

## Διάβρωση των παραλιών της Κω και τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου

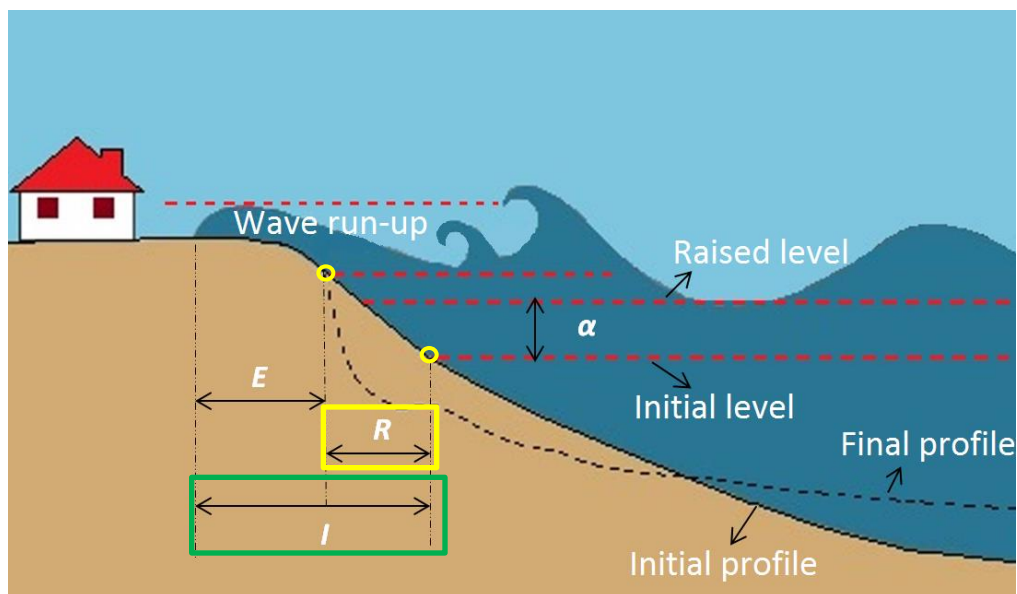


## Σύνοψη

- Παραλιακή διάβρωση: Το πρόβλημα
- Μέτρα παράκτιας προστασίας
- Παρακολούθηση θέσης ακτογραμμής και ανώτατου ορίου κυματικής αναρρίχησης
- Ερευνητικό πρόγραμμα MARICC
- Μεθοδολογικό πλαίσιο
- Περιοχές Μελέτης
- Προβλέψεις Παραλιακής Διάβρωσης
- Δωδεκάνησα - Προβλέψεις παραλιακής διάβρωσης
- Κως- Προβλέψεις παραλιακής διάβρωσης
- Συλλογή και ανάλυση δεδομένων πεδίου
- Αυτόνομο Οπτικό Σύστημα Παρακολούθησης Παραλιών (ΑΟΣΠΠ)
- Μοντελοποίηση παραλιακής μορφοδυναμικής με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα

## Παραλιακή διάβρωση: Το πρόβλημα

- **Παραλίες - Πολύτιμοι φυσικοί πόροι**, πρώτη γραμμή άμυνας στην παράκτια διάβρωση
- **Ευπαθή οικοσυστήματα**, προβλέπεται να επηρεαστούν έντονα από τη μεταβολή στη συχνότητα και ένταση των ακραίων θυελλών και από την άνοδο της θαλ. στάθμης
- **Κρίσιμοι οικονομικοί πόροι**, επικέντρωση στον παραλιακό τουρισμό τύπου 3S (Sea-Sun-Sand) Μεσογειακώς παράκτιος τουρισμός (> €100 δις. ετησίος) -> ελληνικά νησιά > 50% τοπικού ΑΕΠ
- **Αλλαγές στην παραλιακή μορφολογία (μορφοδυναμική)** ελέγχονται από περιπλεγμένες φυσικές διεργασίες -> έντονες χωροχρονικές μεταβολές

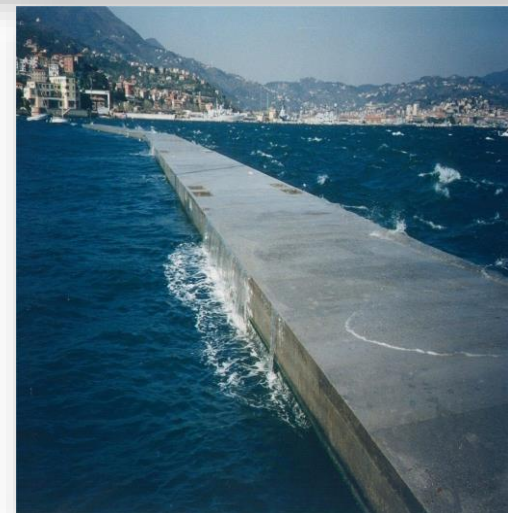
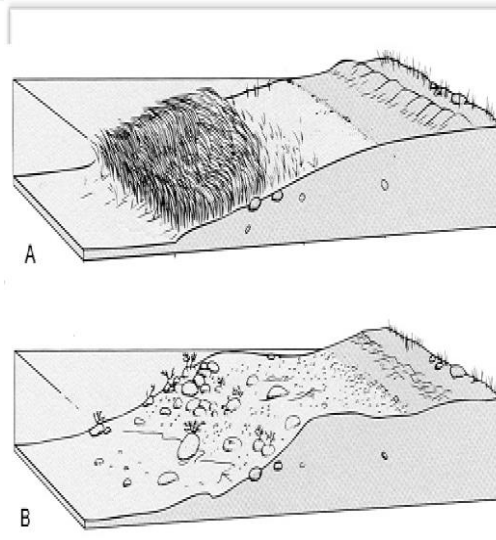
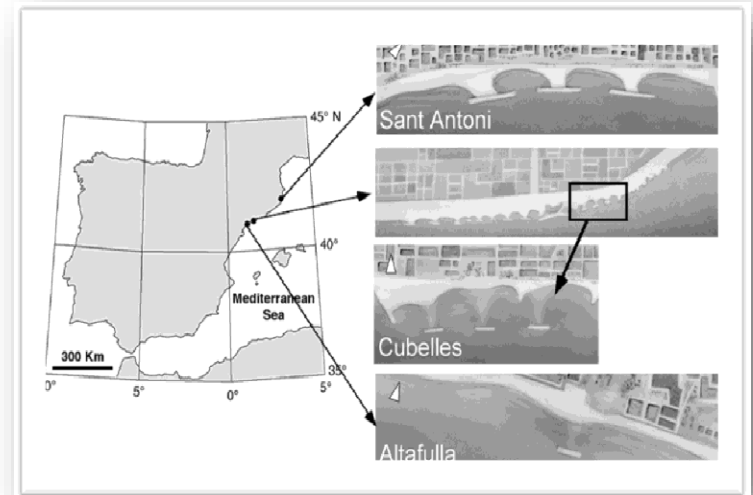




## Μέτρα παράκτιας προστασίας

Ήπια μέτρα (τεχνητή αναπλήρωση παραλίας, φύτευση θινών)

Σκληρά μέτρα (κυματοθραύστες, πρόβολοι)



## Παρακολούθηση θέσης ακτογραμμής και ανώτατου ορίου κυματικής αναρρίχησης

- **Εξαιρετικά σημαντικές παράμετροι**
  - Καθορίζουν τα όρια της παραλίας, θέτουν περιορισμούς σε τεχνικές παρεμβάσεις/ανοικοδόμηση
  - Σχεδιασμό μέτρων παράκτιας προστασίας
  - Παράμετροι βαθμονόμησης στη χρήση μορφοδυναμικών μοντέλων προσομοίωσης
- **Υποχρέωση από τη σχετική ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία**
  - Water Framework Directive 2000/60/EU; Flood Risk Directive 2007/60/EU; Marine Strategy Directive 2008/56/EU; ICZM Protocol (Barcelona Convention); Directive 2014/52/EU (Amending Directive 2011/92/EU)
    - \*\* ζώνη μη δόμησης + 100 m από τη γραμμή αιγιαλού \*\*
  - Νόμος περί αιγιαλού και παραλίας 2971/2001 (πρόσφατα αναθεωρημένος)
    - \*\* ζώνη μη δόμησης + 30 m από τη γραμμή αιγιαλού \*\*
- **Οι παραδοσιακές μέθοδοι καταγραφής δεν είναι αποτελεσματικές**
  - Δορυφορικές εικόνες -> Υψηλό κόστος, χαμηλή χρονική κάλυψη (καιρός, διαδρομή δορυφόρου)
  - Τοπογραφικές αποτυπώσεις -> Επίπονη ανθρώπινη προσπάθεια υπό κακές καιρικές συνθήκες
- **Ανώτατο όριο κυματικής αναρρίχησης (Γραμμή αιγιαλού )**
  - Σχεδόν αδύνατο να καταγραφεί (έλλειψη οπτικών δεδομένων κατά τη διάρκεια θυελλών)
  - Ύφισται να εκτιμάται από εμπειρικές εξισώσεις που εμπεριέχουν τα κυματικά χαρακτηριστικά και την παραλιακή κλίση (e.g. *Holman, 1986; Stockdon et al. 2006; Suarez et al. 2015*)



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

Οι στόχοι του ερευνητικού έργου MARICC επικεντρώνονται στην ανάπτυξη καινοτόμων μεθοδολογικών προσεγγίσεων για:

- Εκτίμηση της παραλιακής διάβρωσης σε κλίμακα νήσου, υπό την Κλιματική Μεταβλητότητα & Αλλαγή (KM&A)
- Ιεράρχηση των παραλιών με βάση το βαθμού έκθεσης στη διάβρωση και κοινωνικο-οικονομικά κριτήρια
- Η μακροπρόθεσμη, υψίσυχη παρακολούθηση της μορφολογικής απόκρισης (μορφοδυναμικής) των παραλιών στην παράκτια υδροδυναμική. Τα ανωτέρω θα δοκιμαστούν σε 2 δημοφιλής τουριστικούς προορισμούς (Σαντορίνη και Κω)

## Μεθοδολογικό πλαίσιο

### Βάση δεδομένων Παραλιών

- Καταγραφή/ανάλυση γεω-χωρικών χαρακτηριστικών των παραλιών και ιστορικών μεταβολών μέσω δορυφορικών δεδομένων και εργαλείων web-GIS
- Συλλογή κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων και εκτίμηση βιοκλιματικού δείκτη (ελκυστικότητα παραλιών)

### Εκτίμηση κινδύνου διάβρωσης/πλημμύρας σε επίπεδο νησιού

- Εκτίμηση μέσης και ακραίας παράκτιας στάθμης και κύματος λόγω ΚΜ & Α.
- Προβλέψεις κλιματικών παραμέτρων
- Χρήση κατάλληλων συστοιχιών αναλυτικών και αριθμητικών 1-D μορφοδυναμικών μοντέλων

### Ιεράρχηση/επιλογή παραλιών έντονης τρωτότητας

- Επιλογή κατάλληλων δεικτών
  - Εφαρμογή/σύγκριση μεθοδολογιών ιεράρχησης
- Ιεράρχηση με βάση το βαθμού έκθεσης στη διάβρωση και κοινωνικο-οικονομικά κριτήρια

### Μορφοδυναμική επιλεγμένων παραλιών υψηλής τρωτότητας

- Υψίσυχη οπτική παρακολούθηση
  - Μετεωρολογικές, Μορφολογικές και Υδροδυναμικές μετρήσεις πεδίου
  - Χρήση νευρωνικών δικτύων
- Αναγνώριση μορφοδυναμικών μοτίβων και προσομοίωση εξέλιξης ακτογραμμής κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες
  - Αξιολόγηση αποτελεσματικότητας παράκτιων έργων
  - Βαθμονόμηση δορυφορικών εικόνων



## Περιοχές Μελέτης

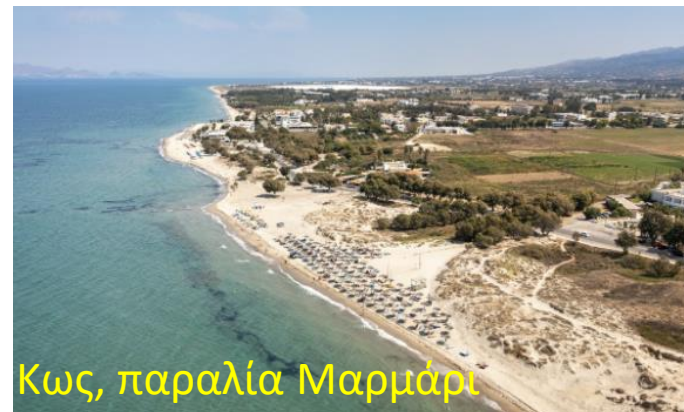
Σαντορίνη - 30 παραλίες



Κως - 65 παραλίες



Σαντορίνη, παραλία Καμάρι

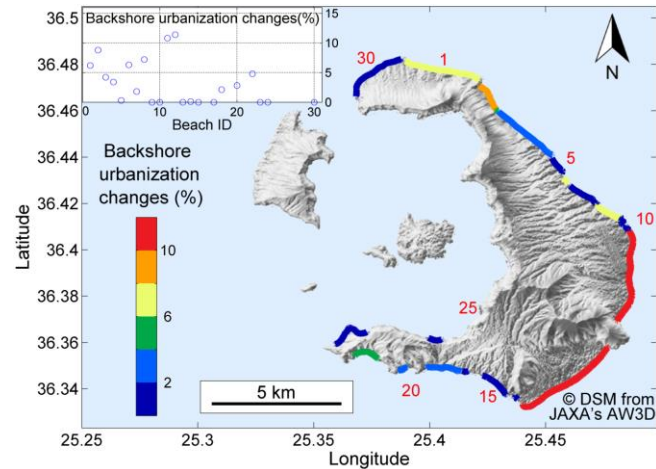


Κως, παραλία Μαρμάρι

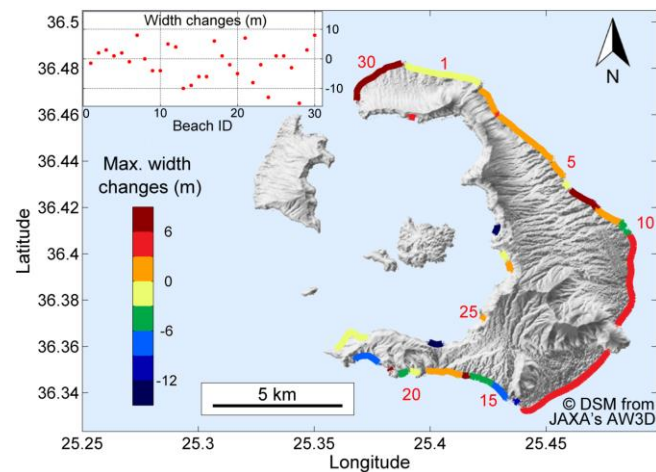


# Καταγραφή παραλιακών χαρακτηριστικών

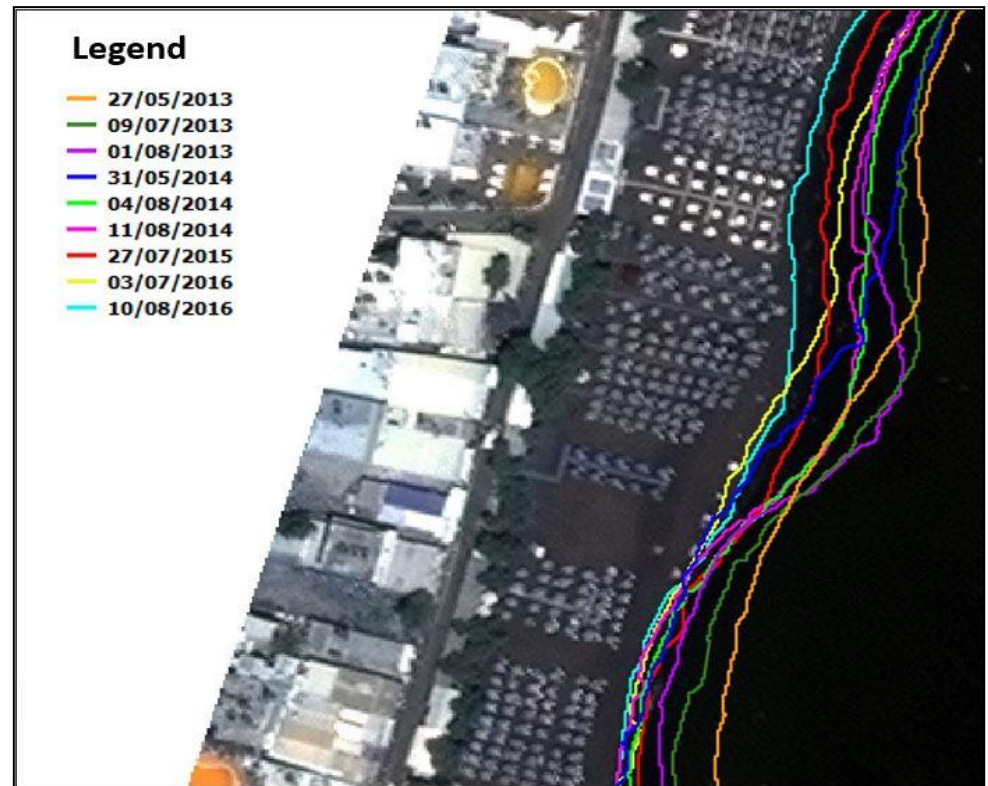
## Πυκνότητα υποδομών



## Μέγιστο Πλάτος



## Ιστορικές μεταβολές (2012-2019)

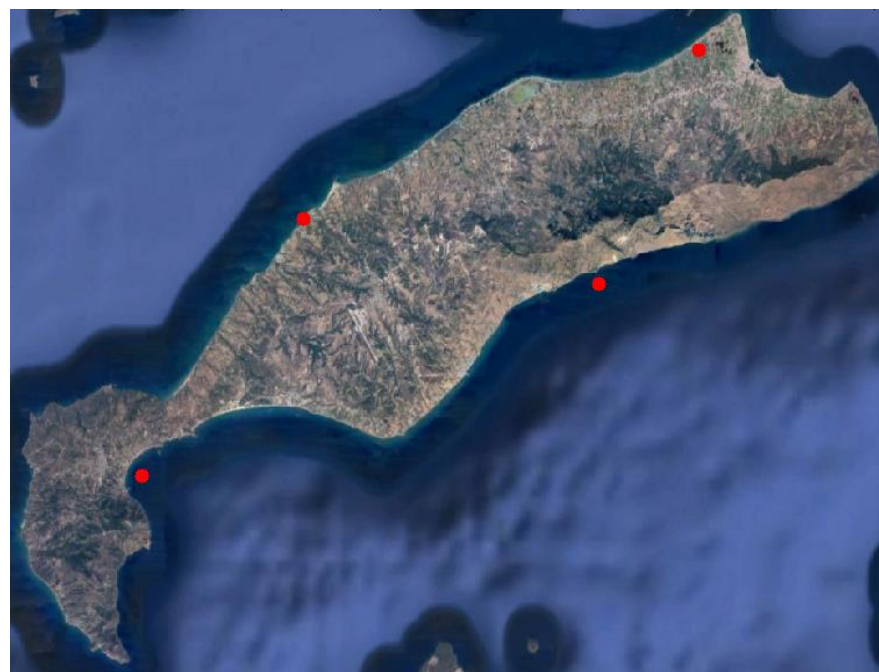


## Εξαγωγή μελλοντικών κλιματικών προβλέψεων

Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων

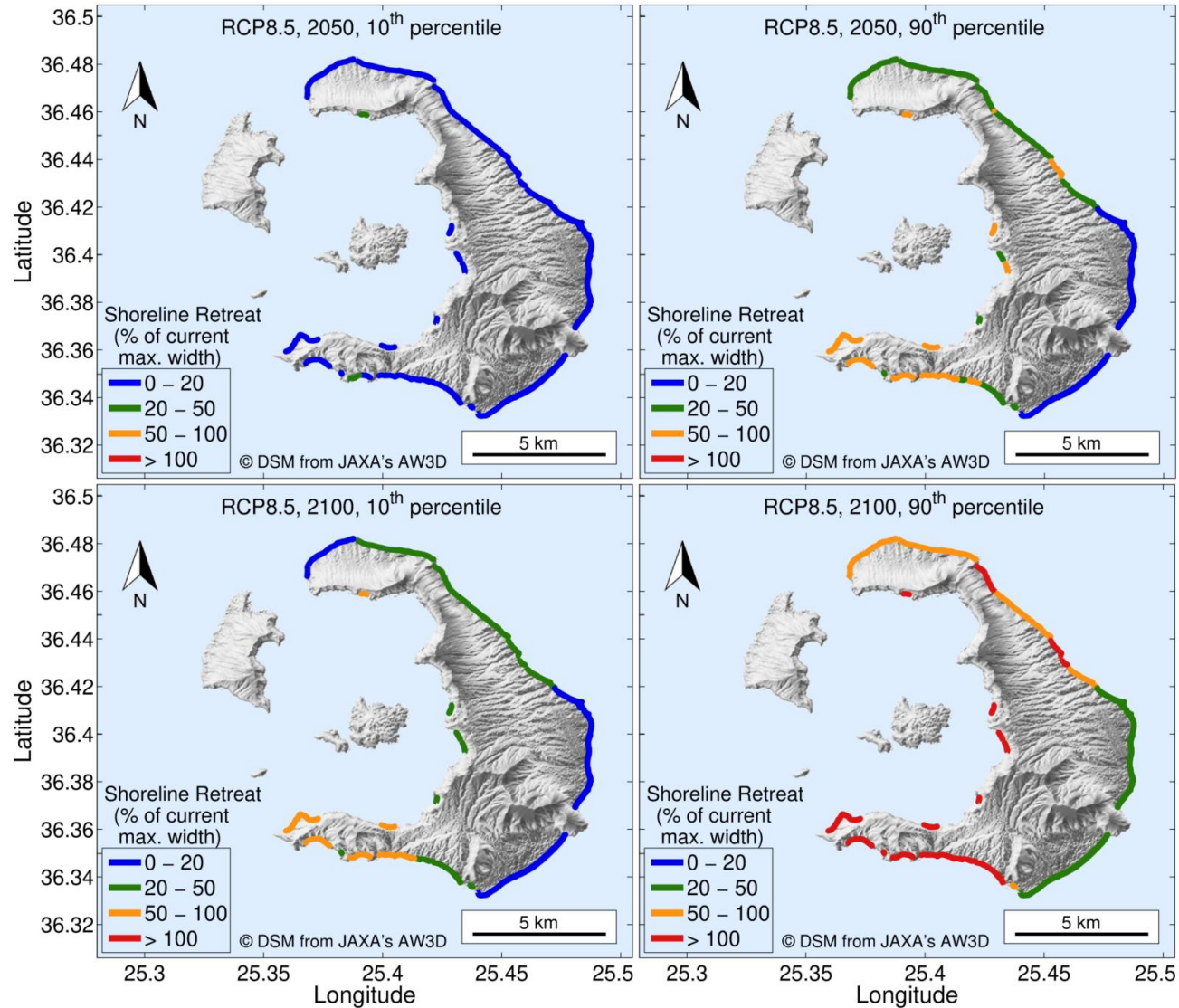


Παγκόσμια βάση δεδομένων



- Μεταβολή κυματικών χαρακτηριστικών των ακραίων θυελλών (1 φορά ανά 100 χρόνια)
- Βραχυχρόνια μεταβολή ανόδου της θαλ. στάθμης
- Μακροχρόνια μεταβολή ανόδου της θαλ. στάθμης στη βάση σεναρίων εκπομπών CO<sub>2</sub>

## Προβλέψεις παραλιακής διάβρωσης





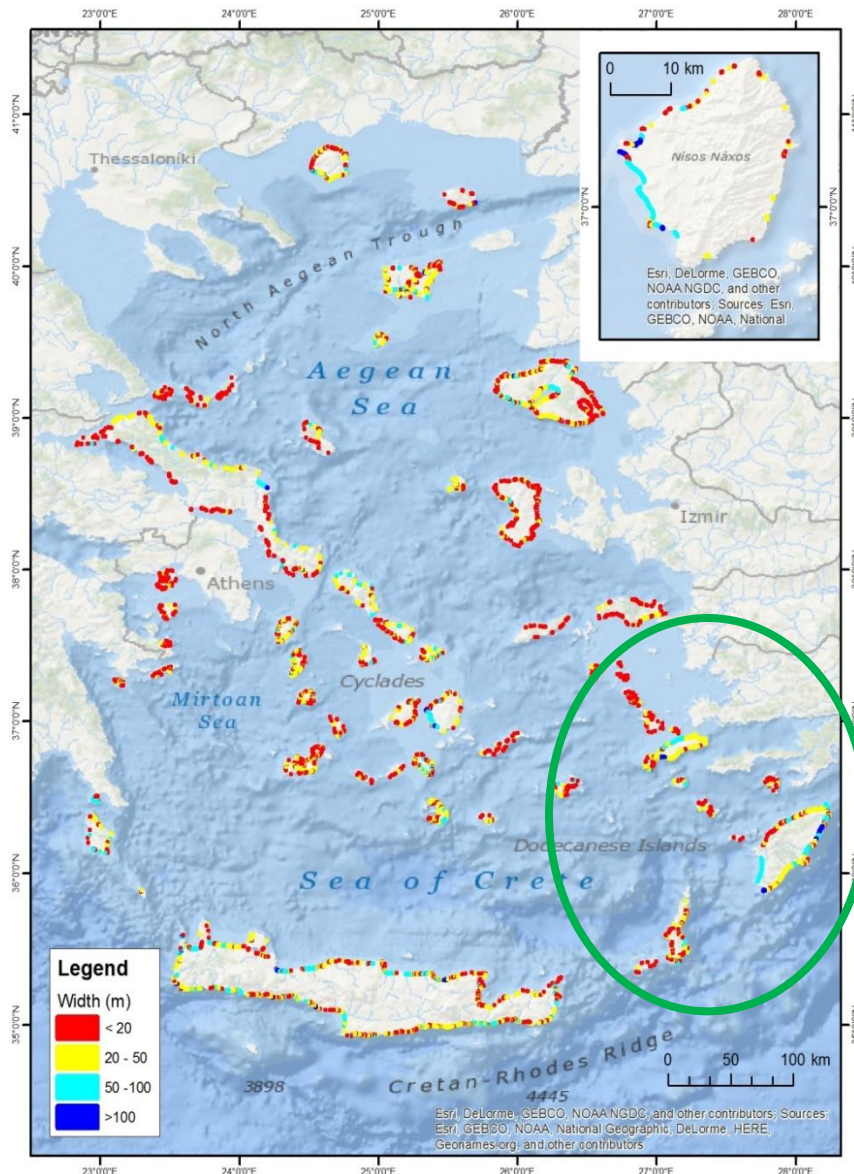
## Δωδεκάνησα – Χαρακτηριστικά παραλιών

### Δωδεκάνησα (15 μεγαλύτερα νησιά)

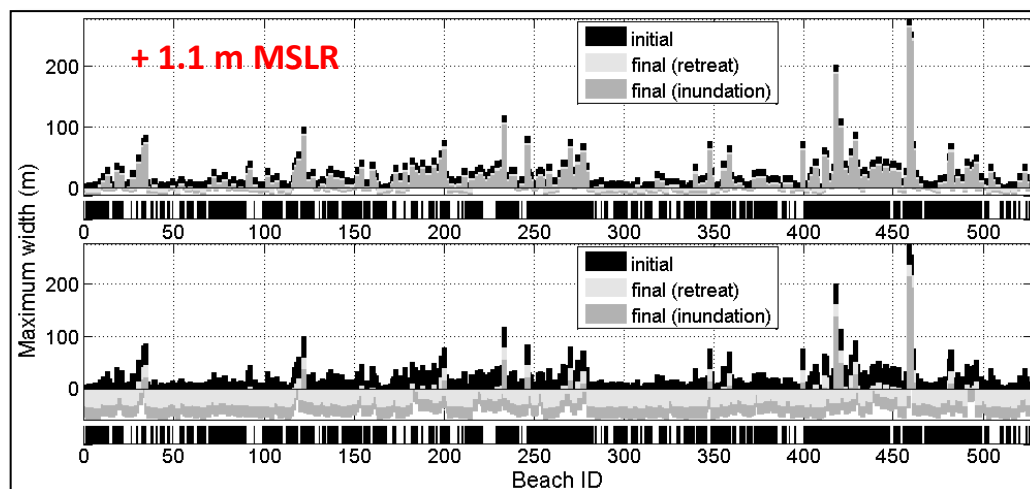
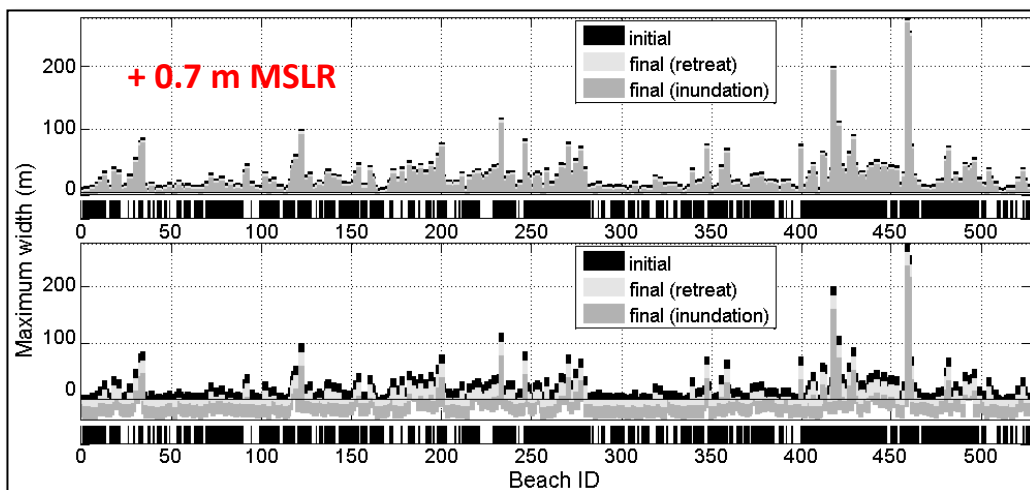
- 526 παραλίες
- 94% με μέγιστο πλάτος < 50 m
- 62% με μέγιστο πλάτος < 20 m
- Κως - 65 παραλίες (12%) από τις οποίες οι 54 βρίσκονται μπροστά από ανθρώπινες εγκαταστάσεις

Ανάπτυξη συστοιχιών εγκάρσιων (1-D) μορφοδυναμικών μοντέλων, για γρήγορη εκτίμηση της παραλιακής διάβρωσης/οπισθοχώρησης σε κλίμακα λεκάνης, κάτω από διαφορετικά ρεαλιστικά σενάρια μακροχρόνιας, βραχυχρόνιας λόγω θύελλας και συνδυαστικής ΑΘΣ.

- Μακροχρόνια ΑΘΣ κατά **0.15, 0.5** και **0.7 m**
- Βραχυχρόνια ΑΘΣ κατά **0.4 m**
- Μακροχρόνια + βραχυχρόνια κατά **0.65, 1** και **1.1 m**



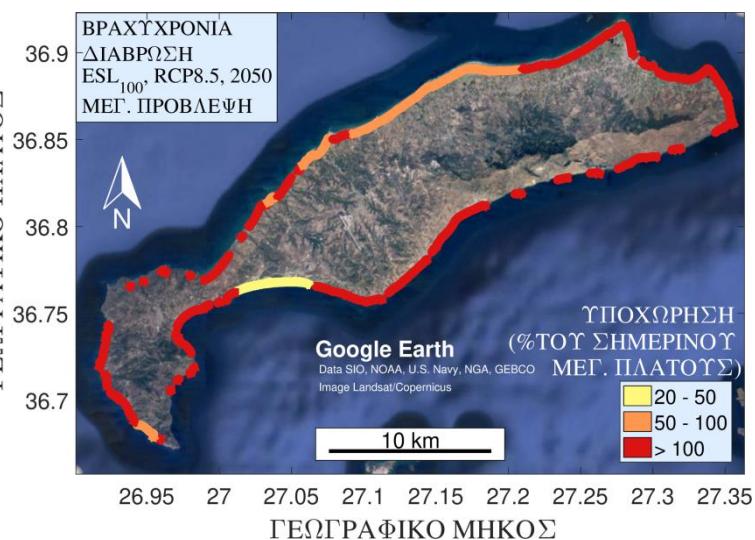
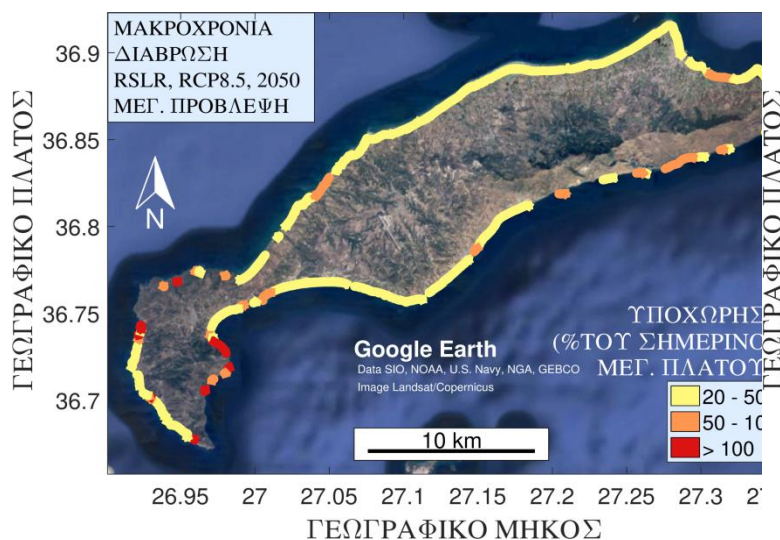
## Δωδεκάνησα - Προβλέψεις παραλιακής διάβρωσης



- Η πλειοψηφία των παραλιών προστατεύει ανθρώπινες υποδομές
- **7 - 25 m** οπισθοχώρησης ακτογραμμής, **25 – 90%** μείωση > **50%** του μέγιστου πλάτους τους για **μακροπρόθεσμο** σενάριο ανέμου ΜΘΣ κατά **+0.7 m**.
- **11 - 40 m** οπισθοχώρησης ακτογραμμής, **45 – 95%** μείωση > **50%** του μέγιστου πλάτους τους για **συνδυαστικό** σενάριο ανέμου ΜΘΣ κατά **+1.1 m**.
- **4 - 15 m** οπισθοχώρησης για **άνοδο** λόγω **θύελλας (storm surge)** κατά **+ 0.4 m**.
- **Μεγαλύτερη ευπάθεια** για την Κω λόγω **μικρής κλίσης/χαμηλού υψόμετρου** και **κοκκομετρίας (άμμος)** στην πλειοψηφία των παραλιών

## Κως - Προβλέψεις παραλιακής διάβρωσης

	Έτος	RCP	Άνοδος ΜΟΣ (m)	Υποχώρηση(R)/ Κατάκλυση(I) (m)	R/I ίση με 50% του μεγ. πλάτους (%)	R/I ίση του μεγ. πλάτους (%)	
<b>RSLR + tide</b>	2050	4.5	0.22-0.30	Min	2.5-3.3	4.6	0.0
				Max	8.9-11.4	38.5	12.3
		8.5	0.25-0.33	Min	2.8-3.6	4.6	0.0
				Max	9.9-12.3	44.6	15.4
<b>ESL<sub>100</sub></b>	2050	4.5	1.41-1.64	Min	14.7-16.9	64.6	26.2
				Max	48.9-55.6	98.5	90.8
		8.5	1.24-1.49	Min	15.0-17.2	64.6	26.2
				Max	49.9-56.5	98.5	90.8

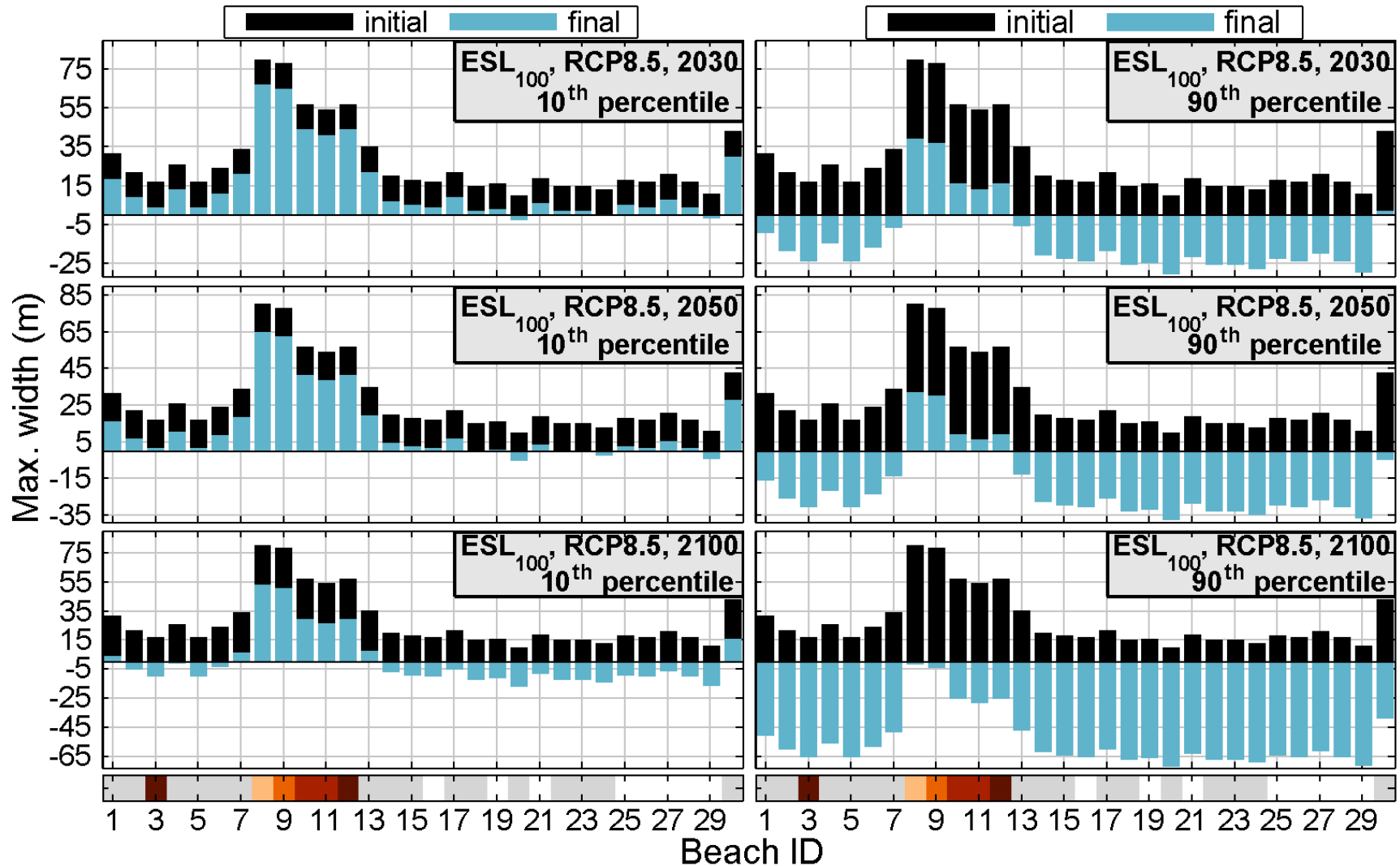




## Κως - Προβλέψεις παραλιακής διάβρωσης

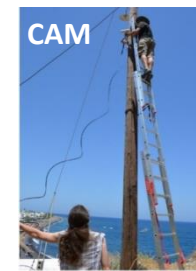
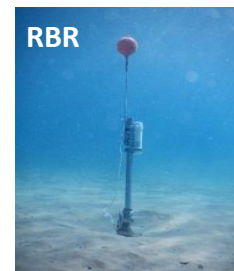
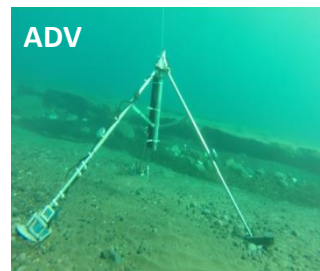
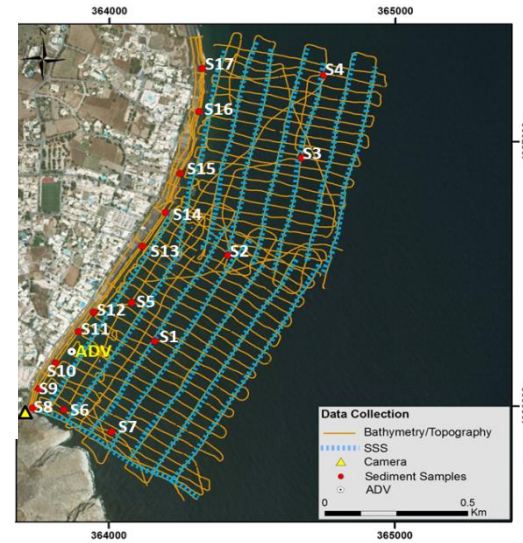
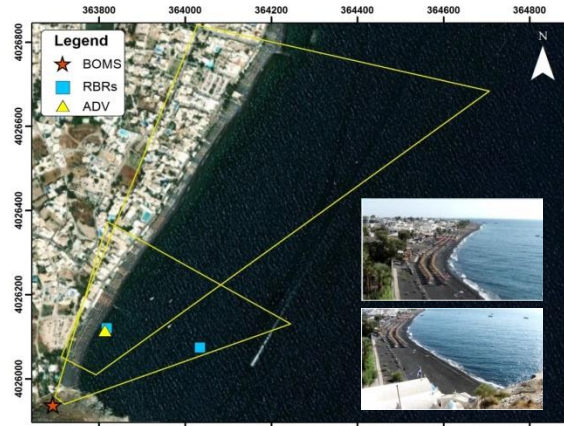
- Ο απαραίτητος όγκος υλικού αναπλήρωσης για τη διατήρηση των παραλιών και της φέρουσας ικανότητας έως το 2050 στο πλαίσιο της προβλεπόμενης RSLR για το RCP8.5 έχει εκτιμηθεί **μεταξύ 5,5 και 7,7 εκατομμυρίων m<sup>3</sup>**
- Και το πιθανό κόστος εκτιμάται σε 82 και 116 εκατομμύρια € (**υποτιθέμενο κόστος αναφοράς 15 €/m<sup>3</sup>**)

## Προβλέψεις επιπτώσεων σε υποδομές, ESL100



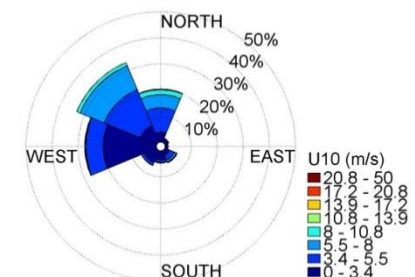
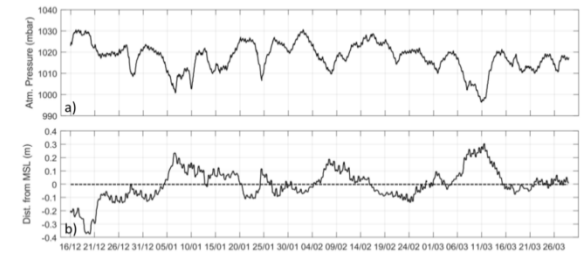
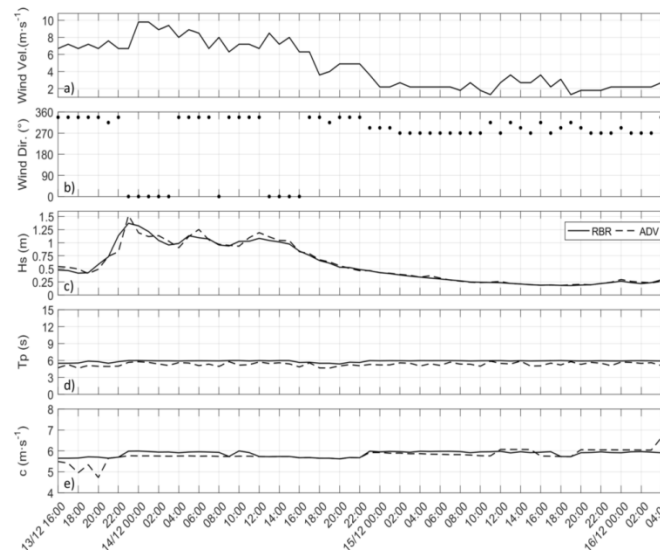
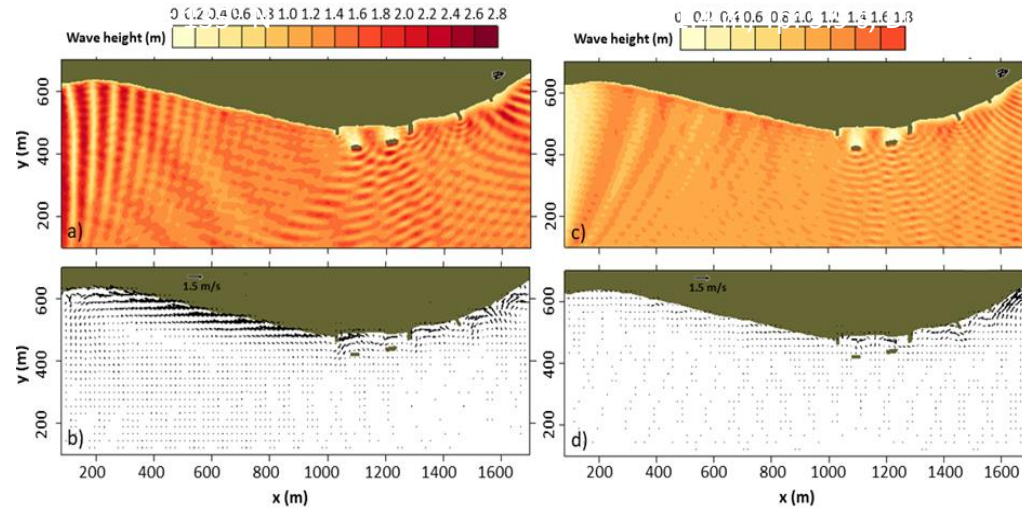
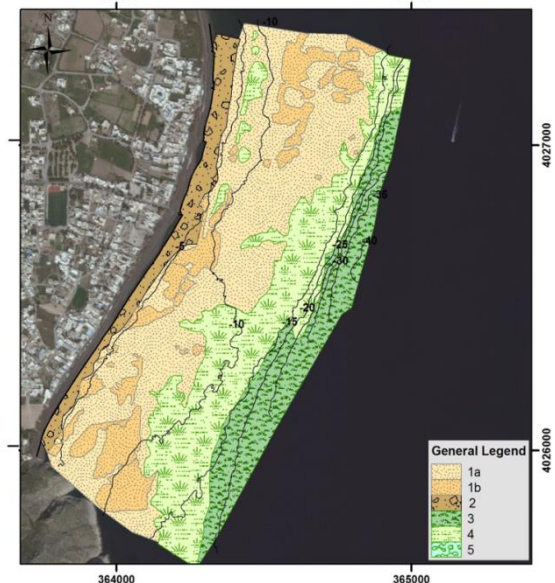
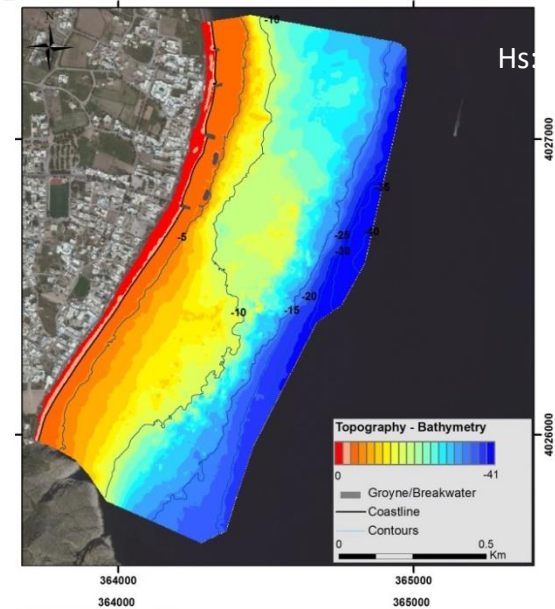
# Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων πεδίου

## Παραλία Καμάρι



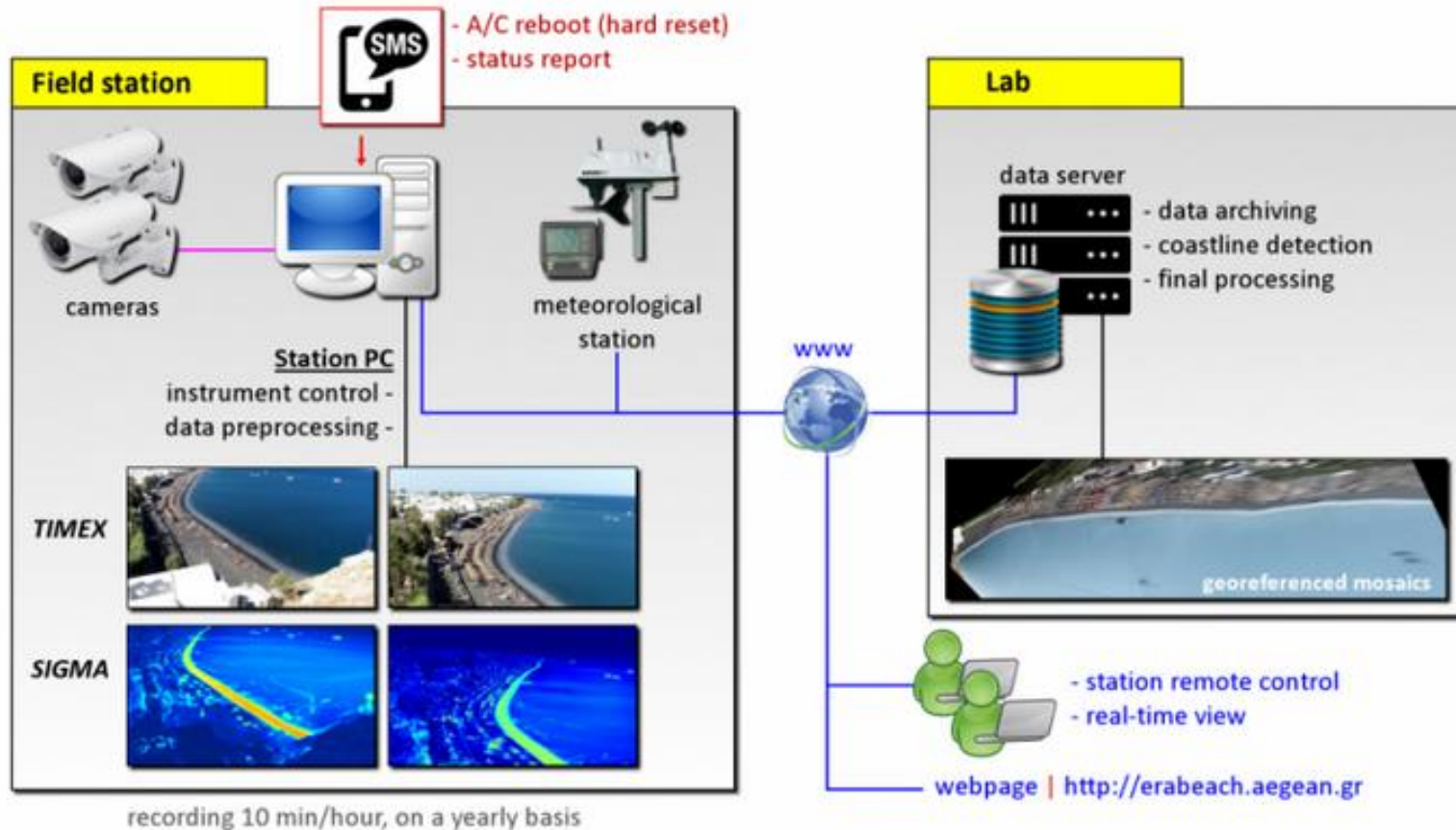


# Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων πεδίου



## Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων πεδίου

Εγκατάσταση Αυτόνομου Οπτικού Συστήματος Παρακολούθησης Παραλίας (ΑΟΣΠΠ)

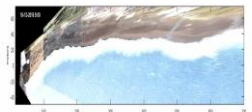
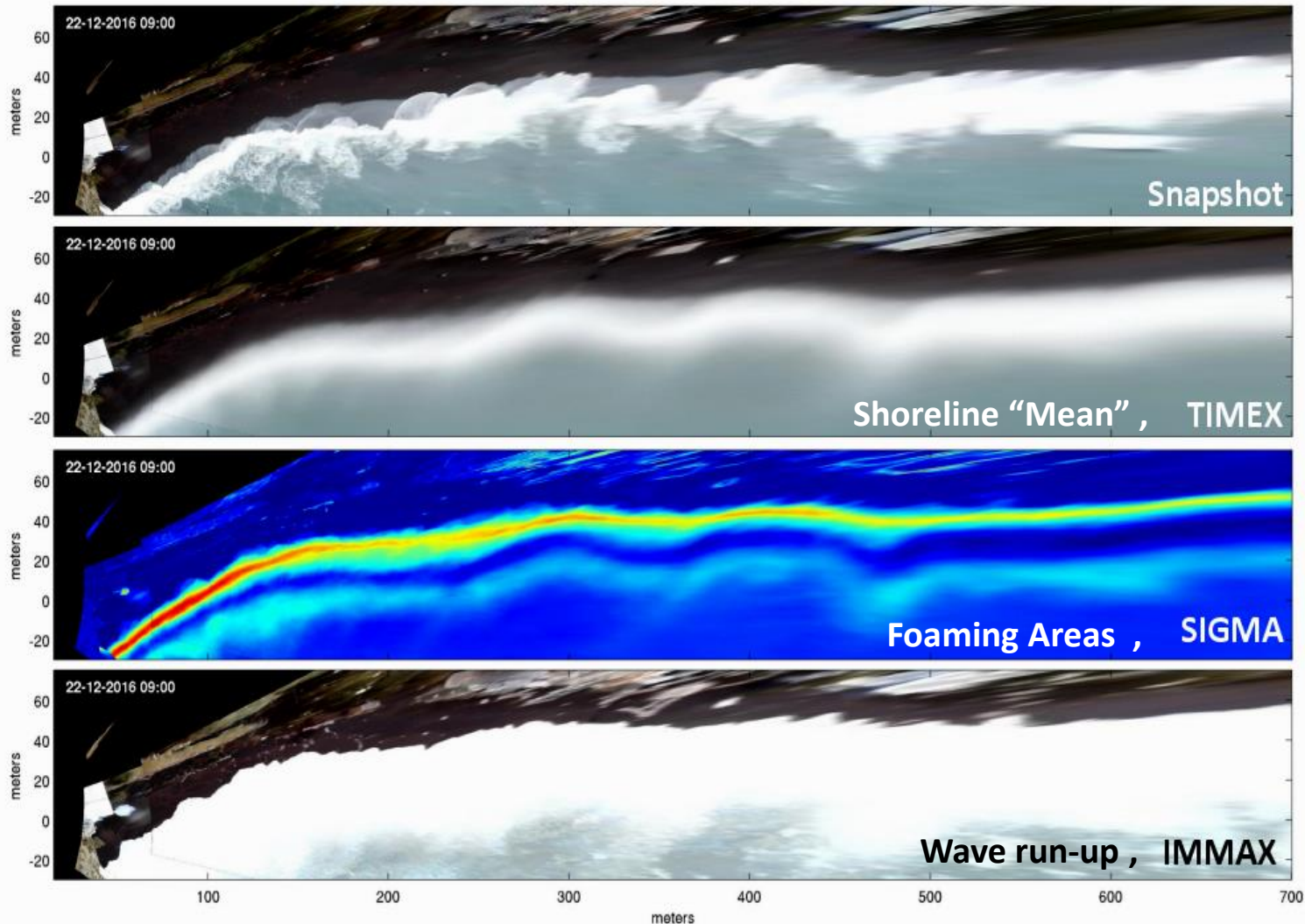


- 1 ή περισσότερες κάμερες
- Μετεωρολογικό σταθμό
- Υπολογιστή πεδίου
- Αποθήκευση δεδομένων διαδικτυακά

### Αυτόνομη και μακρόχρονη λειτουργία:

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

## Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων πεδίου

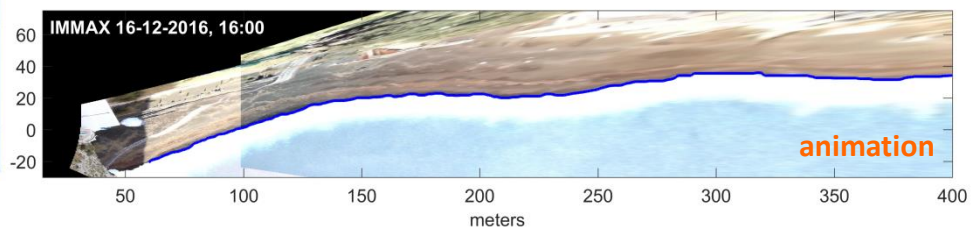
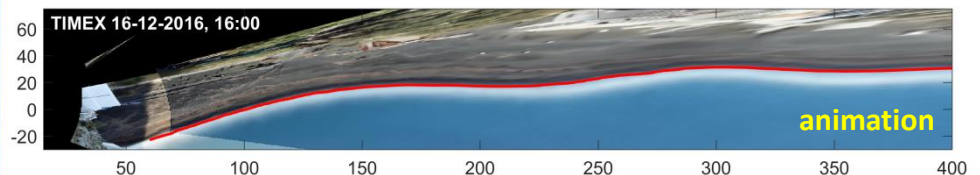
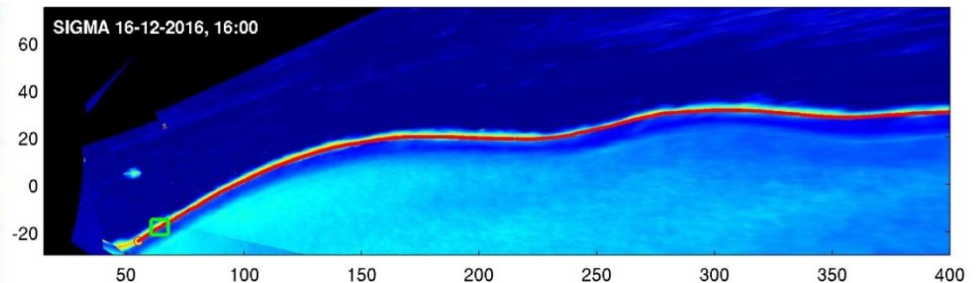
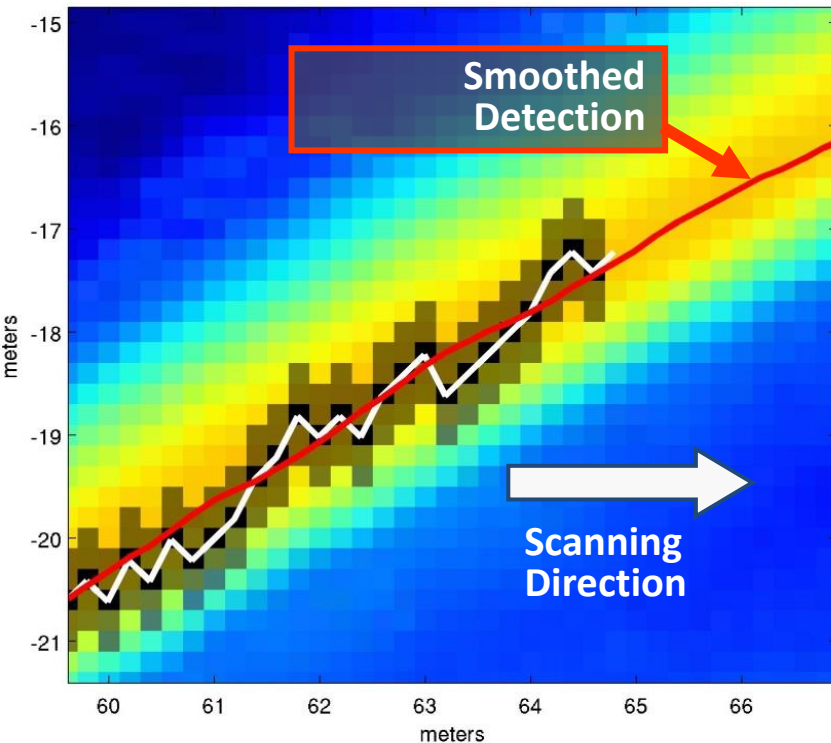


animation



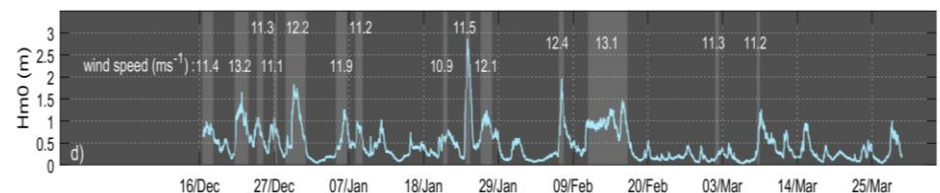
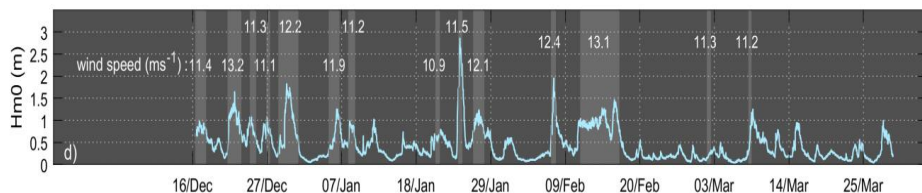
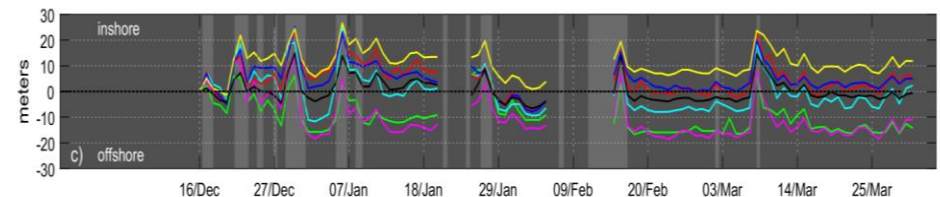
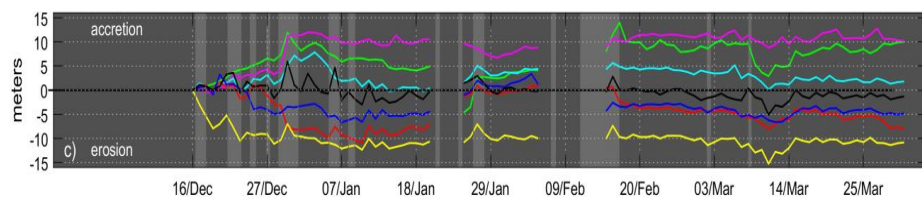
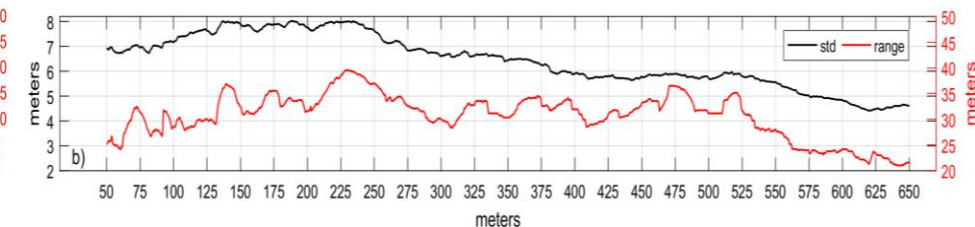
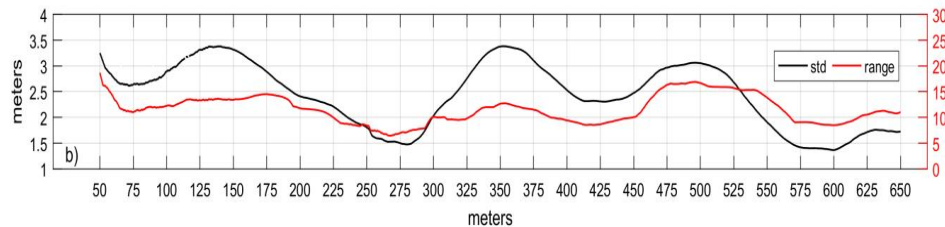
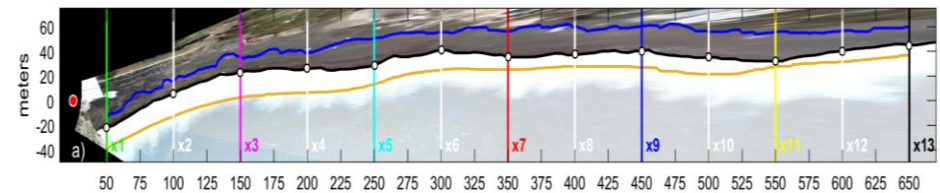
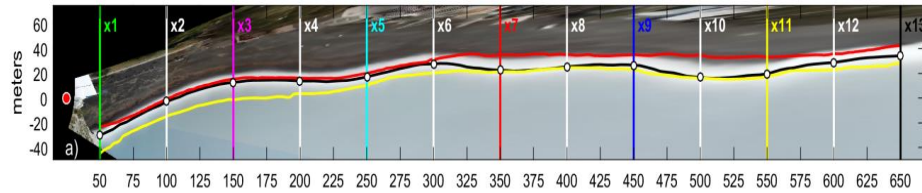
# Αυτόνομο Οπτικό Σύστημα Παρακολούθησης Παραλιών (ΑΟΣΠΠ)

- Τοπικός σαρωτής kernel ( $M \times N$  pixel) σκανάρει την εικόνα
- Επιλογή νέου σημείου
  - ➔ Μέσος όρος φωτεινότητας - TIMEX (ακτογραμμή)
  - ➔ Μέγιστο φωτεινότητας - IMMAX (κυματική αναρρίχηση)
  - ➔ Std. της αντίθεσης φωτεινότητας - SIGMA (περιοχές αφρίσματος)
- “Αγγύρωση” σε νέο σημείο και επανεκτέλεση (ανάλυση ανιχνεύσεων πάντα  $< 0.25$  m)

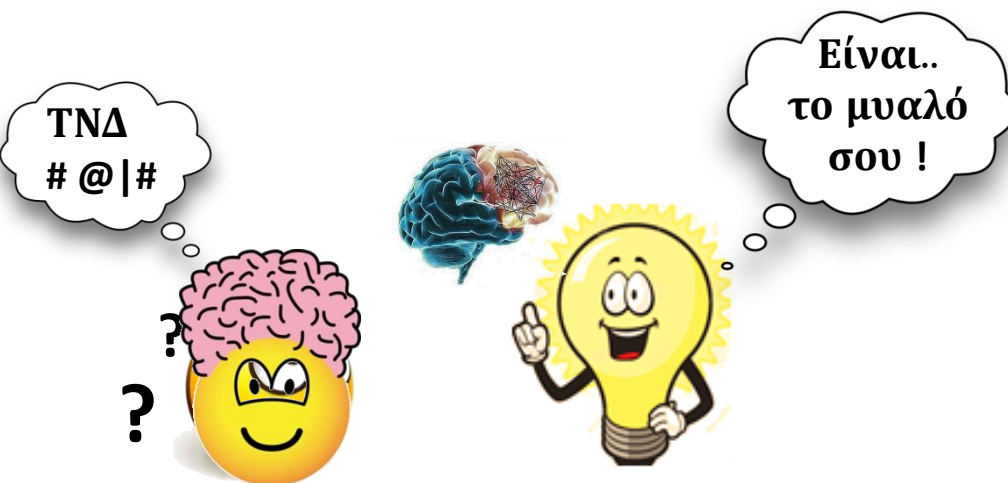


# Αυτόνομο Οπτικό Σύστημα Παρακολούθησης Παραλιών (ΑΟΣΠΠ)

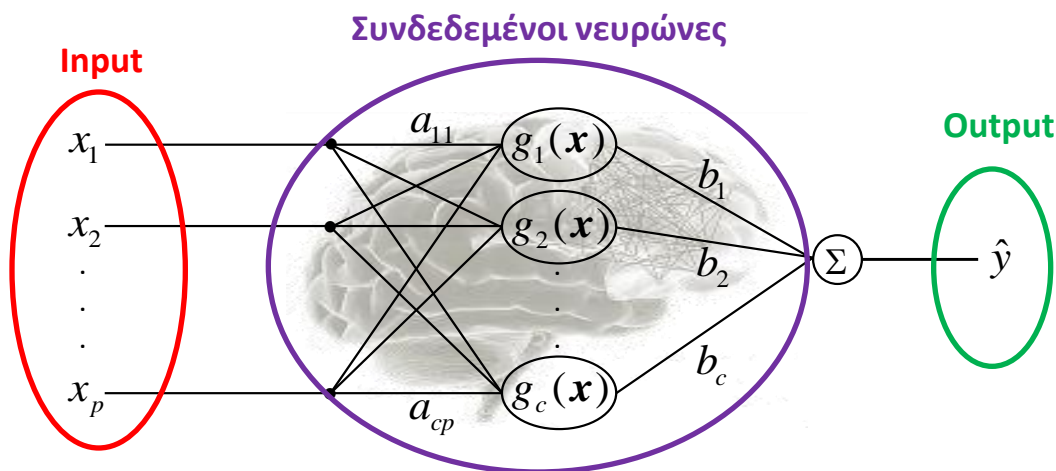
## Χωρο-χρονική μεταβολή θέσης ακτογραμμής και ανώτατου ορίου κυματικής αναρρίχησης



## 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

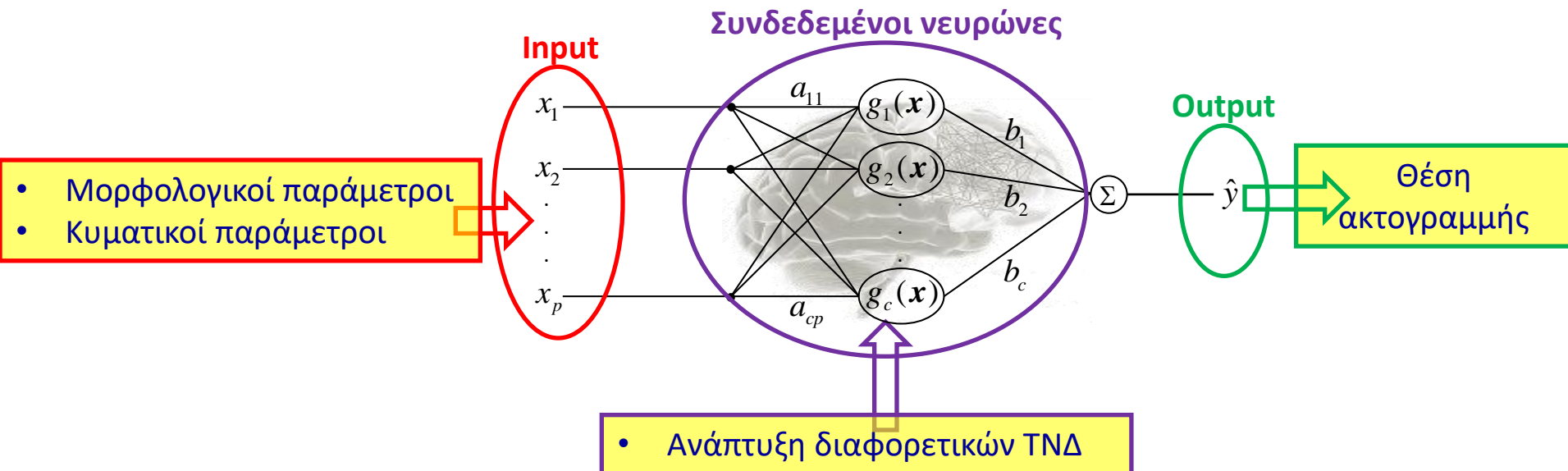


### 2 Κύριες διεργασίες

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



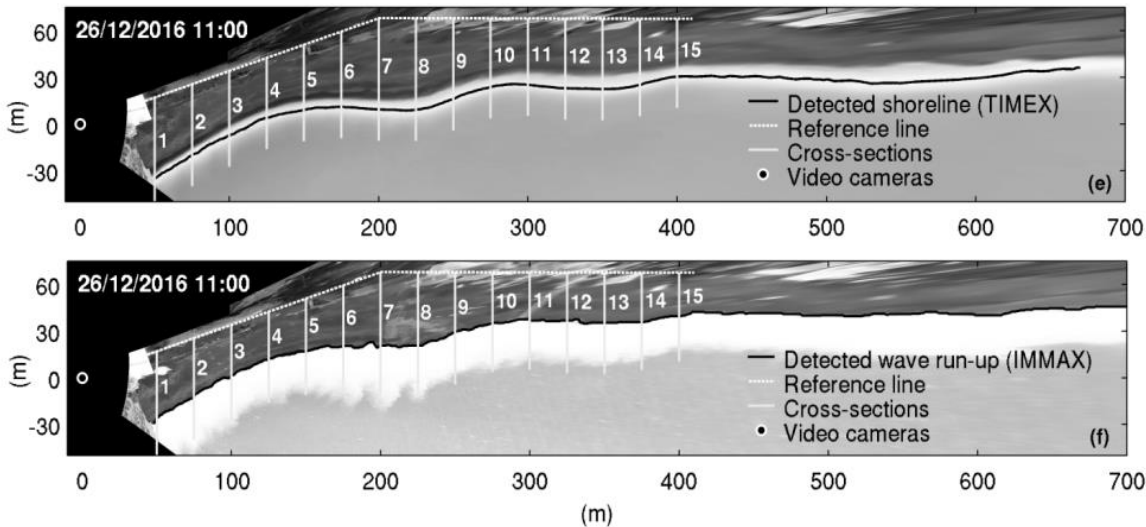
## Μοντελοποίηση με Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ)



- 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

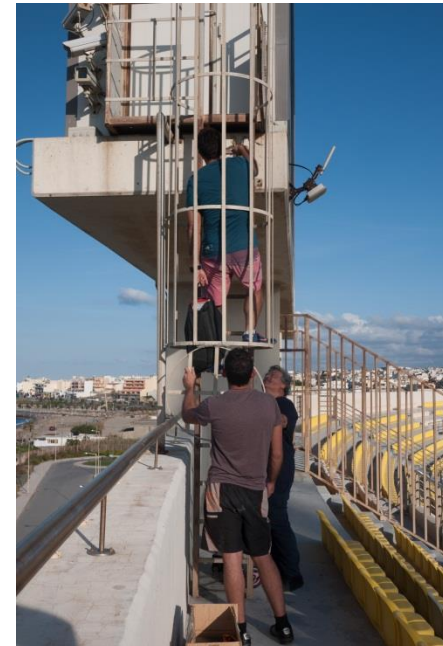
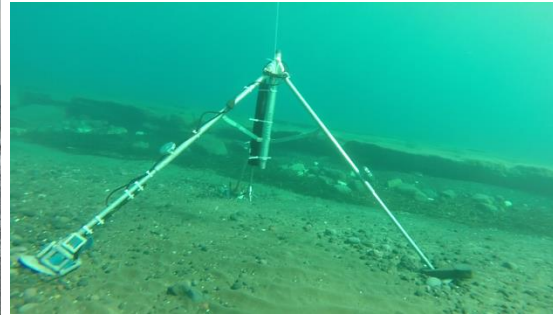
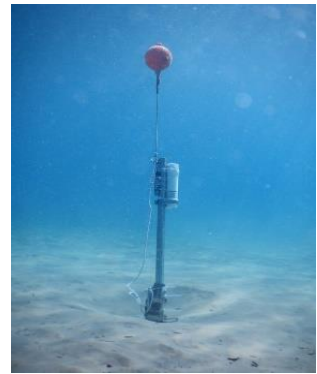
- Απόσταση wave run-up από γραμμή αναφοράς

### Wave Parameters

- 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**





***Ευχαριστώ για την  
προσοχή σας !***

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)