

ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Ι

Ιωάννης Δ. Τσακμάκης, Βασίλειος Μπέλλος

23 Μαΐου, 2024



Εισαγωγή

- Παρούσα Κατάσταση
- Άρδευση Ακριβείας
- Παράδειγμα Δικτυακής Εφαρμογής Άρδευσης Ακριβείας

Τρέχουσες Εξελίξεις

- ▶ Ο πληθυσμός στον πλανήτη εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 10 δισεκατομμύρια έως το 2050 (Godfray et al., 2010)
- ▶ Οι απαιτήσεις για τροφή το διάστημα αυτό αναμένεται να αυξηθούν κατά 50-100% (Giannakis et al., 2017)
- ▶ Ταυτόχρονα έως το 2030 η κατανάλωση του νερού πιστεύεται ότι θα αυξηθεί έως και 30% (Beddington, 2009)
- ▶ Σήμερα ο γεωργικός τομέας είναι υπεύθυνος για το 51,4% και 30% των συνολικών αντλήσεων φρέσκου νερού σε ΗΠΑ και Ευρώπη, αντίστοιχα (Kenny et al., 2009; EEA, 2017)
- ▶ Βάση της τελευταίας αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Θράκης, ο αγροτικός τομέας καταναλώνει ετησίως περίπου 941,4 hm³ (58,8%)



Η άρδευση στην Ελλάδα σήμερα



Υπόγεια Ύδατα

- ▶ Ιδιόκτητες γεωτρήσεις
- ▶ Κοινόχρηστες (Δημοτικές) γεωτρήσεις

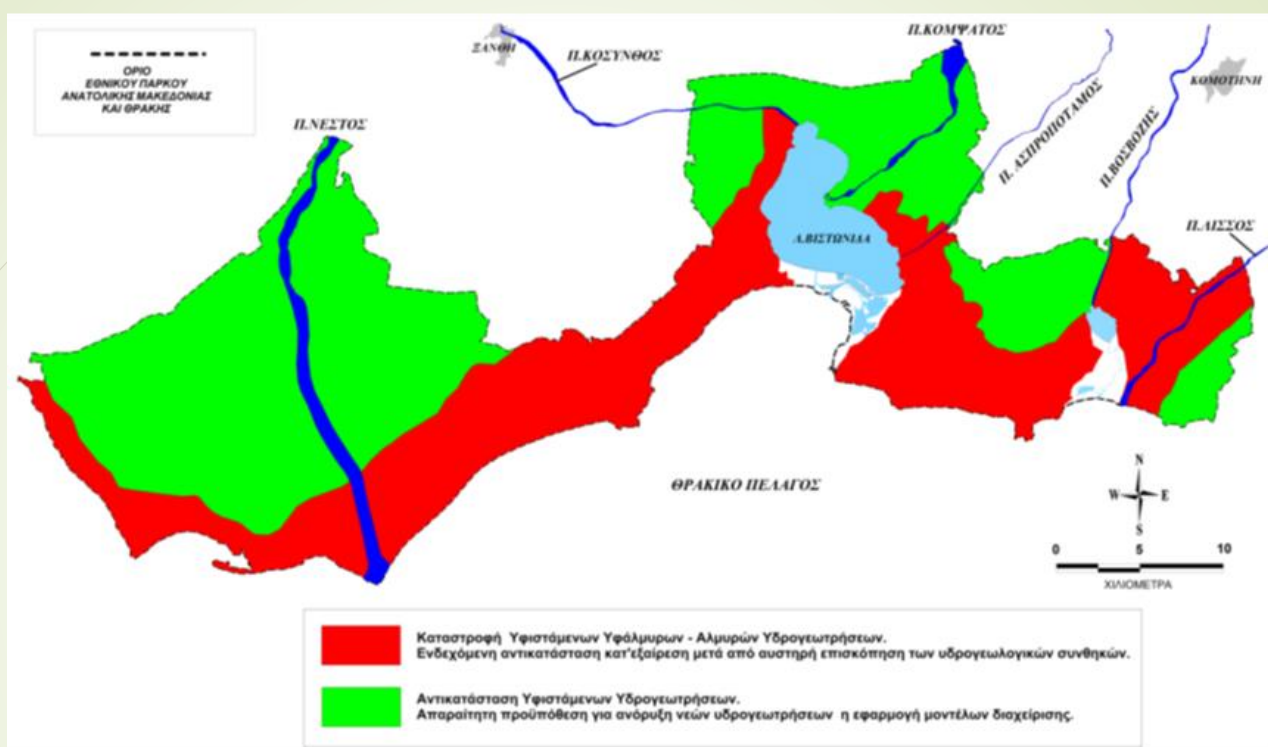
Επιφανειακά Ύδατα

- ▶ Άντληση από αρδευτικά κανάλια (π.χ., ΤΟΕΒ)
- ▶ Άντληση από εν γένει υφιστάμενα επιφανειακά ύδατα (ποτάμια, λίμνες)

Προσδιορισμός των αναγκών άρδευσης όπως ορίζονται στα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών

Καθαρές ετήσιες ανάγκες καλλιεργειών

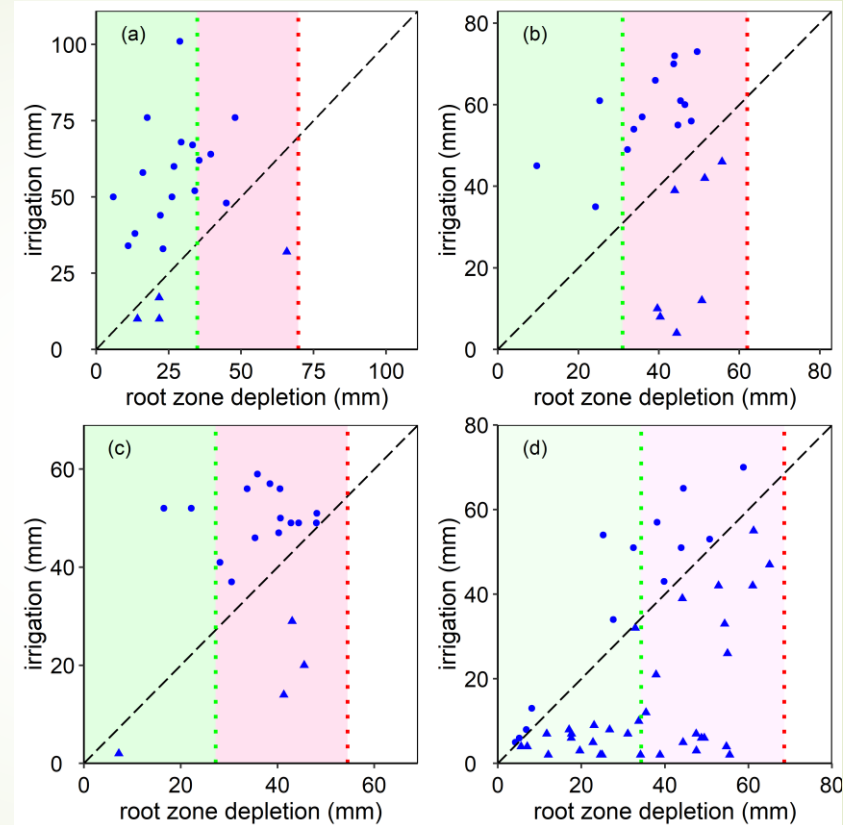
Φυτικός Συντελεστής K_c	Καλλιέργεια	Καθαρές Ετήσιες Ανάγκες (mm)
I, $k=0.55$	Ελιές, Αμπέλια	436, 264
II, $k=0.60$	Καπνός	427
III, $k=0.65$	Βαμβάκι, Όσπρια, Εσπεριδοειδή	469, 523, 480
IV, $k=0.7$	Ηλιάνθος, Πατάτες, Ζαχαρότευτλα	427, 469, 558
V, $k=0.78$	Σιτηρά, Αραβόσιτος	89, 535
VI, $k=0.80$	Τεχνητοί Υγρο-βιώτοποι	350
VII, $k=0.85$	Μηδική	741
VIII, $k=1.20$	Ρύζι	721



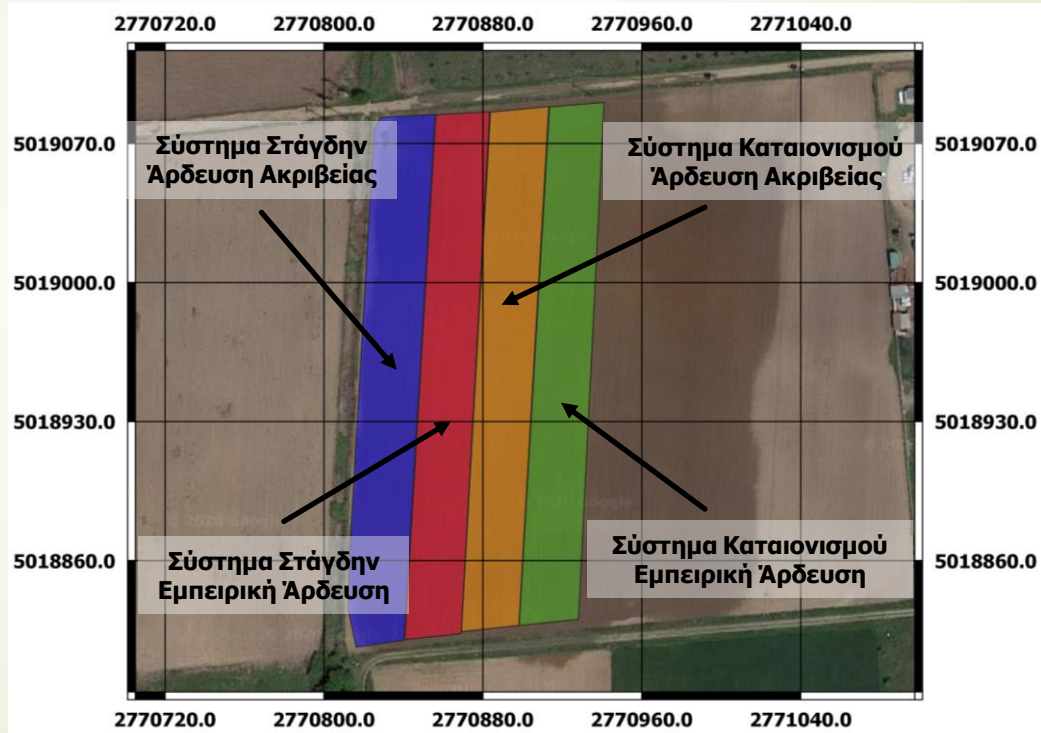
Ενδεικτικά αποτελέσματα της μακροχρόνιας υπερ-άντλησης υπογείων υδάτων

Αξιολόγηση των εμπειρικών αρδεύσεων: Περίπτωση μελέτης σε μηλεώνες

- Στην περίπτωση του πρώτου αρδευτικού τεμαχίου (a), εφαρμόστηκαν **συνολικά 1.093 mm**, εκ των οποίων τα **556 mm χάθηκαν** είτε ως **επιφανειακή απορροή** ή **βαθιά κατείσδυση** λόγω της **υπερ-άρδευσης**
- Στα υπόλοιπα αρδευτικά τεμάχια πάνω από το **50% των αρδεύσεων** κατέληξαν σε **υπερ-άρδευση** εφαρμόζοντας περίπου **300 mm πάνω από τις πραγματικές ανάγκες**, ποσότητα που αντιστοιχεί στο **15-30% του συνολικά αρδευόμενου νερού**.



Αξιολόγηση των εμπειρικών αρδεύσεων: Περίπτωση μελέτης σε βαμβάκι



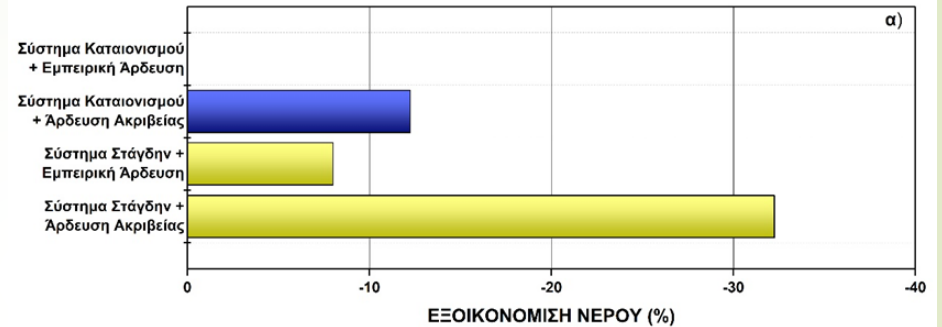
Αξιολόγηση των εμπειρικών αρδεύσεων:

- ▶ Η **μεγαλύτερη** ποσότητα νερού εφαρμόστηκε στην περίπτωση της **εμπειρικής** άρδευσης με **καταιονισμό**.
- ▶ Η εφαρμογή της **άρδευσης ακριβείας** σε συνδυασμό με το σύστημα **στάγδην** άρδευσης, πέτυχε τη **μεγαλύτερη** εξοικονόμηση νερού και την **υψηλότερη** παραγωγικότητα.

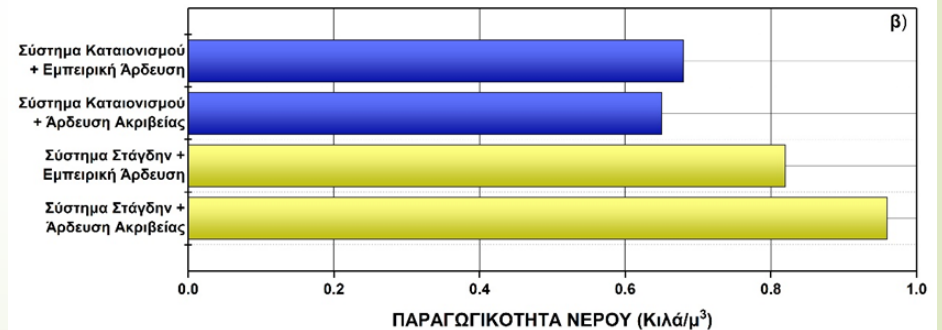
Διαχείριση	Αρδευόμενη Ποσότητα (mm)	Εξοικονόμηση Νερού (%)	Παραγωγικότητα Νερού (Κιλά/m ³)
Καταιονισμός + Εμπειρική Άρδευση	400	-	0.68
Καταιονισμός + Άρδευση Ακριβείας	351	12.25	0.74
Στάγδην + Εμπειρική Άρδευση	368	8.00	0.82
Στάγδην + Άρδευση Ακριβείας	271	32.00	0.96

Αξιολόγηση των εμπειρικών αρδεύσεων: Περίπτωση μελέτης σε βαμβάκι

Εικόνα α): Εξοικονόμηση αρδευτικού νερού στα διάφορα πειραματικά αγροτεμάχια σε σύγκριση με την ποσότητα αρδευτικού νερού που κατανάλωσε ο αγρότης



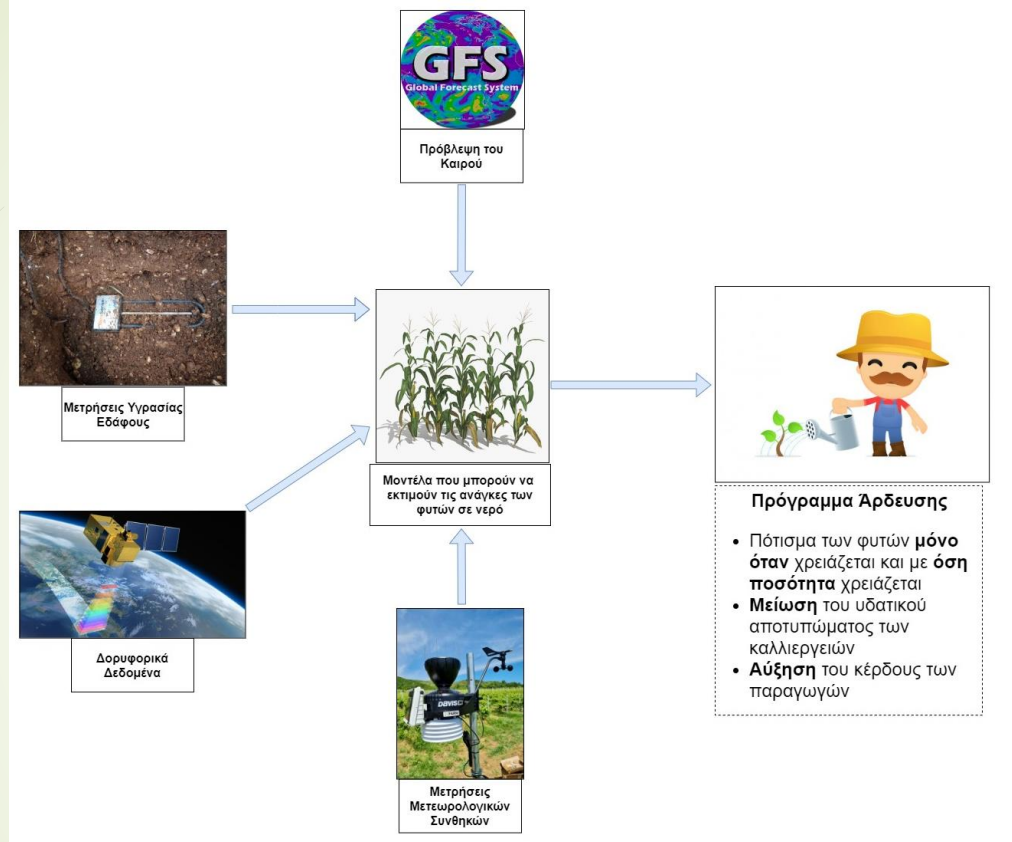
Εικόνα β): Παραγωγικότητα νερού (Κιλά/μ³) στις διάφορες διαχειρίσεις



Εισαγωγή στην Άρδευση Ακριβείας

- Η **Άρδευση Ακριβείας** εννοιολογικά εμφανίστηκε στη βιβλιογραφία τη δεκαετία του '90, ως βασικός άξονας της **Γεωργίας Ακριβείας**.
- Η **Άρδευση Ακριβείας** έχει οριστεί ως «η ορθή και ακριβής εφαρμογή νερού κατά τέτοιον τρόπο ώστε να καλύπτονται οι ακριβείς ανάγκες των ανεξάρτητων φυτών ή μονάδων διαχείρισης, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις αρνητικές συνέπειες προς το περιβάλλον» (Raine et al., 2007).





Απαραίτητα βήματα προς την Άρδευση Ακριβείας



Ενότητα 1

Παρακολούθηση
των φυτών

- Βλαστικοί Δείκτες
- Δορυφορικές Εικόνες
- ΣμηΕΑ



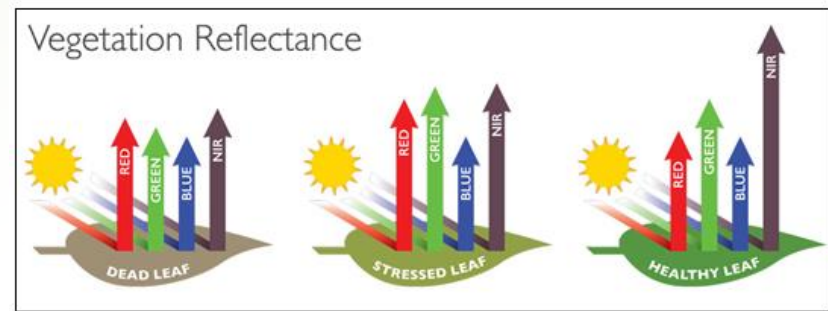


Βλαστικοί Δείκτες



Βλαστικοί Δείκτες (Vegetation Indices, VI)

- Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης η χλωροφύλλη που παράγουν τα φυτά απορροφά **κόκκινο** και **μπλε** φως από το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ενώ αντανακλά το μεγαλύτερο μέρος του φωτός που προέρχεται από το εγγύς υπέρθυρο.
- Ως βλαστικός δείκτης ορίζεται μία συνάρτηση της ανάκλασης του φωτός σε δύο ή περισσότερες φασματικές μπάντες.
- Σήμερα οι βλαστικοί δείκτες χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας ως μέσα για την αποτίμηση της υγείας κατάστασης των φυτών.

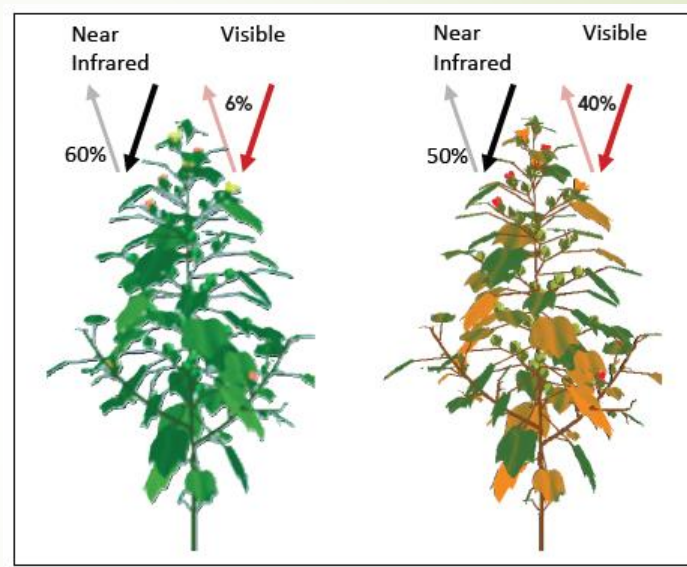


Δείκτης Βλαστικής Κανονικοποιημένης Διαφοράς Normalized Difference Vegetation Index, NDVI

- Ο δείκτης βλαστικής κανονικοποιημένης διαφοράς είναι ένας απλός γραφικός δείκτης ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εικόνες οι οποίες έχουν ληφθεί από εναέρια μέσα (π.χ., δορυφόροι, μη επανδρωμένα αεροσκάφη, κτλ.) για να εκτιμηθεί εάν σε μια περιοχή υπάρχει ζωντανή πράσινη βλάστηση.
- Ορίζεται ως:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

$$NDVI = \frac{Band8 - Band4}{Band8 + Band4}$$



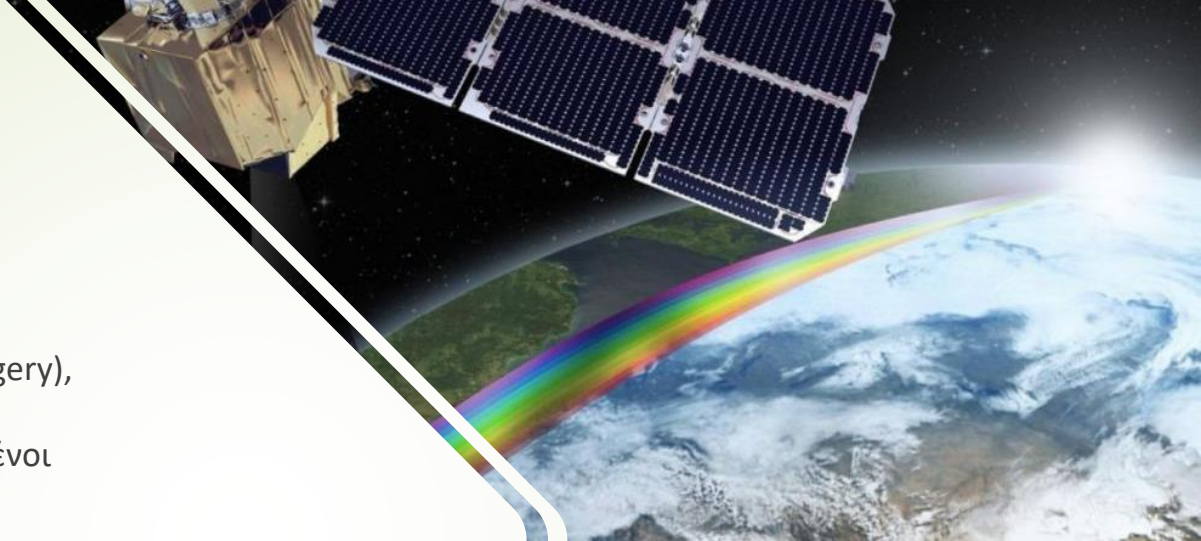


Δορυφορικές Εικόνες



Δορυφορικές Εικόνες

- ▶ Ως δορυφορικές εικόνες (satellite imagery), ορίζονται οι **απεικονίσεις** της γης από δορυφόρους οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με εξειδικευμένους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες (remote sensors).
- ▶ Αποτελούν ένα σύνολο ψηφιακών δεδομένων τα οποία παράγονται από τους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες, οι οποίοι καταγράφουν των αριθμό των φωτονίων τα οποία ανακλώνται ή εκπέμπονται από ένα κομμάτι εδάφους.



Δορυφορικές Εικόνες

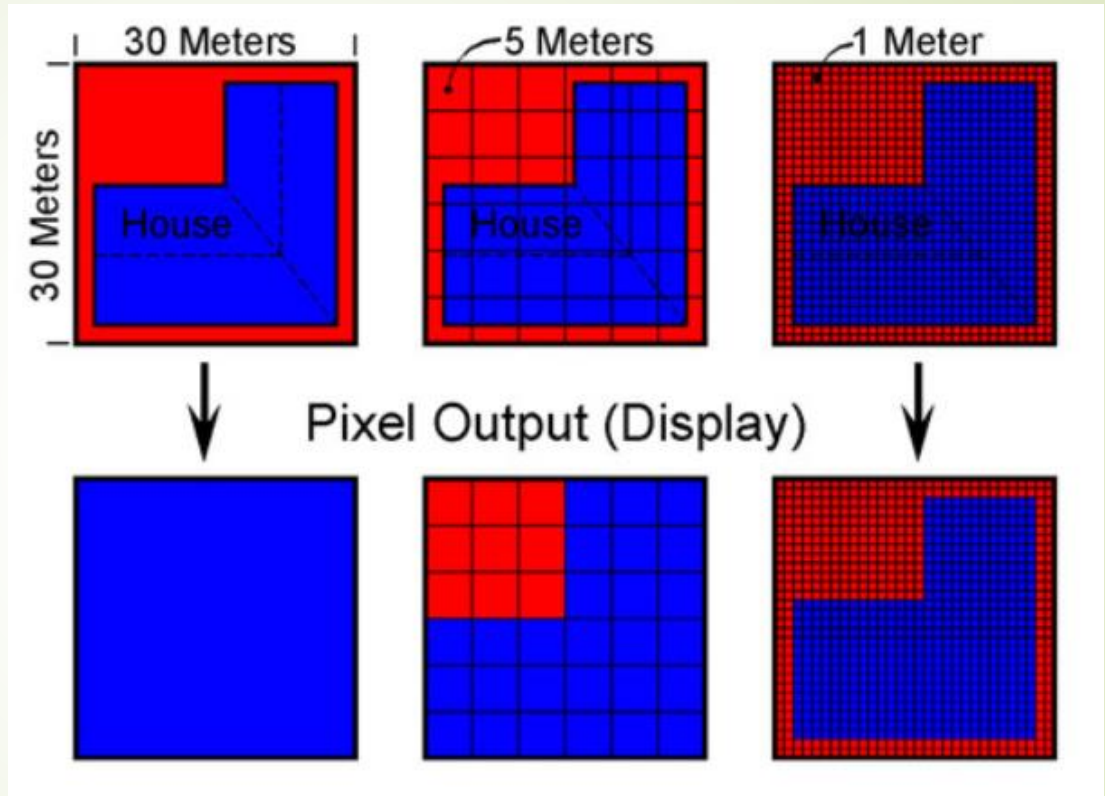
- Το κάθε κομμάτι εδάφους που ανακλά/εκπέμπει φωτόνια αντιστοιχεί σε ένα εικονοστοιχείο (pixel) και το μέγεθος του δύναται να διαφέρει σημαντικά, ανάλογα με τις δυνατότητες των οργάνων που φέρει ο ενίστε δορυφόρος (π.χ. 10×10 μ, 1×1 χιλ., κτλ).
- Μια δορυφορική εικόνα μπορεί να αποτελείται από ένα σύνολο εικονοστοιχείων.
- Κάθε εικονοστοιχείο αναπαριστά τη φωτεινότητα στο έδαφος, η οποία είναι καταγεγραμμένη με έναν αριθμό, διαφορετικό για κάθε μήκος κύματος (δίαυλο – band)



Χαρακτηρίστηκα δορυφορικών εικόνων

Χωρική Ανάλυση (Spatial Resolution)

Προσδιορίζει το **μέγεθος των pixels** των δορυφορικών εικόνων που καλύπτουν την επιφάνεια της γης



Χαρακτηριστικά δορυφορικών εικόνων

Συχνότητα κάλυψης (Temporal Resolution)

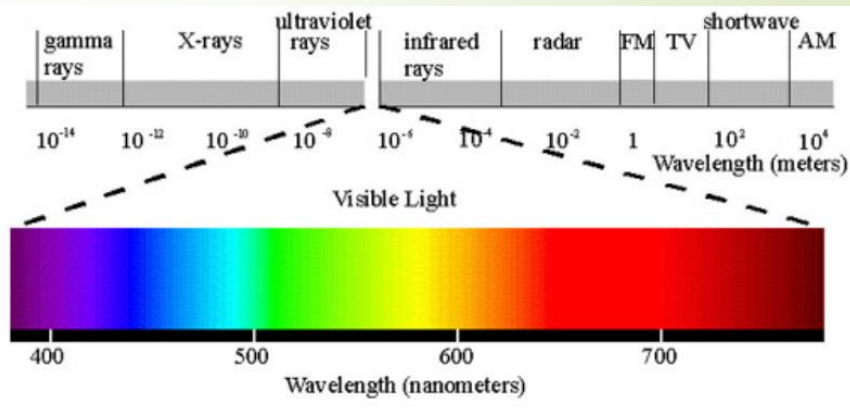
Προσδιορίζει τη συχνότητα που **καταγράφει** ένας δορυφόρος **μία συγκεκριμένη τοποθεσία**

- Υψηλή συχνότητα κάλυψης : < 24 ώρες - 3 μέρες
- Μέτρια συχνότητα κάλυψης : 4 - 16 μέρες
- Χαμηλή συχνότητα κάλυψης : > 16 μέρες

Φασματική ανάλυση (Spectral Resolution)

Προσδιορίζει τον **αριθμό των φασματικών ζωνών** στις οποίες ο αισθητήρας μπορεί να συλλέξει την **ανακλώμενη ακτινοβολία**

- Υψηλή φασματική ανάλυση: 15 - 220 bands
- Μέτρια φασματική ανάλυση: 3 - 15 bands
- Χαμηλή φασματική ανάλυση: 1 - 3 bands



Δορυφόροι που χρησιμοποιούνται για τη λήψη δορυφορικών εικόνων

LANDSAT 8 (15m)
1972 - Σήμερα



IKONOS (0.82m)
1999 - Σήμερα



KOMPSAT-3A (0.55m)
1999 - Σήμερα



QuickBird (0.61m)
2001 - Σήμερα



WorldView-4 (0.31m)
2007 - Σήμερα



Sentinel-2A (10m)
2015 - Σήμερα



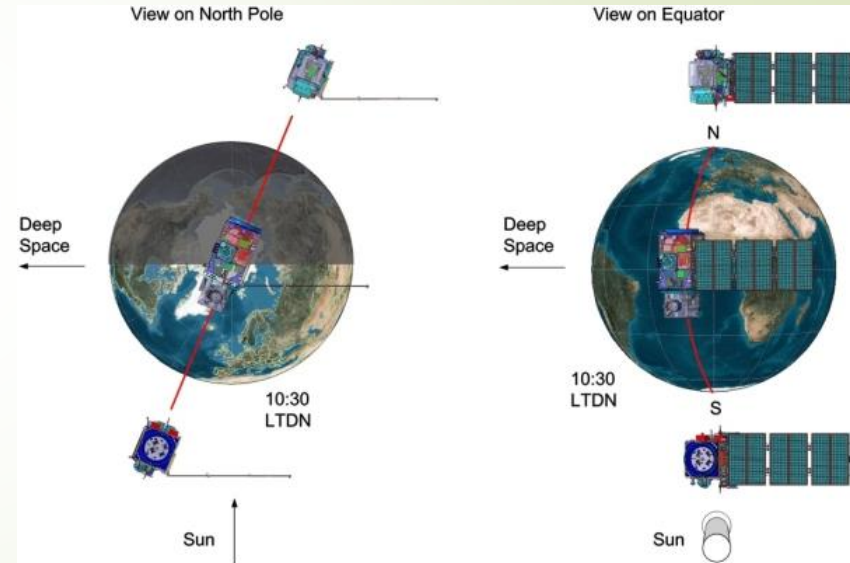


Αποστολή Sentinel 2



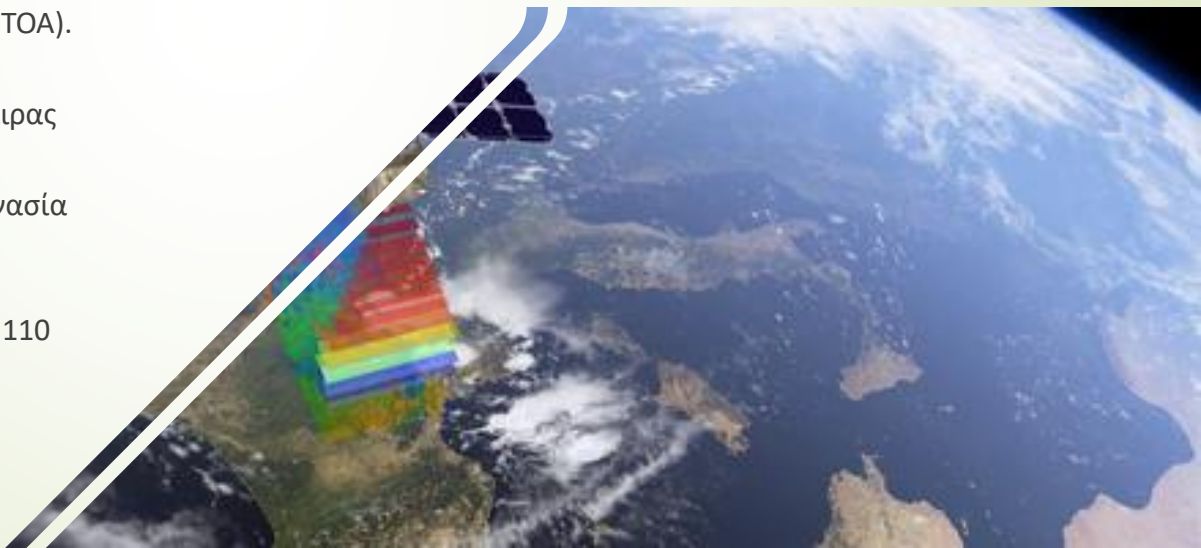
Αποστολή Sentinel 2


- ▶ Η αποστολή Sentinel 2 τέθηκε σε τροχιά στο πλαίσιο του προγράμματος Κοπέρνικος (Copernicus Programme) το οποίο υλοποιείται με την από κοινού συνεργασία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission EC) και της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας (European Space Agency ESA), με στόχο την παρακολούθηση της επιφάνειας της γης (έδαφος, παράκτιες περιοχές).
- ▶ Η αποστολή αποτελείται από ένα σχηματισμό δύο δορυφόρων (Sentinel-2A S2A εκτοξεύτηκε στις 23 Ιουνίου 2015· Sentinel-2B S2B εκτοξεύτηκε στις 7 Μαρτίου 2017), οι οποίοι βρίσκονται σε πολική τροχιά, τοποθετημένοι στην ίδια ήλιο-σύγχρονη τροχιά, με διαφορά φάσης μεταξύ τους 180° .
- ▶ Σε κάθε περιστροφή οι δορυφόροι σαρώνουν μία λωρίδα γήινης επιφάνειας πλάτους 290 km, στα γεωγραφικά πλάτη από 56° νότια έως 84° βόρεια, με μέσο χρόνο επανα-επισκεψιμότητας 5 ημέρες στην περιοχή του ισημερινού.
- ▶ Σε κάθε δορυφόρο της αποστολής είναι τοποθετημένος ένας πολυφασματικός αισθητήρας (Multispectral Instrument, MSI).



Αποστολή Sentinel 2

- Από τον Μάρτιο του 2018 η αποστολή διαθέτει ελεύθερα στους ενδιαφερόμενους χρήστες τα προϊόντα επιπέδου L1C και L2A
- Το προϊόν L1C αφορά την ανάκλαση της ακτινοβολίας στο επάνω μέρος της ατμόσφαιρας της γης (Top Of Atmosphere, TOA).
- Το προϊόν L2A αφορά την ανάκλαση της ακτινοβολίας στο κάτω μέρος της ατμόσφαιρας (Bottom of Atmosphere, BOA).
- Το προϊόν L2A προκύπτει μετά από επεξεργασία του προϊόντος L1C από εξειδικευμένους αλγορίθμους.
- Κάθε προϊόν καλύπτει μία έκταση περίπου 110×110 km ($\sim 1^\circ \times 1^\circ$).





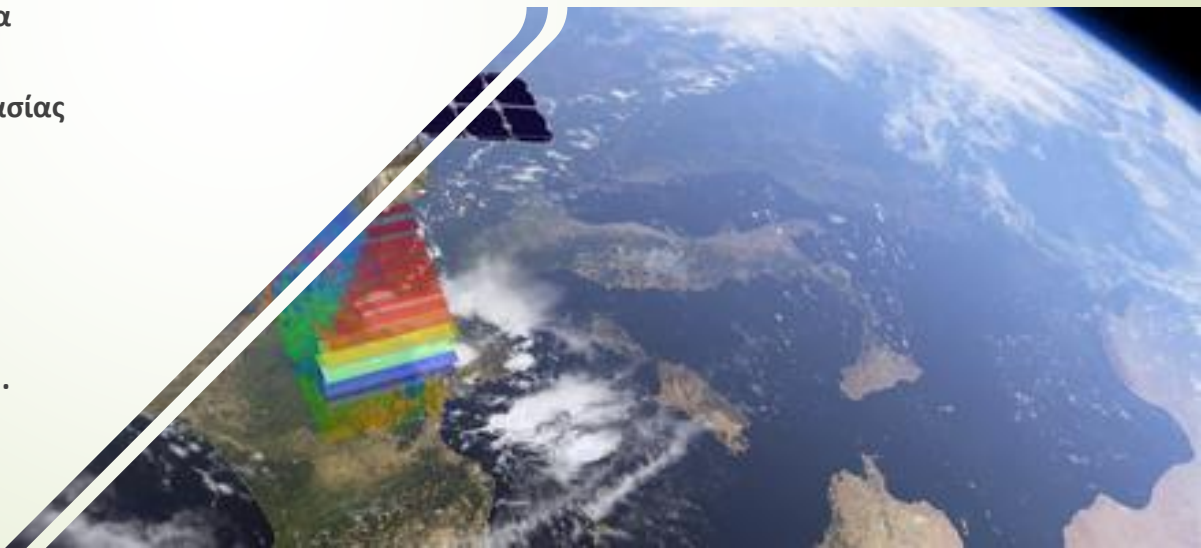
Λίστα με τις
μπάντες του
πολυφασματικού
αισθητήρα

Sentinel 2	wavelength (micrometres)	Resolution (meters)
Band 1 (coastal aerosol)	0.44	60
Band 2 (Blue)	0.49	10
Band 3 (Green)	0.56	10
Band 4 (Red)	0.66	10
Band 5 (Red Edge 1)	0.70	20
Band 6 (Red Edge 2)	0.74	20
Band 7 (Red Edge 3)	0.78	20
Band 8 (NIR)	0.83	10
Band 8A (NIR Vapor)	0.86	20
Band 9 (Water Vapor)	0.94	60
Band 10 (SWIR-Cirrus)	1.37	60
Band 11 (SWIR-1)	1.61	20
Band 12 (SWIR-2)	2.20	20

Κανόνες ονοματοθεσίας των προϊόντων της αποστολής Sentinel 2

- **MMM**: είναι το όνομα ταυτοποίησης του δορυφόρου (S2A/S2B).
- **MSIXXX**: MSIL1C υποδηλώνει τα προϊόντα επιπέδου 1C, ενώ το MSIL2A τα προϊόντα επιπέδου 2A.
- **YYYYMMDDHHMMSS**: Η ημερομηνία και ώρα όπου έγινε η λήψη της εικόνας .
- **Nxxxx**: Ο αριθμός βασικής γραμμής επεξεργασίας του ωφέλιμου φορτίου δεδομένων από το υπεύθυνο τμήμα (στη γη).
- **ROOO**: Ο αριθμός της σχετικής τροχιάς του δορυφόρου (R001 – R143).
- **Txxxxx**: Ονομασία πλακιδίου (tile/granule).
- **SAFE**: Η διαμόρφωση του προϊόντος (format).

**MMM_MSIXXX_YYYYMMDDHHMMSS_Nxxxx
_ROOO_Txxxxx_<Product Discriminator>.SAFE**

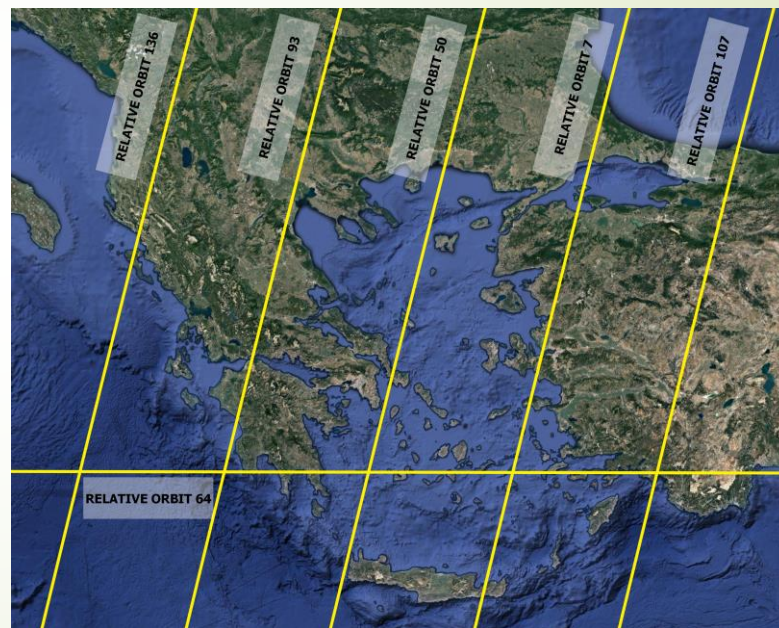


Σχετικές τροχιές του Sentinel 2: R000

Η αποστολή Sentinel 2 σαρώνει την επιφάνεια της γης ακολουθώντας 143 σχετικές τροχιές

Οι σχετικές τροχιές οι οποίες παράγουν προϊόντα τα οποία αφορούν τα γεωγραφικά πλάτη και μήκη της Ελλάδας είναι:

- Η σχετική τροχιά R064
- Η σχετική τροχιά R136
- Η σχετική τροχιά R093
- Η σχετική τροχιά R050
- Η σχετική τροχιά R007
- Η σχετική τροχιά R107



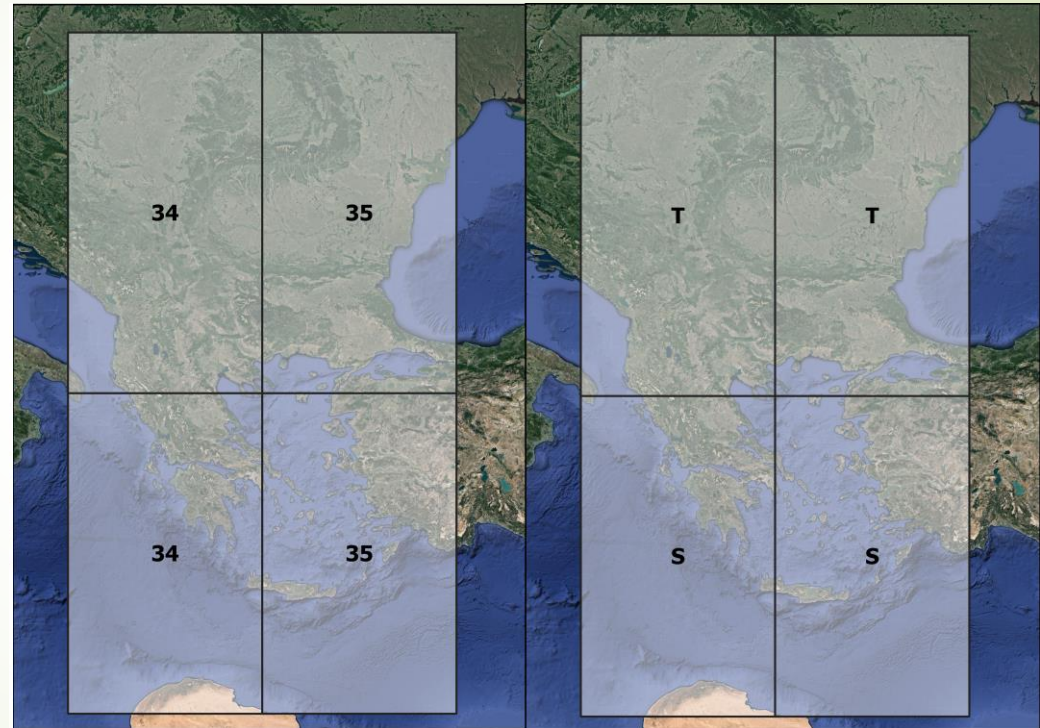
Αριθμός Πλακιδίου: Txxxxx Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM)

Το σύστημα ονοματοθεσίας των προϊόντων της αποστολής Sentinel 2 βασίζεται στο γεωδαιτικό προβολικό σύστημα της UTM.

Από Ανατολή προς Δύση το διεθνές σφαιροειδές διαιρείται σε 60 μεσημβρινές ζώνες των 6°.

Με αρχή τον Ισημερινό, το σφαιροειδές, διαιρείται σε 10 ζώνες σταθερού πλάτους των 8° έως τον νότιο παράλληλο των 80° (C-M), σε 9 ζώνες των 8° έως των βόρειο παράλληλο των 72° (N-W) και μία ζώνη των 12° μεταξύ 72° και 84° βόρειο παράλληλου (X).

Ο Ελλαδικός χώρος εμπίπτει στις μεσημβρινές ζώνες 34-35 και στις παράλληλες ζώνες S-T (T34Txx, T35Txx, T34Sxx, T35Sxx).



Αριθμός Πλακιδίου: Txxxxx Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM)

Οι αρχικές ζώνες του UTM διαιρούνται σε επιμέρους ορθό-εικόνες (tiles/granules) και προβάλλονται με το σύστημα UTM/WGS84 .

Η χωρική ανάλυση των tiles είναι ίση με 100×100 χλμ.

Μεταξύ των επί μέρους tiles υπάρχει αλληλοεπικάλυψη 10 χλμ.

Το πέμπτο σύμβολο στο όνομα κάθε tile αντιστοιχεί στην στήλη που αυτό βρίσκεται π.χ. 34S**B**J.

Το έκτο σύμβολο στο όνομα κάθε ορθό-εικόνας αντιστοιχεί στην γραμμή που αυτό βρίσκεται π.χ. 34S**B**J



Αλληλοεπικαλύψεις ορθό- εικόνων

Λόγω των σχετικών τροχιών της αποστολής Sentinel 2 και της προβολής των δορυφορικών εικόνων ως ορθό-εικόνες, υπάρχουν περιπτώσεις όπου περιοχές του διεθνούς σφαιροειδούς αλληλεπικαλύπτονται.

Για παράδειγμα, η περιοχή μεταξύ ποταμού Νέστου και της λίμνης Βόλβης καλύπτεται από τα προϊόντα **T34TGL** και **T35TKF**.

Για την καλύτερη και αξιόπιστη σύγκριση των δεδομένων μεταξύ δορυφορικών εικόνων που έχουν ληφθεί διαφορετικές χρονικές στιγμές (χρονοσειρές), προτείνεται η σύγκριση να γίνεται σε δεδομένα των ίδιων προϊόντων.





**Συστήματα Μη Επανδρωμένων
Αεροσκαφών**

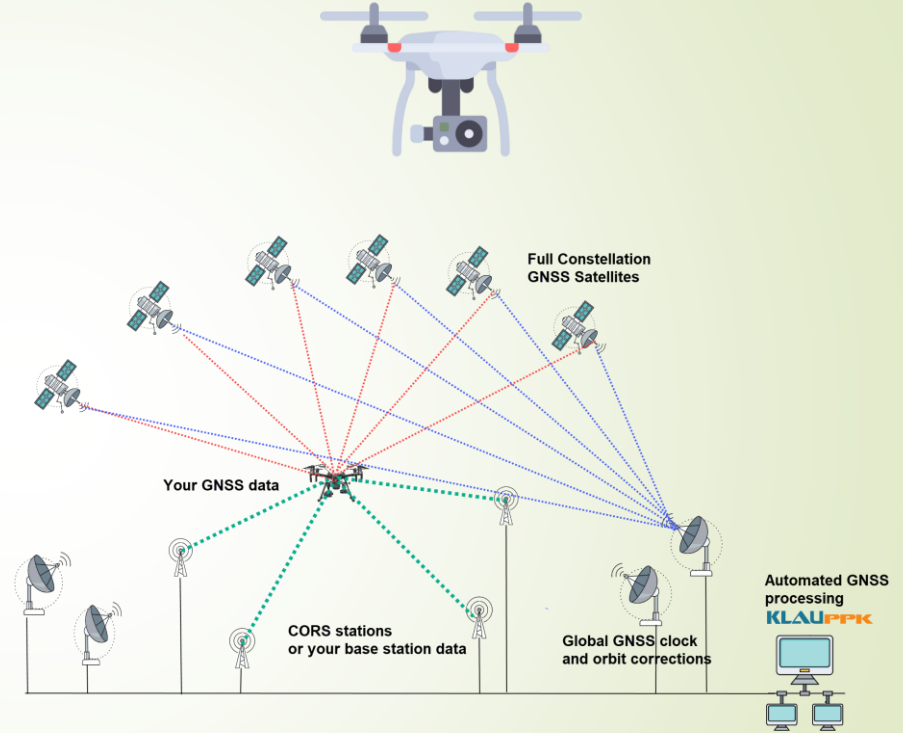


Πολυφασματικές κάμερες τοποθετημένες σε συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκάφων

Οι πολυφασματικές κάμερες μπορούν να τραβήξουν εικόνες σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, στο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, π.χ., στην περιοχή του κοκκίνου και του εγγύς υπέρυθρου.

Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες των συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκάφων (ΣμηΕΑ) και πιο συγκεκριμένα η ενσωμάτωση στα ΣμηΕΑ του Global Navigation Satellite System (GNSS), κάνουν εφικτή τη δημιουργία και εκτέλεση αποστολών πτήσης υπό την επιτήρηση του χειριστή.

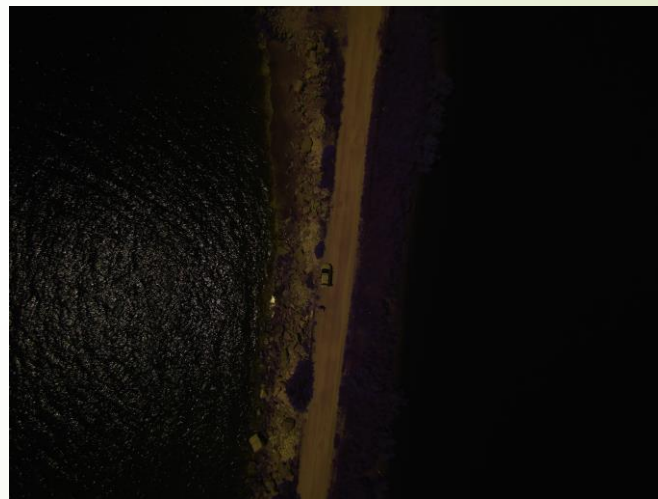
Με τη χρήση λογισμικών φωτογραμμετρίας (π.χ., Agisoft, Pix4D), οι εικόνες από την επισκόπηση των αγρών μετατρέπονται σε ορθό-χάρτες με ανάλυση εικονοστοιχείου έως και μερικά εκατοστά (εξαρτάται από το ύψος πτήσης και τον φακό της κάμερας)



Παραδείγματα εικόνων πολυφασματικής κάμερας



Στόχος βαθμονόμησης



Αβαθμονόμιτη εικόνα



Παραδείγματα εικόνων πολυφασματικής κάμερας



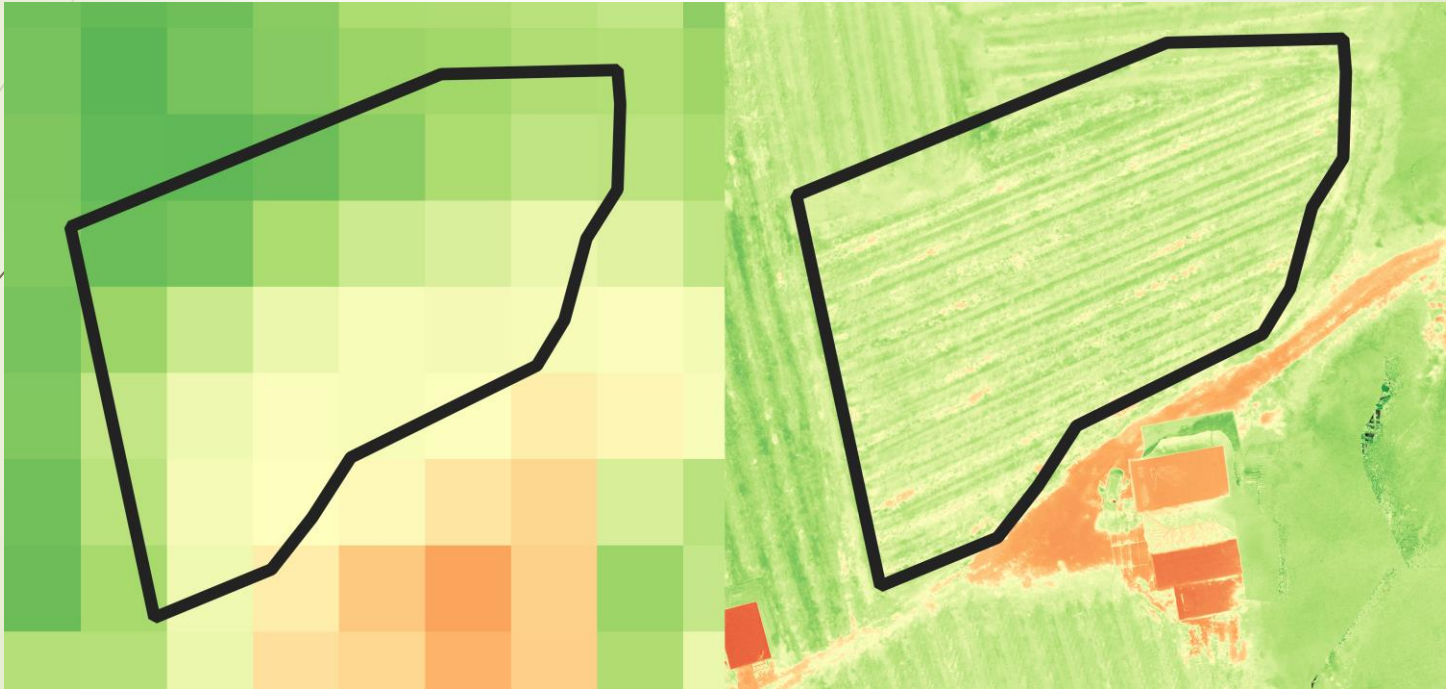
Βαθμονομιμένη εικόνα



Παραδείγματα χαρτών NDVI

Sentinel 2 grid 10×10m

ΣμηΕΑ grid 7×7 cm






Ενότητα 2

Παρακολούθηση
υγρασίας εδάφους –
κατανάλωσης νερού

- Τηλεμετρία και
συννεφα
αποθήκευσης
δεδομένων
- Αισθητήρες
υγρασίας εδάφους
- Τηλεμετρικά
Υδρομετρα



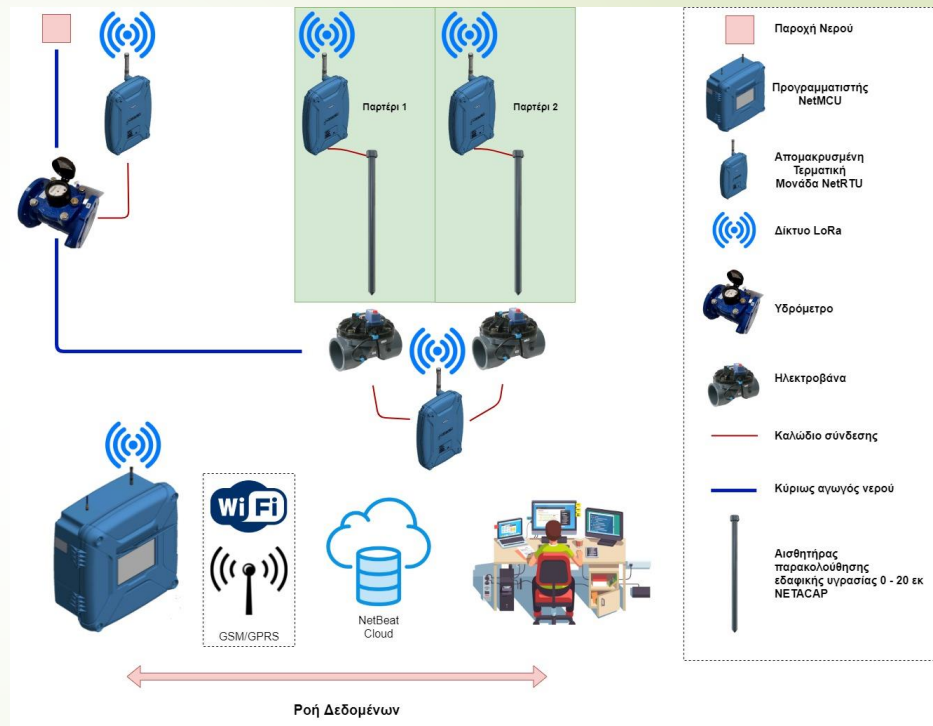


**Συστήματα καταγραφής
δεδομένων πεδίου**

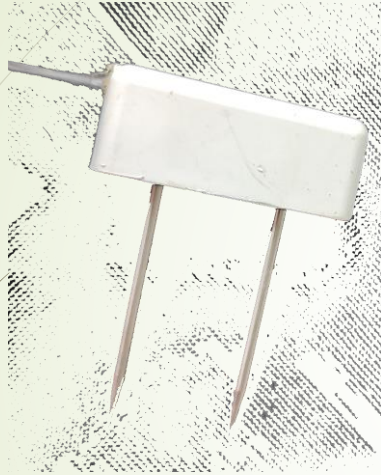


Τηλεμετρία και νέφη αποθήκευσης δεδομένων (cloud)

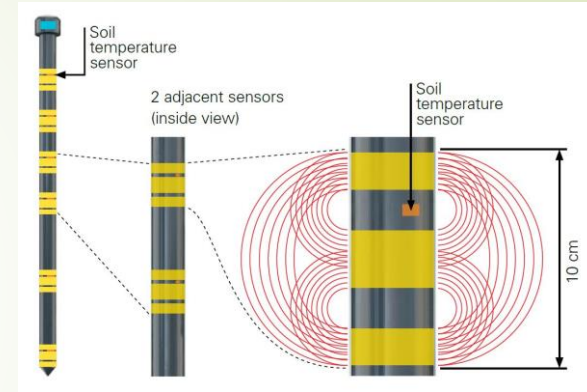
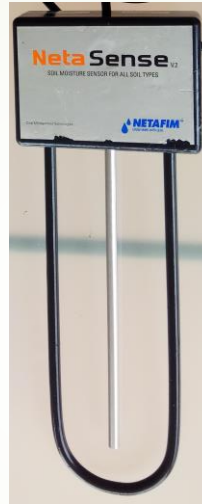
- Τα πρόσφατα επιτεύγματα στον τομέα των δικτύων επιτρέπουν σήμερα τη σχεδόν σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση των συνθηκών που επικρατούν στον αγρό.
- Τα συστήματα αυτά αποτελούνται συνήθως από:
- μία πύλη η οποία έχει τη δυνατότητα να αποστέλλει και να αποθηκεύει τα δεδομένα σε cloud
- τερματικές απομακρυσμένες μονάδες ελέγχου, οι οποίες επικοινωνούν με τη πύλη ασύρματα. Στις μονάδες αυτές συνδέονται ενσύρματα μια σειρά από αισθητήρες και όργανα (π.χ. αισθητήρες υγρασίας, αισθητήρες πίεσης, υδρόμετρα, ηλεκτροβάνες, κτλ.)
- νέφος δεδομένων, όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται και είναι διαθέσιμα στους ενδιαφερόμενους μέσω έξυπνων συσκευών (H/Y, smartphones, tablets, κτλ.)
- Διαδικτυακές εφαρμογές ή εφαρμογές κινητών για την εύκολη πρόσβαση, επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων



Αισθητήρες υγρασίας



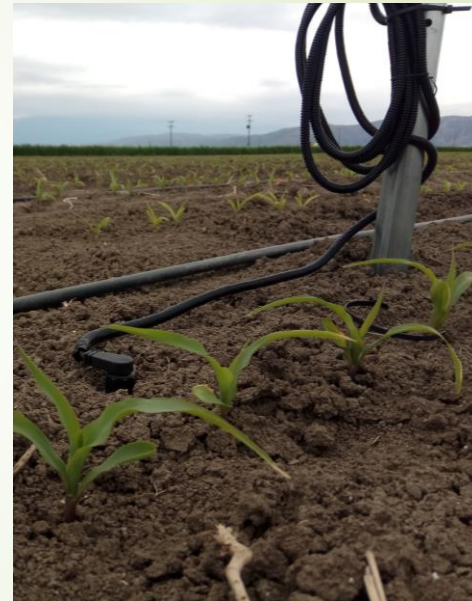
Σημιακή Μέτρηση



Συστοιχία Αισθητήρων



Αισθητήρες υγρασίας



Υδρόμετρο σε αμπελώνες





Παράδειγμα Δικτυακής Εφαρμογής Άρδευσης Ακριβείας

Μετάβαση στο διαδύκτιο





Ευχαριστώ πολύ!!!

