



2^ο Επιστημονικό για τη μείωση της διακινδύνευσης από καταστροφές στην Ελλάδα, 14 & 15 Μαρτίου 2019, ΕΚΠΑ

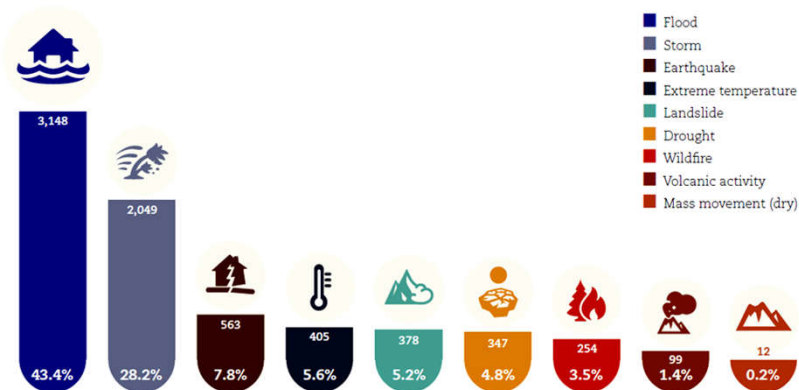
Εκτίμηση οπισθοχώρησης νησιωτικών παραλιών – Η περίπτωση της Κύπρου

A. Βελεγράκης, I. Μονιούδη, M. Βουσδούκας, X. Σάββα, Θ. Χασιώτης, A. Χατζηπαυλής

*Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιο-επιστημών Επιστημών Θάλασσας,
Πανεπιστήμιο Αιγαίου*



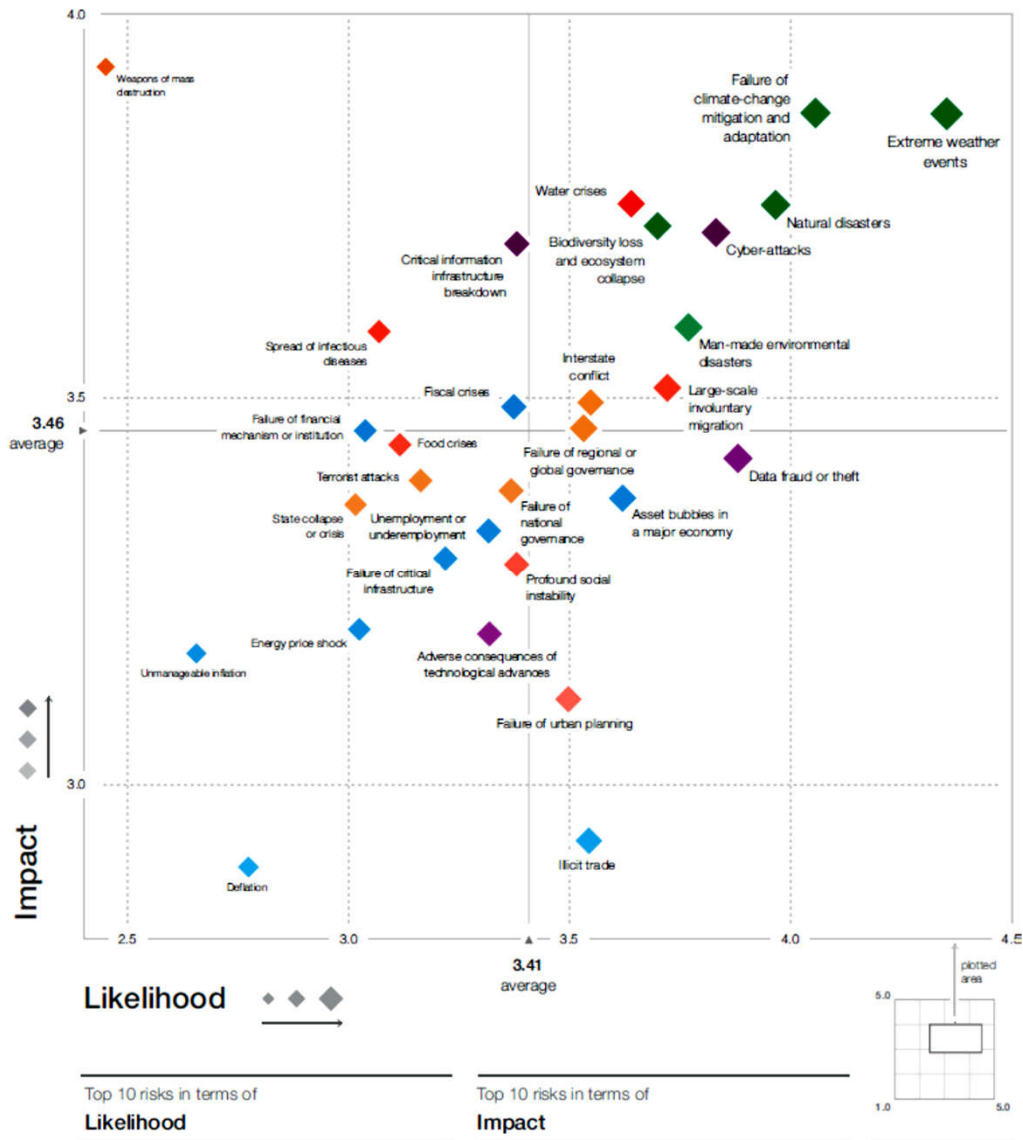
Κλιματική Αλλαγή και τα ακραία κλιματικά φαινόμενα: Ο μεγαλύτερος οικονομικός κίνδυνος



**71.6 % των καταστροφών 1998 – 2017
λόγω υδρο-μετεωρολογικών ακραίων
φαινομένων**

World Economic Forum 2019: Global Risks
Perception Survey

http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf





Παραλιακή διάβρωση

Οι ακτές και ιδιαίτερα οι παραλίες (χαμηλές ακτές κτισμένες σε χαλαρά ιζήματα), θα έχουν μέγιστη έκθεση στη Κλιματική Μεταβλητότητα και Αλλαγή (KM & A)

Η διάβρωση οδηγείται από

- την ανύψωση της μέσης θαλάσσιας στάθμης (mean sea level rise-SLR, μόνιμη διάβρωση) και
- ακραίες στάθμες (extreme sea levels- ESLs, (παροδική? διάβρωση), δηλ. το άθροισμα της μέσης στάθμης, της αστρονομικής και μετεωρολογικής παλίρροιας (storm surge) και της παράκτιας κυματικής ανύψωσης (wave set up)

Οι παραλίες αποτελούν τον μεγάλο φυσικό πόρο των παράκτιων περιοχών και ιδιαίτερα των νήσων. Έχουν πολύ υψηλή ηδονική αξία και οικονομικό δυναμικό λόγω του 3S (Sun- Sea -Sand) τουρισμού



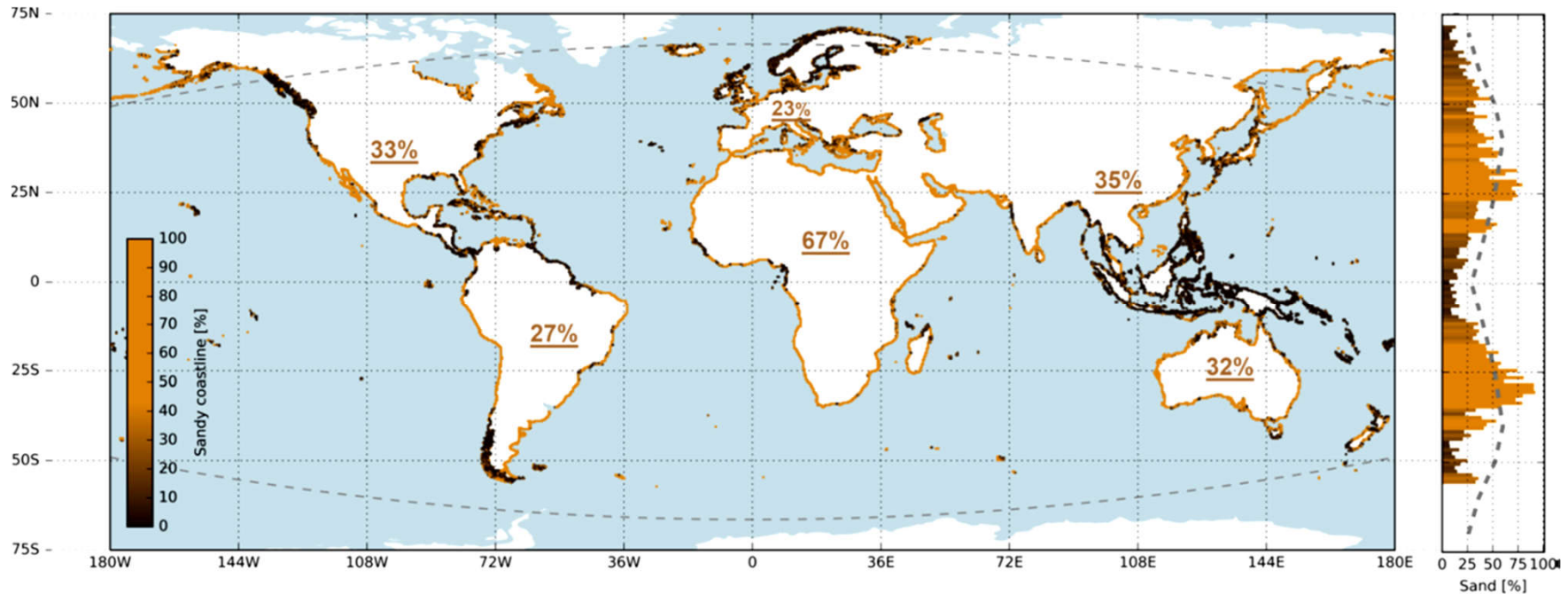
Η διαχείριση της διάβρωσης κάτω από τη KM & A απαιτεί πληροφορία για

- τις υπάρχουσες διαβρωτικές τάσεις και
- προγνώσεις της παραλιακής μορφοδυναμικής με μορφοδυναμικά μοντέλα· σε μεγάλες χωρικά εφαρμογές, συστοιχίες μοντέλων είναι προτιμητέες





Παραλίες: Κατανομή και τάσεις διάβρωσης



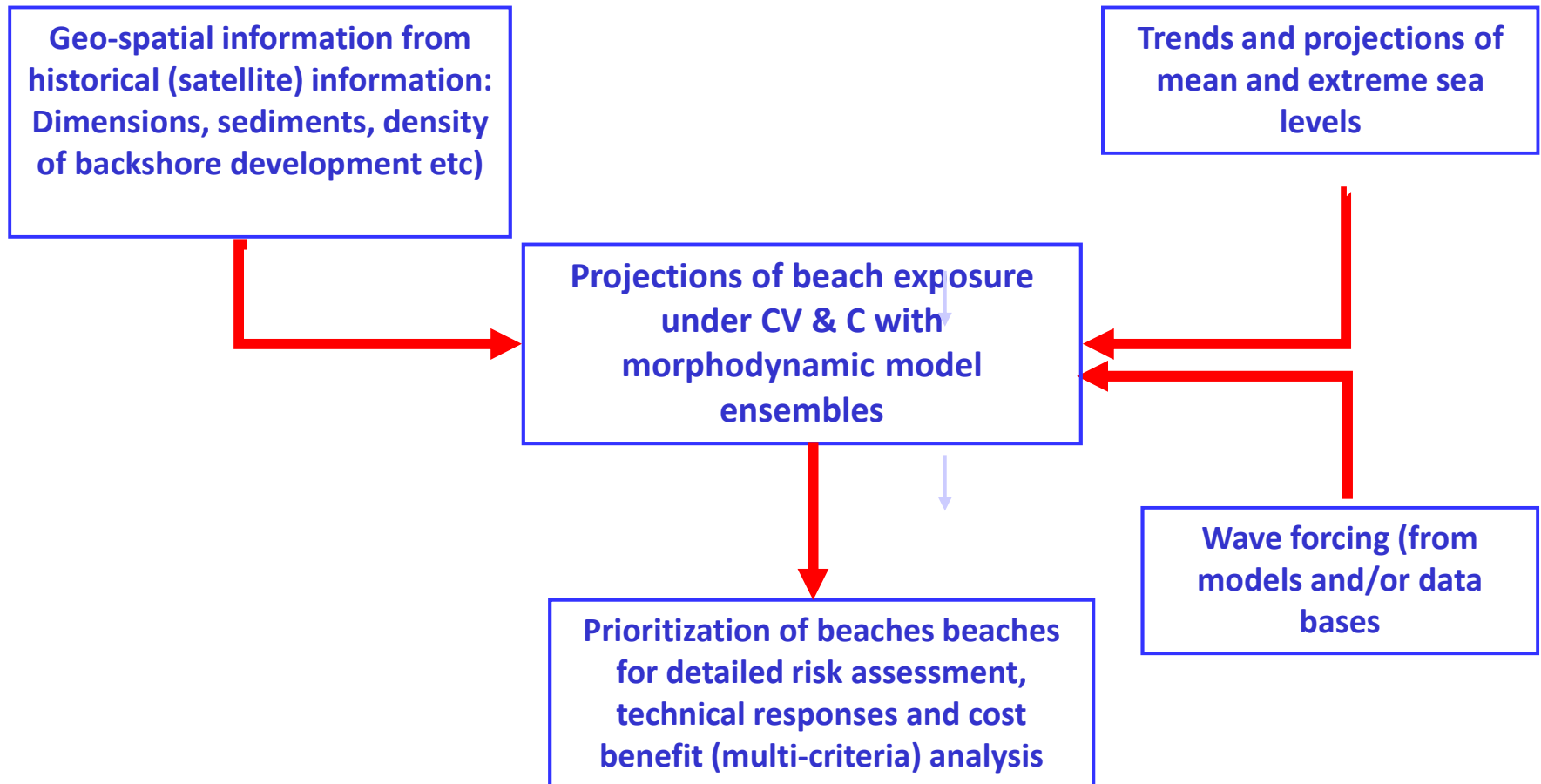
Global distribution of sandy shorelines (% of the coastline). Underlined percentages indicate the averaged percentages of sandy shorelines per continent (Luijendijk et al., 2018, Nature SRs).

Ιστορικά δορυφορικά δεδομένα έδειξαν διάβρωση για 24 % των αμμωδών παραλιών (> 0.5 m/yr) και απόθεση για 28 %. 48 % είναι σταθερές (Luijendijk et al., 2018)

Όμως, πρόβλημα χρονικής διακριτικότητας (The 'Data Resolution' Challenge) 



Προγνώσεις παραλιακής διάβρωσης: Μεθοδολογικό Πλαίσιο



Προγνώσεις παραλιακής διάβρωσης κάτω από τη ΚΜ & Α με συστοιχίες μορφοδυναμικών μοντέλων



Χρησιμοποιούνται

- (i) Μακροχρόνια συστοιχία (SLR) 1-D αναλυτικών μοντέλων (μοντέλα Bruun (1988), Edelman (1972) and Dean (1991)); και
- (ii) Βραχυχρονια συστοιχία (ακραία φαινόμενα) 1-D αριθμητικών μοντέλων (SBEACH (1989), Leonty'ev (1996), XBEACH (2009), and a Boussinesq (e.g. Velegrakis et al., 2016, Natural Hazards 83 (S1) 201-222)




Τα μοντέλα τρέχουν για διάφορα σενάρια ανύψωσης θαλάσσιας στάθμης (SLR) και κυματικών συνθηκών, παραλιακών κλίσεων και μεγεθών ιζημάτων· έτσι, παράγεται εύρος προγνώσεων.

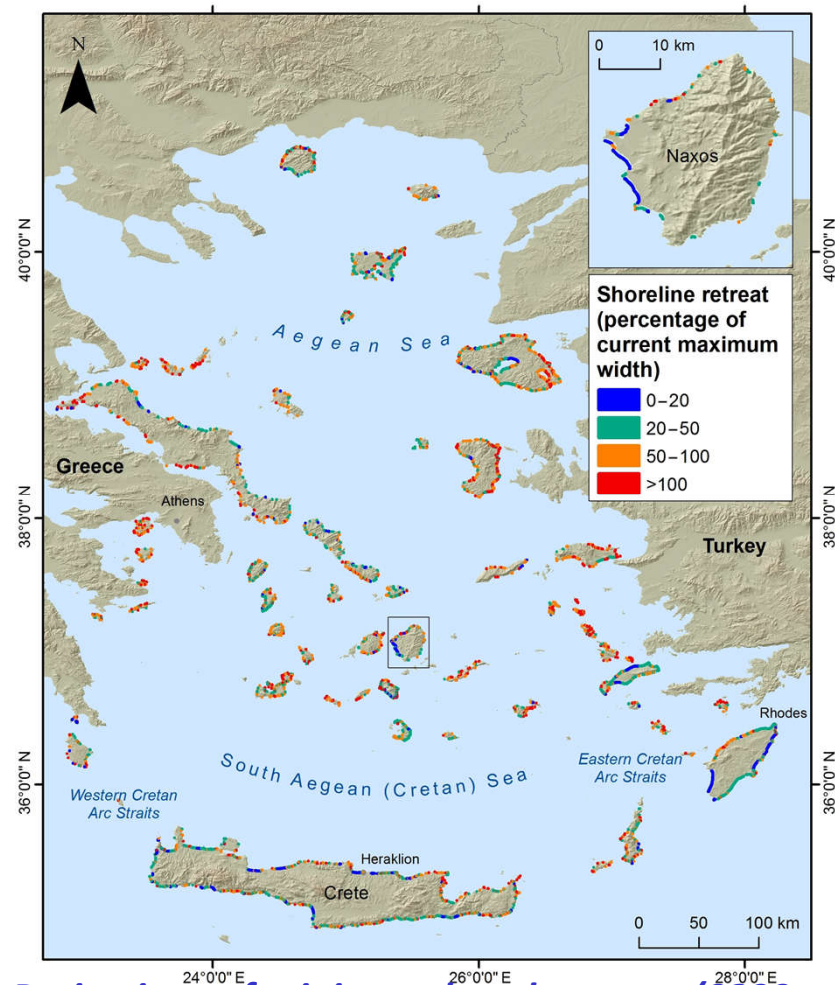
Οι μέσες μέγιστες και ελάχιστες προγνώσεις των μοντέλων της συστοιχίας συγκρίνονται με τα μέγιστα παραλιακά πλάτη (BMWs) για την εκτίμηση της διάβρωσης



Παραλιακή διάβρωση κάτω από την ΚΜ & Α σε περιφερειακή Κλίμακα (10s -100s km ακτής)

- Εκτίμηση με καθορισμένη οδήγηση (προσέγγιση κατωφλιού- USACE)
- Εκτίμηση με πιθανολογικές (probabilistic) οδηγίες (ακραία φαινόμενα) με διαφορετικές περιόδους επιστροφής, π.χ.100 έτη. Απαραίτητες για την εκτιμήσεις κινδυνου (risk) για δράσεις προσαρμογής 

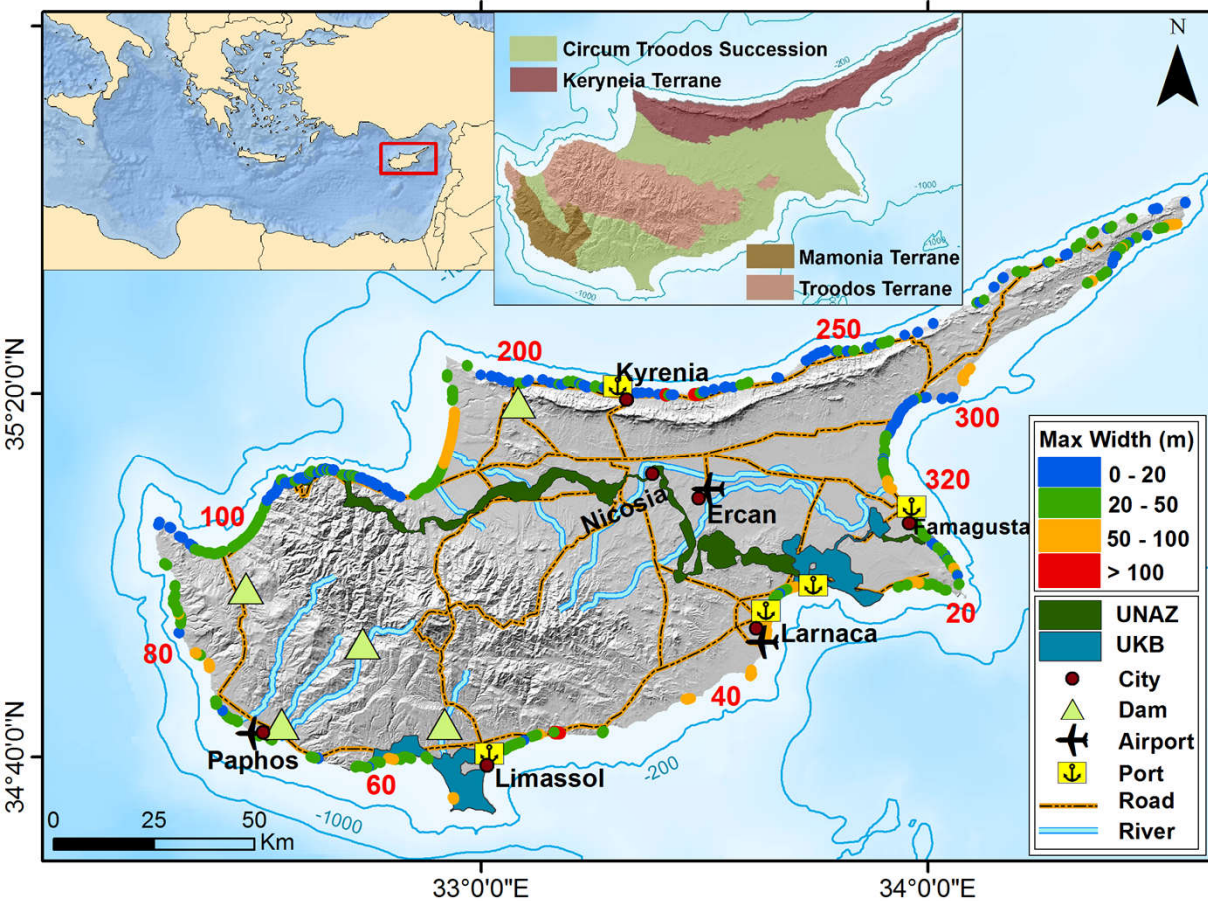
Προγνώσεις παραλιακής διάβρωσης από ακραίες στάθμες/κυματισμούς (καθορισμένη οδήγηση- Προσέγγιση USACE)



Maximum beach retreat (% of the beach maximum width –BMW) by model ensembles for the Black Sea 1200 beaches under a 0.5 m SLR. Projections for Batumi (Georgia) are shown in larger scale. (Allenbach et al, 2015, Environmental Science and Policy, 46, 95–109)

Projections of minimum beach retreat (3230 beaches) under ESLs of 1.1 m (RCP4.5, 2100, 0.5 m SLR). Projections for Naxos in larger scale. (Monioudi et al., 2017, Natural Hazards and Earth System Science 17, 449–466.)

Προγνώσεις παραλιακής διάβρωσης από ακραίες στάθμες/κυματισμούς Εκτίμηση με πιθανολογικές (probabilistic) οδηγίες

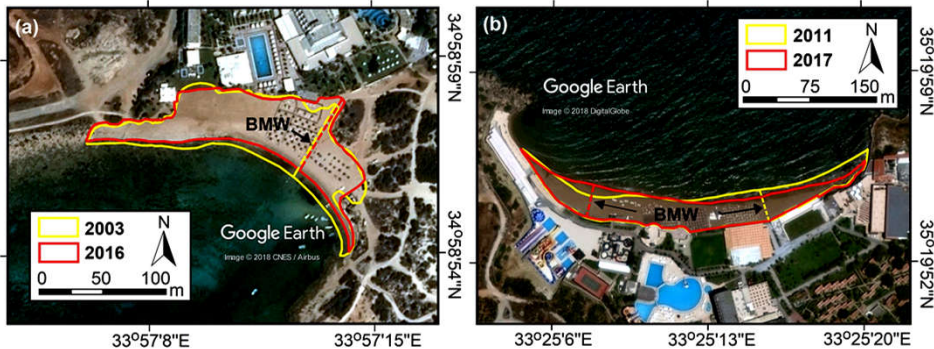


Κύπρος 325 παραλίες, με
συνολική έκταση 2.53 km²

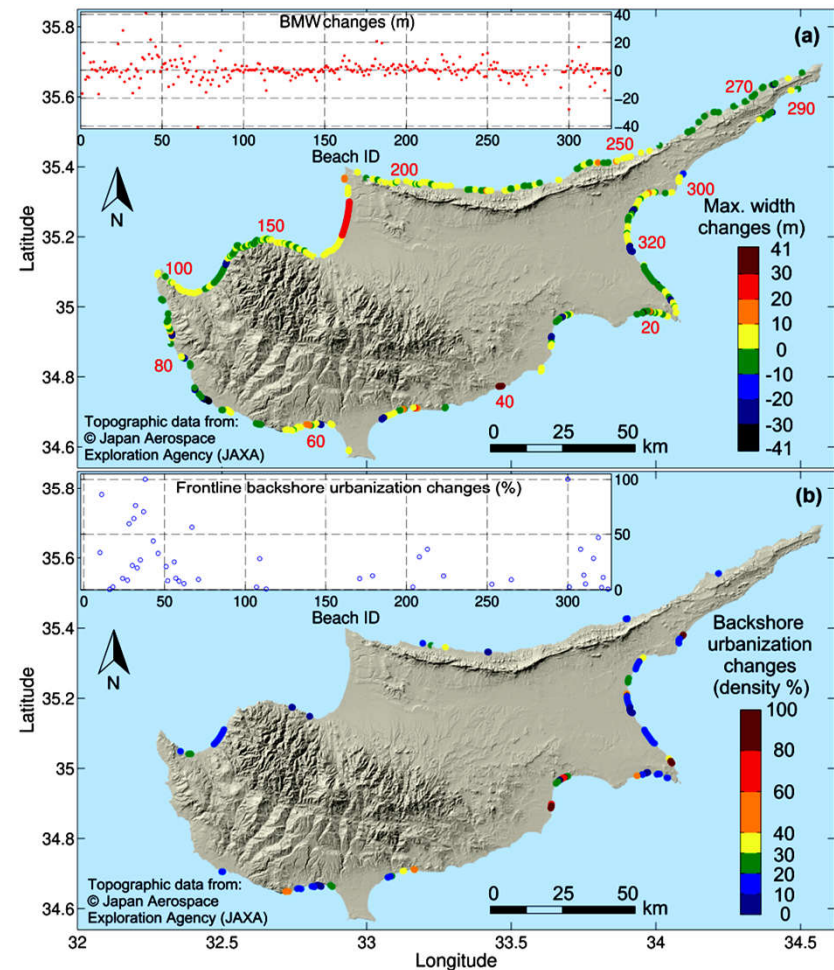
Περιορισμένο εύρος : 50 %
είχαν μέγιστο πλάτος
(BMW) < 20 m, 90 % < 50
m και μόνον 1 % > 100 m

Cyprus: Major administrative boundaries, cities, transport network, rivers and dams. Beaches with their maximum widths recorded in this study are numbered clockwise from the eastern UNAZ border. Inset shows the generalised geology (unpublished data)

Παραλίες Κύπρου: Τάσεις διάβρωσης



Beach delimitation in the historical imagery of (i) a southern beach (ID 27) and (ii) a northern beach (ID 222). The differing landward boundary position in (i) is due to changes in vegetation coverage. There are apparent area losses in both embayed beaches, but the beach maximum widths (BMWs, stippled lines) of the 'dry' beaches have not changed significantly.



Historical changes in the (a) recorded BMW and (b) frontline backshore urbanization, i.e. in the density of the frontline assets as a percentage of the beach length. Changes shown are between the oldest and the most recent good quality beach images available.

Προγνώσεις ακραίας στάθμης/κυματισμών



Προγνώσεις ακραίας στάθμης και κυματισμών (RCP4.5 και RCP8.5 για κάθε χρόνο μέχρι το 2100) σύμφωνα με τους Vousdoukas et al. (2018)

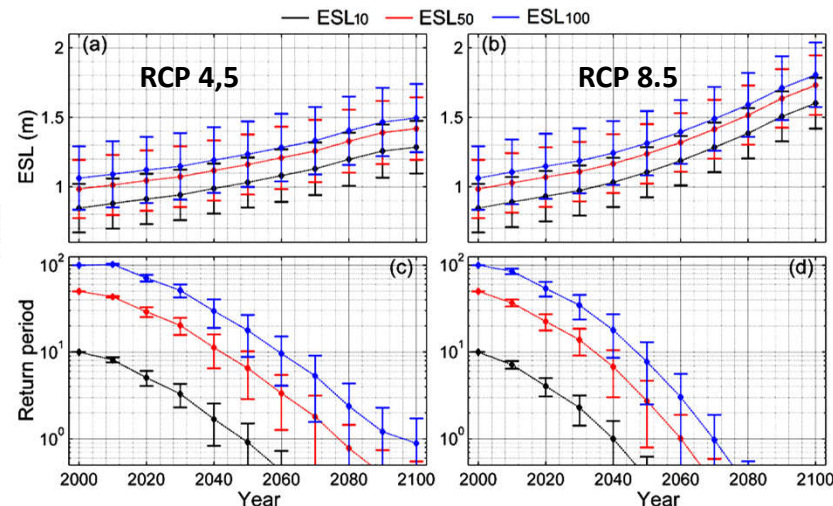
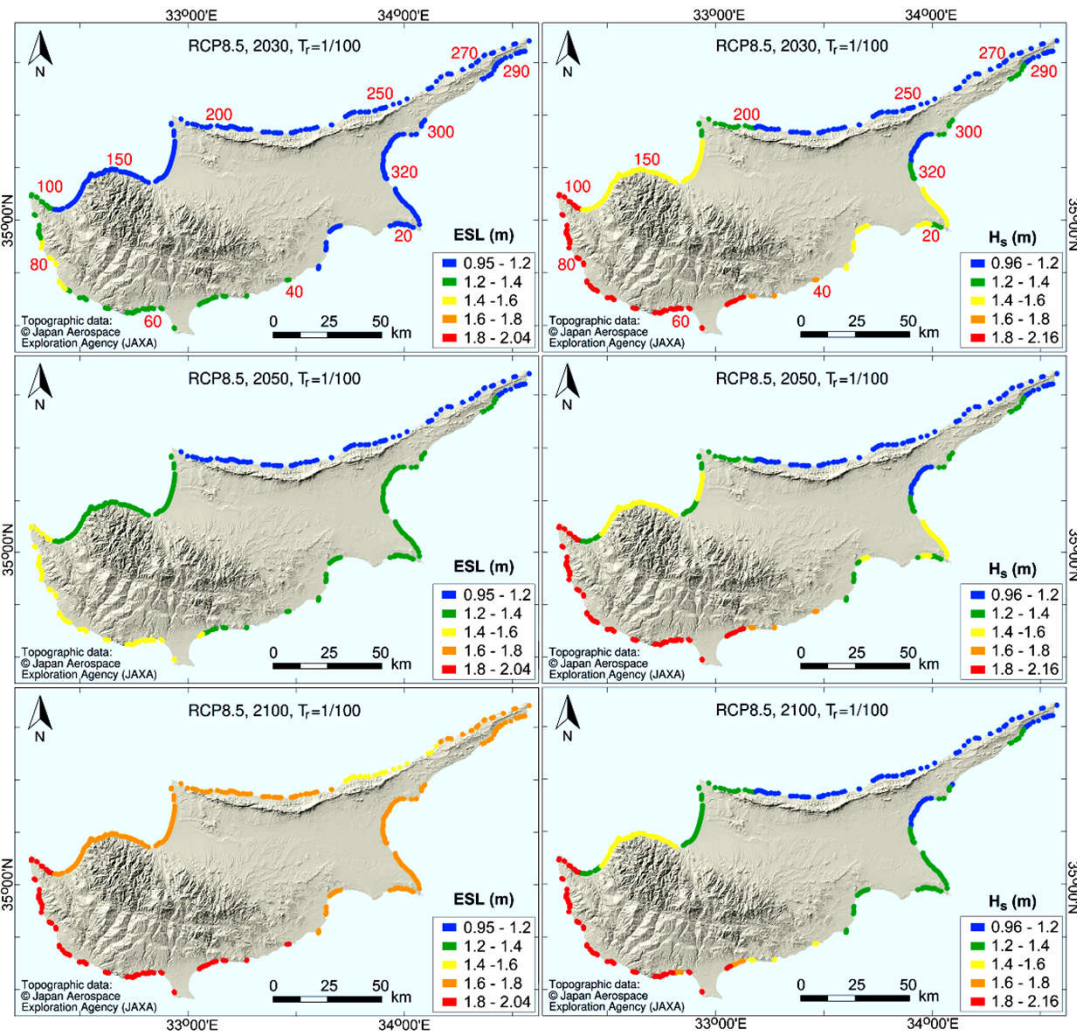
- Προγνώσεις *SLR* από Jenrejeva et al. (2016).
- Το μοντέλο DFLOW-FM χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση αλλαγών στη παλίρροια λόγω της *SLR* σε σύγκριση με το 2000 (*baseline*)
- Ύψος μετεωρολογικής παλίρροιας (*storm surge*) από προσομοιώσεις (μοντέλο DFLOW-FM, οδήγηση από συστοιχία 6 μοντέλων από την CMIP5 database)
- Κυματισμοί από προσομοιώσεις (μοντέλο WAVEWATCH III, οδήγηση από συστοιχία 6 μοντέλων από την CMIP5 database)
- Re-analysis (1980-2014): οδήγηση από ERA-INTERIM δεδομένα
- Κυματική ανύψωση (*wave set up*) σύμφωνα με CEM (2002) ($0.2 \times H_s$).

Αποτελέσματα: Χρονοσειρές συνιστωσών του *ESL* και κυματισμών για κάθε 25 km ακτογραμμής

Ανάλυση ακραίων τιμών έδωσε προγνώσεις για ακραία συμβάντα (1-, 5-, 10-, 20-, 50-, 100- and 200—year events).

Monte Carlo simulations

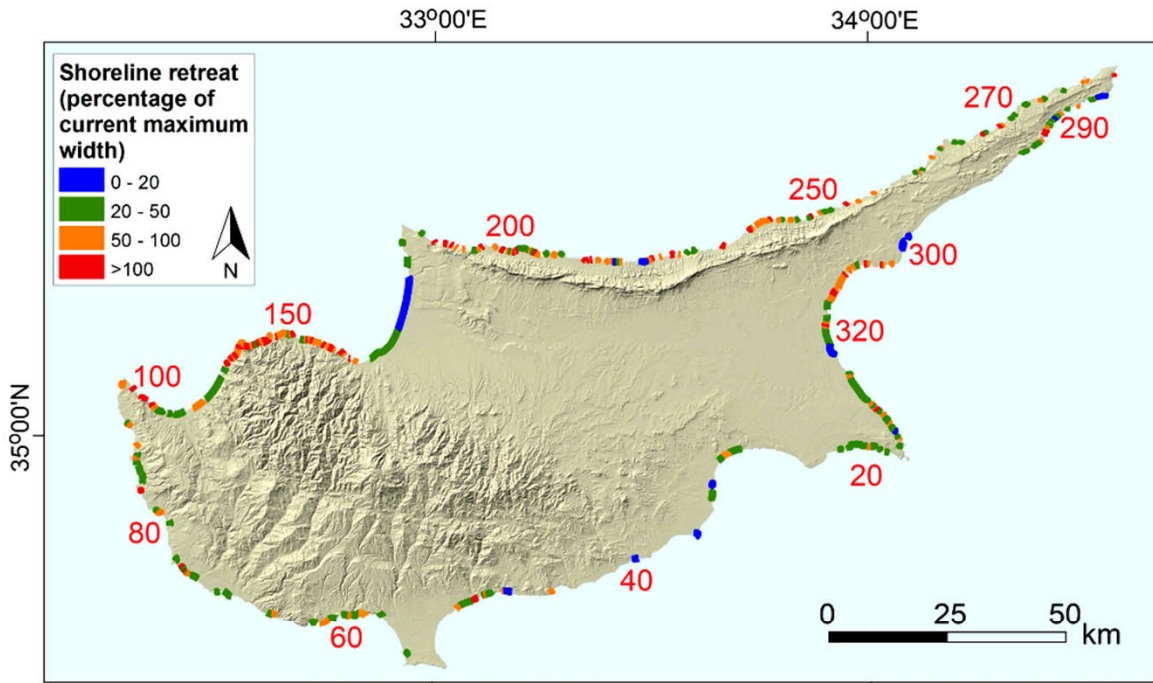
Προγνώσεις ακραίας στάθμης και κυματισμών



Time evolution of ESLs (a and b); and their corresponding return periods (c and d) compared to their baseline return periods for the 10- 50- and 100-year events, under RCP4.5 (a and c) and RCP8.5 (b and d). Predictions shown are for all beaches (which explains the spread of the results).

Extreme sea levels (ESLs100) and corresponding wave heights (H_s) for different dates under RCP8.5.

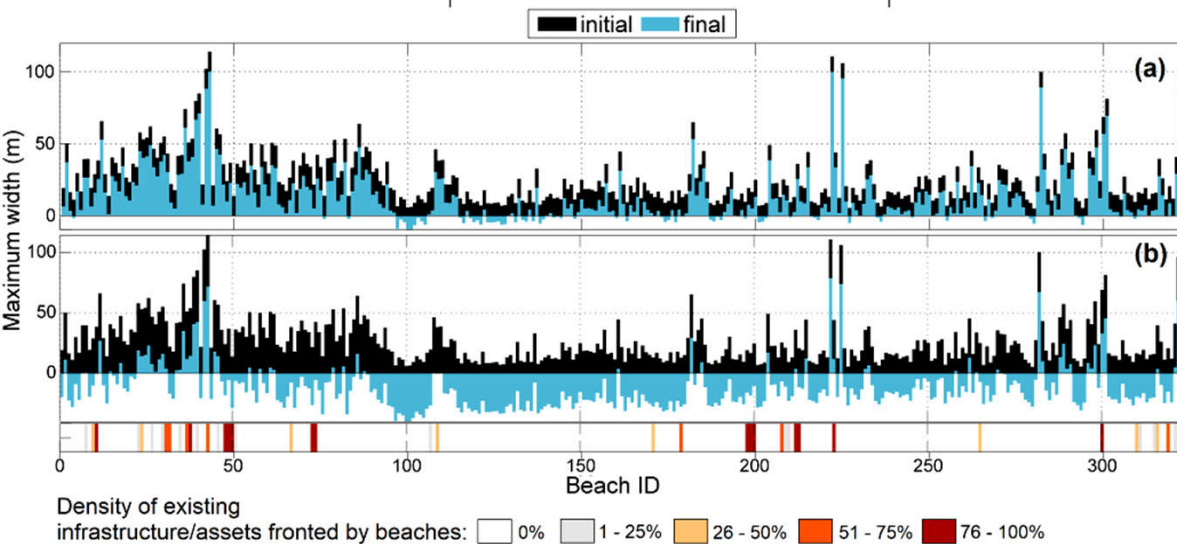
Προγνώσεις παραλιακής διάβρωσης από ακραίες στάθμες/κυματισμούς



Retreat estimations for the 325 beaches under the 100-year ESL (RCP4.5) for 2050.

The retreat shown is the minimum projected retreat (% of the present beach maximum width (BMW)).

Lower panels: the minimum (a) and maximum (b) retreat (2050) of all beaches and recorded density of the frontline backshore assets (% of the beach length)



The current (initial) BMWs (black bars) are compared with those resulting from beach erosion (blue bars); negative values indicate total beach erosion (and damages to backshore assets).

Προγνώσεις διάβρωσης των Κυπριακών παραλιών (KM & A)



Μεγάλες επιπτώσεις από το 2030 (RCP4.5).

Το 2050 (συντηρητικές εκτιμήσεις), 59 % των παραλιών θα χάσουν τουλάχιστον το 50 % του σημερινού BMW and 24 % το 100 %, κάτω από το *ESL100*.

Το 2100, οι επιπτώσεις θα είναι καταστροφικές. Το 32 – 89 % των Κυπριακών παραλιών θα διαβρωθούν τελείως

Η διάβρωση θα είναι πιο μεγαλύτερη στο Β. Κύπρο

Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για π.χ.

- την εκτίμηση του παράκτιου πλημμυρικού κινδύνου (Οδηγία 2007/60/EC)
- Την οριοθέτηση ζωνών οπισθοχώρησης (set back zones, Article 8.2 ICZM Protocol to the Barcelona convention)

Οι προγνώσεις ακραίας στάθμης/κυματισμών μαζί με πλημμυρικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για προγνώσεις πλημμυρικού κινδύνου παρακτιων υποδομών (π.χ. *Monioudi et al. 2018, Regional Environmental Change 18, 2211–2225*).

Προγνώσεις πλημμύρας παράκτιων υποδομών



ESL100 (1.5 °C, 2030)



ESL100 (1.5 °C, 2030)



ESL50 (2050, RCP4.5)



ESL50 (2050, RCP4.5)



ESL100 (2100, RCP8.5)



ESL100 (2100, RCP8.5)



Inundation of Sangster International Airport (SIA) (a, c, e) and Norman Manley International Airport (NMIA) (b,d, f) under the 100-year event and 1.5 °C SWL (a, b), the 50-year event in 2050 under RCP4.5 (c,d), and the ESL100 in 2100, under CP8.5 (e, f).

Inundation simulations by Lisflood-ACC (LFP) model.

DEM resolution is of about 5 m. DEM was corrected for vertical biases; elevation is expressed relative to MSL = 0

(Monioudi et al, 2018 *Regional Environmental Change* 18, 2211–2225)



Ευχαριστώ!



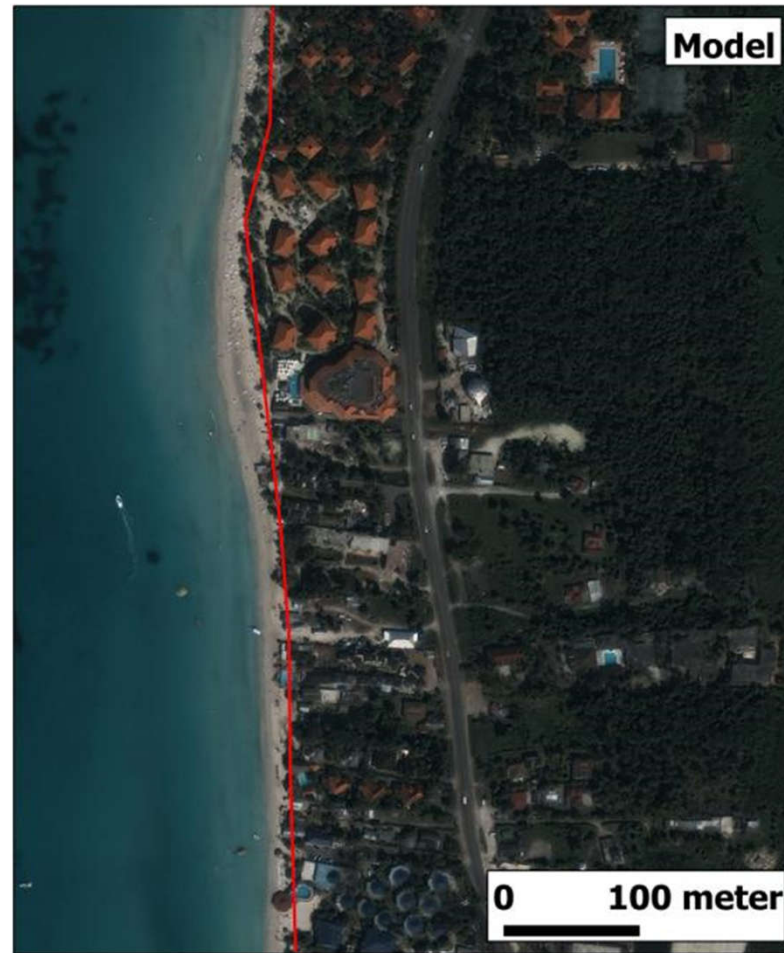
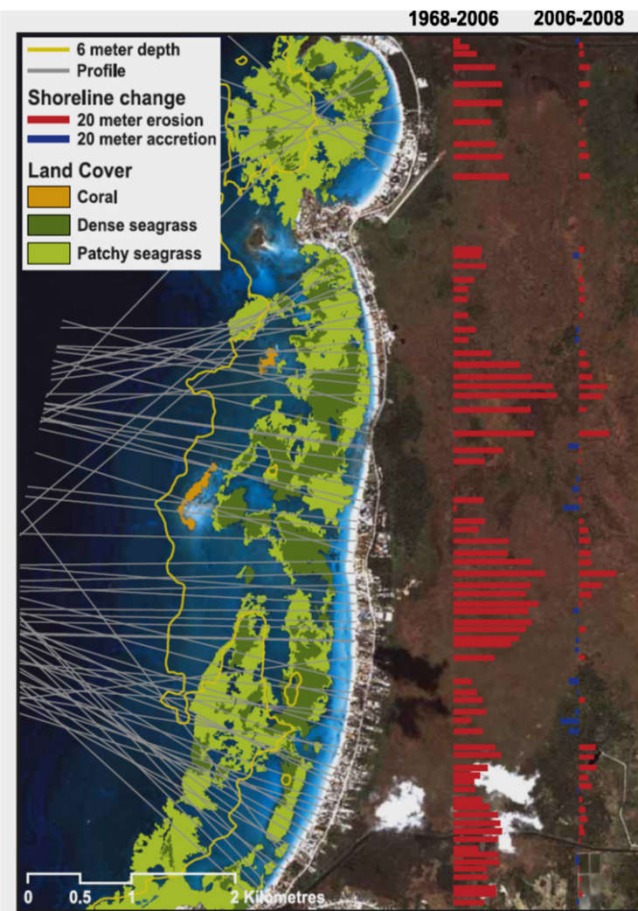
Hainan island beach, China

Super Paradise (Mykonos). A pocket beach with an extreme economic potential. Min. earning of Greek beaches €1400/m/yr (Velegrakis et al., 2005). This beach, €60000/m/yr.



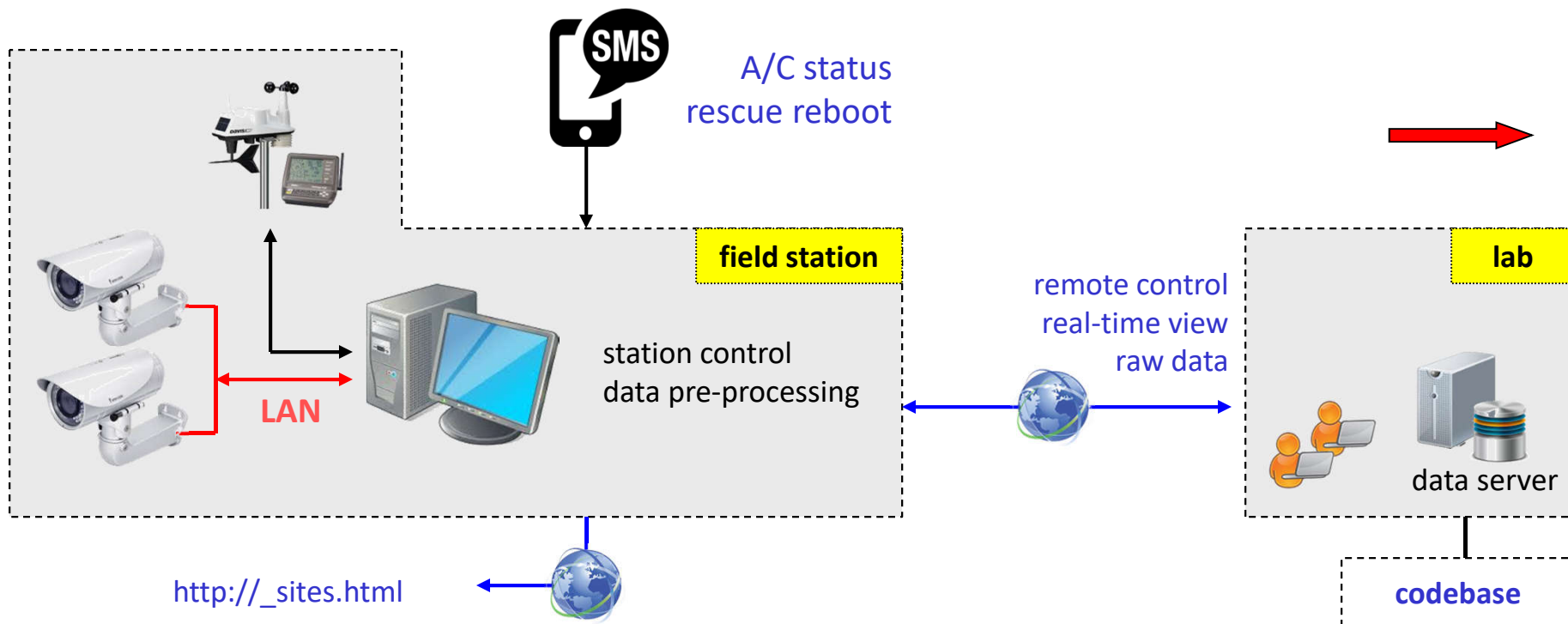


Διάβρωση νησιωτικών παραλιών: Τάσεις



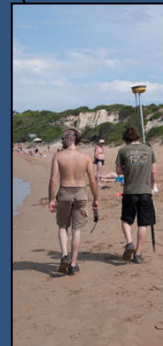
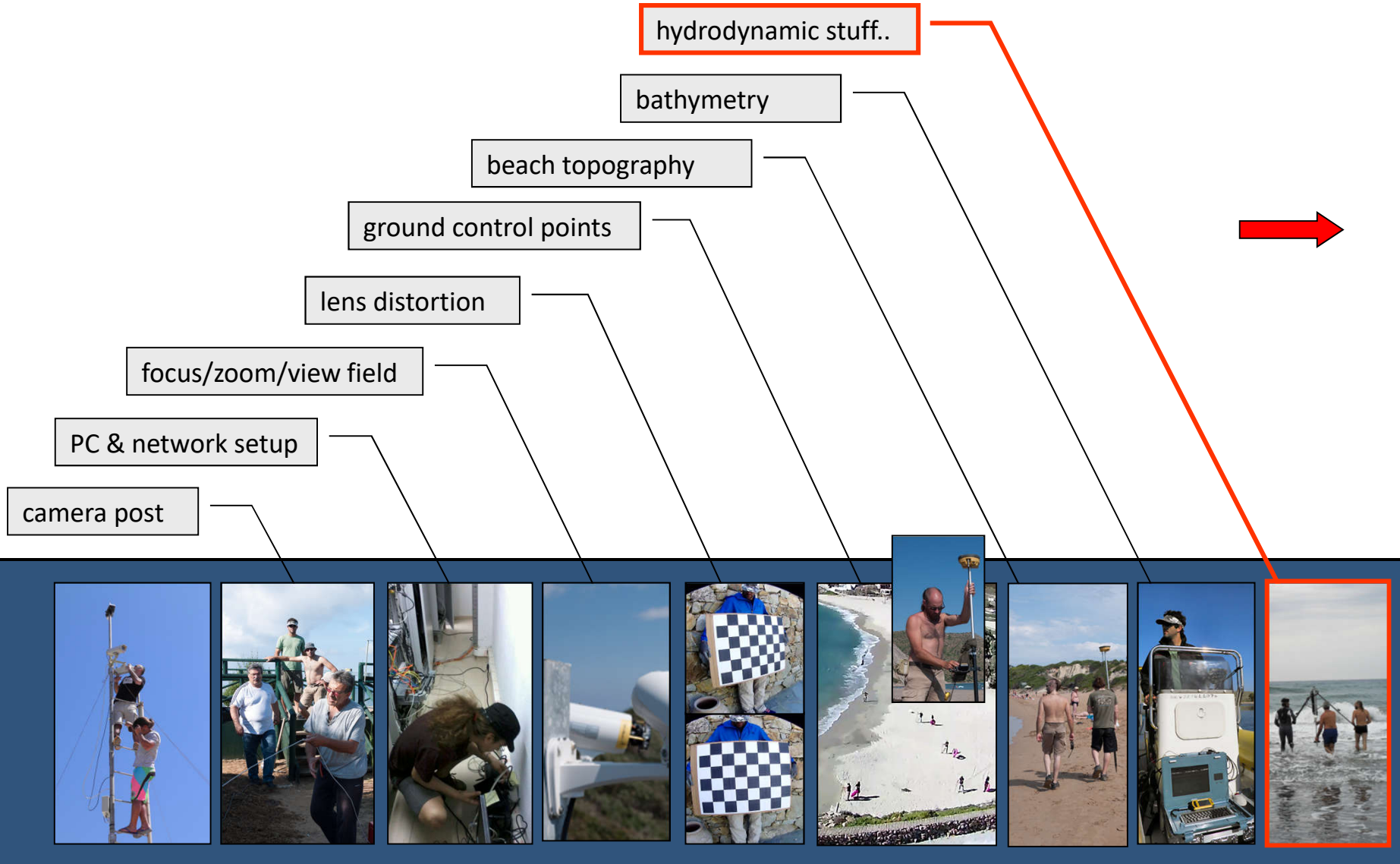
Negril beach (Jamaica) provides about 8 % of Jamaica's GDP, but it erodes by 1 m per year for the last 45 years. Conservative projections suggest complete beach erosion by 2040, due to SLR and storm surges/waves (Peduzzi P., Velegrakis A.F., Estrella M. et al. 2013. In FG Renaud et al. (eds): The role of Ecosystems in Disaster Risk Reduction, UN University Press, 109-139.)

High Frequency Optical Monitoring System: Installation and Setup





Optical Monitoring System: Installation and Setup

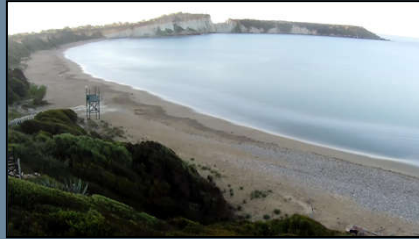


Optical Monitoring System: Basic products

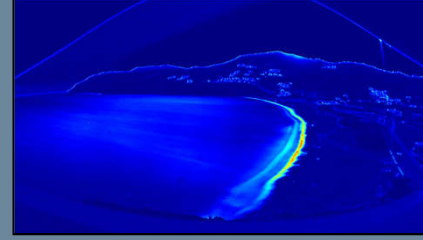
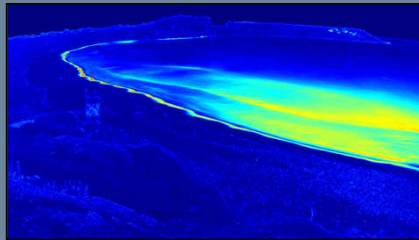
Gerakas, Zakynthos

Kalo Livadi, Mykonos

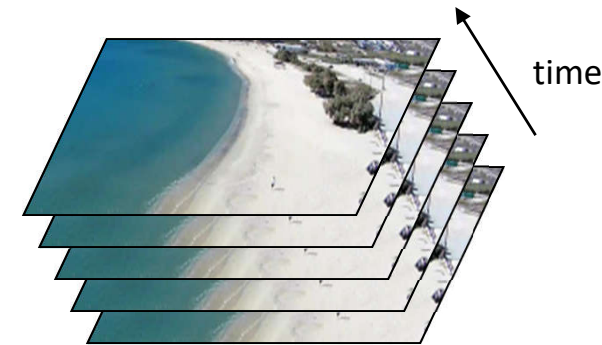
TIMEX



SIGMA



Snapshots

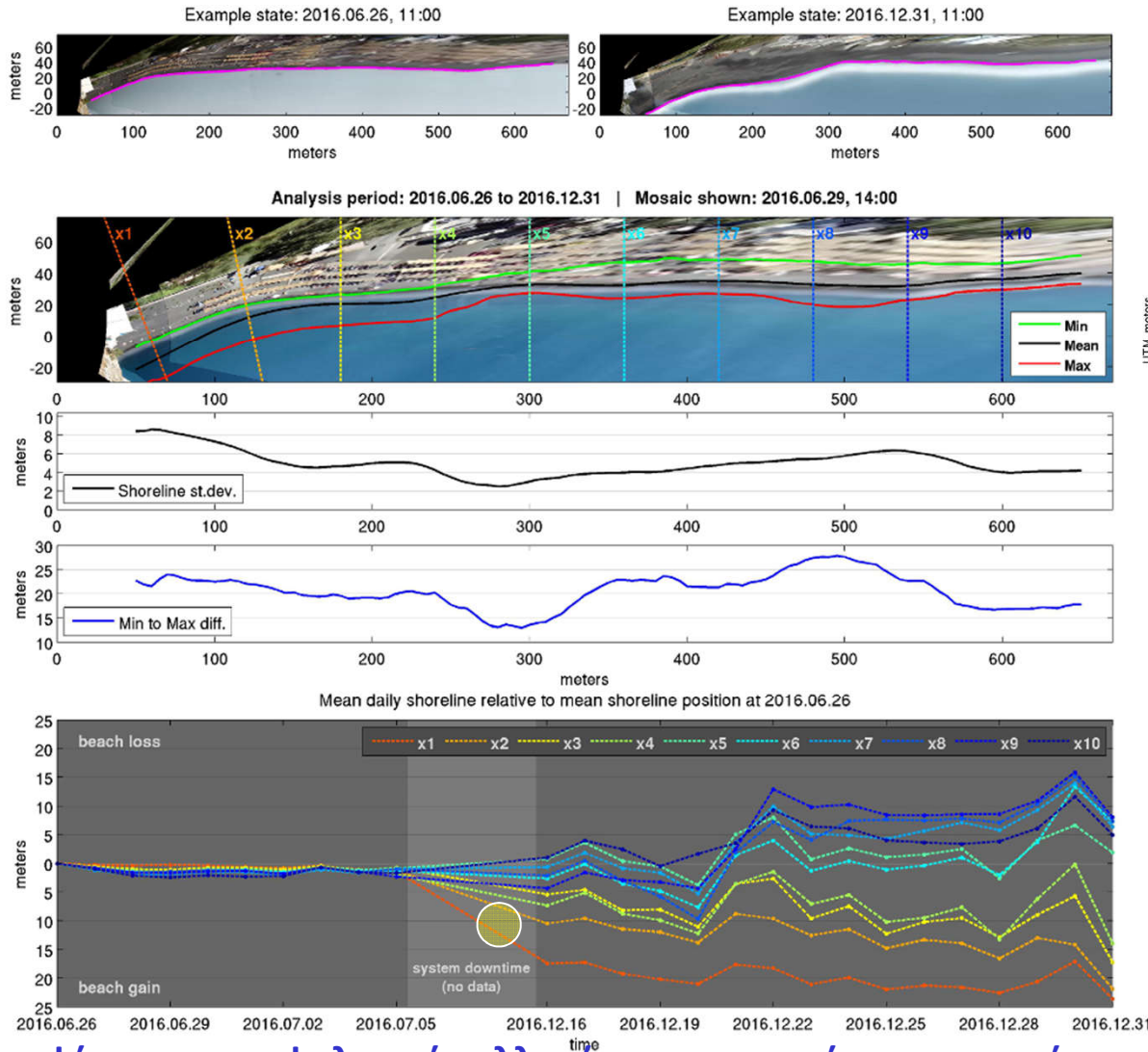


Recording schedule: 10 min/h @5 fps

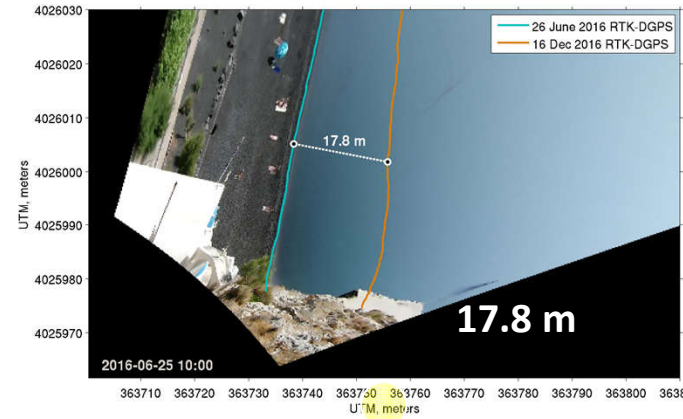
== 3000 frames/h



Spatio-temporal variability of shoreline: A sampling resolution problem



Σύγκριση αποτελεσμάτων με χερσαίες οδεύσεις



animation

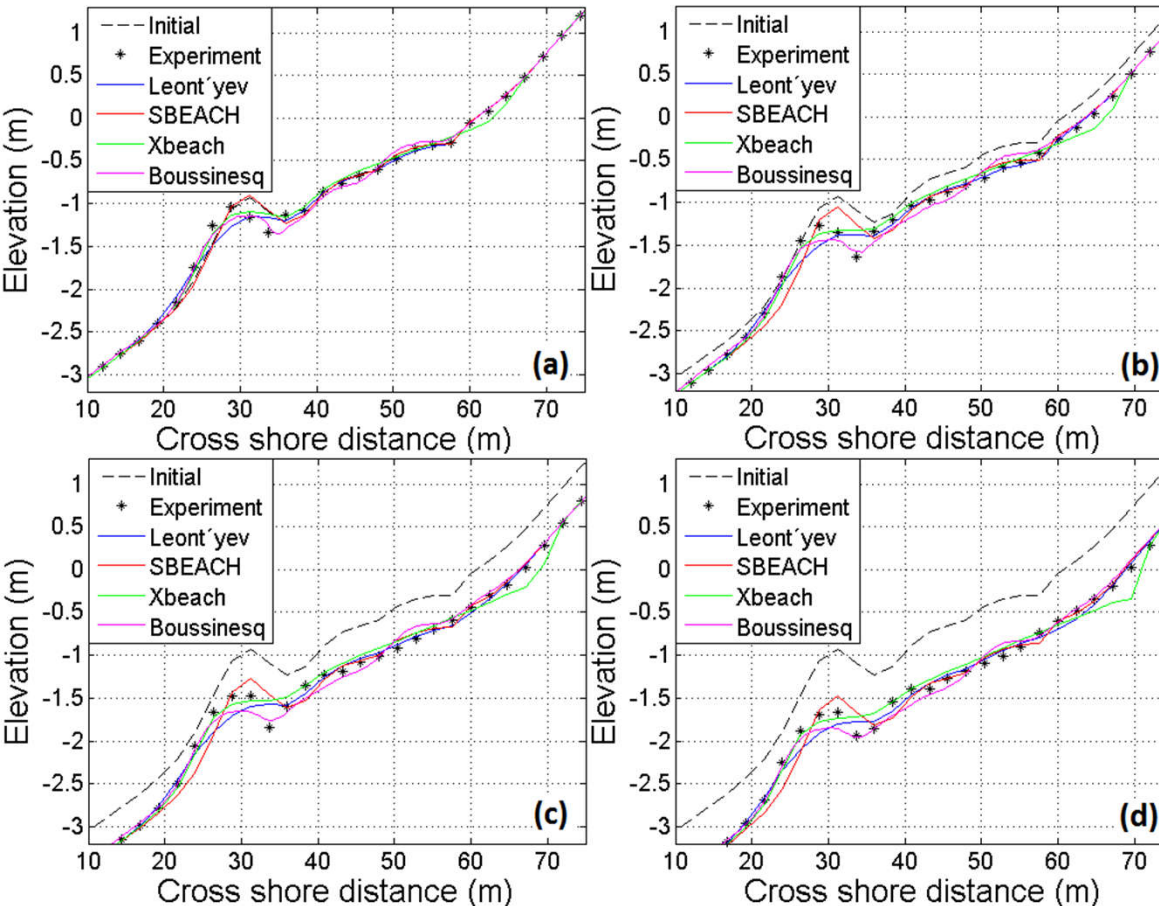
Kamari Santorini 2016



Οι υψίσυχνες μορφολογικές αλλαγές και κυματικές χρονοσειρές αποτελούν inputs και outputs ANNs για μορφοδυναμικές προγνώσεις: RMSEs < 2.7 m (Tsekouras et al., 2018, Neurocomputing 280, 32-45, Chatzipavlis et al. 2019. Neural Computing and Applications)



Predictions of beach retreat under storm surges: Model validation



Results by 1-D numerical models plotted against those from a physical experiment (HYDRALAB wave tank): (a) Present water level (b) water level rise of 0.2 m, (c) water level rise of 0.4 m and (d) water level rise of 0.6 m.

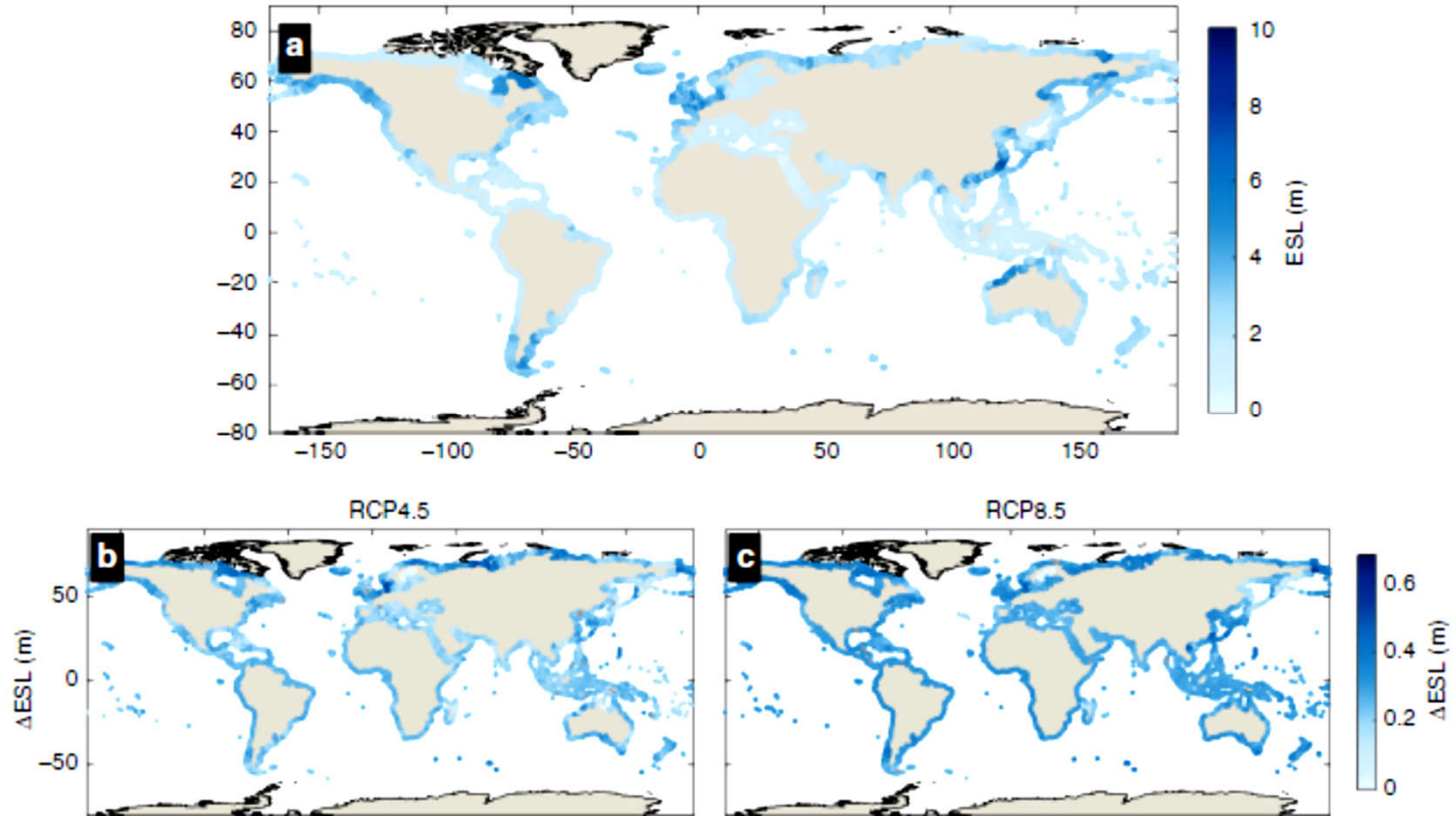
Both numerical and physical experiments were set up for the same initial (non-linear) profile (stippled line).

Beach retreats for the ensemble (a) present level, -0.59 m (physical experiment -0.35m); (b) 0.2 m rise, -3.72 m (physical experiment -3.57); (c) 0.4 m rise, -6.43 m (physical experiment -6.23 m); and (d) 0.6 m rise, -8.60 m (physical experiment --8.66 m).

Monioudi et al., 2017, Natural Hazards and Earth System Science 17, 449–466.



Προγνώσεις παραλιακής διάβρωσης από ακραίες στάθμες/κυματισμούς Εκτίμηση με πιθανολογικές (probabilistic) οδηγίες



Present global Extreme Sea Levels (ESLs) and changes under climate change. Maps show the median present-day 100-year ESL (a) and the projected changes in ESL_{100} (median) under RCP4.5 (b) and RCP8.5 (c) by 2100 (Vousdoukas et al., Nature Communications 2018).

