



ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ IN-SITU ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

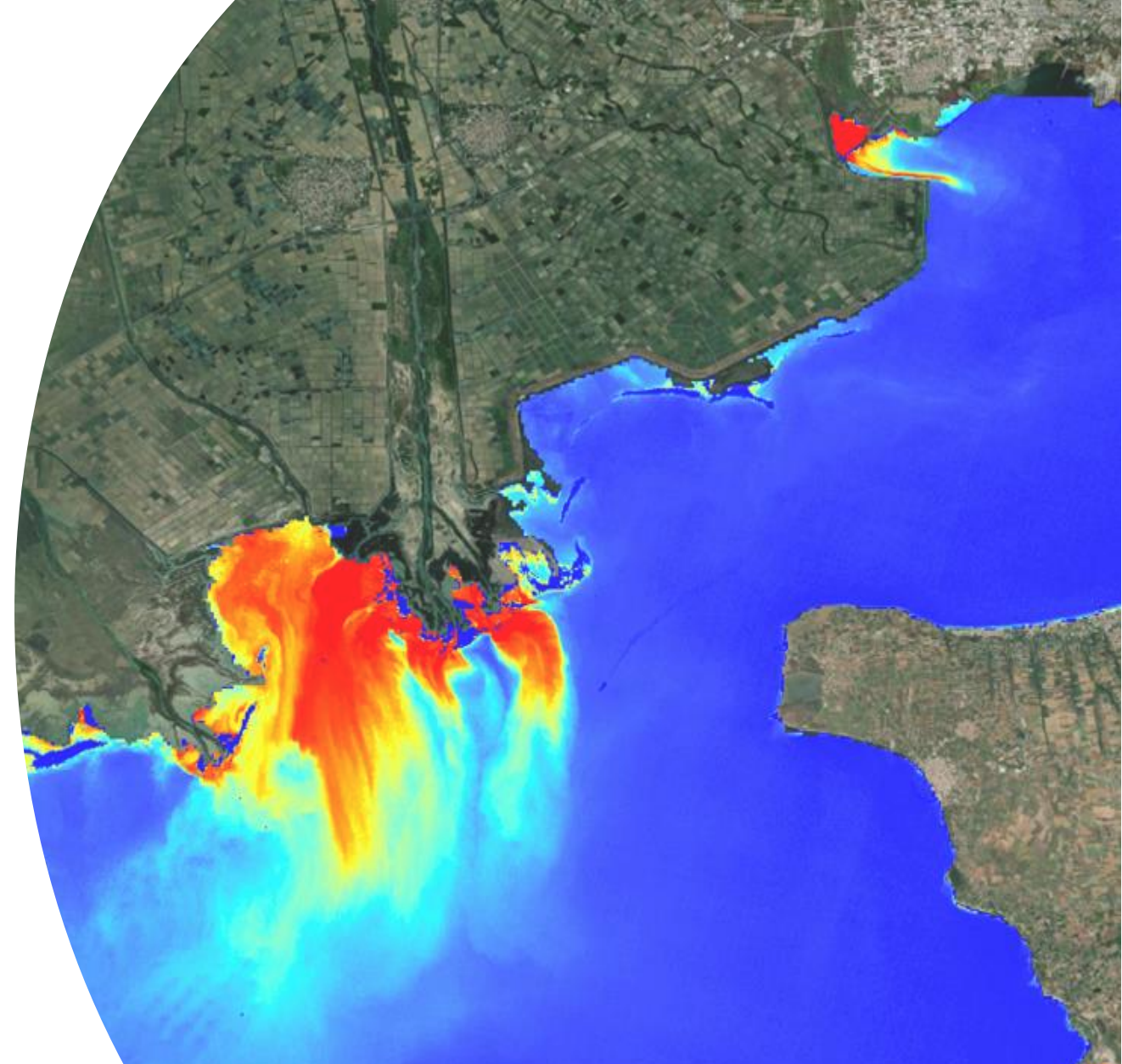
19 Νοεμβρίου 2020 | 10:00 – 13:30

Χάρτες χλωροφύλλης

Ιωάννης Μουτζούρης-Σιδηρής

Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοεπιστημών

Πανεπιστήμιο Αιγαίου



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σκοπός

Η παρούσα υπό-ενότητα εργασίας στοχεύει στην εκτίμηση της χλωροφύλλης-α με την χρήση δορυφορικών δεδομένων και την βαθμονόμηση νέων αλγορίθμων για την περιοχή μελέτης του Αιγαίου Πελάγους.

Δορυφορικά Δεδομένα

Για τον υπολογισμό της χλωροφύλλης-α χρησιμοποιούνται δεδομένα από τους δορυφόρους Sentinel-2 και Sentinel-3:

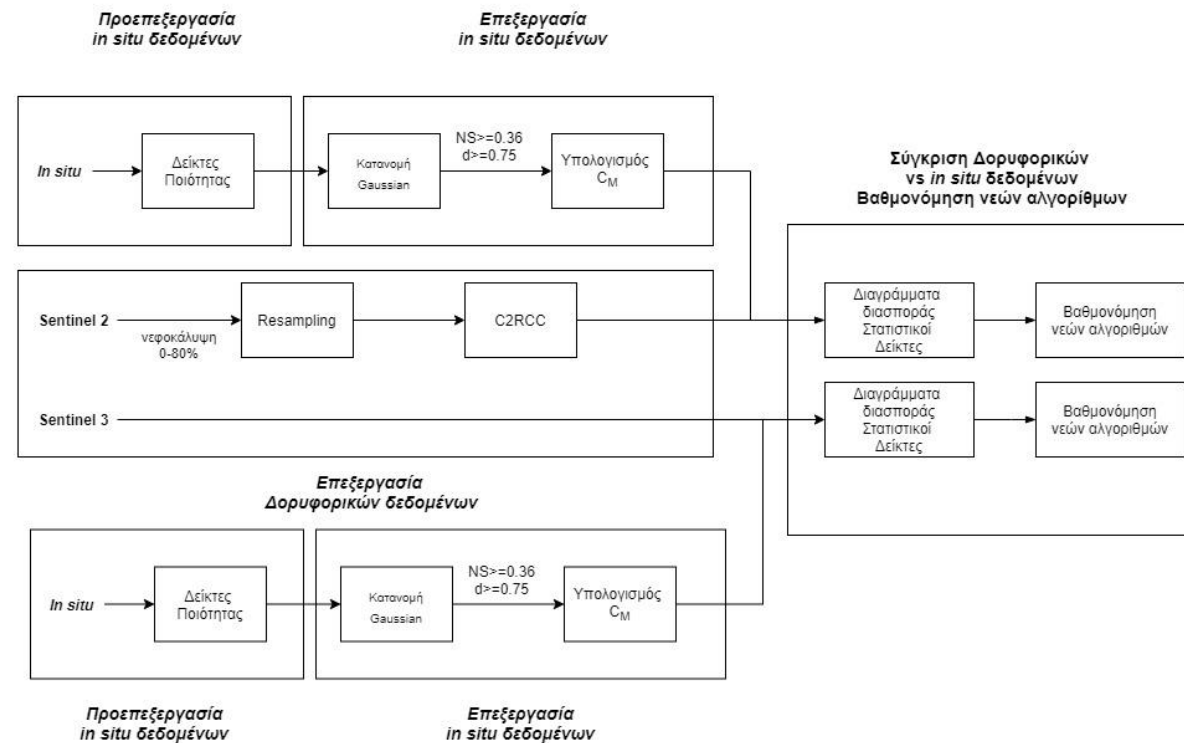
- Sentinel-2 (Level 1C) - αποτελείται από 13 κανάλια που καλύπτουν φάσματα από το ορατό (VIS) και το εγγύς υπέρυθρο (NIR) έως το κοντινό κύμα υπέρυθρων (SWIR)
- Sentinel-3 (WFR) – αποτελείται από 21 κανάλια που κυμαίνονται από 400 έως 1020 nm

Δεδομένα *in situ*

Για τα *in situ* δεδομένα της χλωροφύλλης-α χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις παρακάτω πηγές:

- Εθνικό Δίκτυο Ποσειδών
 - 9 σταθμοί με διαθέσιμα δεδομένα από 2015-2020
 - CTD, Bottle data
- Μετρήσεις πεδίου από πλόες του ΕΛΚΕΘΕ
 - 7 σταθμοί με διαθέσιμα δεδομένα από 2012-2020
 - CTD, Bottle data

Μεθοδολογία



Προ-επεξεργασία *in situ*

Προεπεξεργασία *in situ*:

- Δείκτης Ποιότητας πεδίου από πλόες του ΕΛΚΕΘΕ και Εθνικό Δίκτυο Ποσειδών
- Χρησιμοποιήθηκαν τιμές 0,1,2

Τιμή Δείκτη	Χαρακτηρισμός Τιμής
0	No quality control was applied
1	good value
2	probably good value
3	probably bad value
4	bad value
6	below detection
7	value in excess
8	interpolated value
9	missing value

Επεξεργασία *In situ*

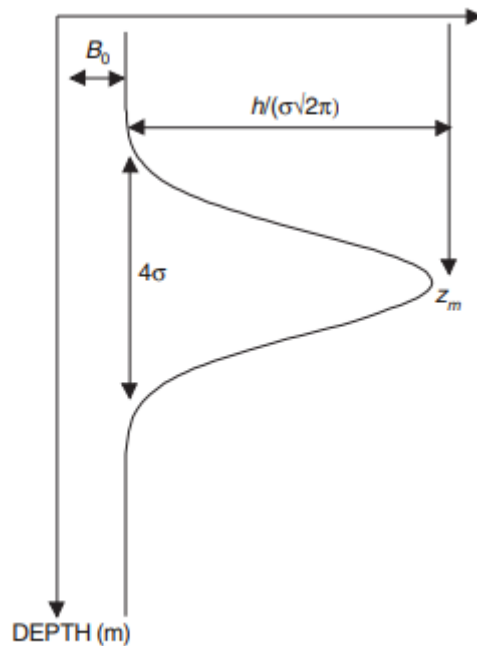
Για τον υπολογισμό της χλωροφύλλης-α από τα *in situ* εφαρμόστηκε ο παρακάτω τύπος:

$$C_M = \frac{\int_0^{Z_{pd}} C(z) * \exp\{-2 * k_d * z\} dz}{\int_0^{Z_{pd}} \exp\{-2 * k_d * z\} dz}$$

- k_d είναι ο συντελεστής εξασθένησης
- $C(z)$ είναι η μετρούμενη συγκέντρωση CHl-a σε σχέση με το βάθος
- $Z_{pd} = 1 / k_d$

D'Ortenzio et al. 2002

Επεξεργασία *In situ*



$$C(z) = B_0 + \frac{h}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-(z-z_m)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{Silulwane NF, et al 2001}$$

Για να προσδιοριστεί η καλύτερη εφαρμογή της εξίσωσης χρησιμοποιήθηκε:

- Δείκτης Nash-Sutcliffe (NS)
- δείκτης Willmott (d)

Μια καλή προσαρμογή θεωρήθηκε όταν $d \geq 0.75$ και $NS \geq 0.36$.

Υπολογισμός Χλωροφύλλης-α από Δορυφορικά δεδομένα

Sentinel 2:

- Ο υπολογισμός της χλωροφύλλης-α γίνεται μέσα από τον επεξεργαστή C2RCC.

Sentinel 3:

- OC4Me αλγόριθμος, που χρησιμοποιεί μια πολυωνυμική εξίσωση 4ου βαθμού.

$$C = 10(a_0 + a_1 * R + a_2 * R^2 + a_3 * R^3 + a_4 * R^4)$$

Συντελεστές $\alpha_0=0.450$, $\alpha_1=-3.259$, $\alpha_2=3.522$, $\alpha_3=-3.359$ και $\alpha_4=0.949$

- Neural Net-NN αλγόριθμος που χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα.

Σύγκριση Δορυφορικών vs *in situ* δεδομένων

Για τη σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων με τα *In Situ* χρησιμοποιούνται τα παρακάτω:

- Διάγραμμα διασποράς-διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι τιμές των τιμών της χλωροφύλλης-α από τα δορυφορικά σε σχέση με τα *in situ* δεδομένα.
- Στατιστικός Δείκτης (r^2)- δείχνει τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών της χλωροφύλλης-α όπως υπολογίζεται από τα δορυφορικά με τα *in situ* δεδομένα.

Βαθμονόμηση αλγορίθμων περιοχής μελέτης

Στην περιοχή της Μεσογείου μπορεί να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι 4^{ου} βαθμού για τον υπολογισμό της χλωροφύλλης-α όπως ο MedOC4 ή MedOC3 οι οποίοι αναφέρονται στην εργασία των Santoleri et al. (2008).

Χρησιμοποιώντας τη σχέση του αλγορίθμου MedOC4 οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α υπολογίζονται από μια σχέση 4^{ου} βαθμού που έχει την εξής μορφή:

$$C = 10^{(a_0 + a_1 * R + a_2 * R^2 + a_3 * R^3 + a_4 * R^4)}$$

$$\log C = \log(10^{(a_0 + a_1 * R + a_2 * R^2 + a_3 * R^3 + a_4 * R^4)})$$

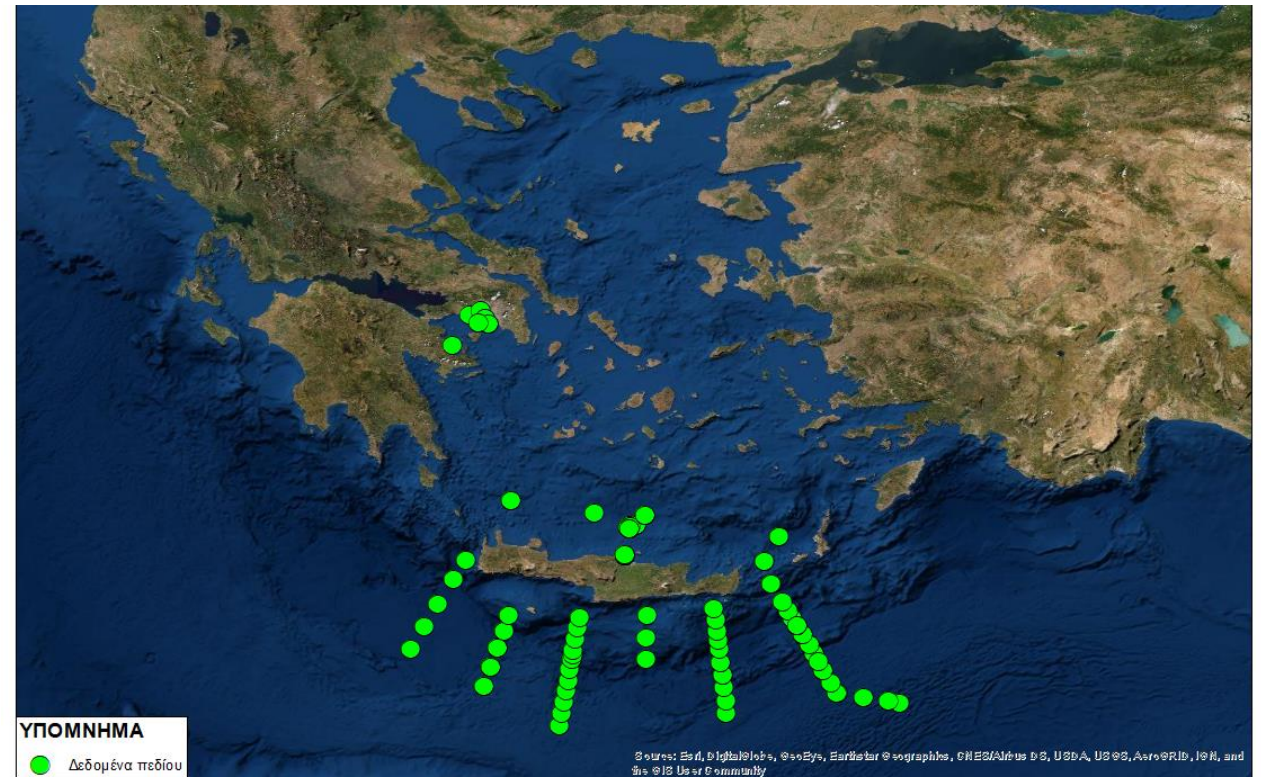
$$\log C = a_0 + a_1 * R + a_2 * R^2 + a_3 * R^3 + a_4 * R^4$$

R τιμές της ανακλαστικότητας

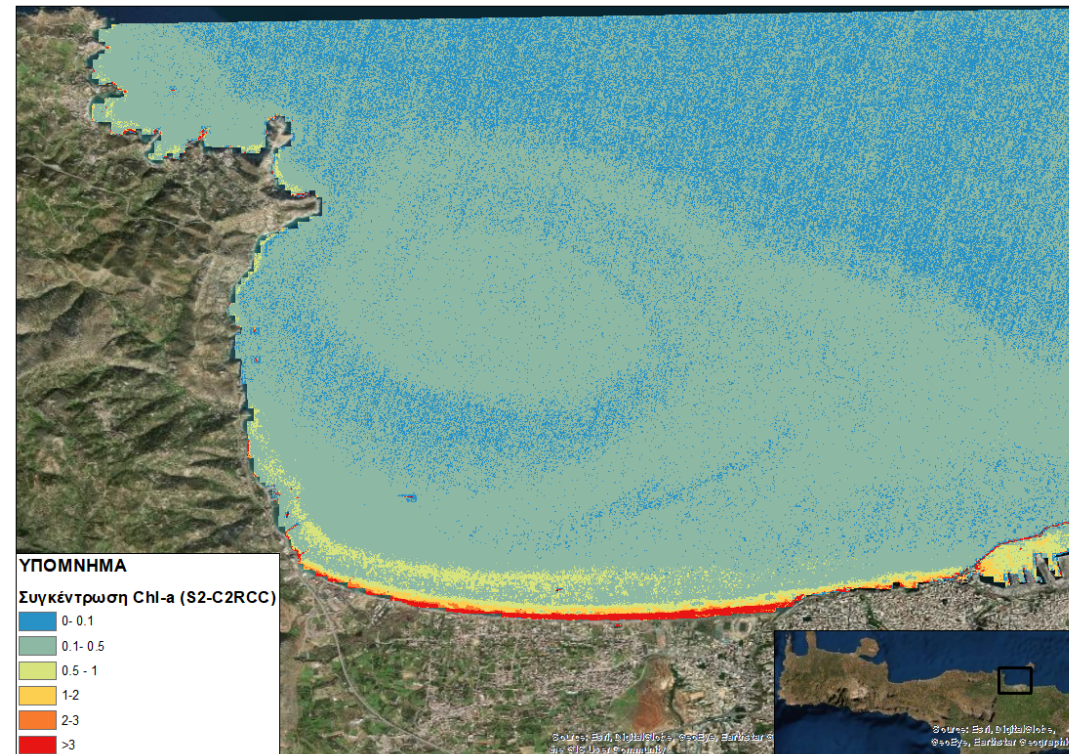
Σύγκριση Δορυφορικών vs *in situ* δεδομένων

Χρησιμοποιώντας σημεία που έχουν από 4 και πάνω τιμές χλωροφύλλης-α καταλήγουμε σε:

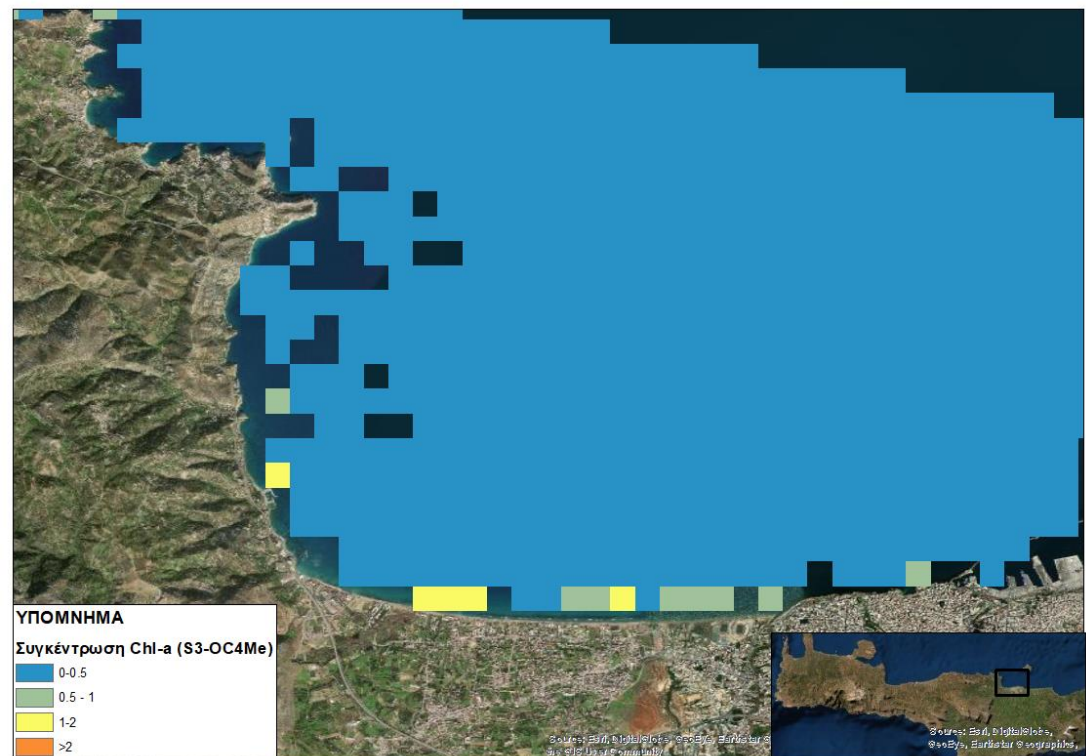
- 92 *in situ* μετρήσεις για Sentinel-3.
- 43 *in situ* μετρήσεις για Sentinel-2.



Υπολογισμός χλωροφύλλης-α από δορυφορικά δεδομένα

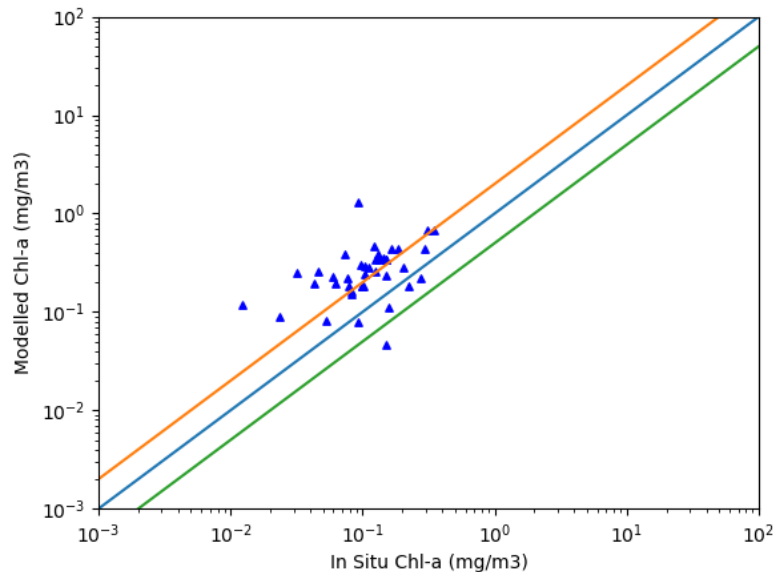


Υπολογισμός χλωροφύλλης-α από δορυφορικά δεδομένα



Σύγκριση Δορυφορικών vs *in situ* δεδομένων

Sentinel-3 (OC4Me)



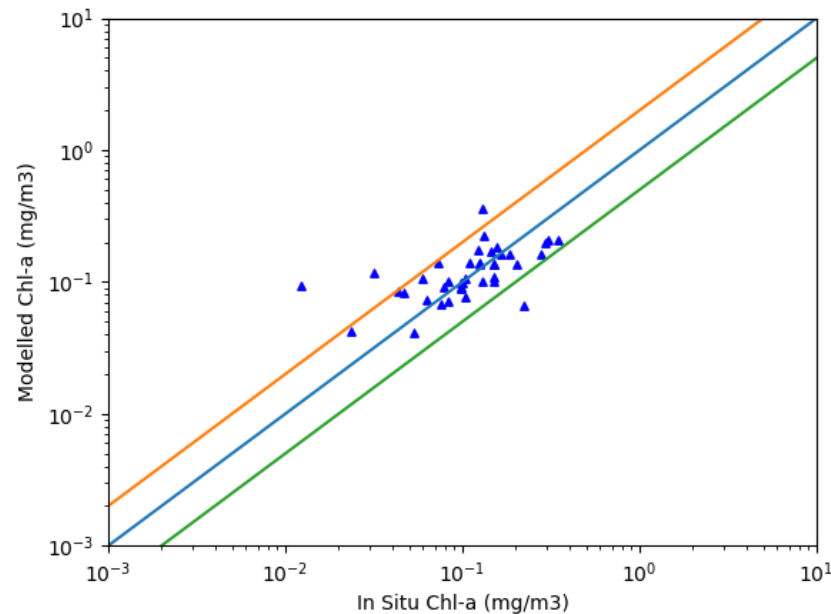
Παρατηρείται ότι οι υπάρχοντες τιμές που είναι έξω από τα όρια που ορίζονται από τις ευθείες 1:1 (μπλε γραμμή), 2:1 (πορτοκαλί γραμμή) και 1:2 (πράσινη γραμμή). Οι τιμές *in situ* κυμαίνονται από 0.02 mg/m³ έως και 0.34 mg/m³. Οι τιμές από τα δορυφορικά δεδομένα αντίστοιχα κυμαίνονται από 0.04 mg/m³ έως και 1.2 mg/m³.

Στατιστικός συντελεστής r^2 υπολογίστηκε με τιμή 0.13.

Αριθμός μετρήσεων: 42

Σύγκριση Δορυφορικών vs in situ δεδομένων

Sentinel-3 (NN)



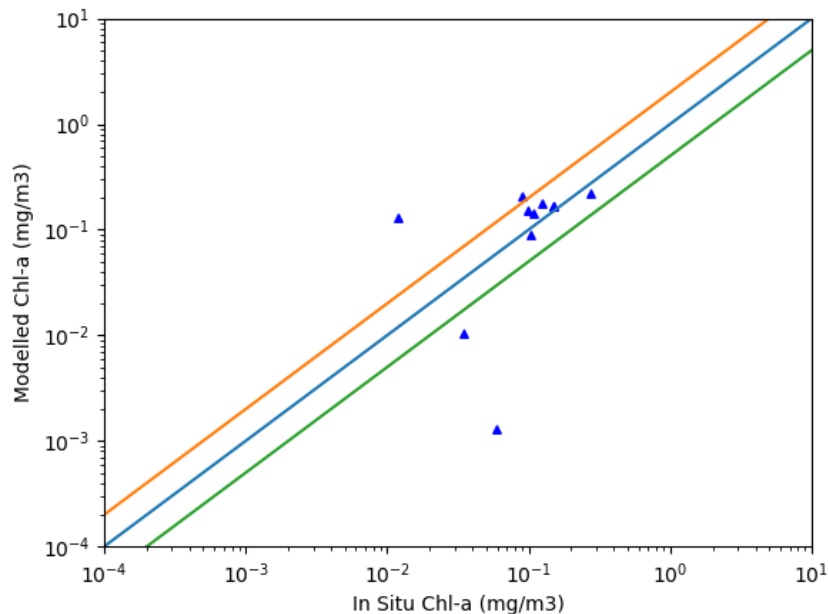
Παρατηρείται ότι οι περισσότερες τιμές είναι μέσα στα όρια που ορίζονται από τις ευθείες 1:1 (μπλε γραμμή), 2:1 (πορτοκαλί γραμμή) και 1:2 (πράσινη γραμμή) καθώς δύο τιμές είναι εκτός. Οι τιμές in situ κυμαίνονται από 0.01 mg/m³ έως και 0.34 mg/m³. Οι τιμές από τα δορυφορικά δεδομένα αντίστοιχα κυμαίνονται από 0.04 mg/m³ έως και 0.36 mg/m³.

Στατιστικός συντελεστής r^2 υπολογίστηκε με τιμή 0.28.

Αριθμός μετρήσεων: 42

Σύγκριση Δορυφορικών vs *in situ* δεδομένων

Sentinel-2 (C2RCC)



Παρατηρείται ότι σχεδόν όλες οι τιμές είναι μέσα στα όρια που ορίζονται από τις ευθείες 1:1 (μπλε γραμμή), 2:1 (πορτοκαλί γραμμή) και 1:2 (πράσινη γραμμή). Οι τιμές *in situ* κυμαίνονται από 0.01 mg/m³ έως και 0.27 mg/m³.

Στατιστικός συντελεστής r^2 υπολογίστηκε με τιμή 0.42

Αριθμός μετρήσεων: 10 σημεία

Βαθμονόμηση αλγορίθμων περιοχής μελέτης

Sentinel-3: Με την χρήση 42 μετρήσεων πεδίου οι νέοι συντελεστές του MedOC4 υπολογίζονται ως:

$$\text{MedOC4_S3: } C = 10^{(a_0 + a_1 * R + a_2 * R^2 + a_3 * R^3 + a_4 * R^4)}$$

- $\alpha_0 = -1.7$
- $\alpha_1 = 9.68$
- $\alpha_2 = -28.64$
- $\alpha_3 = 26.66$
- $\alpha_4 = -5.38$

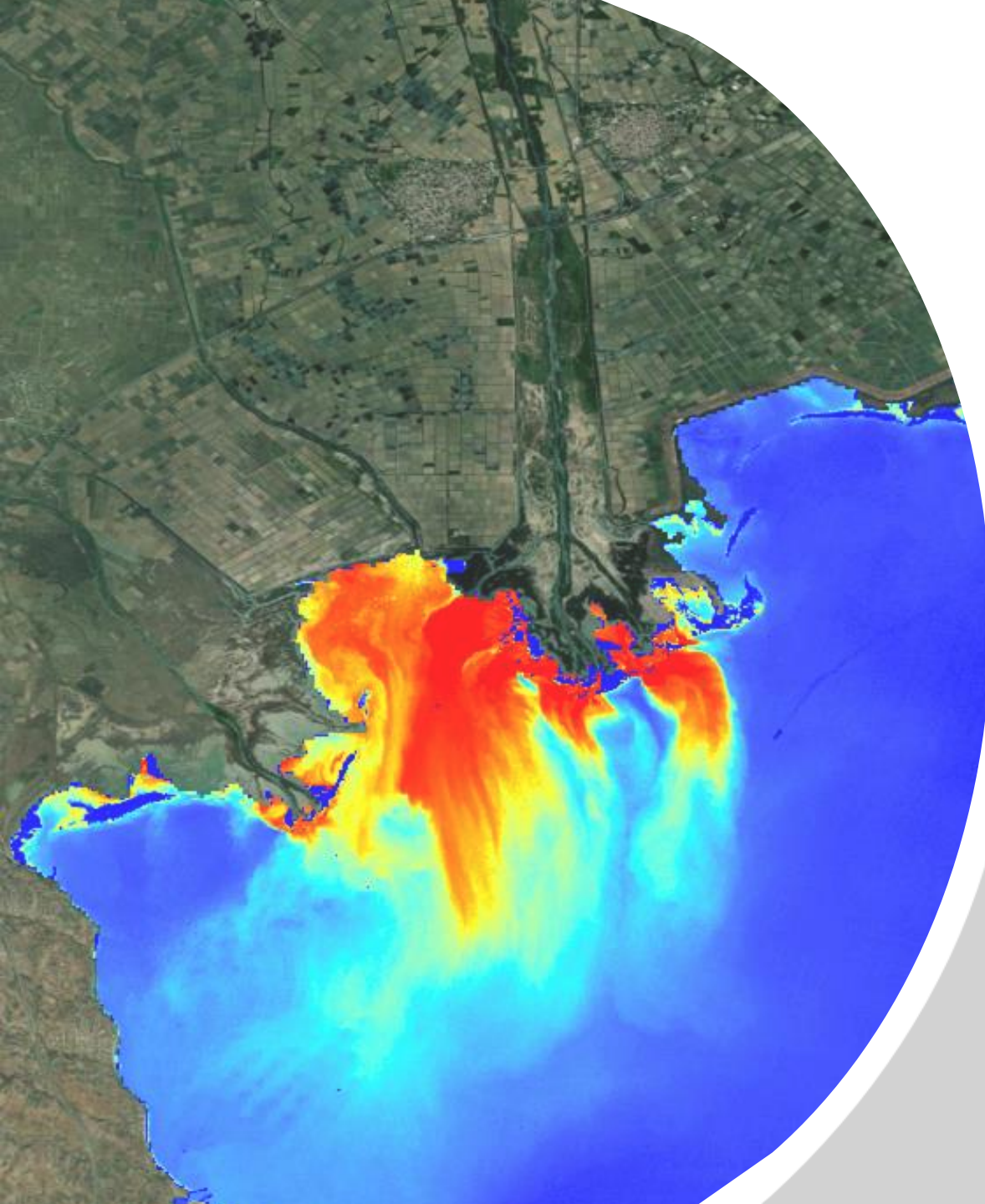
Sentinel-2: Απαιτούνται περισσότερες μετρήσεις πεδίου για αξιόπιστο αποτέλεσμα

Συμπεράσματα

- Η βαθμονόμηση εξειδικευμένων αλγόριθμων υπολογισμού χλωροφύλλης-α για της Ελληνικές θάλασσες, συμβάλει στην παραγωγή ακριβέστερης πληροφορίας.
- Εκσυγχρονισμός υπάρχουσας γνώσης, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε νέα προϊόντα και τεχνολογίες.
- Μέσω της πλατφόρμας του MARRE θα είναι δυνατή η εξωτερίκευση αυτών των υπηρεσιών προς την επιστημονική κοινότητα.

Επόμενα Βήματα

1. Χρησιμοποίηση περισσότερων σημείων *in situ* για τη σύγκριση και βαθμονόμηση νέων αλγορίθμων (κυρίως στην περίπτωση του Sentinel-2).
2. Δημιουργία χαρτών χλωροφύλλης-α με την εφαρμογή των βαθμονομημένων εξειδικευμένων αλγορίθμων.



MARINE
REMOTE SENSING
GROUP
DEPARTMENT OF MARINE SCIENCES
UNIVERSITY OF THE AEGEAN

Σας ευχαριστώ!

Ιωάννης Μουτζούρης-Σιδηρής
moutzouris@marine.aegean.gr