INDEPENDENT RESEARCH MONOGRAPH

PAROS SUSTAINABLE DEVELOPMENT OBSERVATORY

THE CHANGING MEDITERRANEAN

Η Μεσόγειος που αλλάζει

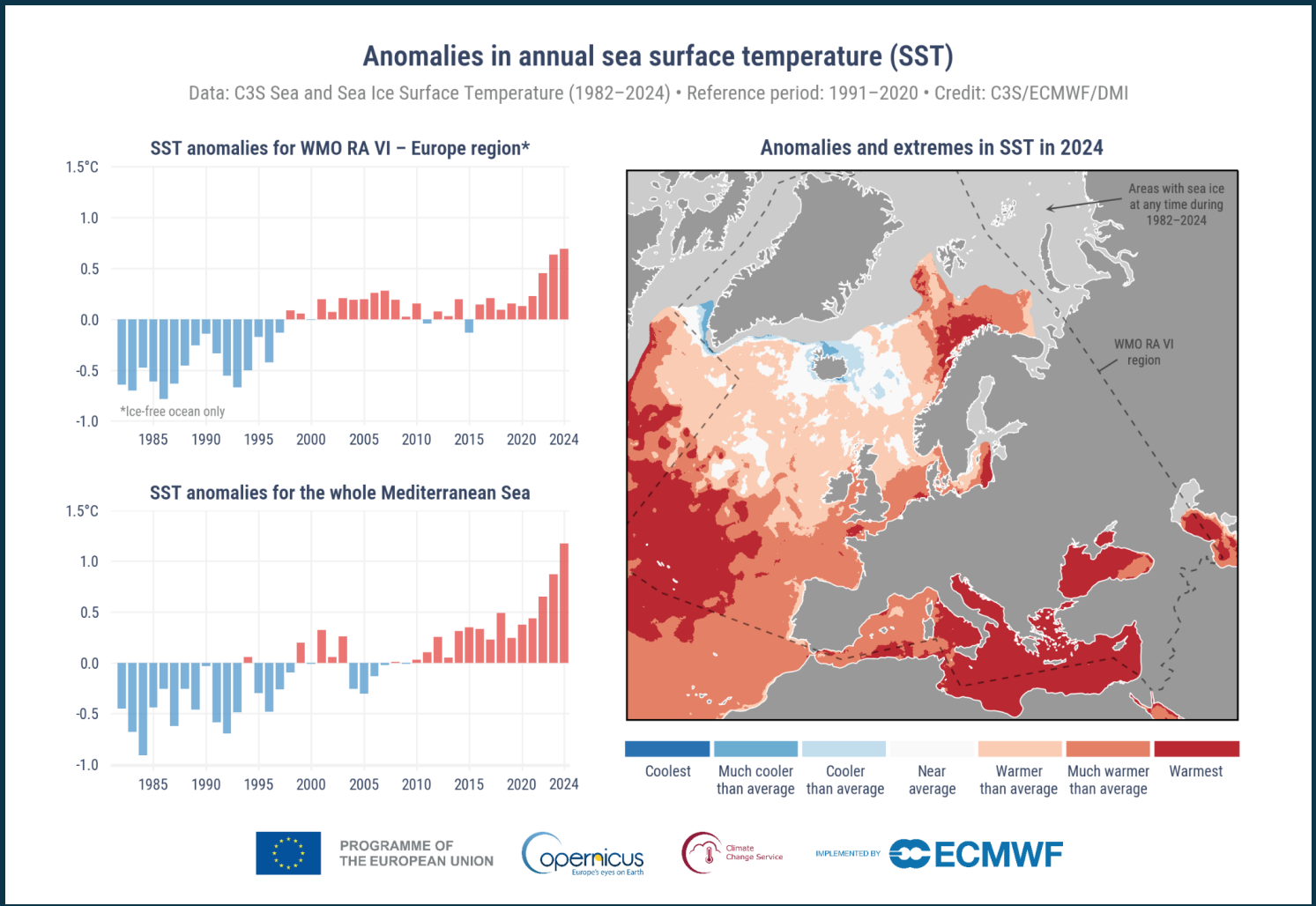
A scientific exploration of the Aegean and the Cyclades

VOLUME I

Warming, stratification, biogeochemistry and acidification
in the Central Cyclades, 1982–2025

Βασίλης (Bill) Marangozis

Bilingual edition · Version 1.0 · 15 July 2026



Mediterranean-wide SST context · ESOTC 2024

Data and figure credit: C3S/ECMWF/DMI · Reference period: 1991–2020

ΕΚΤΕΛΕΣΤΙΚΉ ΣΎΝΟΨΗ

Η Μεσόγειος που αλλάζει

Τόμος Ι · Θέρμανση, στρωμάτωση, βιογεωχημεία και οξίνιση στις Κεντρικές Κυκλάδες, 1982–2025

Βασίλης (Bill) Marangozis · 15 July / Ιουλίου 2026

Η θάλασσα γύρω από τις Κεντρικές Κυκλάδες γίνεται θερμότερη, πιο έντονα στρωματωμένη και πιο όξινη. Η μελέτη συνδυάζει δορυφορικές παρατηρήσεις με φυσικές και βιογεωχημικές επαναναλύσεις, εξετάζοντας τη σημασία αυτών των αλλαγών και τα όρια της διαθέσιμης τεκμηρίωσης.

01 · Το αντικείμενο της μελέτης

Η ανάλυση συνδυάζει δορυφορικά δεδομένα θερμοκρασίας επιφάνειας της θάλασσας για θαλάσσια περιοχή γύρω από την Πάρο–Αντίπαρο (1982–2025), φυσική επανανάλυση (1987–2025) και βιογεωχημική επανανάλυση (1999–2025). Οι επαναναλύσεις συνδυάζουν αριθμητικά μοντέλα με διαθέσιμες παρατηρήσεις· δεν αποτελούν συνεχή καταγραφή τοπικών επιτόπιων μετρήσεων.

Η ανάλυση των βαθύτερων νερών χρησιμοποιεί κοινό πεδίο βάθους 0–300 m σε ακτίνα 75 km από την Πάρο: 184 κελιά μοντέλου, συνολικής έκτασης περίπου 3.156 km², σε εννέα ασύνδετες βαθιές λεκάνες. Το πλησιέστερο κελί απέχει περίπου 40 km από το κέντρο της Πάρου. Τα αποτελέσματα δεν περιγράφουν μετρήσεις στους ρηχούς κόλπους του νησιού. Οι φυσικές ανωμαλίες αναφέρονται γενικά στην περίοδο 1991–2020 και οι βιογεωχημικές στην περίοδο 2000–2019.

02 · Η θέρμανση εκτείνεται κάτω από την επιφάνεια

Η δορυφορική θερμοκρασία επιφάνειας αυξήθηκε κατά περίπου 0,40°C ανά δεκαετία την περίοδο 1982–2025, με διάστημα εμπιστοσύνης 95% από 0,31 έως 0,49°C ανά δεκαετία. Η τελευταία δεκαετία ήταν περίπου 1,36°C θερμότερη από την περίοδο 1982–1991. Η ισχυρότερη εποχική θέρμανση εμφανίστηκε το καλοκαίρι και το φθινόπωρο. Το 2024 ήταν το θερμότερο πλήρες έτος της χρονοσειράς, με ετήσια μέση τιμή 20,90°C και ανωμαλία +1,31°C ως προς το 1991–2020.

Η φυσική επανανάλυση δείχνει επίσης θέρμανση σε ολόκληρη την ανώτερη στήλη των 300 m. Η μέση τάση ως προς το βάθος ήταν περίπου +0,37°C ανά δεκαετία την περίοδο 1987–2025. Το στρώμα 100–300 m αντιστοιχούσε περίπου στο 59% της εκτιμώμενης αύξησης θερμικού περιεχομένου, εν μέρει λόγω του μεγαλύτερου πάχους του. Οι επιφανειακές συνθήκες δεν αποτυπώνουν συνεπώς όλη τη συσσώρευση θερμότητας.

03 · Εντονότερη στρωμάτωση

Η διαφορά πυκνότητας μεταξύ του ανώτερου στρώματος 0–20 m και του στρώματος 100–300 m αυξήθηκε κατά περίπου 14% μεταξύ των περιόδων 1987–1996 και 2016–2025, κυρίως λόγω θέρμανσης. Η ισχυρότερη στρωμάτωση αυξάνει την αντίσταση στην κατακόρυφη ανάμειξη και μπορεί να περιορίζει τις ανταλλαγές μεταξύ επιφανειακών και βαθύτερων νερών. Δεν ποσοτικοποιεί από μόνη της μεταβολές στην κυκλοφορία ή στον σχηματισμό πυκνών νερών.

Οι εξαιρετικές συνθήκες του 2024 συνδέονταν με συνδυασμό προϋπάρχουσας θερμότητας, επιφανειακών ανταλλαγών θερμότητας και ρηχής χειμερινής ανάμειξης. Το θερμικό ισοζύγιο δεν απομονώνει μία μοναδική αιτία: το υπόλοιπό του περιλαμβάνει επίσης μεταφορά, κατακόρυφες ανταλλαγές και διαφορές μεταξύ προϊόντων.

04 · Οξίνιση και ρυθμιστική ικανότητα

Η βιογεωχημική επανανάλυση δείχνει επίμονη πτώση του pH κατά περίπου 0,011–0,012 μονάδες ανά δεκαετία, ανάλογα με το βάθος. Επειδή η κλίμακα pH είναι λογαριθμική, αυτό αντιστοιχεί σε αύξηση της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου περίπου 2,6–2,9% ανά δεκαετία. Η οξίνιση δηλώνει μετατόπιση προς μεγαλύτερη οξύτητα· δεν σημαίνει ότι το θαλασσινό νερό έχει αποκτήσει pH κάτω από 7.

Οι υπολογισμοί του ανθρακικού συστήματος δείχνουν επίσης εξασθένηση της ρυθμιστικής ικανότητας. Η θέρμανση αντιστοιχεί περίπου στο 47–52% της υπολογιζόμενης πτώσης του pH· το υπόλοιπο είναι μη θερμικό. Αυτό το υπόλοιπο δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στο ανθρωπογενές διοξείδιο του άνθρακα, καθώς η κυκλοφορία και οι βιολογικές διεργασίες επηρεάζουν επίσης το ανθρακικό σύστημα.

Ο μοντελοποιημένος κορεσμός αραγωνίτη παρέμεινε πάνω από 3 σε όλο το εξεταζόμενο υπεράκτιο πεδίο. Αυτό δεν εγγυάται βιολογική ασφάλεια ούτε περιγράφει κάθε παράκτιο ενδιαίτημα. Η συμφωνία υπολογισμένου και μοντελοποιημένου pH αποτελεί έλεγχο εσωτερικής συνέπειας, όχι ανεξάρτητη επικύρωση με τοπικές μετρήσεις.

05 · Προσεκτική ερμηνεία των βιολογικών ενδείξεων

Το θερμότερο νερό έχει μικρότερη ικανότητα συγκράτησης διαλυμένου οξυγόνου. Οι μοντελοποιημένες μειώσεις οξυγόνου ήταν σαφέστερες στα ανώτερα 100 m, αλλά η στατιστική σημαντικότητά τους εξαρτιόταν από την περίοδο ανάλυσης. Ακόμη και το 2024, οι συγκεντρώσεις ήταν περίπου 7,1–7,4 mg/L, πολύ πάνω από το όριο υποξίας των 2 mg/L. Η μελέτη δεν τεκμηριώνει περιφερειακή υποξία.

Το 2024 το μοντέλο έδειξε μειωμένα επιφανειακά θρεπτικά, βαθύτερο μέγιστο χλωροφύλλης και χαμηλότερα αποθέματα φυτοπλαγκτονικού άνθρακα. Δεν έδειξε όμως ισχυρά τεκμηριωμένη μακροχρόνια πτώση της χλωροφύλλης ή μείωση της ετήσιας πρωτογενούς παραγωγής. Έχουν σημασία οι εποχικές μεταβολές, ο ρυθμός ανανέωσης και οι παραδοχές του μοντέλου. Τα αποτελέσματα δεν αποδεικνύουν οικολογική κατάρρευση, βλάβη στα λιβάδια Ποσειδωνίας ή απώλειες στην αλιεία.

06 · Από την περιφερειακή εικόνα στην τοπική παρατήρηση

Επόμενη προτεραιότητα είναι η συστηματική παρακολούθηση που συνδέει την περιφερειακή εικόνα με τις παράκτιες συνθήκες. Η μελέτη προτείνει συμπληρωματικούς σταθμούς σε κόλπο με ανθρώπινες πιέσεις, σε ανοικτή ακτή και σε βαθύ υπεράκτιο σημείο αναφοράς. Χρειάζονται κατακόρυφες μετρήσεις θερμοκρασίας, αλατότητας, οξυγόνου, χλωροφύλλης και θολερότητας, με πρόσθετη δειγματοληψία κατά τους θαλάσσιους καύσωνες.

Η αξιόπιστη παρακολούθηση του ανθρακικού συστήματος απαιτεί τουλάχιστον δύο ανεξάρτητες μεταβλητές, όπως pH στην ολική κλίμακα μαζί με αλκαλικότητα ή διαλυμένο ανόργανο άνθρακα, πιστοποιημένα πρότυπα και αρχεία βαθμονόμησης. Οι βιολογικές παρατηρήσεις πρέπει να περιλαμβάνουν θαλάσσια λιβάδια, πλαγκτόν, ασβεστοποιούς οργανισμούς και αλιεία. Η συνεργασία ερευνητικών φορέων, τοπικών οργανώσεων και επαγγελματιών της θάλασσας μπορεί να στηρίξει αυτή την προσπάθεια· οι παρατηρήσεις πολιτών συμπληρώνουν, αλλά δεν αντικαθιστούν, τις χημικές μετρήσεις ακριβείας.

Το κεντρικό συμπέρασμα

Η ισχυρότερη τεκμηρίωση αφορά τη συνεχιζόμενη θέρμανση, την ενίσχυση της στρωμάτωσης, την πτώση του pH και τη μείωση της ρυθμιστικής ικανότητας. Οι οικολογικές συνέπειες απαιτούν άμεσες, επαναλαμβανόμενες επιτόπιες παρατηρήσεις. Η ουσιαστική ανταπόκριση συνδυάζει προσοχή στις τεκμηριωμένες φυσικές και χημικές αλλαγές με διαφανείς μεθόδους, δημόσια δεδομένα και σαφή αναφορά της αβεβαιότητας.

Συντάχθηκε βάσει της παρεχόμενης δίγλωσσης μελέτης, Έκδοση 1.0, 15 Ιουλίου 2026. Η σύνοψη δεν εισάγει νέα ανάλυση. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης των τάσεων περιγράφουν την αβεβαιότητα μέσα στις εξεταζόμενες χρονοσειρές, όχι όλες τις δομικές αβεβαιότητες των μοντέλων. Για μεθόδους, ελέγχους ευαισθησίας και βιβλιογραφία, βλ. την πλήρη μελέτη.

Source / Πηγή: Marangozis, B. (2026). The Changing Mediterranean, Volume I. Version 1.0. Paros Sustainable Development Observatory.