

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π.

Σενή Α.¹, Γάκη-Παπαναστασίου Κ.², Καρύμπαλης Ε.¹, Ζούβα Χ.²

¹ *Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας*

² *Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας*

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η πιλοτική εφαρμογή της βαθμονόμησης της παράκτιας ζώνης του Αργολικού πεδίου και τμήματος των ανατολικών ακτών του Αργολικού κόλπου ως προς την τρωτότητα σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η μεθοδολογία βασίστηκε στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index) τροποποιημένου ώστε να λαμβάνει υπόψη και τον παράγοντα της γεωλογίας.

ANTICIPATED SEA-LEVEL RISE VULNERABILITY ASSESSMENT ALONG PART OF THE EASTERN ARGOLIC GULF AND THE ARGIVE PLAIN WITH THE USE OF G.I.S.

Seni A.¹, Gaki-Papanastasiou K.², Karymbalis E.¹, Zouva C.²

¹ *Harokopio University, Department of Geography*

² *National and Kapodistrian University of Athens, Department of Geology and Geoenvironment, Division of Geography and Climatology*

Abstract

In this study, an application of the coastal zone classification according to the vulnerability of an anticipated future sea-level rise is attempted. The study area is the Argive plain and part of the coastal zone along the eastern Argolic gulf. The applied methodology is based on the estimation of the Coastal Vulnerability Index utilizing Geographic Information Systems technology. The Coastal Vulnerability Index equation is modified in order to take into account the important factor of geology.

Λέξεις κλειδιά: Αργολικός κόλπος, άνοδος θαλάσσιας στάθμης, Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας.

Key words: Argolic gulf, sea-level rise, Coastal Vulnerability Index

1. Εισαγωγή

1.1 Η Μελλοντική άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Ένα από τα σύγχρονα παγκόσμια κλίμακας μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα, που αποτελεί μια αρνητική συνέπεια των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι συνεχώς αυξανόμενες εκπομπές CO₂ προκαλούν την αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών του πλανήτη, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα με αποτέλεσμα τη γρήγορη άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Τα παγκόσμια κλιματικά δεδομένα, η χρήση μαθηματικών μοντέλων καθώς και οι πρόσφατες μελέτες και αναφορές παγκόσμιων οργανισμών και φορέων που ασχολούνται συστηματικά με τις κλιματικές αλλαγές στον πλανήτη εκτιμούν ότι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα μέχρι το έτος 2050, θα φθάσει τον 1°C ενώ μέχρι το έτος 2100 αναμένεται να αγγίξει τους 2°C σε σχέση με τη σημερινή. Κάτι τέτοιο θα προκαλέσει την τήξη των πάγων στους πόλους και τις ενδοηπειρωτικές περιοχές και την ταυτόχρονη διαστολή των ωκεάνιων και θαλάσσιων μαζών, που θα οδηγήσει στην άνοδο της θαλάσσια στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο. Χρησιμοποιώντας στοιχεία του παρελθόντος, σύγχρονες μετρήσεις καθώς και δορυφορικές παρατηρήσεις, επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων, διατύπωσαν διάφορα σενάρια μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης σύμφωνα με τα οποία εκτιμάται ότι θα είναι κατά 15cm υψηλότερη μέχρι το έτος 2050 ενώ θα έχει αυξηθεί κατά 50cm έως το 2100, υπολογίζοντας έτσι ότι ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης έως το 2100 θα φτάσει τα 4,5mm/έτος (IPCC, 2001).

Κατά καιρούς έχουν εφαρμοσθεί διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση κυρίως των επιπτώσεων στις παράκτιες περιοχές από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης τόσο σε τοπική κλίμακα όσο και σε επίπεδο κρατών (Titus et al., 1991; Gaki-Papanastasiou et al., 1997; El-Raey, 1997; Li et al., 2000; Karaca, 2000; Titus and Richman, 2001; Γάκη Παπαναστασίου κ.α., 2005; Karymbalis and Chalkias, 2005; Karymbalis and Seni, 2005). Οι περισσότερες πρακτικές που εφαρμόζονται στοχεύουν στην αναγνώριση και εκτίμηση των οικολογικών – γεωμορφολογικών και κοινωνικοοικονομικών συνεπειών από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών και οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες επιδρούν στην επικινδυνότητα, την ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των αρνητικών αποτελεσμάτων και τελικά τη σύνταξη προτάσεων και τη λήψη μέτρων προστασίας ώστε να περιοριστούν οι αρνητικές επιπτώσεις.

Στην Ελλάδα οι επιπτώσεις από μια πιθανή άνοδο της θαλάσσιας στάθμης δεν έχουν διερευνηθεί ικανοποιητικά και οργανωμένα σε εθνικό επίπεδο. Οι επιπτώσεις στις χαμηλές ακτές της ηπειρωτικής χώρας έχουν εξετασθεί από τους Gaki-Papanastasiou et al. (1997) και έχουν εξαχθεί κάποιες πρώτες εκτιμήσεις και αποτελέσματα. Επιπλέον έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες που αφορούν τις επιπτώσεις της ανόδου στον παράκτιο χώρο της νησιωτικής Ελλάδας (Georgas, 2000; Παυλόπουλος κ.α., 2002).

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η εκτίμηση της τρωτότητας από μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στην ευαίσθητη περιοχή του Αργολικού πεδίου και στις ανατολικές ακτές του Αργολικού κόλπου με την εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας, ελαφρώς τροποποιημένου ώστε να συυπολογίζεται και η παράμετρος της γεωλογίας, αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

1.2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νομό Αργολίδας εκτείνεται από τους Μύλους στα δυτικά του Αργολικού πεδίου έως το ακρωτήριο Κόρακας στις ανατολικές ακτές του Αργολικού κόλπου και έχει συνολικό μήκος ακτογραμμής 138.6 km. Λόγω των ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών απετέλεσε πόλο έλξης για τον άνθρωπο με συνεχή κατοίκηση από την Παλαιολιθική εποχή έως σήμερα με ιδιαίτερη ακμή κατά την Μυκηναϊκή, Κλασική και Ρωμαϊκή περίοδο, όπως μαρτυρούν οι αρχαιολογικοί χώροι και τα ευρήματα. Σήμερα παρουσιάζει ιδιαίτερο κοινωνικοοικονομικό ενδιαφέρον δεδομένου ότι περιλαμβάνει αρκετούς παράκτιους οικισμούς (κατά μήκος της παράκτιας ζώνης από τα δυτικά προς τα ανατολικά – νοτιοανατολικά συναντώνται οι Μύλοι, η Νέα Κίος, η ιστορική πόλη του Ναυπλίου, το Τολό, η Ασίνη, το Δρέπανο, η Καλλιθέα, το Βιβάρι, η Κάντια, τα Ίρια, το Σαλάντι, η Κοιλιάδα και το Δορούφι)(Σχήμα 1). Φιλοξενεί σημαντικές δραστηριότητες του πρωτογενούς κυρίως τομέα της παραγωγής (σημαντικές εκτάσεις καλλιέργειών στο Αργολικό πεδίο) ενώ ιδιαίτερα έντονη υπήρξε η τουριστική ανάπτυξη στην στενή ζώνη κατά μήκος της ακτογραμμής κατά τις τελευταίες δεκαετίες.



Σχήμα 1. Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης.

Η επιλογή του τμήματος αυτού της παράκτιας ζώνης του Αργολικού κόλπου έγινε κυρίως διότι εμφανίζει μια ποικιλία στα γεωμορφολογικά και λιθολογικά χαρακτηριστικά κατά μήκος της ακτογραμμής, καθιστώντας την ιδανική για την πιλοτική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας βαθμονόμησης ως προς την τρωτότητα στη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Πέραν αυτού το Αργολικό πεδίο είναι μια από τις περιοχές που πρώτη παρουσίασε έντονα φαινόμενα υφαλμύρισης των υπόγειων υδάτων (Γιαννουλόπουλος, 2002) φαινόμενο που αν και έχει μερικώς αντιμετωπιστεί, αναμένεται να ενταθεί από μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

2. Μεθοδολογία – Υπολογισμός Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index)

Ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index) αποτελεί μια μαθηματική έκφραση που έχει προταθεί από την διακυβερνητική επιτροπή για τις κλιματικές αλλαγές (IPCC) και περιλαμβάνει παραμέτρους σχετικές με την τοπογραφία (μορφολογική κλίση), τη γεωμορφολογία, τον κυματισμό, την παλίρροια και τις πρόσφατες μεταβολές της ακτογραμμής (προέλαση – υποχώρηση) (Pendleton et al., 2005). Για την εκτίμηση της τρωτότητας από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή μελέτης εφαρμόστηκε ο μαθηματικός τύπος του δείκτη με την εισαγωγή μιας επιπλέον παραμέτρου, αυτής της γεωλογίας, η οποία δε λαμβάνεται υπόψη στη αρχική του μορφή, αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γ.Σ.Π. Μετά τη συμπλήρωση αυτή η τύπος του δείκτη παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$C.V.I. = \sqrt{[(a*b*c*d*e*f*g)/7]} \quad (1)$$

Όπου: a: παράγοντας που αφορά τη γεωμορφολογία, b: παράγοντας που αφορά την παράκτια κλίση, c: παράγοντας που αφορά τα σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, d: παράγοντας που αφορά τη διάβρωση-υποχώρηση της ακτογραμμής, e: παράγοντας που αφορά το μέσο σημαντικό ύψος κυμάτων, f: παράγοντας που αφορά το μέσο εύρος παλίρροιας και τέλος g: παράγοντας που αφορά τη γεωλογία.

Όλες οι παραπάνω μεταβλητές λαμβάνουν ακέραιες τιμές που κυμαίνονται από 1 έως 5 με τις μεγαλύτερες τιμές να χαρακτηρίζουν τις περισσότερες τρωτές ως προς τη συγκεκριμένη παράμετρο περιοχές. Ο Πίνακας 1 περιλαμβάνει τη βαθμονόμηση της ακτής σε πέντε

κατηγορίες καθώς και τα κριτήρια με τα οποία γίνεται αυτή για κάθε παράμετρο του δείκτη παράκτιας τρωτότητας. Ακολουθεί η ανάλυση της κάθε παραμέτρου καθώς και ο τρόπος υπολογισμού τους. Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας καθώς και την χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 9x.

2.1. Γεωμορφολογία:

Για τη βαθμονόμηση της ακτογραμμής με βάση την παράκτια γεωμορφολογία πραγματοποιήθηκε λεπτομερής υπαίθρια χαρτογράφηση χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5000. Οι παράκτιες γεωμορφές που αναγνωρίστηκαν και αποτυπώθηκαν ομαδοποιήθηκαν σε πέντε κατηγορίες που περιλαμβάνουν κρημνούς, κρημνούς με ίζημα, αιγιαλούς με αδρομερές υλικό, αιγιαλούς με ανάμεικτο υλικό και αμμώδεις αιγιαλούς. Μεταξύ των παραπάνω γεωμορφών ως λιγότερο τρωτό θεωρήθηκε το τμήμα εκείνο της ακτογραμμής που καταλαμβάνεται από κρημνούς (τιμή βαθμονόμησης 1) ενώ ως μεγαλύτερης τρωτότητας οι περιοχές των αμμωδών αιγιαλών (τιμή βαθμονόμησης 5). Τμήματα όπου κατά μήκος της παράκτιας ζώνης εντοπίστηκαν θίνες, οι οποίες προστατεύουν ως φυσικά φράγματα τις πίσω από αυτές περιοχές, βαθμονομήθηκαν με την τιμή 5.

2.2 Παράκτια κλίση:

Η παράμετρος αυτή αφορά τη μορφολογική κλίση της παράκτιας ζώνης και υπολογίστηκε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) το οποίο δημιουργήθηκε για την περιοχή από τοπογραφικά διαγράμματα της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:5000. Για την κατασκευή του DEM χρησιμοποιήθηκαν τα θεματικά επίπεδα των ισοϋψών καμπυλών (contour-lines), των υψομετρικών σημείων (points), του υδρογραφικού δικτύου (drainage network) και της ακτογραμμής (coastline) με μέγεθος ψηφίδας 15 m και περιορίστηκε μόνο στο τμήμα της παράκτιας ζώνης από την ακτογραμμή έως την ισοϋψή καμπύλη των 4 m, έως εκεί δηλαδή που εκτείνεται το ανώτερο σενάριο ανόδου. Δημιουργήθηκε το μοντέλο κλίσεων αναγλύφου και βάσει του ιστογράμματος των τιμών των κλίσεων που προέκυψε, οι παράκτιες κλίσεις διακρίθηκαν σε πέντε κλάσεις. Ακολούθησε η επαναταξινόμηση (reclassify) του αρχείου των κλίσεων σε πέντε κατηγορίες, τα εύρη τιμών των οποίων δίνονται στον Πίνακα 1. Οι περιοχές με μικρές μορφολογικές κλίσεις προφανώς θεωρήθηκε ότι έχουν μεγάλη πιθανότητα κατάκλισης και συνεπώς χαρακτηρίστηκαν ως μεγάλης τρωτότητας ενώ οι περιοχές με όλο και μεγαλύτερες κλίσεις βαθμονομήθηκαν με σταδιακά μικρότερες τιμές.

2.3 Άνοδος θαλάσσιας στάθμης:

Για τη μεταβλητή αυτή ελήφθησαν υπόψη πέντε σενάρια μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (0-0.5 m, 0.5-1 m, 1-2 m, 2-3 m και 3-4 m). Αρχικά δημιουργήθηκαν θεματικά επίπεδα διανυσματικής μορφής (vector) των αντίστοιχων χαμηλών υψομετρικών ζωνών. Οι υψομετρικές αυτές ζώνες, που αποτελούν και τις ζώνες κατάκλισης από την ενδεχόμενη αντίστοιχη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, βαθμονομήθηκαν από 1 έως 5 θεωρώντας ότι η χαμηλότερη έχει και τη μεγαλύτερη πιθανότητα άμεσης κατάκλισης και άρα χαρακτηρίζεται ως μεγαλύτερης τρωτότητας.

2.4 Διάβρωση-υποχώρηση της ακτογραμμής:

Σε τμήματα της παράκτιας ζώνης όπου παρατηρήθηκε υποχώρηση της ακτογραμμής δόθηκε η τιμή 5 ενώ σε εκείνα που η ακτογραμμή παραμένει σταθερή δόθηκε η τιμή 1. Ενδιάμεσες κατηγορίες ως προς τη μεταβλητή αυτή δεν υπήρξαν ενώ είναι χαρακτηριστική η απουσία περιοχών προέλασης της χέρσου.

2.5 Μέσο σημαντικό ύψος κύματος:

Από την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων των μετεωρολογικών σταθμών του Ναυπλίου (1975-1988), του Άστρους, του Άργους (1974-1997), των Σπετσών (1974-1996)

και της Πυργέλας (1980-1997) προκύπτει ότι οι συχνότεροι και ισχυρότεροι άνεμοι που επικρατούν στον κόλπο είναι οι νοτιοανατολικοί. Μελέτες μέτρησης του μέσου σημαντικού ύψους κύματος για τις ελληνικές θάλασσες τοποθετούν την περιοχή μελέτης μεταξύ των μέσων ετήσιων τιμών από 0.1 m έως 0.25 m (Soukissian, 2005).

Λαμβάνοντας υπόψη τόσο το ανεμολογικό καθεστώς και το μήκος αναπτύγματος του κυματισμού όσο και το φαινόμενο της περίθλασης των κυμάτων που προκαλείται από τα νησιά Ρόμβη, Ψηλή, Πλατεία και Κωρονίς, τα τμήματα της ακτογραμμής που βρίσκονται στην κυματική σκιά των εν λόγω νησιών και προστατεύονται από αυτά θεωρήθηκε ότι δέχονται μικρότερα μέσα ύψη κύματος και τους δόθηκε η τιμή 1. Τα προστατευμένα αυτά τμήματα της ακτογραμμής εντοπίζονται στην περιοχή του Τολού, στην Καλλιθέα και στο Βιβάρι καθώς και στην περιοχή του όρμου της Κοιλιάδας.

2.6 Μέσο παλίρροιακό εύρος:

Το μέσο εύρος παλίρροιας θεωρήθηκε ότι δεν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις σε όλο το μήκος της περιοχή μελέτης και ότι δεν ξεπερνά τα 0.15 m σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού (Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, 1991).

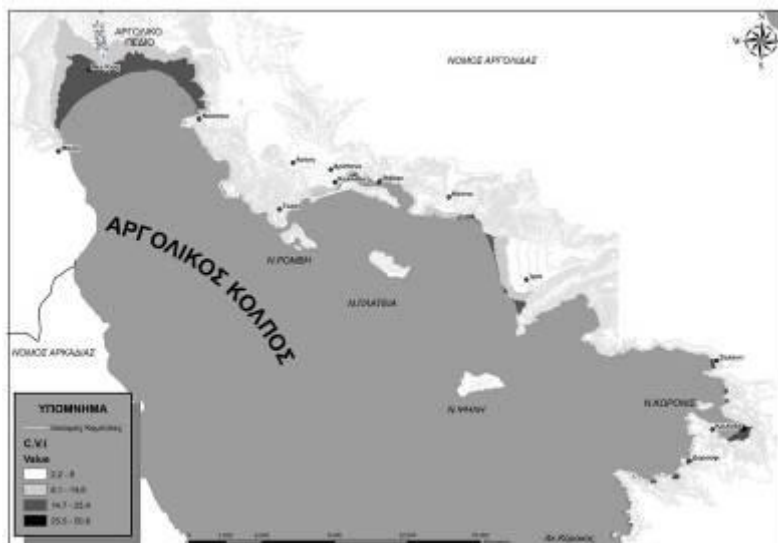
2.7 Γεωλογία:

Δεδομένου ότι οι ρυθμοί διάβρωσης και υποχώρησης των ακτών εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τη λιθολογία και την τεκτονική καταπόνηση των γεωλογικών σχηματισμών που καταλήγουν στη θάλασσα και τον τρόπο που αλληλεπιδρούν με τις θαλάσσιες διεργασίες όπως τον κυματισμό, τα παράκτια ρεύματα και τις παλίρροιες, στις μεταβλητές του δείκτη παράκτιας τρωτότητας προστέθηκε αυτή της γεωλογίας. Για τον εντοπισμό των γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος της ακτογραμμής αρχικά χρησιμοποιήθηκαν ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ κλίμακα 1:500000 (1983) και ο γεωλογικός χάρτης της Πελοποννήσου του Dufaure (1978). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος της ακτογραμμής αναγνωρίστηκαν, πιστοποιήθηκαν και οριοθετήθηκαν κατά την υπαίθρια χαρτογράφηση. Η περιοχή μελέτης κατηγοριοποιήθηκε σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντήθηκαν, σε πέντε κατηγορίες που περιλαμβάνουν κατά αύξουσα σειρά τρωτότητας τους ασβεστόλιθους, τα κροκαλοπαγή, τον φλύσχη και τα ηφαιστειακά πετρώματα και τις χαλαρές ποταμοχειμάρριες αλλουβιακές αποθέσεις και έλη με τιμές από 1 έως 4 αντίστοιχα. Κριτήριο για την κλιμάκωση αυτή στη βαθμονόμηση απετέλεσαν οι ρυθμοί υποχώρησης των παράκτιων κρημών ανάλογα με τον τύπο των πετρωμάτων στους οποίους αναπτύσσονται (Emery and Kuhn, 1980).

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικός πίνακας κατηγοριοποίησης και βαθμονόμησης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI) για την περιοχή μελέτης.

Ταξινόμηση	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ Υψηλή
Τιμή	1	2	3	4	5
Παράκτια Κλίση	5>	3-5	2-3	1-2	0-1
Σενάρια ανόδου θαλάσσιας στάθμης	0-4.0	0-3.0	0-2.0	0-1.0	0-0.5
Γεωμορφολογία	Κρημνός	Κρημνός με ίζημα	Αιγιαλός με χονδρόκοκκο υλικό	Αιγιαλός με χαλικώδες υλικό	Αιγιαλός με αμμώδες υλικό, αμμώδεις θίνες

Ταξινόμηση	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ Υψηλή
Γεωλογία	Ασβεστόλιθοι Θίνες	Κροκαλοπαγή	Φλύσχη, Ηφαιστειακά	Ποταμοχειμάρριες χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις Έλη	
Υποχώρηση / προέλαση ακτογραμμής	Χωρίς ενδείξεις διάβρωσης				Ακτογραμμή υπο διάβρωση
Μέσο μέγιστο ύψος κύματος (m)	0.1-0.15	0.15-0.2	0.2-0.25		
Μέσο εύρος παλίρροιας		0.15			



Σχήμα 2. Χάρτης τρωτότητας ως προς την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης του Αργολικού πεδίου και των ακτών του ανατολικού Αργολικού κόλπου. Τα όρια των κατηγοριών του υπονήματος αντιστοιχούν σε τιμές του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (C.V.I). Οι περιοχές με τιμές του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας από 2.2 έως 8 χαρακτηρίζονται χαμηλής τρωτότητας και από 8.1-14.6, 14.7-25.4, 25.5-50.8 χαρακτηρίζονται από μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή τρωτότητα αντίστοιχα.

Τα θεματικά επίπεδα των μεταβλητών που αφορούν τα σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, τη γεωλογία και την παράκτια μορφολογική κλίση είναι πολυγωνικά ενώ τα θεματικά επίπεδα της γεωμορφολογίας, της διάβρωσης-υποχώρησης της ακτογραμμής, του μέσου σημαντικού ύψους κύματος και του μέσου εύρους παλίρροιας είναι γραμμικά διανυσματικής μορφής (vector) (Χαλκιάς, 2006). Τα γραμμικά θεματικά επίπεδα αφορούν παραμέτρους που η δράση τους περιορίζεται στην στενή περιοχή κατά μήκος της ακτογραμμής. Για τον υπολογισμό του δείκτη και την χαρτογραφική απεικόνιση της

κατανομή των τιμών του στην περιοχή μελέτης απαιτήθηκε η μετατροπή όλων των μεταβλητών σε πλεγματικού τύπου με ίδιο μέγεθος ψηφίδας (pixel size) ίσο με 15X15 m.

3. Αποτελέσματα

Ο υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI) οδήγησε στην βαθμονόμησης της παράκτιας ζώνης του Αργολικού πεδίου και των ανατολικών ακτών του Αργολικού κόλπου και τον χαρακτηρισμό των επιμέρους περιοχών ως χαμηλής, μέτριας, υψηλής και πολύ υψηλής τρωτότητας σε μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Είναι προφανές ότι από την εφαρμογή του τύπου οι περιοχές που θα αντιμετωπίσουν πρόβλημα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης είναι εκείνες που χαρακτηρίζονται από χαμηλά υψόμετρα, ήπιες μορφολογικές κλίσεις, σαθρούς γεωλογικούς σχηματισμούς, ευάλωτες γεωμορφές και τμηματική υποχώρηση της ακτογραμμής.

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 2.2 έως 50.8. Οι τιμές αυτές κατηγοριοποιήθηκαν με τη μέθοδο των φυσικών διαστημάτων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με διαβαθμίσεις του γκρι στον τελικό χάρτη τρωτότητας του Σχήματος 2. Οι περιοχές χαμηλής τρωτότητας εμφανίζουν τιμές του δείκτη από 2.2 έως 8 ενώ εκείνες με τιμές από 8.1 έως 14.6 χαρακτηρίστηκαν ως μέτριας τρωτότητας. Το μεγαλύτερο μήκος της ακτογραμμής ανήκει στις δύο αυτές κατηγορίες. Υψηλής τρωτότητας θεωρήθηκαν οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από τιμές του δείκτη μεταξύ 14 και 25 και εντοπίζονται στη Νέα Κίο σε τμήμα της πόλης του Ναυπλίου στο Αργολικό πεδίο στην παράκτια ζώνη του Τολού, της Καλλιθέας, του Δρεπάνου και στο Βιβάρι. Τις μεγαλύτερες τιμές του δείκτη (25.5-50.8) εμφανίζουν το σύνολο της παραλίας στα Ίρια, το Σαλάντι, την Κοιλάδα, και το Δορούφι, περιοχές που χαρακτηρίζονται ως πολύ υψηλής τρωτότητας.

Για την ποιοτική παρατήρηση των εκτάσεων που αναμένεται να χαθούν στην περιοχή μελέτης από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης εκτιμήθηκαν οι χρήσεις γης που εντοπίζονται από την ακτογραμμή έως τα 4 m. Αυτές ελήφθησαν από τους χάρτες του προγράμματος corine κλίμακας 1:100000 του ΟΚΧΕ για την Αργολίδα και ομαδοποιήθηκαν σε δεκατέσσερις βασικές κατηγορίες που περιλαμβάνουν συνεχή και διακεκομμένη αστική δόμηση, βιομηχανική ζώνη, σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, οπωροφόρα δένδρα, αμπελώνες, μη αρδευσιμη αρώσιμη γη, ελαιώνες, γεωργική γη, μεταβατικές εκτάσεις, παράκτιες λιμνοθάλασσες, σκληροφυλλική βλάστηση, φυσικούς βοσκοτόπους και δάση κωνοφόρων δένδρων. Στον Πίνακα 2 φαίνεται η έκταση (σε km²) που καταλαμβάνει κάθε χρήση γης στις διάφορες υψομετρικές ζώνες καθώς και το ποσοστό (%) της έκτασης αυτής στο σύνολό τους για το σύνολο της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 2. Χρήσεις γης και έκταση αυτών ανά χαμηλή υψομετρική ζώνη για την περιοχή μελέτης.

Βιομηχανική ζώνη	Υψομετρική ζώνη (m)									
	0-0.5 m		0.5-1 m		1-2m		2-3m		3-4m	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Συνεχής αστική δόμηση					0.32	4.79	0.04	0.4	0.12	1.7
Διακεκομμένη αστική δόμηση	0.15	6.47	0.25	4.88	0.51	7.62	0.152	1.64	0.106	1.5
Βιομηχανική ζώνη			0.08	1.56	0.02	0.29				
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	1.13	48.71	3.57	69.78	3.583	53.56	6.79	73.1	3.90	54.5

Βιομηχανική ζώνη	Υψομετρική ζώνη (m)									
	0-0.5 m		0.5-1 m		1-2m		2-3m		3-4m	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Οπωροφόρα	0.743	32	0.68	13.29	0.11	1.64	0.6	6.45	2.39	33.4
Αμπελώνες			0.05	0.97	0.54	8.07				
Μη αρδεύσιμη αρώσιμη γη	0.13	5.6	0.02	0.39	1.43	21.39	1.43	15.3	0.03	0.5
Ελαιώνας	0.05	2.16	0.002	0.03	0.03	0.46	0.045	0.48	0.065	0.9
Γεωργική γη			0.02	0.30	0.06	0.89	0.156	1.66	0.1	1.4
Μεταβατικές εκτάσεις	0.001	0.05	0.002	0.03	0.012	0.17	0.015	0.16	0.032	0.5
Παράκτιες λιμνοθάλασσες	0.04	1.72	0.21	4.1					0.009	0.13
Σκληροφυλλική βλάστηση	0.07	3.02	0.268	5.24	0.06	0.89	0.075	0.81	0.275	3.84
Φυσικοί βοσκότοποι	0.005	0.22	0.009	0.17	0.009				0.002	0.03
Δάσος κωνοφόρων	0.001	0.05	0.002	0.03	0.006	0.09			0.11	1.6
Σύνολο	2.32	100	5.116	100	6.69	100	9.29	100	7.157	100

4. Συζήτηση - Προτάσεις

Στα πλαίσια της εργασια αυτής έγινε μια πρώτη προσπάθεια εντοπισμού και οριοθέτησης περιοχών που εμφανίζουν μεγάλη τρωτότητα στην αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας στις ακτές του ανατολικού Αργολικού κόλπου και του Αργολικού πεδίου. Ο εν λόγω δείκτης, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τα φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής, τροποποιήθηκε ώστε να περιλάβει και την παράμετρο της γεωλογίας. Η πιλοτική εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας έδειξε ότι η εκτίμησή του αποτελεί μια αξιόπιστη μεθοδολογία εντοπισμού τρωτών περιοχών με κριτήριο τις μορφολογικές γεωλογικές και ωκεανογραφικές παραμέτρους της εκάστοτε παράκτιας περιοχής. Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στη λεπτομερή κλίμακα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, στην επιτόπια υπαίθρια χαρτογράφηση, που δίνει άμεση εικόνα για τα επιμέρους γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και επεξεργασίας των δεδομένων που προσφέρει η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Δεδομένου ότι ανάλογες ενέργειες καθορισμού παράκτιων περιοχών υψηλής τρωτότητας, σε μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, δεν έχουν πραγματοποιηθεί σε εθνικό επίπεδο, προτείνεται σε πρώτη φάση η εκτίμηση του τροποποιημένου δείκτη για το σύνολο των ακτών της χώρας. Κάτι τέτοιο θα βοηθούσε την Πολιτεία και τους αρμόδιους φορείς να εστιάσουν στις πραγματικά τρωτές παράκτιες περιοχές και να ρυθμίσουν μελλοντικές ενέργειες αποφυγής των αρνητικών συνεπειών, αξιοποιώντας τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ως συστήματα λήψης αποφάσεων. Το δεύτερο βήμα που θεωρείται αναγκαίο είναι η ποσοτική εκτίμηση των οικονομικών συνεπειών σε τοπικό επίπεδο καθώς και ένας οικονομικός προγραμματισμός για το κόστος που απαιτείται για τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν μακροπρόθεσμα ώστε να μειωθούν οι αρνητικές συνέπειες. Δηλαδή αυτό που διεθνώς καλείται «Holding back the sea» (Titus and Richman, 2001). Για την αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης ακολουθούνται σε

παγκόσμια κλίμακα τακτικές οι οποίες εστιάζουν περισσότερο στις αλλαγές των χρήσεων γης και στη μετακίνηση κατασκευών και δραστηριοτήτων σε ασφαλέστερες περιοχές (Titus and Richman, 2001) ενέργειες που απαιτούν τον εντοπισμό και την οριοθέτηση των τρωτών περιοχών και ένα σωστά μεθοδευμένο και ουσιαστικό προγραμματισμό και σχεδιασμό.

Βιβλιογραφία

Γάκη Παπαναστασίου Κ., Ε. Καρύμπαλης και Α. Σενή, 2005: Εκτίμηση των επιπτώσεων από την αναμενόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας στο Αργολικό Πεδίο (Πελοπόννησος). 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την Διαχείριση και βελτίωση παράκτιων ζωνών, Αθήνα 22-25 Νοεμβρίου 2005.

Γιαννουλόπουλος Π., Σ. Αλεξανδρής, Μ.Ψυχογιού και Α.Πουλοβασίλης, 2002. Υφαλμύρωση και ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών του Αργολικού πεδίου. 6ο Πανελλήνιο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Ξάνθη.

ΙΓΜΕ, 1983: Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακα 1:500000. Έκδ. ΙΓΜΕ.

Παυλόπουλος Κ., Χ.Ν. Χαλκιάς και Ε. Καρύμπαλης, 2002: Εκτίμηση επιπτώσεων από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στα νησιά Μύκονο, Δήλο, Ρήνεια. 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002.

Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, 1991: Παλίρροιες των Ελληνικών Λιμένων. 4 Έκδοση, Αθήνα.

Χαλκιάς Ν.Χ., 2006: Όροι και έννοιες επιστήμης γεωγραφικών πληροφοριών. Geographical information science. Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Dufaure J.J., 1978: Le Peloponnese: Carte Geologique.

EI-Raey M., 1997: Vulnerability assessment of the coastal zone of the Nile delta of Egypt, to the impacts of sea level rise, *Ocean & Coastal Management*, 37, 1, 29-40.

Emery K.O. and G.G. Kuhn, 1980: Erosion of rock shores at La Jolla. *Marine Geology*, 37, 197-208.

Gaki-Papanastasiou K., H. Maroukian, K. Pavlopoulos and A. Zamani, 1997: The implications of the expected sea level rise on the low lying areas of continental Greece in the next century, *Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment*, 121-126.

Georgas D., 2000: Implications of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR) for Greece, *Proceeding of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability and Adaptation to impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR)*, Hamburg, 32-33.

IPCC., 2001: *Climate Change, Synthesis Report*. - Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.), Geneva, 184 pp (Stand-alone edition).

Karaca M., 2000: Implications of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR) for Turkey, *Proceeding of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability and Adaptation to impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR)*, Hamburg, 29-31.

Karymbalis E., and C.Chalkias, 2005: A GIS-RS approach in vulnerability assessment of deltaic coastal zone due to the impact of sea-level rise, *Proceedings of the International Symposium Geographical Information Systems and Remote Sensing: Environmental Applications*. Volos 7-9 November 2003. 299-306.

Karymbalis E. and A. Seni, 2005: Coastal Geomorphology and Future Sea-level Rise

Impacts at the Eastern Gulf of Argos (Greece). Proceedings of the Seventh International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 05, E. Ozhan (Editor), 25-29 October, Kusadasi, 1287-1298.

Li C.X., D.D. Fan, B. Deng and D.J. Wang, 2000: Some problems of vulnerability assessment in the coastal zone of China, Proceedings of the APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference on Coastal Impacts of Climate Change and Adaption in the Asia-Pacific Region, Kobe, 1-8

Pendleton A.E., E.R. Thieler and S. Jeffress Williams, 2005: Coastal Vulnerability Assessment of Dry Tortugas National Park to Sea Level Rise. USGS, Open-File Report 2004-1416.

Soukissian T., 2005: The wave climate of the Aegean Sea: wind waves. State of the Hellenic Marine Environment, Institute of Oceanography.65-70.

Titus J.G., R.A. Park, S. Leatherman, R. Weggel, M.S. Green, M. Treehan, S. Brown and G. Yohe, 1991: Greenhouse Effect and Sea Level Rise: The Cost of Holding Back the Sea, Coastal Management, 19, 171-204.

Titus J.G., and C. Richman, 2001: Maps of Lands Vulnerable to Sea Level Rise: Modeled Elevations along the U.S. Atlantic and Gulf Coasts, Climate Research, 18, 205-228.