών παγχρωματικών αεροφωτογραφιών και σύγχρονων ψηφιακών πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων υψηλής διακριτικής ικανότητας, με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση του ρυθμού της μεταβολής μιας ακτογραμμής και ιδιαίτερα της ταχύτητας διάβρωσής της.

Από την εφαρμογή της ανωτέρω μεθοδολογίας στην περιοχή μελέτης υπολογίστηκε ο ρυθμός μεταβολής της θέσης της ακτογραμμής για την τελευταία 25-ετία. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή του ρυθμού απώλειας της παραλιακής ζώνης είναι της τάξης των 0.24 m/έτος, ενώ εντοπίστηκαν και περιοχές με ακραίες τιμές της τάξης του 1 m/έτος, αυξάνοντας κατακόρυφα την επικινδυνότητα κάποιων σημείων. Στις θέσεις αυτές υπολογίστηκε ότι η απώλεια ακτής υπερβαίνει τα 20 μέτρα για την τελευταία 25-ετία και η λήψη μέτρων κρίνεται κάτι περισσότερο από αναγκαία. Η υποχώρηση και διάβρωση της ακτογραμμής μπορεί να χαρακτηριστεί ως γενική τάση στην περιοχή μελέτης όπως προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων, η οποία επιβαρύνεται επιπλέον και από την έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alhin, K.A.; Niemeyer, I. (2009). "Coastal Monitoring Using Remote Sensing and Geoinformation Systems: Estimation of Erosion and Accretion Rates Along Gaza Coastline.", In Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Cape Town, South Africa, 12–17 July 2009; pp. 29–32.

Anthoff, D., Nicholls, R.J., Tol, R.S.J. (2010). "The economic impact of substantial sea-level rise." Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Springer, vol. 15(4), 321-335

Boak, E.H. Turner, I.L. (2005). "Shoreline definition and detection: A review." J. Coast. Res. 2005, 21, 688–703.

Briole, P., Rigo, A., Lyon-Caen, H., Ruegg, J. C., Papazissi, K., Mitsakaki, C., Balodimou, A., Veis, G., Hatzfeld, D. & Deschamps, A. 2000. Active deformation of the Corinth rift, Greece: Results from repeated Global Positioning System surveys between 1990 and 1995. Journal Of Geophysical Research 105(B11), 25605-25625.

Chaaban, F.; Darwishe, H.; Battiau-Queney, Y.; Louche, B.; Masson, E.; Khattabi, J.E.; Carlier, E. (2012). "Using ArcGIS® modelbuilder and aerial photographs to measure coastline retreat and advance: North of France." J. Coast. Res. 2012, 28, 1567–1579.

De Pippo, T.; Donadio, C.; Pennetta, M.; Petrosino, C.; Terlizzi, F.; Valente, A. (2008). "Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy." Geomorphology 2008, 97, 451–466.

EUROSION (2004). "Living with coastal erosion in Europe: sediment and space for sustainability.", Report to Directorate General Environment, European Commission.

Evans, E., Ashley, R., Hall, J., Penning-Rowsell, E., Saul, A., Sayers, P., Thorne, C., Watkinson, A. (2004a). "Foresight Future Flooding, Scientific Summary: Volume I: Future risks and their Drivers.", Office of Science and Technology, London.

Gens, R. (2010). "Remote sensing of coastlines: Detection, extraction and monitoring.", Int. J. Remote Sens. 2010, 31, 1819–1836.

- Hapke, C.; Richmond, B. (2000). "Monitoring beach morphology changes using small-format aerial photography and digital softcopy photogrammetry.", *Environ. Geosci.* 2000, 7, 32–37.
- Hollenstein, C., Muller, M.D., Geiger, A. and Kahle, H.G., 2008a. Crustal motion and deformation in Greece from a decade of GPS measurements, 1993-2003. *Tectonophysics*, 449(1-4): 17-40.
- Katsikatsos, G.; Mettos, A.; Vidakis, M. (1984). "Geological Map of Greece 1:50,000", Greek Institute of Geology and Mineral Exploration: Athens, Greece, 1984.
- Kloehn, K.K.; Beechie, T.J.; Morley, S.A.; Coe, H.J.; Duda, J.J. (2008). "Influence of dams on river-floodplain dynamics in the Elwha River, Washington." *Northwest Sci.* 2008, 82, 224–235.
- Malthus, T.J.; Mumby, P.J. (2003). "Remote sensing of the coastal zone: An overview and priorities for future research.", *Int. J. Remote Sens.* 2003, 24, 2805–2815.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H.-G., Kastens, K., Kekelidge, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M. & Veis, G. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamic in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research* 105(B3), 5695-5719.
- Moore, L.J. (2000). "Shoreline mapping techniques.", *J. Coast. Res.* 2000, 16, 111–124.
- Mugnier, C. (2002). "Grids and datums: The hellenic republic." *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2002, 68, 1237–1238.
- Nicholls, R.J., Hoozemans, F.M.J. (1996). "The Mediterranean: vulnerability to coastal implications of climate change", *Ocean & Coastal Management*, 31 (2–3) (1996), 105–132.
- Rijn, L.C.v. (1998). "Principles of Coastal Morphology.", Aqua Publications, Amsterdam, The Netherlands.
- Vassilakis, E. (2010). "Remote sensing of environmental change in the antirio deltaic fan region, Western Greece.", *Remote Sens.* 2010, 2, 2547–2560.
- Vassilakis, E. & Papadopoulou-Vrynioti, K., 2014. Quantification of deltaic coastal zone change based on multi-temporal high resolution earth observation techniques, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(1), 18-28.
- Vassilakis, E., Royden, L. & Papanikolaou, D. (2011). "Kinematic links between subduction along the Hellenic trench and extension in the Gulf of Corinth, Greece: A multidisciplinary analysis." *Earth and Planetary Science Letters* 303(1-2), 108-120.
- Vassilakis, E., Skourtsos, E. & Kranis, H. 2007. Combination of morphometric indices as a method for the quantification of neotectonic evolution in active areas. In: 16th DRT Conference. *Nuova Serie 5. Rend. Soc. Geol. It.*, Milan, 214.
- Zuidam, R.A.v, Zuidam-Cancelado, F.I.v. (1979). "International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, 1979. Terrain analysis and classification using aerial photographs: a geomorphological approach.", Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences.