

# Εκτίμηση επικινδυνότητας της παράκτιας περιοχής Αγίου Κωνσταντίνου- Αρκίτσας (Ν. Φθιώτιδας) στους παράκτιους κινδύνους

Μπόβερρος Α.Π.<sup>1</sup>, Καρύμπαλης Ε.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελ. Βενιζέλου 17671, Αθήνα, Ελλάδα, [karymbalis@hua.gr](mailto:karymbalis@hua.gr)

## Περίληψη

Μεταξύ των σημαντικών επιπτώσεων της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη είναι και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Τα περισσότερα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν μια μελλοντική παγκόσμια άνοδο κατά 0,25-0,5 m έως το έτος 2100. Οι αναμενόμενες αρνητικές επιπτώσεις από ένα τέτοιο φαινόμενο έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη μεθοδολογιών που επιχειρούν την ποσοτικοποίηση της σχετικής επικινδυνότητας των διαφορετικών παράκτιων περιβαλλόντων ως προς τον φυσικό αυτό κίνδυνο. Η παρούσα εργασία διερευνά την επικινδυνότητα της παράκτιας περιοχής από την Αρκίτσα έως τον Άγιο Κωνσταντίνο (Βόρειος Ευβοϊκός Κόλπος) στην αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Για τον λόγο αυτό υπολογίστηκε ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας (Coastal Vulnerability Index -CVI). Ο υπολογισμός του δείκτη περιλαμβάνει την ποσοτικοποίηση έξι μεταβλητών που περιλαμβάνουν την παράκτια γεωμορφολογία, την παράκτια κλίση, το μέσο σημαντικό ύψους των προσερχόμενων κυμάτων, την οριζόντια μετατόπιση της ακτογραμμής κατά τις τελευταίες δεκαετίες, τη σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, και το εύρος της παλίρροιας. Για την εφαρμογή του δείκτη δημιουργήθηκε μια ψηφιακή βάση δεδομένων με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS10 και η ακτογραμμή κατηγοριοποιήθηκε σε επιμέρους τμήματα πολύ χαμηλής, χαμηλής, μέτριας, υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας για κάθε μία από τις παραπάνω μεταβλητές. Ο συνδυασμός των μεταβλητών οδήγησε στον υπολογισμό του δείκτη κατά μήκος της ακτογραμμής. Οι παράμετροι που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαφοροποίηση των τιμών του δείκτη, για την περιοχή μελέτης, είναι η παράκτια γεωμορφολογία και η μορφολογική κλίση της παράκτιας ζώνης. Διαπιστώθηκε ότι το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής μήκους 9,92km (που αντιστοιχεί στο 52,85% του συνόλου της ακτογραμμής που μελετήθηκε που φθάνει τα 18,77km) χαρακτηρίζεται ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας ενώ ένα μήκος 2,52 km (13,43%) ανήκει στην κατηγορία υψηλής επικινδυνότητας. Μέτρια επικινδυνότητα παρουσιάζει τμήμα μήκους 2,06 km (~10,97%) και χαμηλής επικινδυνότητας θεωρούνται 1,18 km (που αντιστοιχεί μόλις στο 6,29% της ακτογραμμής). Τέλος ένα μικρό σχετικά τμήμα της ακτογραμμής μήκους 3,09 km (16,46%) χαρακτηρίστηκε ως πολύ χαμηλής επικινδυνότητας.

**Λέξεις Κλειδιά:** Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας, παράκτια γεωμορφολογία, Φθιώτιδα

## Assessment of the sensitivity of Aghios Konstantinos – Arkitsa coast (Fthiotida Prefecture) to coastal hazards

### Abstract

Sea-level rise is among the most significant effects of the global warming due to climate change. Most of the sea-level rise predictive models propose an anticipated sea-level rise of 0.25-0.50 m by the year 2100. Recent projections of global sea-level rise due to climate change have generated an interest in coastal science to quantify the response of coastlines to sea-level change. Various approaches have been proposed to predict the evolution of the coastal zone under the influence of anticipated sea-level rise. The concept of the present investigation is the assessment of the sensitivity of the coastal zone from Aghios Konstantinos to Arkitsa (North Gulf of Evia) to the anticipated sea-level rise. For this purpose, the Coastal Vulnerability Index (CVI) has been applied. This index is based on the quantification of the following six variables: geomorphology, coastal slope, significant wave height, horizontal displacement of the coastline, relative sea-level change, and tidal range. GIS software

ArcGIS10, provided the platform for the coastal mapping and the calculation of the index. For each variable, the entire coastline of the study area is segmented into five vulnerability classes, and a vulnerability rank number is assigned to each segment of the coast (indicating the vulnerability level in terms of the given variable). The final CVI estimate along the coastline was made by combining all of the variables. Of the six variables, geomorphology and regional coastal slope introduce the greatest variability to the CSI values. According to the derived values, the larger part of the coastline with a length of 9.92km (which corresponds to 52.85% of the total length -18.77km- of the shoreline under investigation) has been classified as of very high vulnerability, while high vulnerability characterizes the 2.52 km (13.43%) of the coastline. Some 2.06 km (10.97%) demonstrates moderate vulnerability while 4.27 km (22.75%) presents low and very low vulnerability.

**Keywords:** Coastal Vulnerability Index, coastal geomorphology, Fthiotida Prefecture.

## Εισαγωγή

Μεταξύ των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, λόγω της κλιματικής αλλαγής, είναι και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Η άνοδος αυτή οφείλεται τόσο στη θερμική διαστολή του νερού των ωκεανών, όσο και στην τήξη των καλυμμάτων πάγου του πλανήτη (Allen and Komar 2006). Πρόσφατες ενδείξεις επιβεβαιώνουν την εκτεταμένη τήξη των πάγων στις περιοχές μεγάλης συγκέντρωσης παγετωδών καλυμμάτων της γης. Οι ρυθμοί υποχώρησης των πάγων στη Γροιλανδία εκτιμώνται σε  $239 \pm 23 \text{ km}^3/\text{έτος}$  (Chen et al. 2006), ενώ από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα η έκταση της παγοκάλυψης του Αρκτικού Ωκεανού μειώθηκε κατά περίπου 8% (Stroeve et al. 2007). Η περισσότερο ανησυχητική ένδειξη όμως είναι η εκτεταμένη τήξη των πάγων στη δυτική Ανταρκτική (Rignot et al. 2008), που έχει υπολογισθεί ότι συμβάλει κατά περίπου  $0,36 \text{ mm}/\text{έτος}$  στην παγκόσμια άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Chen et al. 2008).

Ο ρυθμός της αναμενόμενης ανόδου της στάθμης θάλασσας δεν είναι επακριβώς γνωστός. Τα περισσότερα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν μια μελλοντική παγκόσμια άνοδο κατά  $0,25-0,5 \text{ m}$  έως το έτος 2100. Για διάφορα σενάρια εξέλιξης των μελλοντικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα εκτιμάται ότι η άνοδος αυτή θα είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο του ρυθμού της ανόδου της στάθμης που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα. Η αξιολόγηση των δεδομένων από τους δορυφόρους TOPEX/Poseidon και Jason-1 οδηγεί στη διαπίστωση ότι από το 1993 οι ρυθμοί ανόδου της στάθμης της θάλασσας ανέρχονται σε  $3 \text{ mm}/\text{έτος}$  (Cazenave Nerem 2004; Leuliette et al. 2004). Η εκτίμηση αυτή είναι σύμφωνη με τις προβλέψεις της επιτάχυνσης της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης για τον 21<sup>ο</sup> αιώνα που έχουν δημοσιευθεί από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC). (IPCC 2007). Σύμφωνα με το πόρισμα της έκθεσης της IPCC του 2007 η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα φθάσει έως και τα  $59 \text{ cm}$  έως το έτος 2100 (Σχήμα 3). Βέβαια υπάρχουν και υποστηρικτές περισσότερο απαισιόδοξων προβλέψεων όπως ο Strohecker (2008) όπου βασιζόμενος σε ένα μοντέλο που επιτρέπει την ακριβή αναπαράσταση των σταθμών θάλασσας κατά τα τελευταία 2000 έτη υποστηρίζει ότι η τήξη των παγετώνων και η σταδιακή υποχώρηση των καλυμμάτων πάγου σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας του θαλάσσιου νερού θα μπορούσε να ανυψώσει τη στάθμη κατά  $1,5 \text{ m}$  έως τα τέλη του αιώνα.

Είναι προφανές ότι μια τέτοια άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα επηρεάσει άμεσα την παράκτια ζώνη προκαλώντας εκτός από τις γεωμορφολογικές-περιβαλλοντικές μεταβολές και σημαντικές κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις, το κόστος για την αντιμετώπιση των οποίων θα είναι πιθανότατα εξαιρετικά υψηλό (Καρύμπαλης 2010). Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύχθηκαν δείκτες, μαθηματικές δηλαδή εκφράσεις, που λαμβάνουν υπόψη διάφορες συχνά διαφορετικές μεταξύ τους παραμέτρους για την ποσοτικοποίηση της επικινδυνότητας όπως οι δείκτες παράκτιας επικινδυνότητας που εμπλέκουν παραμέτρους σχετικές με τα φυσικο-γεωγραφικά και ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά των παράκτιων περιοχών (Καρύμπαλης et al. 2014). Μεταξύ των δεικτών αυτών ξεχωρίζουν εκείνος που αρχικά προτάθηκε από τους

Thieler and Hammar-Klose (1999) για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των ακτών των ΗΠΑ στην επικείμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (CVI: Coastal Vulnerability Index) καθώς και ένας παρόμοιος δείκτης που χρησιμοποιήθηκε από τους Shaw et al. (1998) για τις ακτές του Καναδά (CSI: Coastal Sensitivity Index). Κατά καιρούς έχουν προταθεί δείκτες που δεν εμπλέκουν μόνο παραμέτρους που σχετίζονται με το φυσικό περιβάλλον και τα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά του παράκτιου χώρου αλλά συνεκτιμούν και την τρωτότητα συμπεριλαμβάνοντας μεταβλητές που αφορούν το κοινωνικο-οικονομικό καθεστώς, τις υποδομές καθώς και δημογραφικά δεδομένα όπως ο δείκτης κοινωνικής τρωτότητας των Boruff et al. (2005) που εφαρμόστηκε για την ποσοτικοποίηση της τρωτότητας των παράκτιων περιοχών των ΗΠΑ.

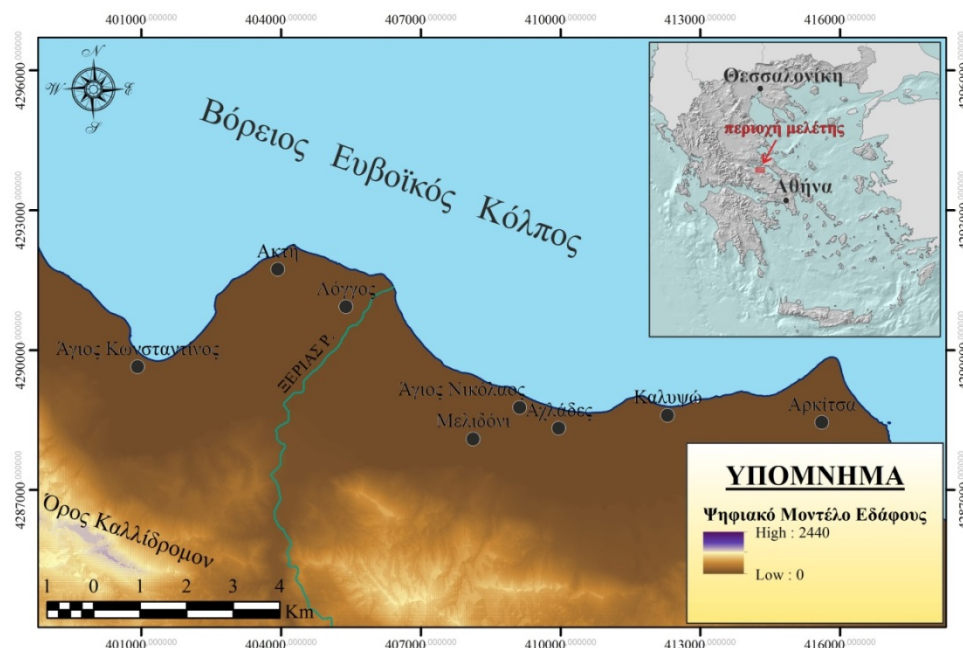
Η IPCC (2007), όρισε ως τρωτότητα (vulnerability) «το βαθμό κατά τον οποίον η κλιματική αλλαγή μπορεί να καταστρέψει ή να βλάψει ένα σύστημα και ο οποίος δεν εξαρτάται μόνο από την ευαισθησία του συστήματος αλλά και από την ικανότητα του να προσαρμόζεται στις νέες κλιματικές συνθήκες». Στην εργασία αυτή, ο όρος vulnerability μεταφράζεται ως επικινδυνότητα και όχι ως τρωτότητα όπως είναι η πιστή μετάφραση του όρου που χρησιμοποιείται από τους εμπνευστές του δείκτη CVI, θεωρώντας ότι εμπλέκει μεταβλητές που αφορούν μόνο τα φυσικο-γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής και όχι κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους (δημογραφικά στοιχεία, κοινωνικά δεδομένα κα).

Ο δείκτης που εφαρμόστηκε στην περιοχή μελέτης έχει υπολογιστεί πρόσφατα στη κλίμακα του Αιγαίου Πελάγους (Alexandrakis et al. 2009) αλλά και στην περίπτωση του Αργολικού Κόλπου (Gaki-Papanastassiou et al. 2011) των νότιων ακτών του Κορινθιακού (Karymbalis et al. 2012) και τμήματος των βόρειων ακτών του (Νασοπούλου et al. 2012) καθώς και για τα νησιά Σαλαμίνα και Ελαφώνησος (Karymbalis et al. 2014).

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η εκτίμηση της επικινδυνότητας τμήματος των δυτικών ακτών του Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου, από την Αρκίτσα έως τον Άγιο Κωνσταντίνο στην επικείμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με την εφαρμογή του δείκτη παράκτιας επικινδυνότητας.

## Περιοχή μελέτης

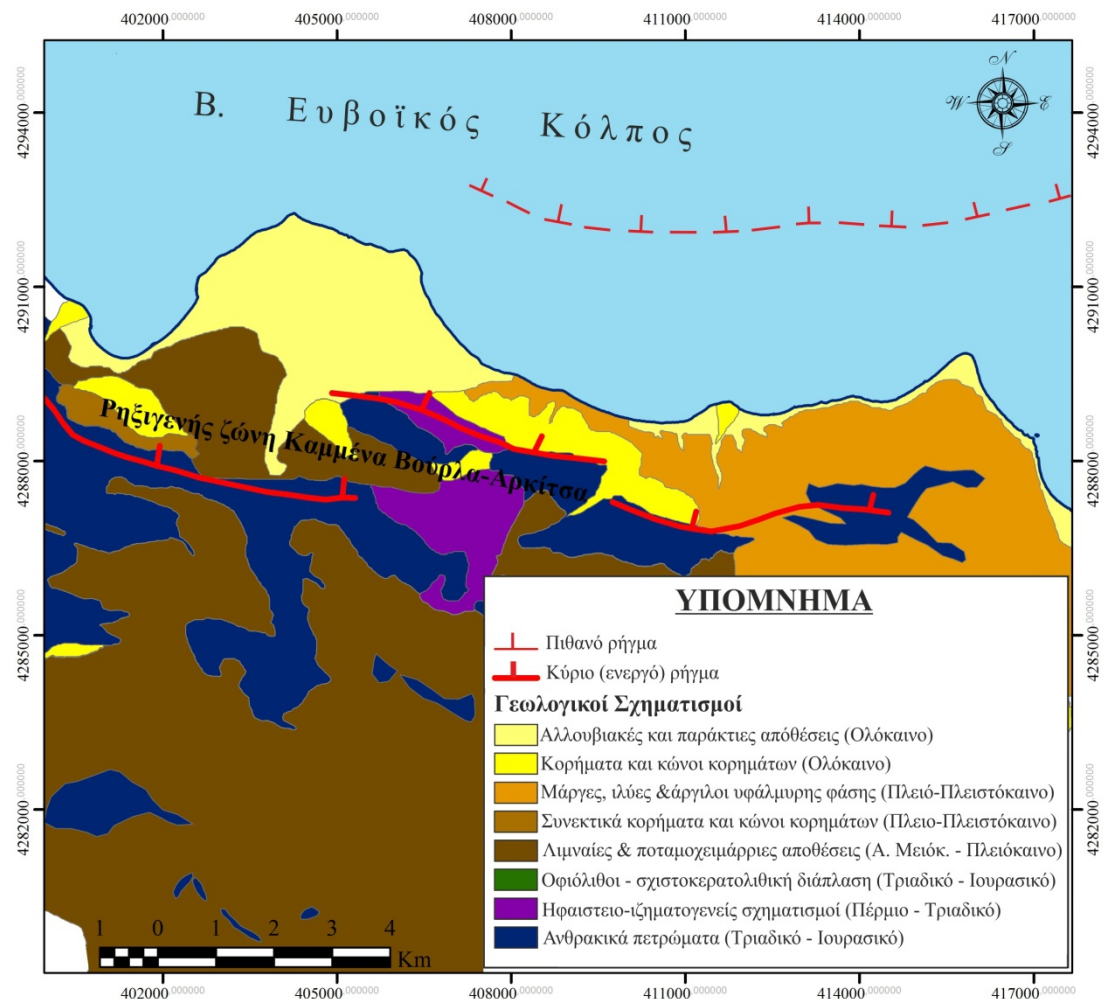
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στις δυτικές ακτές του Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου και διοικητικά υπάγεται στο νομό Φθιώτιδας (Εικ. 1). Εκτείνεται από τον Άγιο Κωνσταντίνο μέχρι την Αρκίτσα και έχει συνολικό μήκος ακτογραμμής περίπου 18,77km.



Εικόνα 1. Γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης.

Ο Βόρειος Ευβοϊκός Κόλπος είναι μια τεκτονική τάφρος μήκους 100 km και διεύθυνσης μέγιστου άξονα ΒΔ-ΝΑ που χωρίζει την Εύβοια στα ανατολικά από την ηπειρωτική Ελλάδα στα δυτικά. Αποτελεί μια από τις γεωμορφολογικά σημαντικές τεκτονικές δομές του Τεταρτογενούς της Κεντρικής Ελλάδας (Roberts and Jackson 1991). Ο μέσος ρυθμός εφελκυσμού της τεκτονικής τάφρου του Ευβοϊκού έχει εκτιμηθεί σε περίπου 1cm/έτος (Ganas and Papouliá 2000).

Κατά μήκος της ακτής της περιοχής μελέτης αναπτύσσονται Ολοκαινικής ηλικίας χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και κώνοι κορημάτων ενώ στην περιοχή Αγ. Νικολάου και δυτικά της Αρκίτσας στην ακτογραμμή καταλήγουν Πλειοπλειστοκαινικής ηλικίας αποθέσεις που αποτελούνται από μάργες, ιλύες και αργίλους υφάλμυρης φάσης (Εικ. 2).



Εικόνα 2. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, βασισμένος στους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ (1967; 1957; 1965; 1984).

Η περιοχή επηρεάζεται από κανονικά ρήγματα κλιμακωτής διάταξης, τα οποία έχουν διεύθυνση Α-Δ και ΔΒΔ-ΑΝΑ, και αποτελούν το νότιο όριο του Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου, και το νότιο περιθώριο της λεκάνης του Σπερχειού (Goldsworthy et. al. 2002; Papanastassiou et al. 2001). Σύμφωνα με τους Goldsworthy και Jackson (2000) τόσο η παράκτια ρηξιγενής ζώνη της Αταλάντης - Αρκίτσας Αγίου Κωνσταντίνου - Καμένων Βούρλων, όσο και αυτή του Κανδηλίου, που επηρεάζει τις ακτές της Έυβοιας, είναι οι πλέον ενεργές και πρόσφατες (Ganas and White 1996).

Η μορφολογία των δυτικών ακτών του κόλπου έχει υποστεί σημαντικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της περιόδου του Τεταρτογενούς όπως αποδεικνύουν οι ανυψωμένες θαλάσσιες αναβαθμίδες, οι ανυψωμένοι και/ή βυθισμένοι ψηφοδοπαγείς αιγιαλοί και η παρουσία θαλάσσιων εγκοπών ενώ επιπλέον στις παράκτιες αποθέσεις των μικρής κλίσης ακτών έχουν

βρεθεί αποθέσεις τσουνάμι (Gaki-Papanastassiou et al. 1999; Cundy et al. 2000; Papanastassiou et al. 2014)

Γεωμορφολογικά η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει σχετικά μεγάλου πλάτους αιγιαλούς που εκτείνονται κυρίως στο μέτωπο του δελταϊκού ριπιδίου του χείμαρρου Ξεριά, στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, καθώς και κατά μήκος της ακτογραμμής αλλουβιακών πεδιάδων χαμηλού αναγλύφου, όπως και μπροστά από χαμηλούς κρημνούς που αναπτύσσονται σε Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας αποθέσεις και ουσιαστικά αποτελούν το μέτωπο της κατώτερης θαλάσσιας αναβαθμίδας (Cundy et al. 2010; Papanastassiou et al. 2014).

### Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

Για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας των ακτών της περιοχής μελέτης εφαρμόστηκε ο δείκτης παράκτιας επικινδυνότητας (CVI) των Thieler and Hammar-Klose (1999), ο οποίος περιλαμβάνει έξι μεταβλητές οι οποίες συσχετίζονται μέσω της εξίσωσης:

$$CVI = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

όπου, a: γεωμορφολογία, b: παράκτια κλίση, c: ρυθμός σχετικών μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης, d: ρυθμός οπισθοχώρησης/προέλασης ακτογραμμής, e: μέσο σημαντικό ύψος κυμάτων, και f: μέσο εύρος παλίρροιας.

Οι μεταβλητές λαμβάνουν μια τιμή επικινδυνότητας από 1 έως 5 σύμφωνα με τον Πίνακα 1, ενώ ανάλογα διαμορφώνονται και οι τιμές του δείκτη CVI που αντιστοιχούν σε πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή, και πολύ υψηλή). Κατά την εφαρμογή του δείκτη στην ακτή της περιοχής μελέτης για ορισμένες παραμέτρους προτάθηκαν νέα όρια κατηγοριοποίησης ως προς την επικινδυνότητα προσαρμοσμένα στις ελληνικές ακτές (Karymbalis et al. 2012). Είναι προφανές ότι τα όρια των κατηγοριών (πολύ χαμηλής, χαμηλής, μέτριας κλπ επικινδυνότητας) για παραμέτρους όπως η παράκτια κλίση ή η σχετική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης μπορούν να είναι ίδια για κάθε περιοχή του πλανήτη. Αντίθετα παράμετροι όπως ο κυματισμός, η ιστορική προέλαση ή υποχώρηση της ακτής και το εύρος παλίρροιας διαφοροποιούνται σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών είναι για παράδειγμα σημαντικά υψηλότερες για τις ακτές των ΗΠΑ ή του Καναδά όπου εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά οι Δείκτες Παράκτιας Επικινδυνότητας σε σχέση με τις ακτές της Ανατολικής Μεσογείου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η αξιολόγηση της επικινδυνότητας με βάση αυτού του τύπου τους δείκτες αδυνατούν να εκτιμήσουν το μέγεθος του κοινωνικο-οικονομικού κόστους από την ακύρωση κάποιων ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, την καταστροφή υποδομών, και την απώλεια γης. Ένα επιπλέον μειονέκτημα της μεθοδολογίας εφαρμογής του δείκτη είναι ότι στην μαθηματική του έκφραση για κάθε μια από τις μεταβλητές δεν υπάρχει ο ανάλογος συντελεστής βαρύτητας που να αντιπροσωπεύει τη σημαντικότητα της κάθε μεταβλητής έτσι ώστε η εκτίμηση της επικινδυνότητας να είναι και περισσότερο ρεαλιστική. Παρ' όλα αυτά η εφαρμογή του δείκτη παρέχει μια πρώτη εκτίμηση των υπο-περιοχών που αναμένεται να αντιμετωπίσουν σημαντικότερες αρνητικές επιπτώσεις από την μελλοντική άνοδο της στάθμης και παρόμοιας φύσης παράκτιους κινδύνους.

Η απεικόνιση της παράκτιας γεωμορφολογίας από τον Άγιο Κωνσταντίνο έως την Αρκίτσα βασίστηκε στην αξιοποίηση των πληροφοριών λεπτομερών τοπογραφικών διαγραμμάτων (έκδοσης ΓΥΣ) καθώς και στην υπαίθρια (σε κλίμακα 1:5.000) γεωμορφολογική χαρτογράφηση. Για την καταγραφή και απεικόνιση κτών γεωλογικών σχηματισμών που καταλήγουν στην ακτογραμμής χρησιμοποιήθηκαν οι γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 (έκδοσης ΓΓΜΕ).

Η παράκτια κλίση της περιοχής μεταξύ της ακτογραμμής και του υψόμετρου των 20m, υπολογίστηκε από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM), το οποίο προέκυψε από τις ισοϋψείς καμπύλες (ανά 2m για τις πολύ ήπιες κλίσεις περιοχές και ανά 4m για τα περισσότερο απόκρημνα τμήματα της ακτής). Η ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών έγινε από τα τοπογραφικά διαγράμματα της ΓΥΣ (κλίμακας 1:5.000) μετά τη γεωαναφορά τους στο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα ΕΓΣΑ '87.

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικός πίνακας κατηγοριοποίησης και βαθμονόμησης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (CVI) (Thieler and Hammar-Klose 1999; Pendleton et al. 2004). Τα όρια για το μέσο σημαντικό ύψος κύματος, το εύρος παλίρροιας και το ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής είναι αυτά που προτάθηκαν για τις ακτές της Ελλάδας από τους Karymbalis et al. (2012).

Μεταβλητές	Κατηγορίες				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
a Γεωμορφολογία	Βραχώδεις κρημνώδεις ακτές	Μέσου ύψους κρημνοί	Χαμηλοί κρημνοί	Ακτές που καταλαμβάνονται από κορήματα και κώνους κορημάτων	Αμμώδεις παραλίες, μέτωπα δελταϊκών ριπιδίων
b Παράκτια κλίση(%)	> 12	12 - 9	9 - 6	6 - 3	< 3
c Σχετική μεταβολή στάθμης θάλασσας	< 1,8	1,8 - 2,5	2,5 - 3,0	3,0 - 3,4	> 3,4
d Ρυθμός προέλασης(+) ή υποχώρησης (-) της ακτογραμμής (mm/yr) (m/yr)	> (+1,5)	(+1,5) - (+0,5)	(+0,5) - (-0,5)	(-0,5) - (-1,5)	< (-1,5)
e Μέσο σημαντικό ύψος κύματος(m)	< 0,3	0,3 - 0,6	0,6 - 0,9	0,9 - 1,2	> 1,2
f Μέσο εύρος παλίρροιας (m)	< 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	> 0,8
CVI	< 1,69	1,69 - 2,15	2,16 - 2,61	2,62 - 3,07	> 3,07
Επικινδυνότητα	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή	Πολύ υψηλή

Για τη σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή μελέτης ελήφθησαν υπόψη δεδομένα και εκτιμήσεις για την πρόσφατη ευστατική άνοδο στον Ελλαδικό χώρο (Lambeck 1996; Fouache et al. 2005; Vouvalidis et al. 2005), αλλά και οι προβλέψεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2007), σχετικά με την παγκόσμια ευστατική άνοδο έως το έτος 2100 (IPCC, 2007).

Ο προσδιορισμός της σχετικής οριζόντιας προέλασης ή οπισθοχώρησης των επιμέρους τμημάτων της ακτογραμμής πραγματοποιήθηκε με τη συγκριτική παρατήρηση των τοπογραφικών διαγραμμμάτων (κλίμακας 1:5.000) του 1975 με την εικόνα Google Earth της περιοχής (ημερομηνία εικόνας 8/3/2013). Μετά από την ψηφιοποίηση των ακτογραμμών των δύο χρονολογιών σε περιβάλλον ΓΣΠ μετρήθηκε (σε m) η μεταβολή που παρατηρήθηκε κατά το χρονικό διάστημα των 38 ετών, και στην συνέχεια υπολογίστηκε ο αντίστοιχος μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής.

Δεδομένα σχετικά με μέσο σημαντικό ύψος κύματος για την περιοχή μελέτης αντλήθηκαν από τον Άτλαντα Ανέμων και Κυματισμού των Ελληνικών Θαλασσών (Soukisian et al. 2007) του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών. Ο Άτλαντας αυτός βασίζεται σε ενόργανες μετρήσεις κυματισμού ανοιχτής θάλασσας για τη χρονική περίοδο μεταξύ των ετών 1999 και 2007 που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος Poseidon.

Για το μέσο παλίρροιακό εύρος, ελήφθησαν υπόψη τα διαθέσιμα στοιχεία της Υδρογραφικής Υπηρεσίας για την περιοχή του Ευβοϊκού Κόλπου, καθώς και δημοσιεύσεις σχετικές με το εύρος παλίρροιας στον Ελλαδικό χώρο (Tsimplis 1994).

Για την οργάνωση, ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε μια ψηφιακή βάση δεδομένων για την περιοχή μελέτης σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, αποτελούμενη από τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες διαφόρων κλιμάκων, δορυφορικές εικόνες και παρατηρήσεις πεδίου. Με

την χρήση του λογισμικού ArcGIS10 τα δεδομένα οργανώθηκαν σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ 87) με κοινή χωρική και χρονική κάλυψη και κλίμακα. Για κάθε μεταβλητή του δείκτη παράκτιας επικινδυνότητας (CVI) δημιουργήθηκε ένα θεματικό επίπεδο γραμμικού τύπου μέσω της χρήσης του εργαλείου ArcCatalog του ArcGIS.

Με βάση τις τιμές των ορίων του Πίνακα 1, κάθε επιμέρους τμήμα της ακτογραμμής χαρακτηρίστηκε ως προς την επικινδυνότητά του (παίρνοντας τιμές από 1 - πολύ χαμηλή επικινδυνότητα - έως 5 - πολύ υψηλή επικινδυνότητα) για κάθε μια από τις έξι παραμέτρους του δείκτη. Ο συνυπολογισμός των μεταβλητών με την προαναφερθείσα εξίσωση οδήγησε στον υπολογισμό του δείκτη κατά μήκος της ακτογραμμής.

Σε μια προσπάθεια αδρής εκτίμησης των κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων από μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης θάλασσας χαρτογραφήθηκε η κάλυψη γης στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιώντας δεδομένα από το πρόγραμμα corine 2000. Οι κατηγορίες κάλυψη γης κατά μήκος της ακτογραμμής επιβεβαιώθηκαν κατά τη διάρκεια της υπαίθριας παράκτιας γεωμορφολογικής χαρτογράφησης. Για κάθε μια από τις πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας εκτιμήθηκε η κάλυψη γης που χαρακτηρίζει την περιοχή πίσω από την ακτογραμμή.

### **Αποτελέσματα**

Για την παράμετρο της γεωμορφολογίας η βαθμονόμηση της ακτογραμμής στις πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας έγινε ιεραρχώντας τις γεωμορφές και τους γεωλογικούς σχηματισμούς σε σχέση με την μελλοντική τους συμπεριφορά σε μια ενδεχόμενη άνοδο της θάλασσας στάθμης (Πιν. 1 Εικ. 3).

Σε ότι αφορά την μεταβλητή της γεωμορφολογίας, χαρτογραφήθηκαν τρεις χαρακτηριστικοί τύποι παράκτιων γεωμορφών των οποίων το συνολικό μήκος και τα αντίστοιχα ποσοστά τους στο σύνολο της ακτογραμμής δίνονται στον Πίνακα της Εικόνας 3. Αναγνωρίστηκαν αιγιαλοί χαλαρών αποθεσεων που αναπτύσσονται κυρίως στο μετώπο του δελταϊκού ριπιδίου του χείμαρρου Ξεριά, στο δυτικό τμήμα της περιοχής. Παρόμοιοι αιγιαλοί, μικρότερου όμως εύρους, αναπτύσσονται μπροστά από αλλουβιακές πεδιάδες μικρής κλίσης στην ευρύτερη περιοχή της Αρκίτσας. Καταλαμβάνουν συνολικά 16,17 km, που αντιστοιχούν στο 86,18 % του συνόλου της ακτογραμμής και θεωρήθηκαν ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας (τιμή 5) στην άνοδο της θάλασσας στάθμης. Περίπου 1,5 km δυτικά της Αρκίτσας ένα πολύ μικρό μήκος της ακτογραμμής (0,44 km που αντιστοιχεί στο 2,33 % της ακτής) δομείται από ημι-συνεκτικά κορήματα Πλειστοκαινικής ηλικίας που θεωρήθηκαν υψηλής επικινδυνότητας (τιμή 4). Τέλος ενά τμήμα μήκους 2,16 km (11,49 %) της ακτογραμμής ανατολικά του δελταϊκού ριπιδίου του Ξεριά καταλαμβάνεται από μάργες, ιλύες και αργίλους Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας. Δεδομένου ότι η ανθεκτικότητα των σχηματισμών αυτών στη διάβρωση από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών είναι μεγαλύτερη τους αποδόθηκε μέτρια επικινδυνότητα (τιμή 3).

Η παράμετρος της παράκτιας κλίσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση της επικινδυνότητας καθώς οι χαμηλές παράκτιες περιοχές μικρής μορφολογικής κλίσης είναι οι πλέον επιρρεπείς σε κατάκλιση από μια ενδεχόμενη άνοδο της θάλασσας στάθμης. Όπως φαίνεται στον χάρτη και τον πίνακα κατηγοριοποίησης της ακτής ως προς την παράμετρο της παράκτιας κλίσης της Εικόνας 4, το μεγαλύτερο μήκος της ακτής (8,57 km που αντιστοιχεί σε ποσοστό 45,66 % του συνόλου της ακτογραμμής) έχει μορφολογική κλίση πολύ χαμηλή (<3%) που συνεπάγεται πολύ υψηλή επικινδυνότητα (τιμή 5). Ένα ποσοστό 19,39 % της ακτογραμμής (3,64 km) χαρακτηρίζεται από ενδιάμεσης κλίσης περιοχές, και χαρακτηρίζεται ως μέτριας επικινδυνότητας. Το 16,36 % (3,07 km) της ακτογραμμής έχει μορφολογική κλίση >12% και άρα θεωρήθηκε πολύ χαμηλού βαθμού επικινδυνότητας (τιμή 1). Οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν σε κρημνούς που αναπτύσσονται σε Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας σχηματισμούς. Υψηλή επικινδυνότητα (τιμή 4) χαρακτηρίζει το 10,18 % (1,91 km) της ακτής ενώ σε ένα μικρό ποσοστό (8,42 % - 1,58 km) αποδόθηκε χαμηλή επικινδυνότητα (τιμή 2).



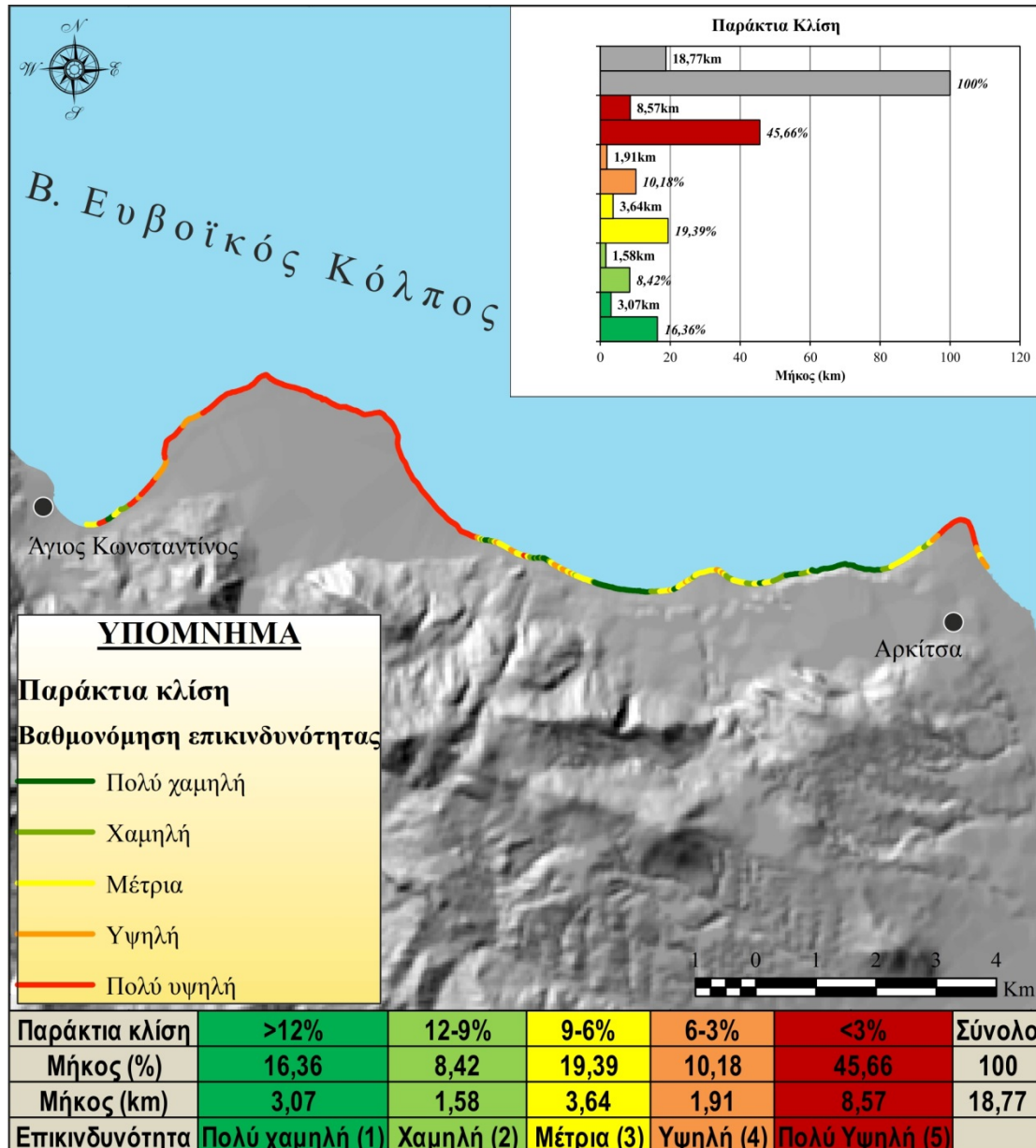
Εικόνα 3. Χάρτης και διάγραμμα κατηγοριοποίησης της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης σε πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας για τη μεταβλητή της παράκτιας γεωμορφολογίας.

Η σχετική άνοδος της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή μελέτης, με βάση τις εκτιμήσεις για την πρόσφατη ευστατική άνοδο στον Ελλαδικό χώρο (Lambeck 1996; Poulos et al. 2008), αλλά και τις προβλέψεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2007) για την παγκόσμια ευστατική άνοδο έως το έτος 2100, υπολογίστηκε σε περίπου 1,0 mm/yr. Συνεπώς για όλη την περιοχή μελέτης αξιολογήθηκε ως παράγων πολύ χαμηλής επικινδυνότητας (τιμή 1). Όπως ήδη αναφέρθηκε η περιοχή είναι τεκτονικά ενεργή και επηρεάζεται από κλιμακωτά ρήγματα. Η ακτογραμμή βρίσκεται στο κατερχόμενο τέμαχος της ρηξιγενούς ζώνης Αρκίτσας -Καμένων Βούρλων ενώ ταυτόχρονα επηρεάζεται από την ανύψωση που οφείλεται σε ένα υποθαλάσσιο ρήγμα στο Βόρειο Ευβοϊκό. Συνεπώς θεωρήθηκε ότι η σχετική μεταβολή της στάθμης θάλασσας επηρεάζεται μόνο από τον ευστατισμό και ότι ο τεκτονισμός δεν συνεισφέρει σημαντικά.

Η εκτίμηση της μεταβολής (υποχώρηση ή προέλαση) της ακτογραμμής και η ποσοτικοποίηση των ρυθμών της αφορά τη χρονική περίοδο μεταξύ των ετών 1975 και 2013. Είναι προφανές ότι περιοχές που προελαύνουν είναι λιγότερο επιρρεπείς σε σχέση με εκείνες που υποχωρούν οι οποίες θεωρούνται ως υψηλής επικινδυνότητας. Η οριζόντια μετατοπιση της ακτογραμμής βαθμονομήθηκε σε όλο το μήκος της περιοχής μελέτης με τη τιμή 3 (μέση

επικινδυνότητα) καθώς από το 1975 μέχρι σήμερα δεν έχει υποστεί ιδιαίτερη υποχώρηση και/ή προέλαση εμφανίζοντας ρυθμό μεταβολής μεταξύ  $-0,5$  και  $+0,5$  m/yr.

Το μέσο σημαντικό ύψος κύματος αποτελεί μια σημαντική παράμετρο καθώς εκφράζει την ενέργεια που καταναλώνεται κατά μήκος της ακτογραμμής και άρα σχετίζεται με τη διάβρωση. Είναι προφανές ότι ακτές που δέχονται μεγάλου ύψους κύματα θεωρούνται υψηλής επικινδυνότητας σε αντίθεση με τις προστατευμένες από τον κυματισμό περιοχές. Το μέσο σημαντικό ύψος των προσερχομένων κυμάτων βάσει του προγράμματος Poseidon του ΕΛΚΕΘΕ δεν ξεπερνά τα  $0,2\text{m}$  (Soukisian et al. 2007). Έτσι με βάση τον Πίνακα 1 δεν υπάρχει διαφοροποίηση της παραλιακής ζώνης ως προς το μέσο σημαντικό ύψος κύματος και βαθμονομείται για το σύνολο της με τη τιμή 1 (πολύ χαμηλή επικινδυνότητα).



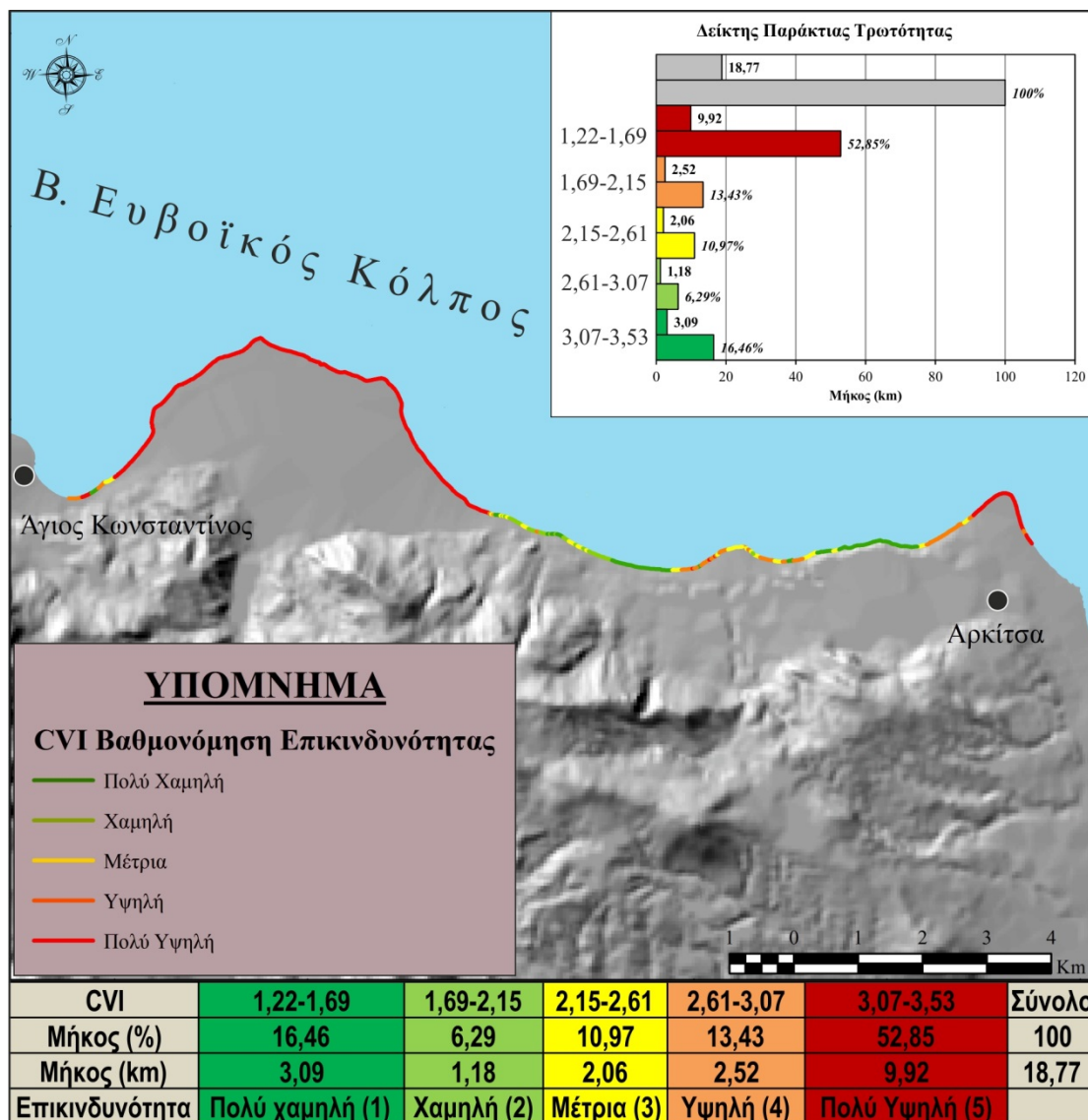
Εικόνα 4. Χάρτης και διάγραμμα κατηγοριοποίησης της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης σε πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας για τη μεταβλητή της παράκτιας κλίσης.

Το παλιρροιακό εύρος συνδέεται άμεσα με την κατάκλυση και τον κίνδυνο διάβρωσης μιας παράκτιας περιοχής. Η παράμετρος του εύρους παλίρροιας έχει διχάσει τους ερευνητές που ασχολούνται με την εκτίμηση της παράκτιας επικινδυνότητας καθώς κάποιοι

χαρακτηρίζουν τις μακροπαλιρροϊκές ακτές ως μεγαλύτερης επικινδυνότητας στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης ενώ κάποιοι άλλοι ερευνητές θεωρούν το αντίθετο (Pendleton κ.ά. 2010). Στην παρούσα μελέτη οι μικροπαλιρροϊκές ακτές θεωρήθηκαν ως χαμηλής επικινδυνότητας ως προς τον κίνδυνο της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.

Η περιοχή μεταξύ Αγίου Κωνσταντίνου και Αρκίτσας χαρακτηρίζεται ως μικροπαλιρροϊκή καθώς το εύρος παλίρροιας στον Ευβοϊκό Κόλπο είναι < 0,20 m (συμπεριλαμβανομένων και των μετεωρολογικών συνιστωσών της) (Tsimplis 1994). Έτσι βαθμονομείται ως πολύ χαμηλής τρωτότητας (τιμή 1).

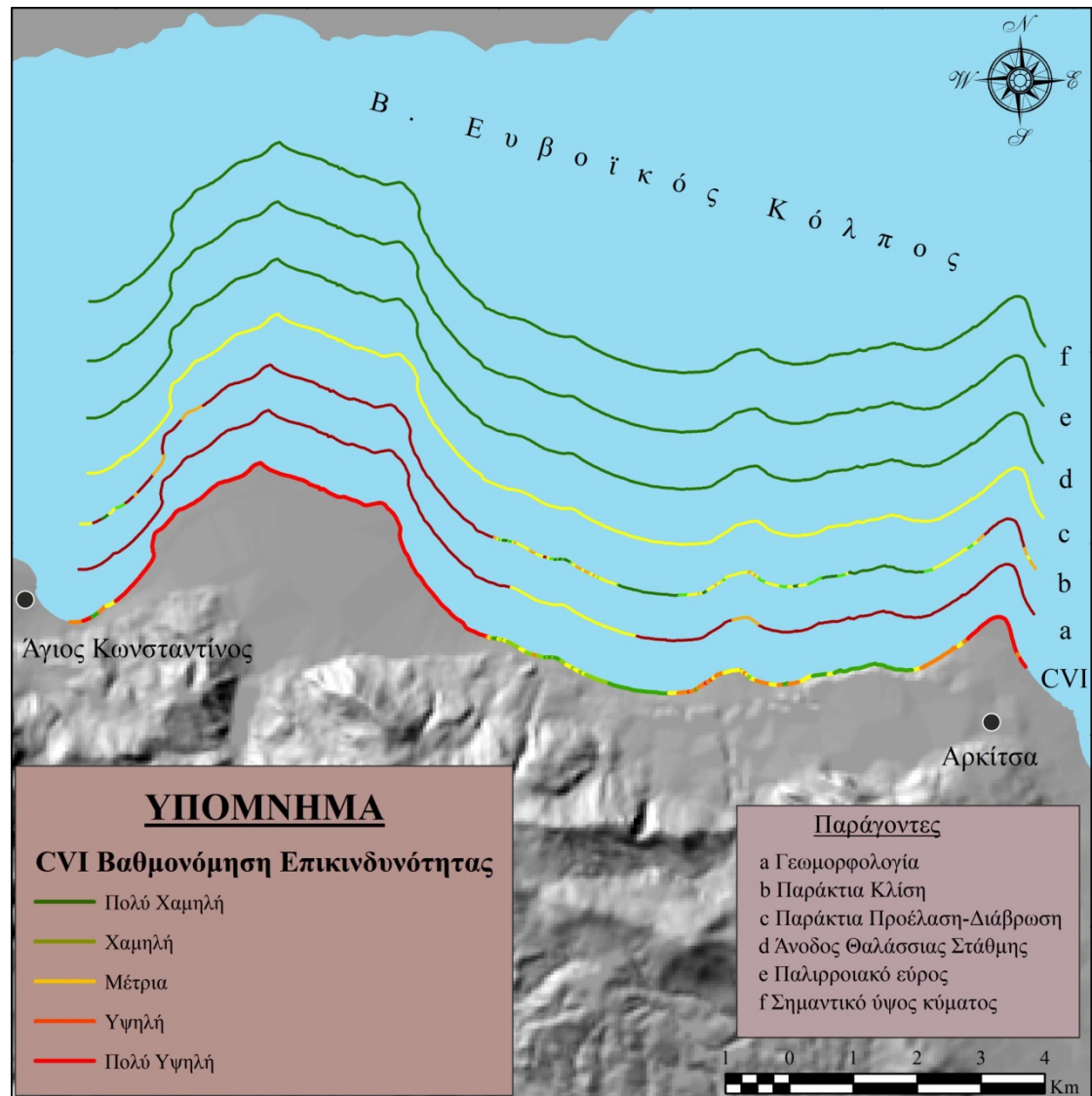
Στον Πίνακα της Εικόνας 5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της επικινδυνότητας της παράκτιας ζώνης Αγίου Κωνσταντίνου – Αρκίτσας, ως προς την επικείμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.



Εικόνα 5. Χάρτης και διάγραμμα κατηγοριοποίησης της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης σε πέντε κατηγορίες ως προς τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 1,22 έως 3,53. Ένα μήκος ακτογραμμής 9,92 km που αντιστοιχεί στο 52,85 % του συνολικού μήκους της ακτής χαρακτηρίζεται ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας. Οι ακτές αυτές εντοπίζονται στην χαμηλή περιοχή της Αρκίτσας, στο ανατολικό όριο της περιοχής καθώς και στην πεδινή περιοχή του Λόγγου που ουσιαστικά αντιστοιχεί στο δελταϊκό ριπίδιο του χείμαρρου Ξεριά στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Το 16,46 % της ακτής (μήκους 3,09 km) ανήκει στην κατηγορία πολύ χαμηλής

επικινδυνότητας και εντοπίζεται στις σχετικά μεγάλης μορφολογικής κλίσης περιοχές εμφάνισης των Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας μαγρών, ιλύων και αργίλων.



Εικόνα 6. Γραφική απεικόνιση των τιμών των επιμέρους μεταβλητών και του δείκτη επικινδυνότητας (CVI) στη περιοχή μελέτης.

Πρέπει να τονισθεί ότι τα όρια των κατηγοριών επικινδυνότητας του δείκτη είναι προσαρμοσμένα στις τιμές που εκτιμήθηκαν για την περιοχή μελέτης, συνεπώς τα αποτελέσματα αντικατοπτρίζουν τη σχετική επικινδυνότητα της συγκεκριμένης ακτής (Εικ. 6). Για παραδειγμα σε ανάλογη έρευνα, που αφορά τις νότιες ακτές του Κορινθιακού Κόλπου, όπου ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς μεθοδολογία με τα ίδια όρια βαθμονόμησης των έξι παραμέτρων, οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 0.6 έως 9.1 (Karymbalis et al. 2012). Η σύγκριση των τιμών αυτών με τις τιμές της περιοχής μελέτης οδηγεί στη διαπίστωση ότι η παράκτια ζώνη Αγίου Κωνσταντίνου - Αρκίτσας μπορεί να θεωρηθεί ως πολύ χαμηλής έως χαμηλής επικινδυνότητας. Αυτό οφείλεται κυρίως στο εξαιρετικά μικρό σημαντικό ύψος κύματος που προσπίπτει στην περιοχή (δεδομένου ότι είναι μια ακτή προστατευμένη από τον υψηλό κυματισμό του Αιγαίου Πελάγους), στο χαμηλό εύρος παλίρροιας και στους πολύ μικρούς ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής (Εικ. 6).

Το σύνολο της υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας ακτογραμμής καταλαμβάνεται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις και ελαιώνες όπως δείχνει ο Πίνακας 2 που περιλαμβάνει την έκταση της κάλυψης γης που χαρακτηρίζει την περιοχή πίσω από τα τμήματα της

ακτογραμμής κάθε μιας από τις πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας (σε km και ως % του συνολικού του μήκους της ακτογραμμής κάθε κατηγορίας).

Πίνακας 2. Μήκος της ακτογραμμής και τα αντίστοιχα ποσοστά κάλυψης γης, για κάθε μια από τις πέντε κατηγορίες παράκτιας επικινδυνότητας.

Κάλυψη γης	Επικινδυνότητα									
	Πολύ χαμηλή		Χαμηλή		Μέτρια		Υψηλή		Πολύ Υψηλή	
	Km	%	km	%	km	%	km	%	km	%
Σύνθετες Καλλιέργειες	1,16	42,5	0,41	78,8	2,21	73,4	2,02	80,5	9,2	92,6
Ελαιώνες	0,13	4,8	0,11	21,2	0,43	14,3	0,4	15,9	0,73	7,4
Σκληροφυλλική Βλάστηση	1,44	52,7	-	-	0,37	12,3	0,09	3,6	-	-
Σύνολο	2,73	100	0,52	100	3,01	100	2,51	100	9,93	100

### Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε η εφαρμογή του δείκτη παράκτιας επικινδυνότητας της ακτής από τον Άγιο Κωνσταντίνο έως την Αρκίτσα (ν. Φθιώτιδας) και η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων, με σκοπό τον εντοπισμό των επιρρεπών στη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης περιοχών. Ο δείκτης αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τον προσδιορισμό τμημάτων της παράκτιας ζώνης που χρήζουν εκτίμησης της κοινωνικοοικονομικής τρωτότητας καθώς και το σχεδιασμό των μέτρων προστασίας που πρέπει να ληφθούν.

Οι τιμές του δείκτη στην περιοχή μελέτης κυμαίνονται από 1,22 έως 3,53 με το 52,5 % της ακτογραμμής να παρουσιάζει πολύ υψηλή επικινδυνότητα και το 13,43 % να χαρακτηρίζεται ως υψηλής επικινδυνότητας. Οι κύριοι παράγοντες που διαμορφώνουν τις τιμές του δείκτη και άρα την επικινδυνότητα της ακτογραμμής από τον Άγιο Κωνσταντίνο έως την Αρκίτσα είναι η παράκτια γεωμορφολογία και η παράκτια κλίση. Οι υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας ακτές εντοπίζονται στην τοπογραφικά χαμηλή, ήπιας κλίσης, περιοχή της Αρκίτσας καθώς και στην πεδινή περιοχή του Λόγγου που ουσιαστικά αποτελεί το δελταϊκό ριπίδιο του χειμαρρου Ξεριά. Το 16,46 % του μήκους της ακτής που μελετήθηκε ανήκει στην κατηγορία πολύ χαμηλής επικινδυνότητας και εντοπίζεται στις σχετικά μεγάλης μορφολογικής κλίσης περιοχές εμφάνισης των Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας μαργών, ιλύων και αργίλων. Η παράκτια περιοχή υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας χαρακτηρίζεται στο σύνολό της από την παρουσία καλλιεργήσιμων εκτάσεων και ελαιώνων.

Η εφαρμογή δεικτών, όπως του δείκτη παράκτιας επικινδυνότητας, σε εθνική κλίμακα θα βοηθούσε τον προκαταρκτικό εντοπισμό των επικίνδυνων στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης περιοχών. Το πρώτο αυτό βήμα προσδιορισμού των παράκτιων περιοχών που αναμένεται να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερο πρόβλημα έχει ιδιαίτερη σημασία για τη χάραξη σχεδίων αντιμετώπισης της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Τα πρώτα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης των ακτών σε διάφορες κατηγορίες επικινδυνότητας αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τους διαχειριστές του παράκτιου χώρου και αυτούς που καλούνται να ασκήσουν πολιτικές προστασίας της παράκτιας ζώνης από τους φυσικούς κινδύνους. Μετά την αρχική εκτίμηση των πλέον επιρρεπών ακτών απαιτείται η εστίαση σε συγκεκριμένες περιοχές ιδιαίτερου κοινωνικο-οικονομικού και περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος για τη λεπτομερέστερη (σε μεγαλύτερη κλίμακα) μελέτη τους.

### Αγγλική Βιβλιογραφία

Alexandrakis G., Karditsa A., Poulos S., Gionis G. and Kampanis N., 2009. Assessment of the Aegean coasts vulnerability to sea-level rise. Proceedings of the 9<sup>th</sup> Pan-Hellenic Symposium on Oceanography and Fisheries, vol. I, 327-332.

- Allen J.C. and Komar P.D., 2006. Climate controls on US west coast erosion processes. *J. Coast. Res.*, 22, 511-529.
- Boruff B., Emrich C. and Cutter S.L., 2005. Erosion hazard vulnerability of US coastal countries. *J. Coast. Res.*, 21(5), 932-942.
- Cazenave A., and Nerem R.S., 2004. Present day sea-level change: observations and causes. *Rev. Geophys.*, 42(3), RG3001.
- Chen J.L., Wilson C.R., and Tapley B.D., 2006. Satellite gravity measurements confirm accelerated melting of Greenland ice sheet. *Science*, 313, 1958-1960.
- Chen J.L., Wilson C.R., Tapley B.D., Blankenship D.D. and Young D., 2008. Antarctic regional ice loss rates from GRACE. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 266, 140-148.
- Cundy A.B., Kortekkas S., Dewez T., Stewart I., Crousace W., Maroukian H., Papanastassiou D., Gaki-Papanastassiou P., Pavlopoulos K. and Dawson A., 2000. Coastal impacts of the 1894 Gulf of Atalanti earthquakes, Central Greece, *Marine Geology*, 170, 3-26.
- Cundy A.B., Gaki-Papanastassiou K., Papanastassiou D., Maroukian, H. Frogley M.R., and Cane T., 2010. Geological and geomorphological evidence of recent coastal uplift along a major Hellenic normal fault system (the Kamena Vourla fault zone, NW Evoikos Gulf, Greece), *Marine Geology*, 271, 156-164.
- Fouache E., Desruelles St., Pavlopoulos K., Dalongeville R. Coquinot Y., Peulvast J.P. and Potdevin J.L., 2005. Using beachrocks as sea level indicators in the insular group of Mykonos, Delos and Rhenia (Cyclades, Greece). *Z. Geomorphologie N.F.*, 137(Suppl.), 37-43.
- Gaki-Papanastassiou K., Maroukian H., Papanastassiou D., and Palyvos N., 1999. Archaeogeology and morphotectonics of the area of Livanates-Kynos-Arkitsa during the Holocene. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> PanHellenic Geographical Congress*, Athens 11-13 November, 101-111
- Gaki-Papanastassiou K., Karymbalis E., Poulos S., Seni A. and Zouva C., 2011. Coastal vulnerability assessment to sea-level rise based on geomorphological and oceanographical parameters: the case of Argolikos Gulf, Peloponnese, Greece. *Hellenic Journal of Geosciences*, 45, 109-121.
- Ganas, A. and White K., 1996. Neotectonic fault segments and footwall geomorphology in the Eastern Central Greece from Landsat TM data. *Geological Society Greece Sp. Publ.*, 6, 169-175.
- Ganas A. and Papoulia I., 2000. High-resolution, Digital Mapping of the Seismic Hazard within the Gulf of Evia Rift, Central Greece Using Normal Fault Segments as Line Sources. *Natural Hazards*, 22(3), 203-223.
- Goldsworthy M. and Jackson J., 2000. Active normal fault evolution in Greece revealed by geomorphology and drainage patterns. *Journal of the Geological Society*, 157, 967-981.
- Goldsworthy M., Jackson J. and Haines J., 2002. The continuity of active fault systems in Greece. *Geophysical Journal International*, 148(3), 596-618.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Karymbalis E., Chalkias C., Chalkias G., Grigoropoulou E., Manthos G., Ferentinou M., 2012. Assessment of the sensitivity of the southern coast of the Gulf of Corinth (Peloponnese, Greece) to sea-level rise. *Central European Journal of Geosciences*, 4(4), 561-577.
- Karymbalis E., Chalkias C., Ferentinou M., Chalkias G. and Magklara M., 2014. Assessment of the Sensitivity of Salamina and Elafonissos islands to Sea-level Rise. *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 70*, 378-384.
- Lambeck K., 1996. Sea-level changes and shoreline evolution in Aegean Greece since Upper Palaeolithic time. *Antiquity*, 70, 588-611.
- Leuliette E.W., Nerem R.S. and Mitchum G.T., 2004. Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason altimeter data to construct a continuous record of mean sea-level change. *Marine Geodesy*, 27, 79-94.

- Papanastassiou D., Stavrakakis G. and Makaris D., 2001. Recent micro-earthquake activity at Northern Evoikos Gulf, Central Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 9th International Congress, Athens, XXXIV/4*, 1567-2572.
- Papanastassiou D., Cundy A.B., Gaki-Papanastassiou K., Frogley M.R., Tsanakas K. and Maroukian H., 2014. The Uplifted Terraces of the Arkitsa Region, NW Evoikos Gulf, Greece: A Result of Combined Tectonic and Volcanic Processes? *The Journal of Geology*, 122, 397-410.
- Pendleton E.A., Thieler E.R. and Williams S.J., 2004. Coastal vulnerability assessment of Cape Hattaras National Seashore (CAHA) to sea-level rise. USGS Open File Report 2004-1064. Available from <http://pubs.usgs.gov/of/2004/1064/images/pdf/caha.pdf> accessed on 15 Dec 2011.
- Poulos S.E., Ghionis G. and Maroukian H., 2008. Sea-level rise trends in the Attico-Cycladic region (Aegean Sea) during the last 5000 years. *Geomorphology*, 107(1-2), 10-17.
- Rignot E., Bamber J.L., van der Broeke M.R., Davis C., Li Y., van de Berg W. and van Meijgaard E., 2008. Recent Antarctic ice mass loss from radar interferometry and regional climate modeling. *Nat. Geosci.*, 1, 106-110.
- Roberts S. and Jackson J., 1991. Active normal faulting in central Greece: an overview. In: A. M. Roberts, G. Yielding and B. Freeman, eds. *The geometry of normal faults*. London: Geological Society, Sp.Publ, 125-142.
- Shaw J., Taylor R.B., Forbes D.L., Ruz M.H. and Solomon S., 1998. Sensitivity of the Canadian Coast to Sea-Level Rise. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 505, 114 p.
- Soukisian T., Hatzinaki M., Korres G., Papadopoulos A., Kallos G. and Anadranistakis E., 2007. Wave and wind Atlas of the Hellenic Seas. Hellenic Centre for Marine Research Publ.
- Stroeve J., Holland M.M., Meier W., Scambos T. and Serreze M., 2007. Arctic sea-ice decline: faster than forecast. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L09501
- Stroecker K., 2008. World sea-levels to rise 1.5 m by 2100: scientists, an environmental news network and Reuter's publications, available via <http://www.enn.com/wildlife/article/34702>
- Thieler E.R. and Hammar-Klose E.S., 1999. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, U.S. Atlantic Coast. U.S. Geological Survey, Open-File Report, 99-593.
- Tsimplis M.N., 1994. Tidal oscillations in the Aegean and Ionian Seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 39, 201-208.
- Vouvalidis K.G., Syrides G.E. and Albanakis K.S., 2005. Holocene morphology of the Thessaloniki Bay: Impact of sea level rise. *Z. Geomorphologie N.F.*, 137(Suppl.), 147-158.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

- ΓΓΜΕ, 1967. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000. Φύλλο Ελάτεια.
- ΓΓΜΕ, 1957. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000. Φύλλο Πελασγεία.
- ΓΓΜΕ, 1965. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000. Φύλλο Λιβανάτες.
- ΓΓΜΕ, 1984. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000. Φύλλο Ιστιαία.
- Καρύμπαλης Ε., 2010. Παράκτια γεωμορφολογία εκδόσεις ΙΩΝ, 240σ.
- Καρύμπαλης Ε., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Μαρουκίαν Χ., και Βαλκανου Κ., 2014, Αίτια μεταβολών της μέσης στάθμης θάλασσας: μεθοδολογίες εκτίμησης της επικινδυνότητας των ελληνικών ακτών στη μελλοντική άνοδο, Στο: Καρύμπαλης Ε., Παπαδόπουλος Α.Γ. και Χαλκιάς Χ., Η γεωγραφία του παράκτιου και νησιωτικού χώρου. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, 301-338
- Νασοπούλου Ι., Πούλος Σ., Καρύμπαλης Ε. Και Γάκη-Παπαναστασίου Κ., 2012. Μελέτη της τρωτότητας των βόρειων ακτών (Αντίρριο-Ερατεινή) του δυτικού Κορινθιακού Κόλπου ως προς την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας. (CD ROM).