



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοεπιστημών

Εργαστήριο Παράκτιας Μορφοδυναμικής, Διαχείρισης & Θαλάσσιας Γεωλογίας

# Καταγραφή, αξιολόγηση και προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή των παραλιών της Σαντορίνης



Μονιούδη Ισαβέλα, Δρ. Παράκτιας Μηχανικής  
Αντώνης Χατζηπαυλής, Δρ. Ωκεανογραφίας



**ΕΛΙΔΕΚ.**  
Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

Το ερευνητικό έργο υποστηρίχτηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της Δράσης «2η Προκήρυξη ερευνητικών έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση Μεταδιδακτορικών Ερευνητών/τριών» (Αριθμός Έργου:211)





# Σύνοψη

1. Αξία των παραλιών
2. Διάβρωση των παραλιών υπό το πρίσμα της Κλιματικής Αλλαγής
3. Έργο MARICC
4. Αποτελέσματα του έργου για το νησί της Σαντορίνης
5. Έργα παράκτιας προστασίας



# Αξία των παραλιών

- **Παραλίες - Πολύτιμοι φυσικοί πόροι** και τη πρώτη γραμμή άμυνας στην παράκτια διάβρωση και πλημμύρα. Προστατεύουν από θαλάσσια πλημμύρα:
  - (α) παράκτια μεταβατικά (υφάλμυρα) οικοσυστήματα (διεθνή/ ευρωπαϊκή νομοθεσία) και
  - (β) παράκτιους πληθυσμούς
  - (γ) αστικές και τουριστικές εγκαταστάσεις και υποδομές (π.χ. παράκτιους δρόμους και αερολιμένες) μεγάλης κοινωνικο-οικονομικής αξίας που βρίσκονται πίσω από το παραλιακό μέτωπο.
  
- **Κρίσιμοι οικονομικοί πόροι**, Ο τουρισμός, ο 3ος μεγαλύτερος οικονομικός τομέας, δείχνει αυξανόμενη τάση προς τις παραλιακές ψυχαγωγικές δραστηριότητες ('Sun-Sea-Sand-3S' τουρισμός).
  - Μεσογειακός παράκτιος τουρισμός συνεισφέρει πάνω από €100 δισ. ετησίως στις εθνικές οικονομίες
  - Ελληνικά νησιά πάνω από 50% τοπικού ΑΠ
  - Στην Ελλάδα ο τουρισμός συνεισφέρει άμεσα κατά 25% στο ΑΕΠ
  - Στη Σαντορίνη ο τουρισμός συνεισφέρει > 80% στο τοπικό ΑΠ



# Αξία των παραλιών

## Φέρουσα ικανότητα

Κάτω από την οπτική της αειφόρου τουριστικής ανάπτυξης, εισήχθη η έννοια της φέρουσας ικανότητας παραλίας (carrying capacity)

Ορίζεται ως ο “ανώτατος αριθμός χρηστών που μπορεί να φιλοξενήσει μια παραλία σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, χωρίς να προκληθεί διατάραξη του φυσικού, οικονομικού, κοινωνικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος, διατηρώντας παράλληλα αμείωτη την ικανοποίηση των χρηστών”. ([WTO, 1981](#))

Η φέρουσα ικανότητα μιας παραλίας φέρει πολλές διαστάσεις (φυσική-περιβαλλοντική, κοινωνική, αναψυχής) συνήθως όμως μελετάται η πρακτική της μορφή η οποία ορίζεται με βάση την ένταση χρήσης (πυκνότητα επισκεπτών).

Π.χ. Παραλία Καμάρι με εμβαδόν 120.000 m<sup>2</sup> έχει φέρουσα ικανότητα 12.000 επισκέπτες (10 m<sup>2</sup>/χρήστη)





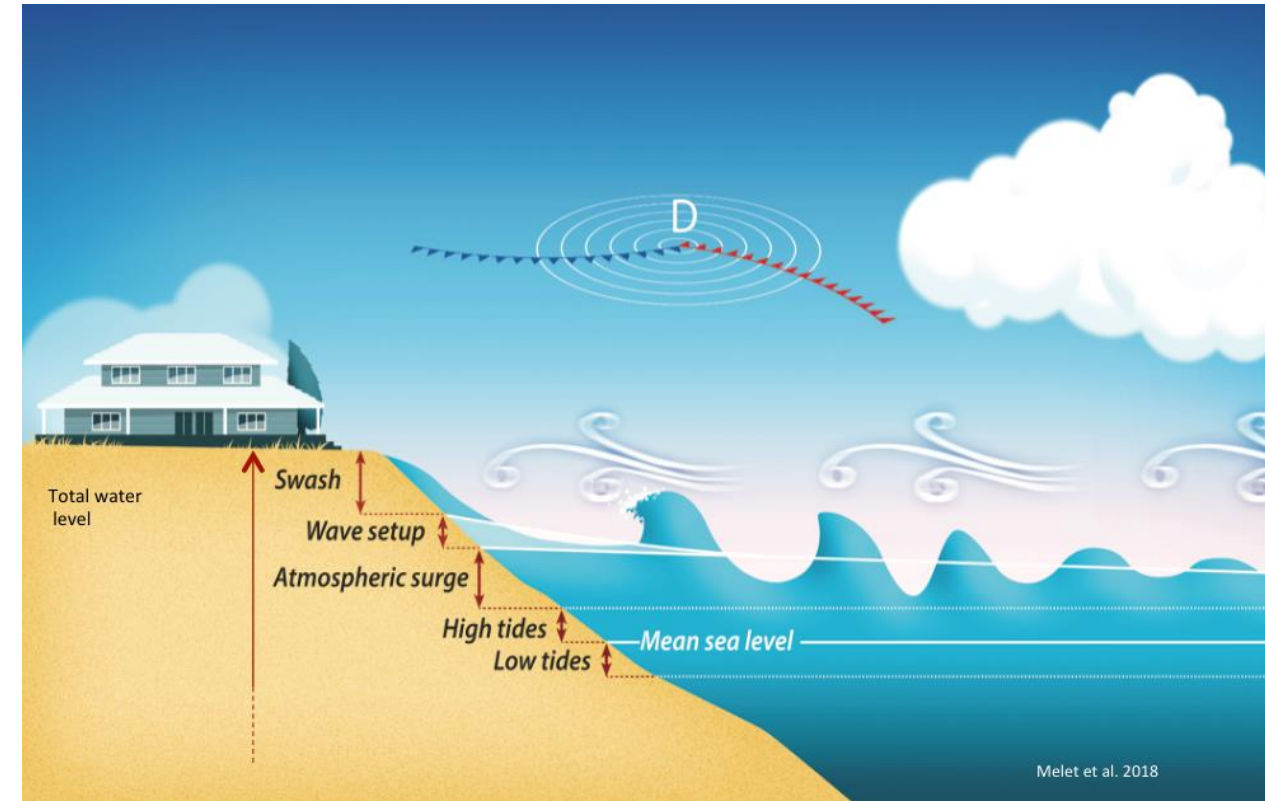
# Διάβρωση Παραλιών

- Οι παραλίες είναι ταυτόχρονα ευάλωτες στην ΚΜ&Α, προβλέπεται να επηρεαστούν έντονα από την άνοδο της θαλ. στάθμης και την αύξηση της έντασης των θυελλών στο μέλλον.

Η παράκτια διάβρωση διακρίνεται σε:

- **μακροχρόνια διάβρωση** (άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης-MSL ή/και αρνητικά ισοζύγια ιζήματος). Μη αναστρέψιμη μακροχρόνια οπισθοχώρηση της ακτογραμμής
- **βραχυχρόνια διάβρωση** (μετεωρολογικές παλίρροιες-storm surges) μπορεί να μην έχουν σαν αναγκαίο αποτέλεσμα μόνιμες οπισθοχωρήσεις της ακτογραμμής αλλά προκαλούν μεγάλης κλίμακας καταστροφές

## Επεισοδική ακραία θάλασσα





# Διάβρωση Παραλιών

Υπό το πρίσμα της Κλιματικής Αλλαγής και της συνεπακόλουθης παράκτιας διάβρωσης, η μείωση του πλάτους της παραλίας θα οδηγήσει σε:

- μείωση του διαθέσιμου χώρου και του αριθμού των επισκεπτών που θα μπορεί να φιλοξενήσει, δημιουργώντας καταστάσεις συνωστισμού και μετατρέποντας την επίσκεψη σε δυσάρεστη εμπειρία (δηλ. μείωση της φέρουσας ικανότητας)
- μείωση της ποιότητας και της ελκυστικότητας της παραλίας ως περιβάλλον αναψυχής
- αύξηση του κινδύνου πλημμύρας των περιουσιακών στοιχείων/υποδομών στην οπισθοπαραλία
- επακόλουθες συνέπειες στην οικονομία.

Επομένως είναι αναγκαία η εφαρμογή/σχεδιασμός παράκτιων μέτρων όπως η τεχνητή αναπλήρωση ή/και η κατασκευή άλλων προστατευτικών έργων.

Το μέγεθος του προβλήματος και το κόστος των απαραίτητων μέτρων προσαρμογής, απαιτούν να αναπτυχθεί μια προσέγγιση που να μπορεί να ιεραρχήσει τις παραλίες στη βάση διαφορετικών κριτηρίων προκειμένου να κατανείμει πιο αποτελεσματικά τους περιορισμένους, στις περισσότερες περιπτώσεις, οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους.



# ΕΡΓΟ MARICC

Χρηματοδότηση από (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) Δράση: «2η  
Προκήρυξη ερευνητικών έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για  
την ενίσχυση Μεταδιδακτορικών  
Ερευνητών/τριών» (Αριθμός Έργου: 00211).

[www.elidek.gr](http://www.elidek.gr)



Μεθοδολογικό πλαίσιο για την εκτίμηση και παρακολούθηση του κινδύνου  
διάβρωσης των τουριστικών νησιωτικών παραλιών κάτω από Κλιματική Αλλαγή

Φορέας Υποδοχής: *Πανεπιστήμιο Αιγαίου*

Συνεργαζόμενοι Φορείς: *Γεωθήρα Μ.Α.Ε.,  
Ίδρυμα Λοχαγού Φανουράκη*

Περιοχές μελέτης: *Κως, Σαντορίνη*

Ημερομηνία έναρξης: *3 Μαρτίου 2021*

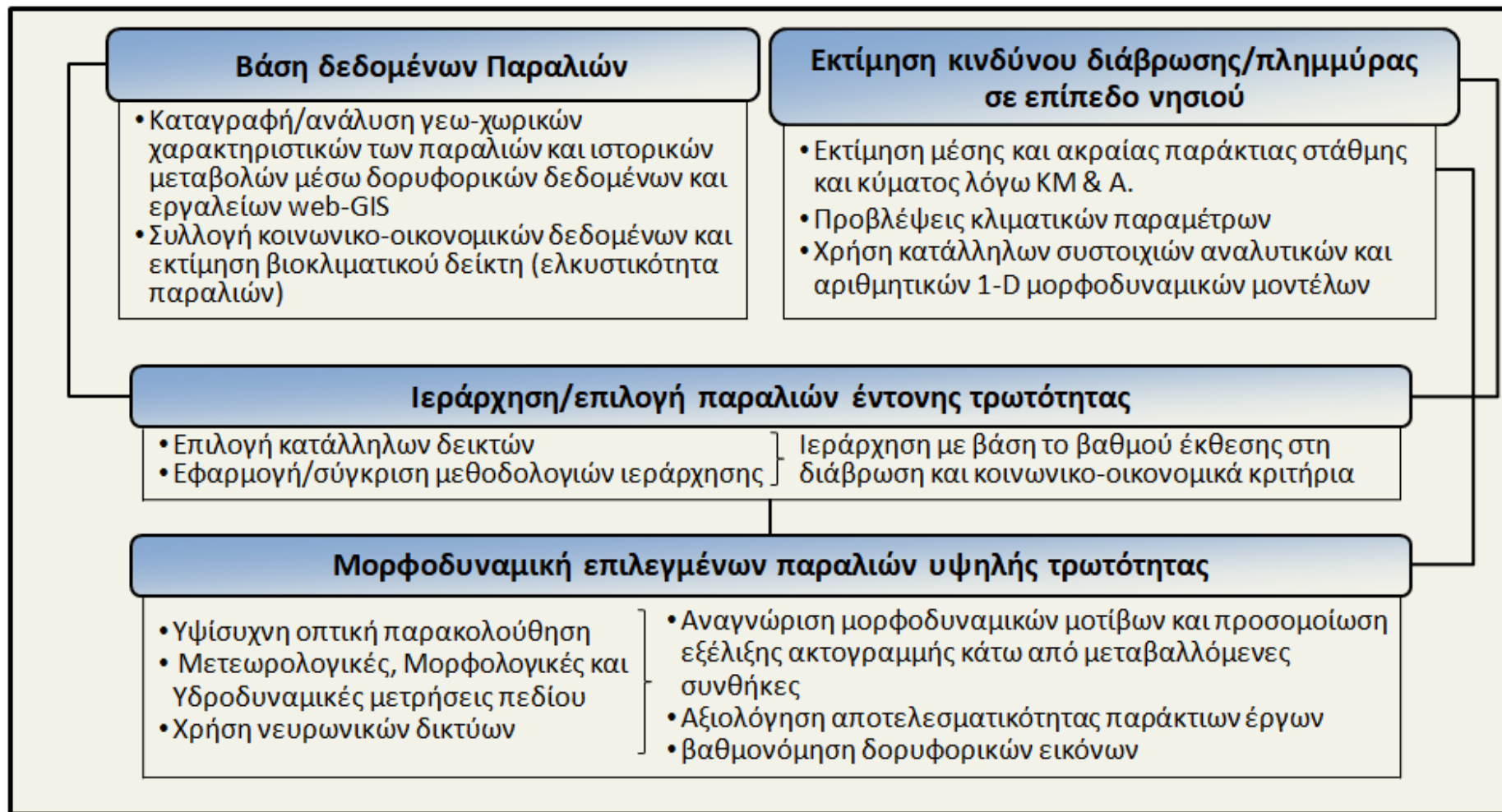
Ημερομηνία λήξης: *2 Μαρτίου 2024*

Επιστημονική Υπεύθυνη: *Ισαβέλα Μονιούδη*





# Μεθοδολογία







# Βάση δεδομένων παραλίας

Ψηφιοποίηση εικόνων  
με web/GIS  
εργαλεία



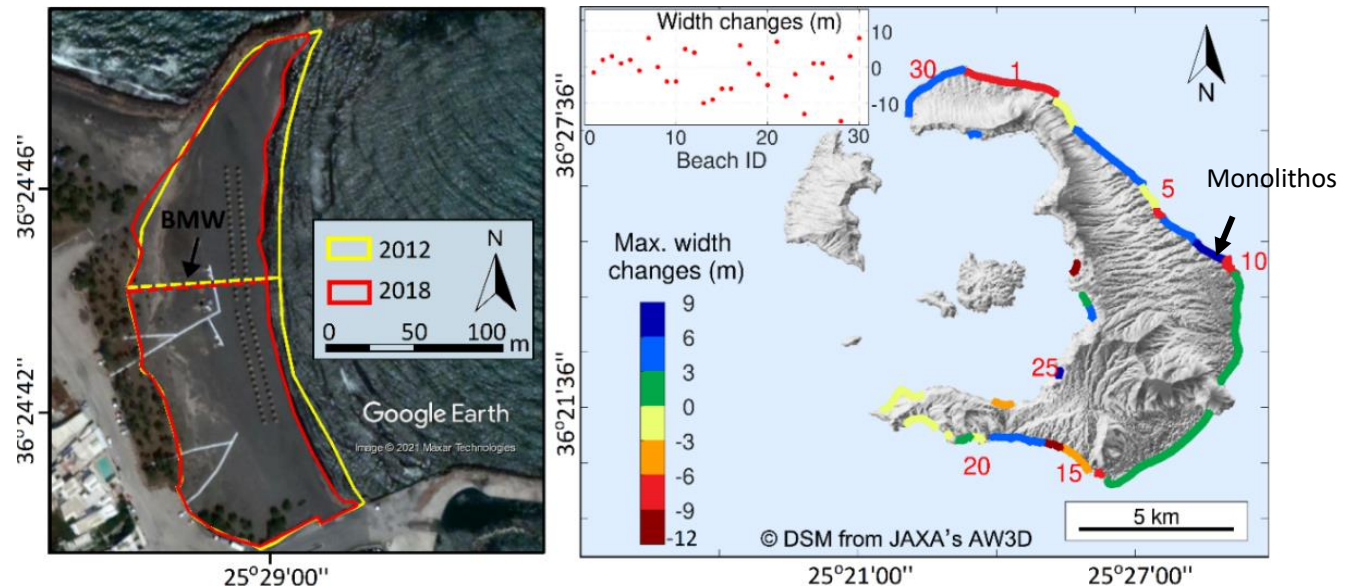
Καταγραφή των  
χαρακτηριστικών των  
παραλιών



Στατιστική  
ανάλυση/συσχετίσεις

Αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων των παραλιών της Σαντορίνης χρησιμοποιώντας ποικίλες πηγές, όπως

- δορυφορικές εικόνες, οπτικές πληροφορίες/εργαλεία που παρέχονται από την εφαρμογή Google Earth Pro,
- διαδικτυακούς πόρους και βάσεις δεδομένων
- τοπικές πηγές πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων συνεντεύξεων με ντόπιους.





# Βάση δεδομένων παραλίας



Έχουν αναγνωρισθεί και καταγραφεί **30** παραλίες

Συνολικό μήκος: ~ 6.800 m

Συνολική έκταση: ~580.000 m<sup>2</sup>

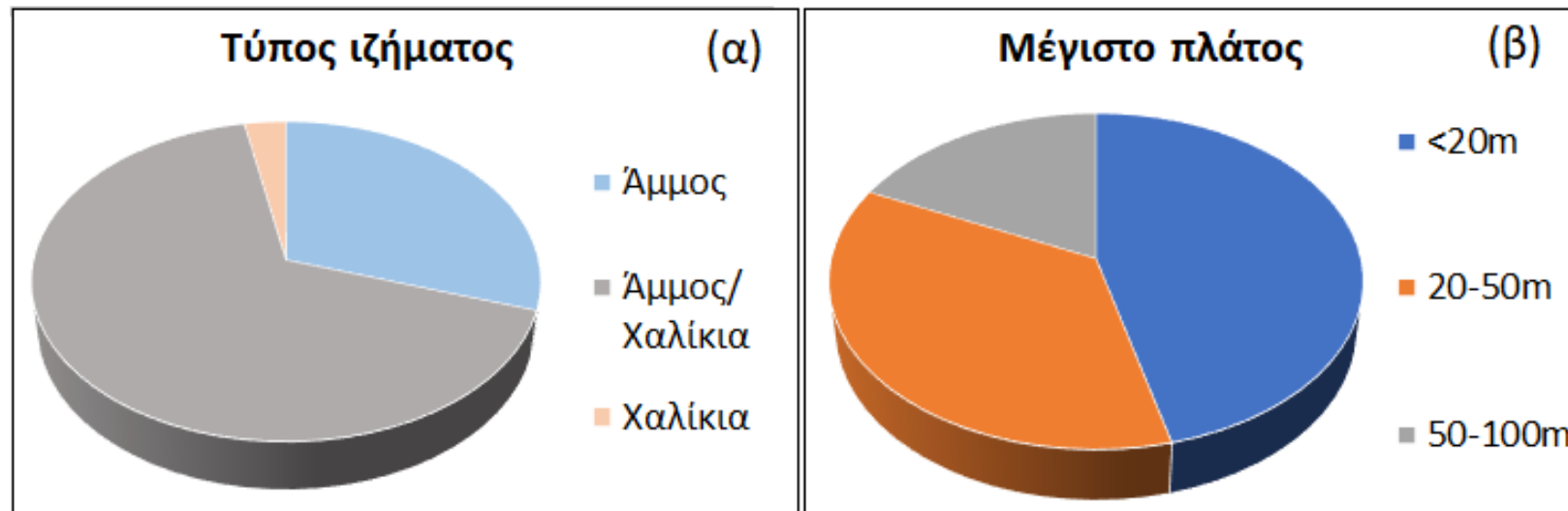
Συνολική φέρουσα ικανότητα: ~58.000, θεωρώντας επαρκή χώρο 10 m<sup>2</sup>/χρήστη ([Rajan et al., 2013](#)).

Κάθε μέτρο μήκους ελληνικής παραλίας προσφέρει κατά μέσο όρο **1.350 €/έτος** στην ελληνική οικονομία ([Βελεγράκης κ.α, 2005](#)).



# Βάση δεδομένων παραλίας

- το ~50% των καταγεγραμμένων μέγιστων πλατών παραλίας, είναι λιγότερο από 20 m και το ~80% είναι λιγότερο από 50 m.
- το 30% αποτελείται από αμμώδη ιζήματα ενώ το 67% από μεικτού τύπου (άμμος και χαλίκια) και το 3% από ανδρομερή ιζήματα (κυρίως χαλίκια).





# Μελλοντικές προβλέψεις παραλιακής διάβρωσης

Εκτίμηση του εύρους της παραλιακής οπισθοχώρησης σε επίπεδο νήσου, κάτω από αναμενόμενα σενάρια RSLR\*, με συστοιχία μορφοδυναμικών μοντέλων



Σύγκριση των αποτελεσμάτων των συστοιχιών με τα μέγιστα πλάτη των παραλιών



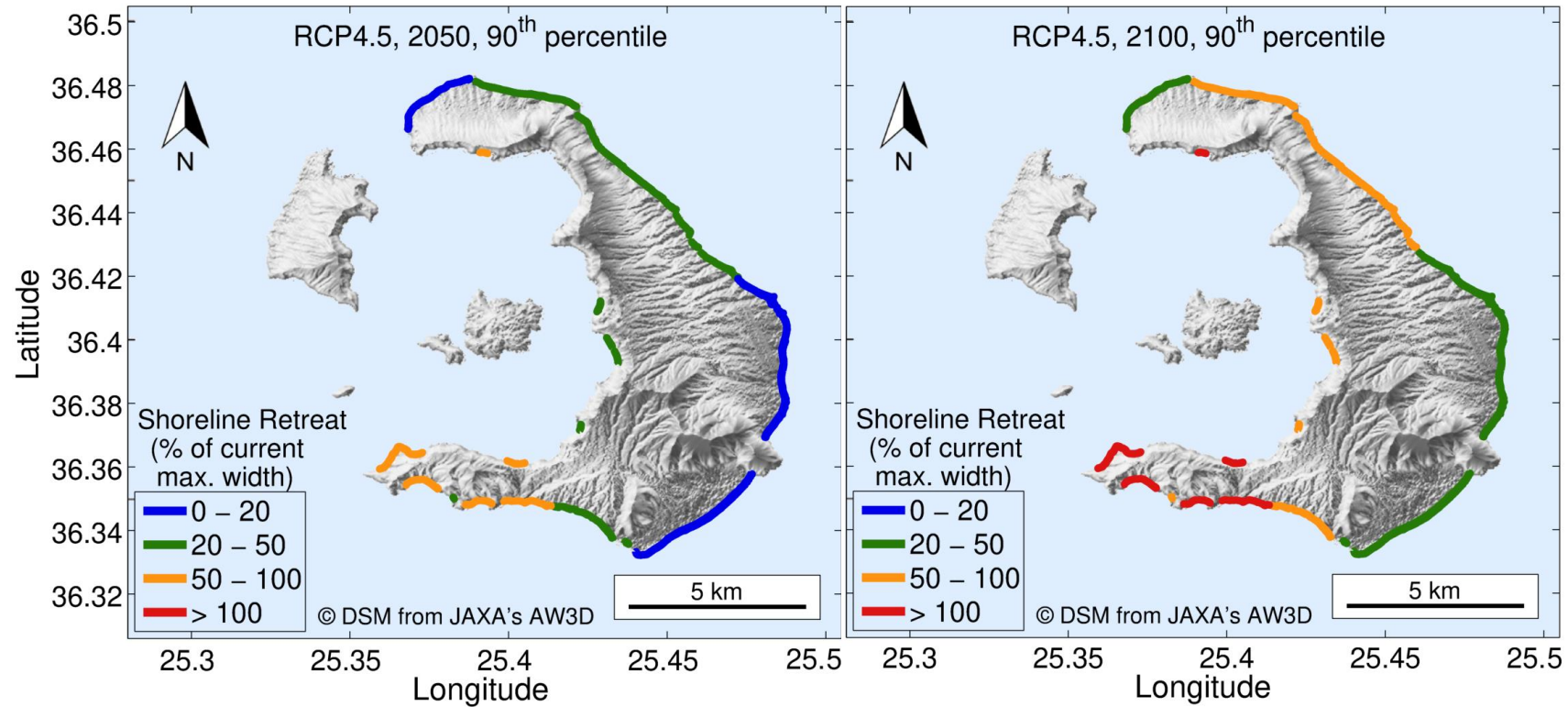
Επιπτώσεις στο 'ξηρό' παραλιακό πλάτος (φέρουσα ικανότητα) και στις υποδομές/περιουσιακά στοιχεία πίσω από την παραλία

\*RSLR: Σχετική άνοδος της θάλασσας  
στάθμης (Relative Sea Level Rise)





# Μελλοντικές προβλέψεις παραλιακής διάβρωσης



Ποσοστά των καταγεγραμμένων μέγιστων παραλιακών πλατών (ΜΠΠ) των 30 παραλιών της Σαντορίνης που προβλέπεται να διαβρωθούν υπό τη σχετική άνοδο της μέσης θαλ. για (α) το 2050 και (β) 2100.



# Ιεράρχηση ευπάθειας παραλιών

Δείκτες που επιλέχθηκαν

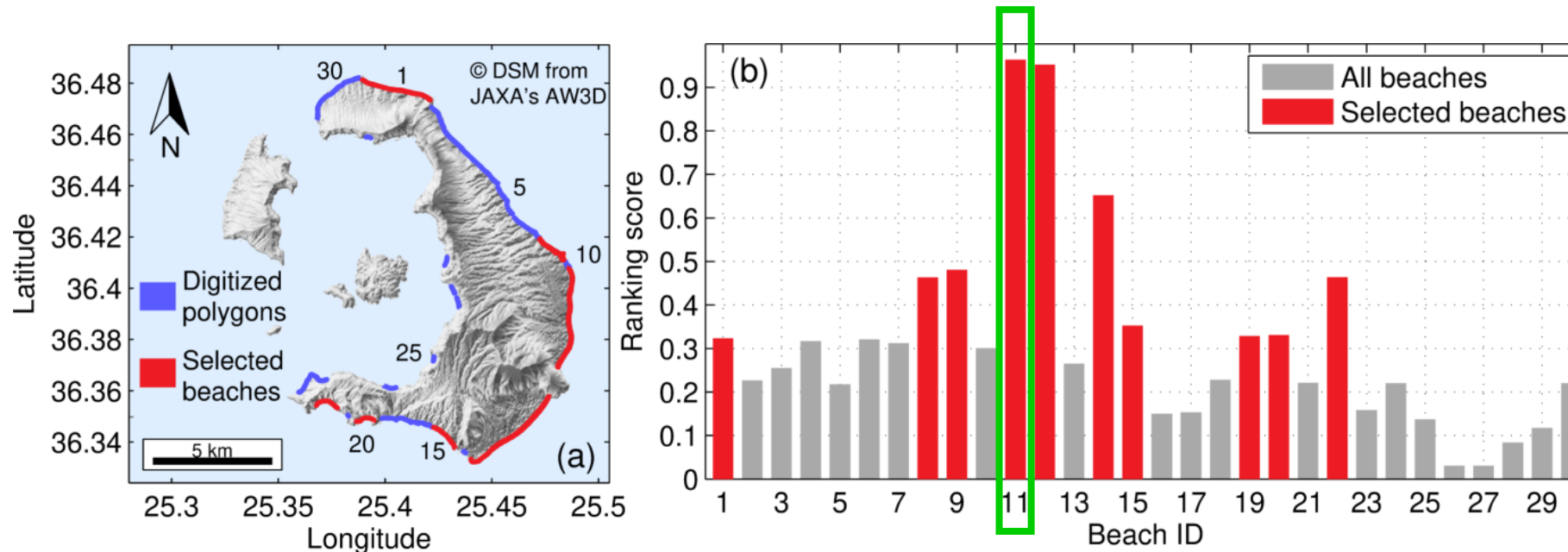
2<sup>ο</sup> στάδιο – ΑΗΡ

1<sup>ο</sup> στάδιο – TOPSIS

- (1) Τουριστική δραστηριότητα (αριθμός ξενοδοχείων/εστιατορίων στην παραλία και στην ευρύτερη περιοχή της)
- (2) Παραλιακή ανάπτυξη (πχ. αποδυτήρια, κάδοι, ομπρέλες, ξαπλώστρες, θαλάσσια σπορ, ναυαγοσώστες)
- (3) Βαθμός αστικοποίησης (έκθεση περιουσιακών στοιχείων), η πυκνότητα (%) των υποδομών/ περιουσιακών στοιχείων που βρίσκονται ακριβώς πίσω από την παραλία σε σχέση με το μήκος της ακτογραμμής
- (4) Προσβασιμότητα, βάσει της κατάστασης του οδικού δικτύου και της απόστασης από το κεντρικό οδικό δίκτυο
- (5) Βραβείο «Γαλάζιας Σημαίας» (το 2021), που θεωρούνται από τους χρήστες ως δείκτης για την ποιότητα της παραλίας
- (6) Έκταση της παραλίας ως δείκτης για την φέρουσα ικανότητα των παραλιών (θεωρώντας 10 m<sup>2</sup>/ανά άτομο)
- (7) Τύπος ιζήματος, επηρεάζει την ενδεχόμενη διάβρωση και θεωρείται δείκτης για την αισθητική αξία της παραλίας, καθώς οι αμμώδεις παραλίες προτιμώνται από τους χρήστες.
- (8) Μέγιστο πλάτος (μείωση 'ξηρού' πλάτους) ελέγχει την παραλιακή ευπάθεια και την έκθεση των περιουσιακών στοιχείων της οπισθοπαραλίας
- (9) Ιστορικές τάσεις διάβρωσης/πρόσχωσης, βάσει των παρατηρούμενων μεταβολών στο μέγιστο πλάτος



# Ιεράρχηση ευπάθειας παραλιών



(a) Βαθμολογίες κατάταξης των 30 καταγεγραμμένων παραλιών της Σαντορίνης σύμφωνα με την κοινωνικο-οικονομική τους και περιβαλλοντική τους σημασία.

(b) Οι πιο υψηλά στην κατάταξη παραλίες φαίνονται με κόκκινο χρώμα (η αρίθμηση των παραλιών ξεκινάει από το Βορρά (Beach ID=1) με φορά τη φορά των δεικτών του ρολογιού).

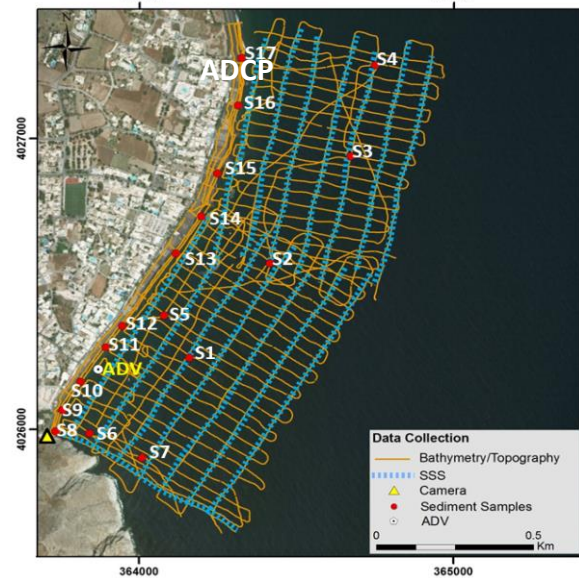
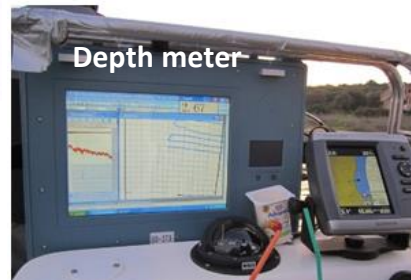
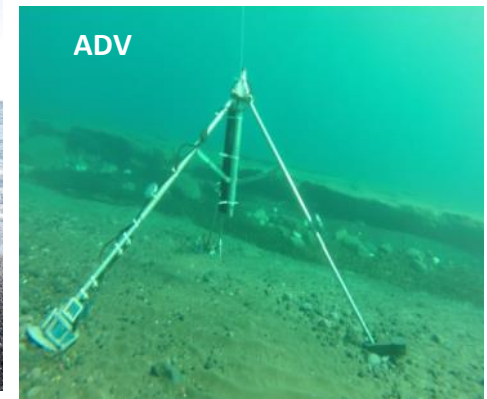
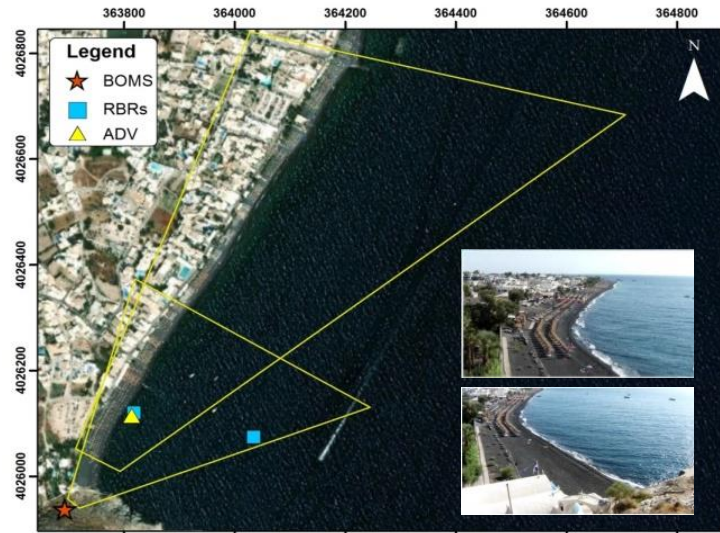
## Όνομα Παραλίας

1. Μπαξέδες
- 8-9. Μονόλιθος
11. Καμάρι
12. Περίσσα
14. Βλυχάδα
15. Έρωσ
19. Κόκκινη Παραλία
20. Καμπιά
22. Μέσα Πηγάδια





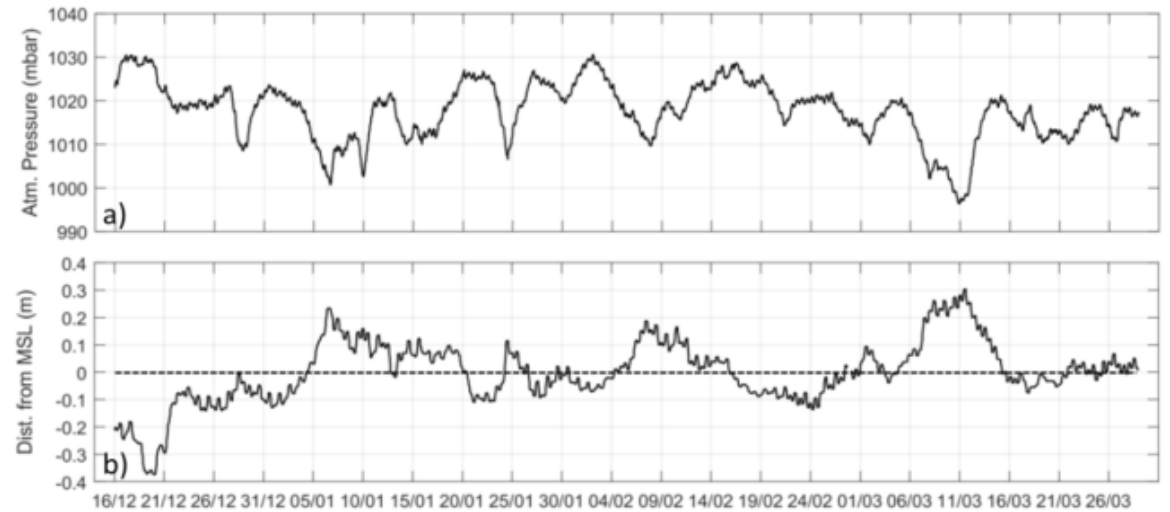
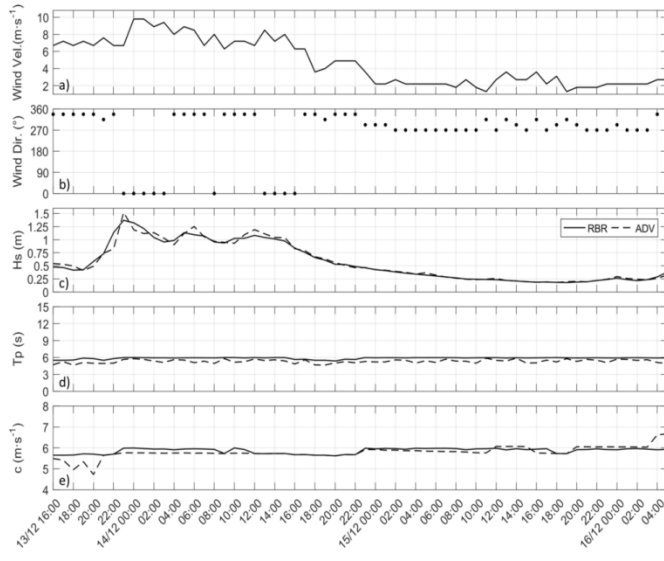
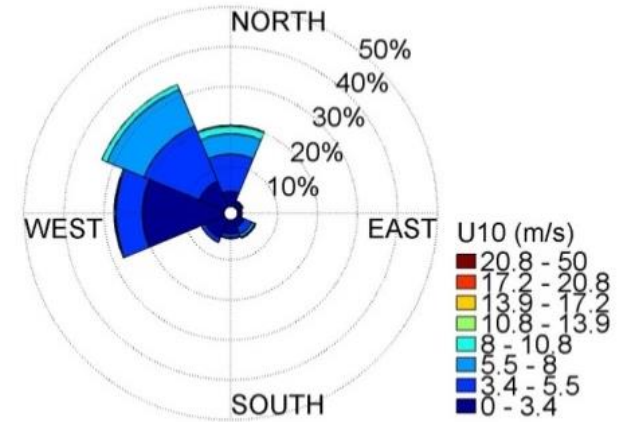
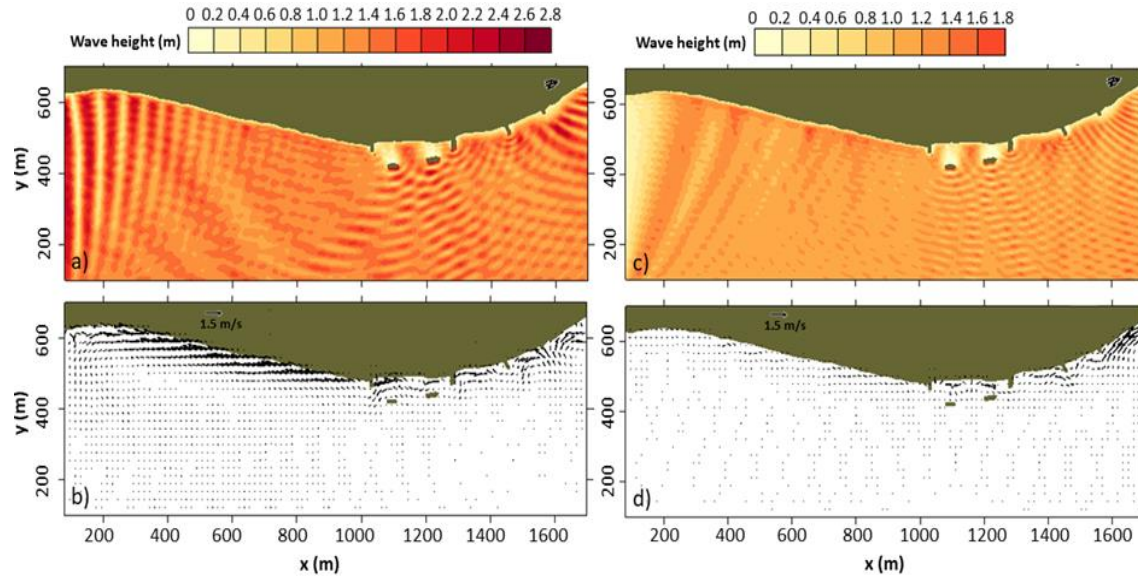
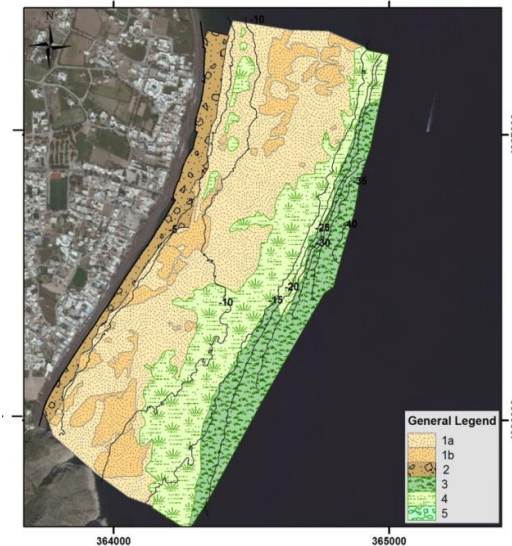
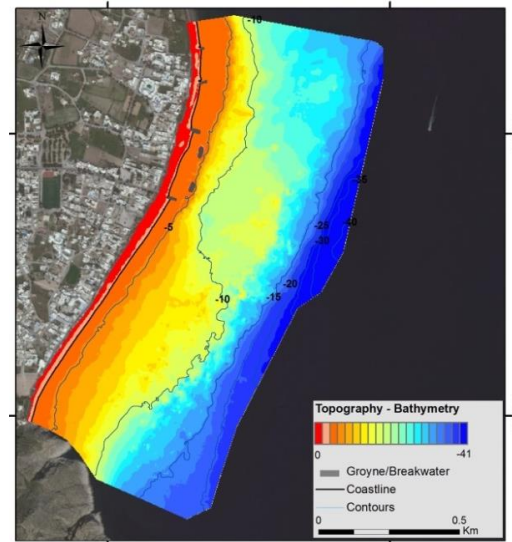
# Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων πεδίου







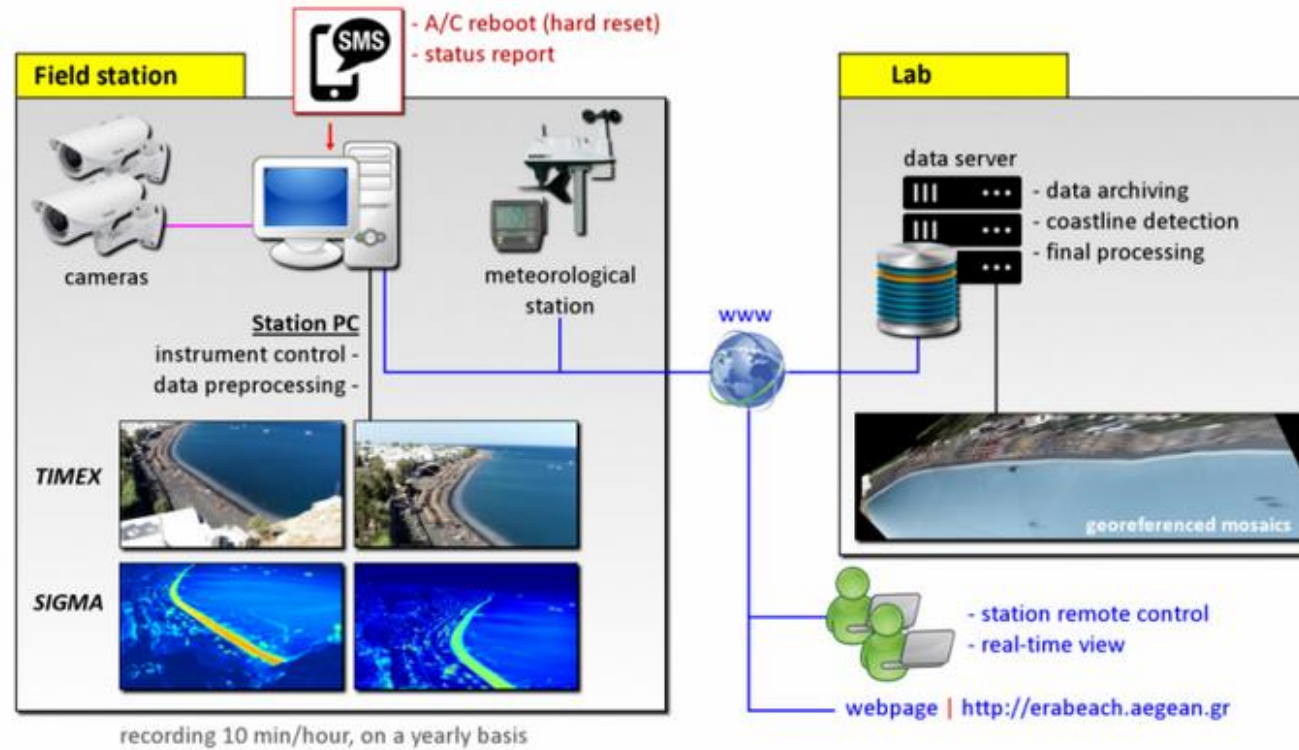
# Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων πεδίου





# Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων πεδίου

## Εγκατάσταση Αυτόνομου Οπτικού Συστήματος Παρακολούθησης Παραλίας (ΑΟΣΠΠ)



- 1 ή περισσότερες κάμερες
- Μετεωρολογικό σταθμό
- Υπολογιστή πεδίου
- Αποθήκευση δεδομένων διαδικτυακά

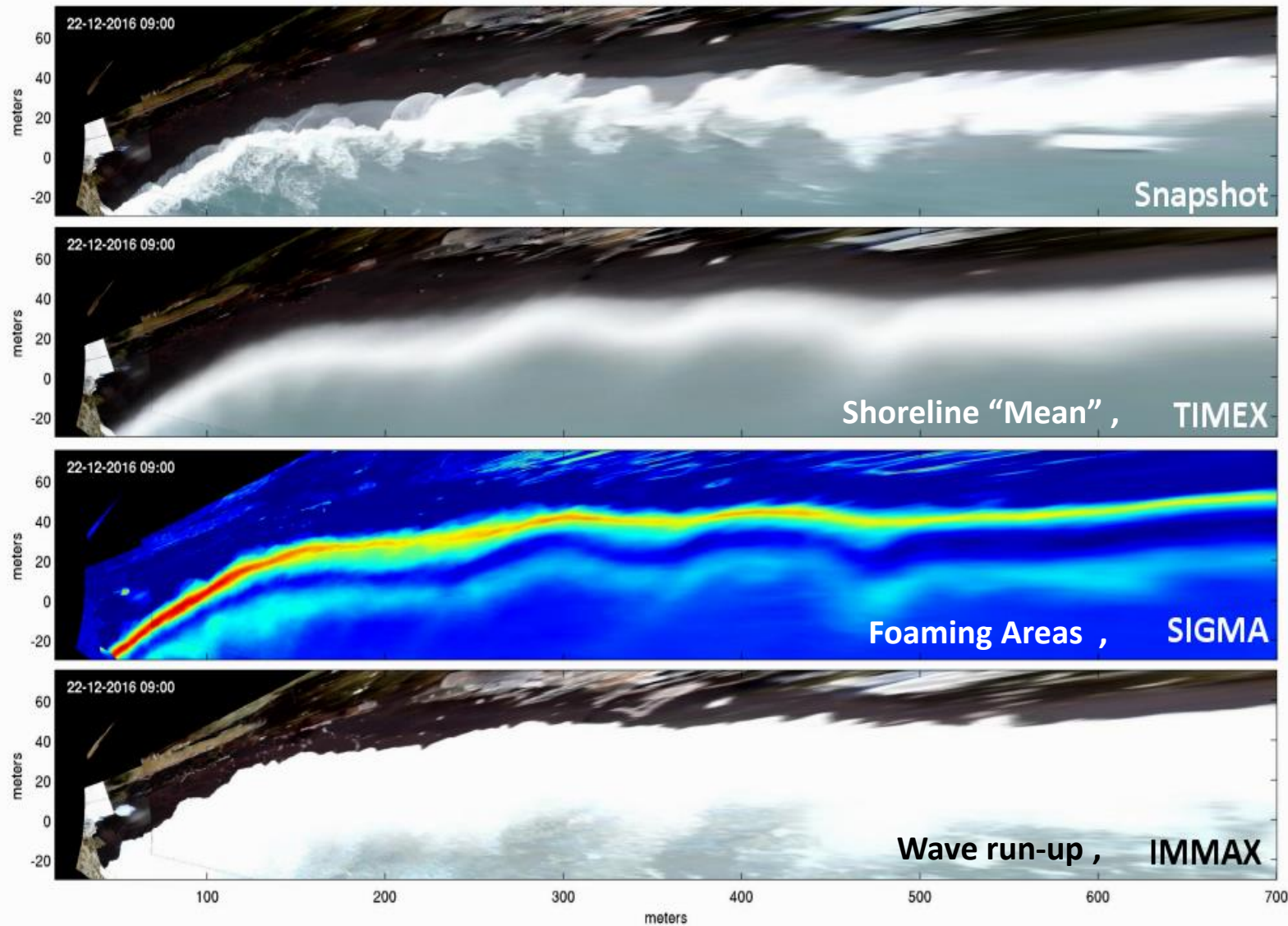
### Αυτόνομη και μακρόχρονη λειτουργία:

- Συχνότητα καταγραφής 5Hz, 10 min / hour
- 8-12 ώρες ημερησίως (ώρες φωτεινότητας)
- 365 μέρες το χρόνο





# Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων πεδίου







# Αυτόνομο Οπτικό Σύστημα Παρακολούθησης Παραλιών (ΑΟΣΠΠ)

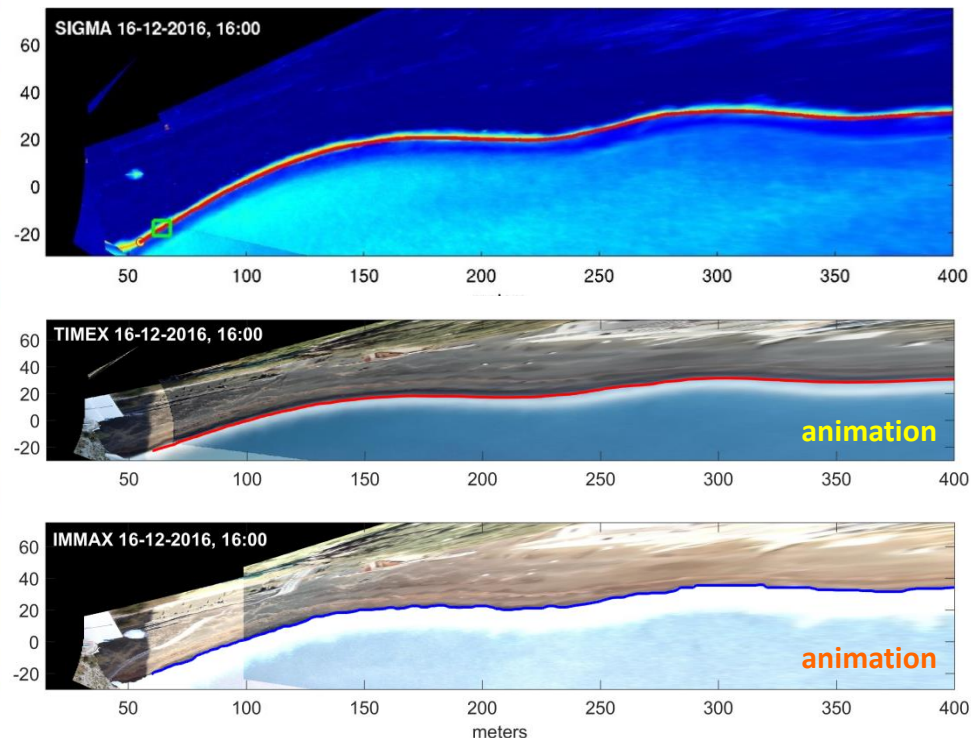
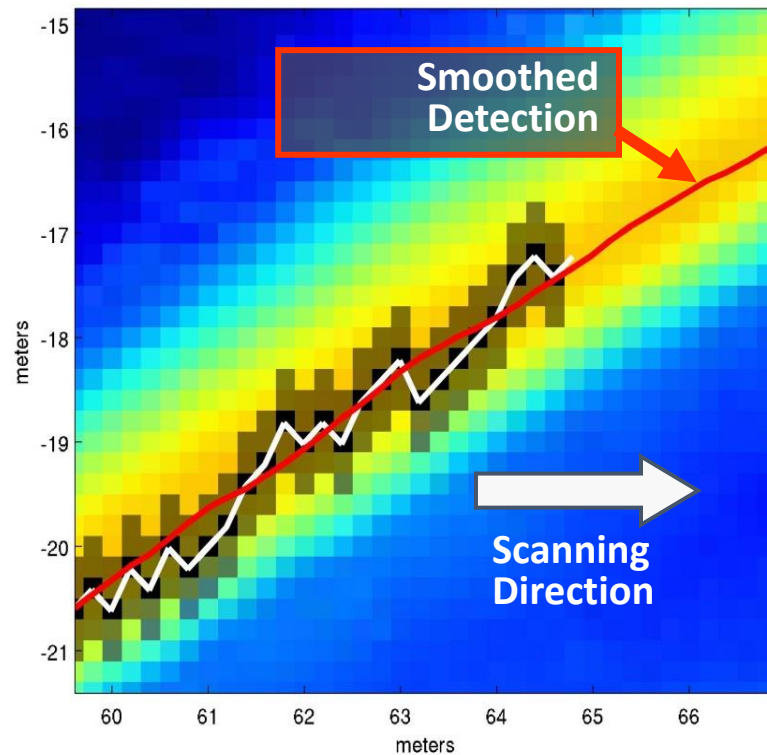
➤ Τοπικός σαρωτής **kernel** ( $M \times N$  pixel) σκανάρει την εικόνα

➤ Επιλογή νέου σημείου

- Μέσος όρος φωτεινότητας
- Μέγιστο φωτεινότητας
- Std. της αντίθεσης φωτεινότητας

- TIMEX (ακτογραμμή)
- IMMAX (κυματική αναρρίχηση)
- SIGMA (περιοχές αφρίσματος)

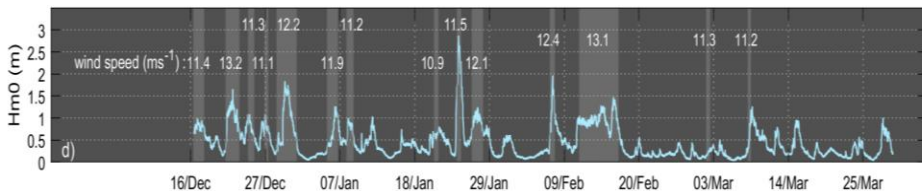
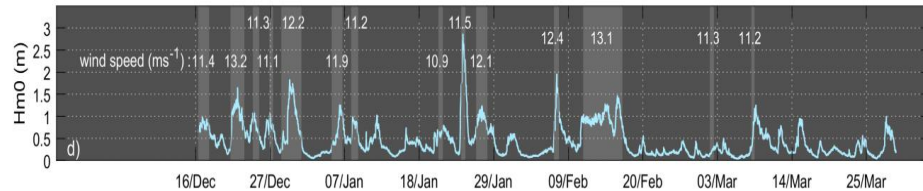
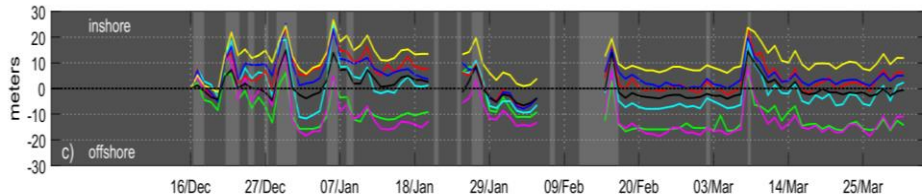
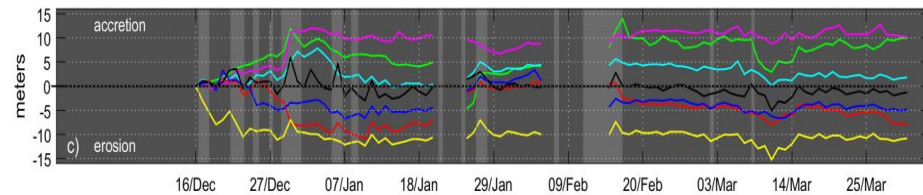
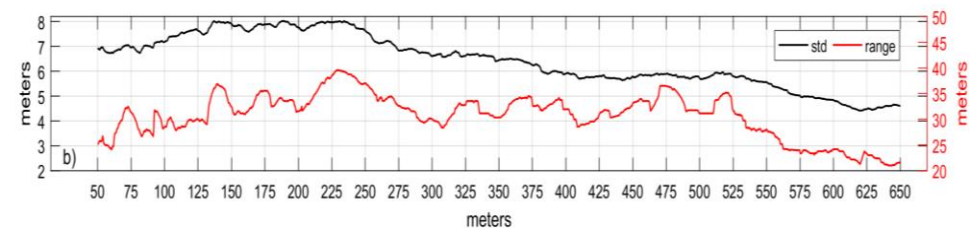
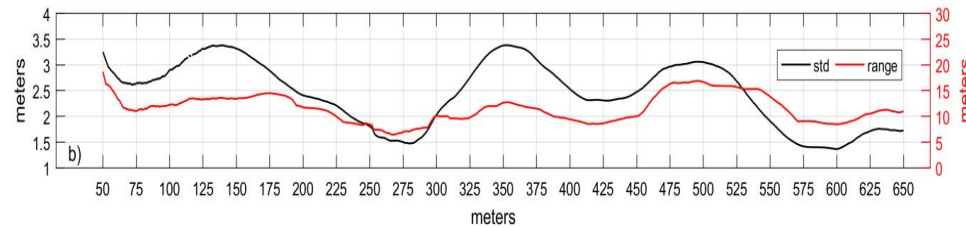
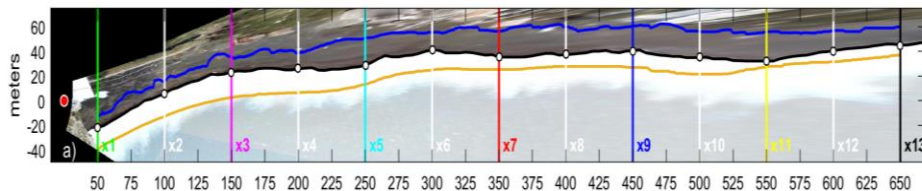
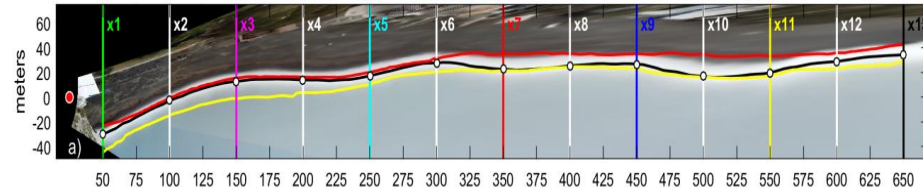
➤ “Αγγύρωση” σε νέο σημείο και επανεκτέλεση (ανάλυση ανιχνεύσεων πάντα  $< 0.25$  m)





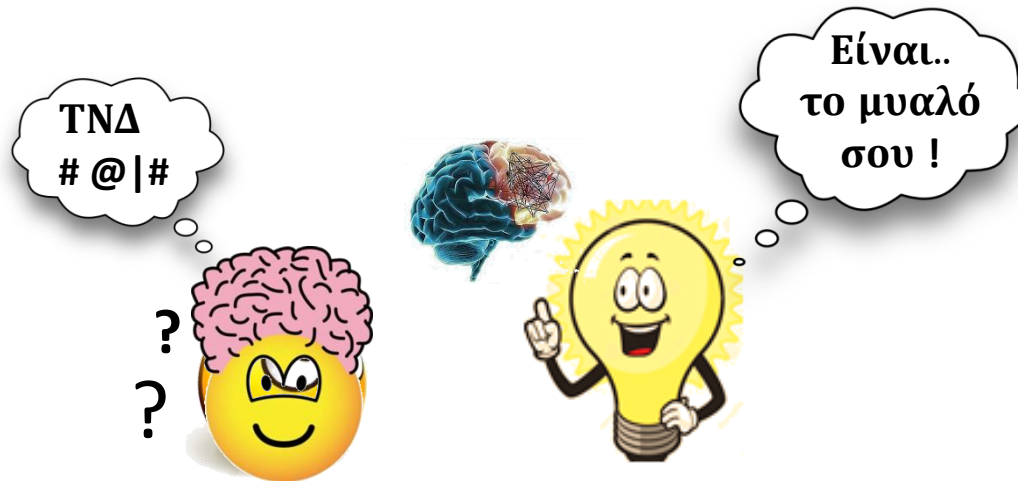
# Αυτόνομο Οπτικό Σύστημα Παρακολούθησης Παραλιών (ΑΟΣΠΠ)

## Χωρο-χρονική μεταβολή θέσης ακτογραμμής και ανώτατου ορίου κυματικής αναρρίχησης

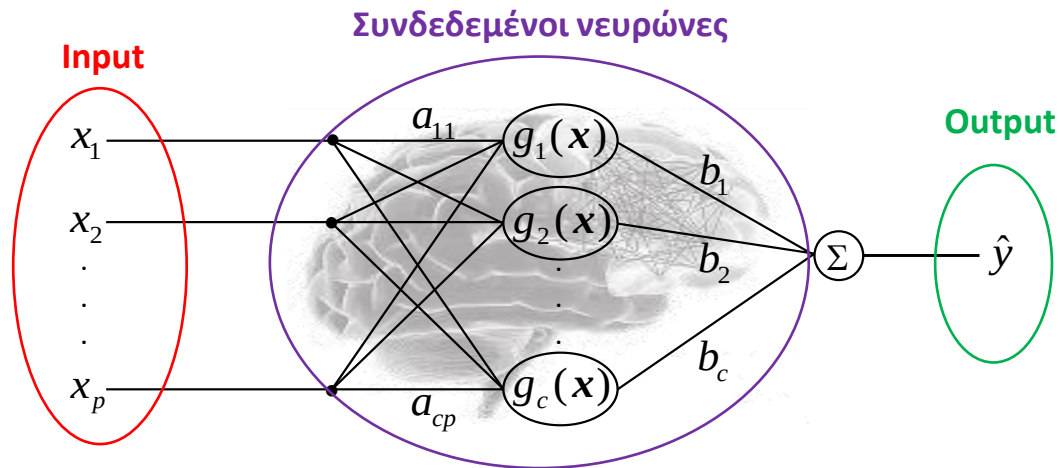




# Μοντελοποίηση με Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ)



- Τα ΤΝΔ είναι υπολογιστικά συστήματα εμπνευσμένα από τον τρόπο λειτουργίας του εγκεφάλου
- Ικανά να μαθαίνουν χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες προγραμματισμού
- Εφαρμόζονται σε πληθώρα τομέων της καθημερινότητας



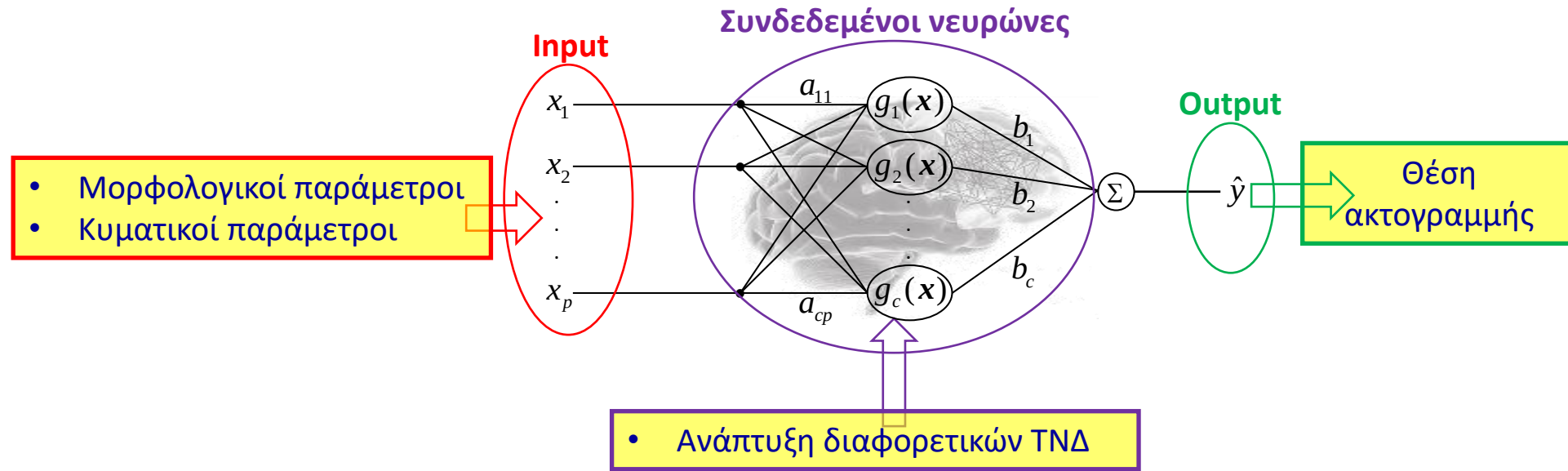
## 2 Κύριες διεργασίες

- (Α) Εκμάθηση - Εκπαίδευση
- (Β) Πρόβλεψη - Επανέλεγχος





# Μοντελοποίηση με Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ)



- Διαδικασία εκπαίδευσης - 60% of the dataset
- Διαδικασίας πρόβλεψης/επανέλεγχου - 40% of the dataset
- Πειράματα με διαφορετικό αριθμό κόμβων (2 ως 10)
- Έλεγχος των προβλέψεων συγκριτικά με τις καταγραφές του ΑΟΣΠΠ



# Μοντελοποίηση με Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ)

Παραλία Καμάρι (5 input/output παράμετροι)

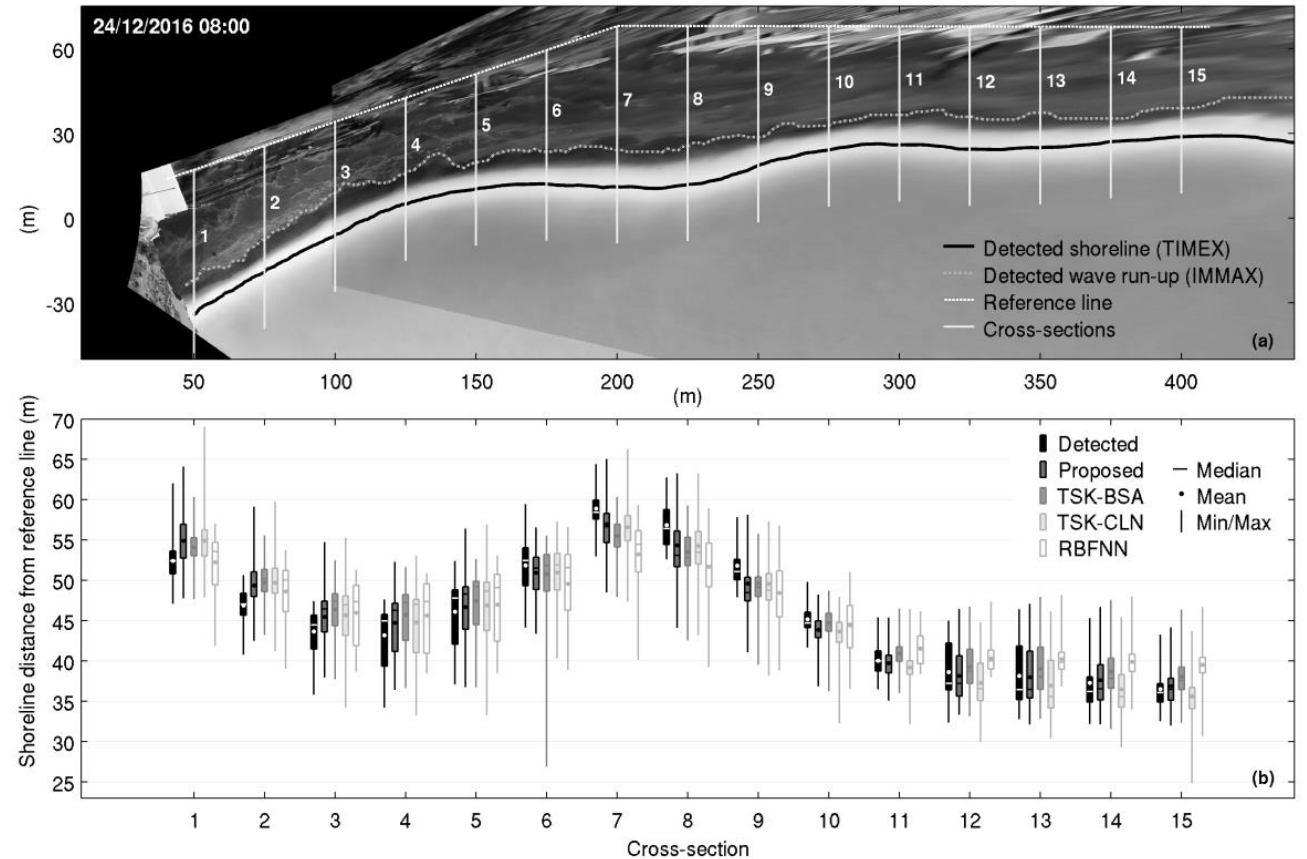


## Μορφολογικοί παράμετροι

- Απόσταση wave run-up από γραμμή αναφοράς

## Κυματικές παράμετροι

- Σημαντικό ύψος κύματος -  $H_s$
- Περίοδος κορυφής φάσματος -  $T_p$
- Διορθωμένη θαλ. στάθμη -  $SL$



Η μοντελοποίηση με ΤΝΔ έδειξε πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα -> μέσο RMSE της τάξης των **2.5 m**



# Έργα Παράκτια Προστασίας

## Σκληρά μέτρα προστασίας

### Κυματοθραυστες

- Μειώνουν αποτελεσματικά την κυματική ενέργεια
- Δημιουργούν προστατευόμενη περιοχή στη 'σκιά' των έργων



### Μειονεκτήματα

- Το μεγάλο κόστος κατασκευής και συντήρησης
- Διάβρωση στα κατάντη.
- Αισθητικά μειονεκτήματα καθώς αλλοιώνουν οπτικά το παράκτιο τοπίο, επιφέροντας οπτική όχληση.
- Σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών λόγω της μη ικανοποιητικής ανανέωσής τους.
- Δημιουργία ρευμάτων διαφυγής (rip currents)
- Στην περίπτωση των παράκτιων τοίχων, ανάκλαση κυματισμών και συνεπαγόμενη διάβρωση της παραλίας

### Πρόβολοι

- Αποτελεσματικοί στη συγκράτηση του υλικού των ακτών



### Θωρακίσεις ακτών - παράκτιοι τοίχοι

- προστατεύουν υποδομές και παράκτιοι οικισμοί από τις πλημμύρες
- Εξυπηρετούν ως πεζόδρομοι







# Έργα Παράκτια Προστασίας

## Ήπια μέτρα προστασίας

### Τεχνητή αναπλήρωση ακτής

- Ουσιαστική προέκταση της ακτής προς τη θάλασσα
- Αποτελεί τη μόνη βιώσιμη επιλογή στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης
- Αισθητικά πλεονεκτήματα με αποτέλεσμα την προσέλκυση τουριστών/επισκεπτών



### Μειονεκτήματα

- Σε περιοχές με έντονη κυματική δράση απαιτούνται συνοδευτικά σκληρά έργα προστασίας
- Υψηλό κόστος
- Στην περιοχή αμμοληψίας όσο και στην περιοχή εναπόθεσης της άμμου, μπορεί να διαταραχθεί η πανίδα και χλωρίδα, επίπτωση που όμως είναι πιθανά αναστρέψιμη.



# Έργα Παράκτια Προστασίας

## Ήπια μέτρα προστασίας

### Πλωτοί Κυματοθραυστες

- Μερική κυματική προστασία, για ημιπροστατευμένες περιοχές.
- Εύκολη/γρήγορη τοποθέτηση
- Οικονομική λύση



### Τεχνητοί Ύφαλοι

- συμβάλουν στην απόσβεση των κυματισμών
- εμπλουτισμό της θαλάσσιας πανίδας.
- Αναβάθμιση περιοχής (δραστηριότητες καταδύσεις)



### Λειμώνες φανερωγάμων (φυσικοί ή τεχνητοί)

- Μείωση της κυματικής ενέργειας
- Κατακράτηση των διαβρωμένων ιζημάτων στα ριζώματα τους



## Μειονεκτήματα

- είναι λιγότερο αποτελεσματικοί σε σχέση με τις σκληρές μεθόδους
- Σε περιοχές με έντονη κυματική δράση απαιτούνται συνοδευτικά σκληρά έργα προστασίας





**Πανεπιστήμιο Αιγαίου**  
**Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοεπιστημών**  
**Εργαστήριο Παράκτιας Μορφοδυναμικής, Διαχείρισης & Θαλάσσιας Γεωλογίας**

**Ευχαριστούμε για την προσοχή σας !**

[imonioudi@marine.aegean.gr](mailto:imonioudi@marine.aegean.gr)  
[a.chatzipavlis@marine.aegean.gr](mailto:a.chatzipavlis@marine.aegean.gr)



**ΕΛΙΔΕΚ.**  
Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

Το ερευνητικό έργο υποστηρίχτηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της Δράσης «2η Προκήρυξη ερευνητικών έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση Μεταδιδακτορικών Ερευνητών/τριών» (Αριθμός Έργου:211)

