Έδαφος και αγροοικοσυστήματα:

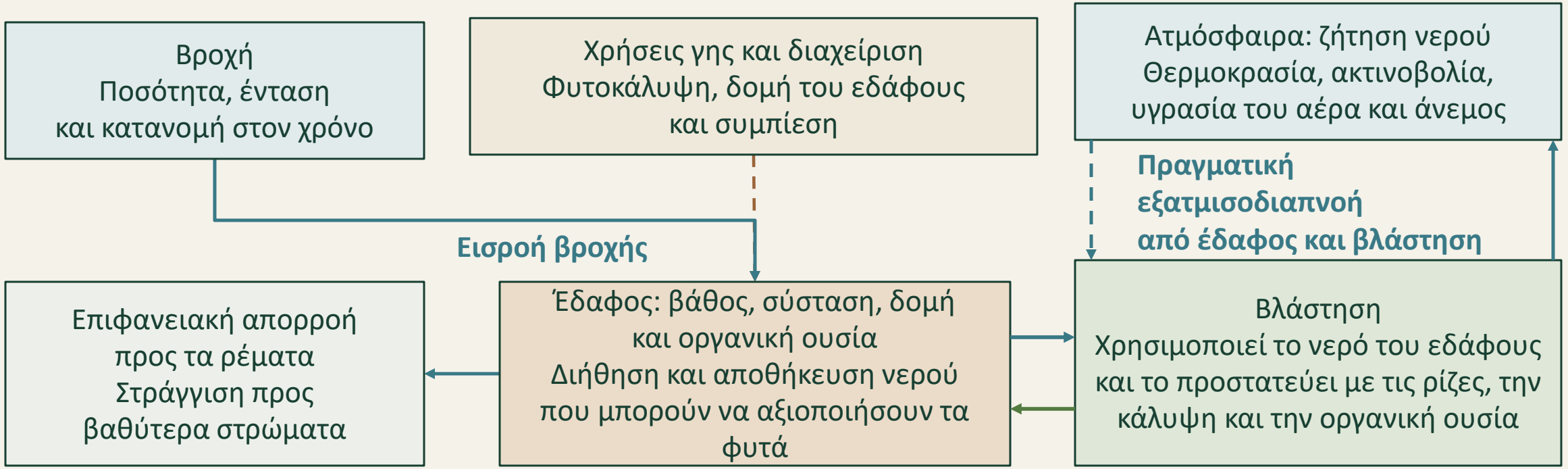
προοπτικές για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας

Δρ. Κωνσταντίνος Σούλης

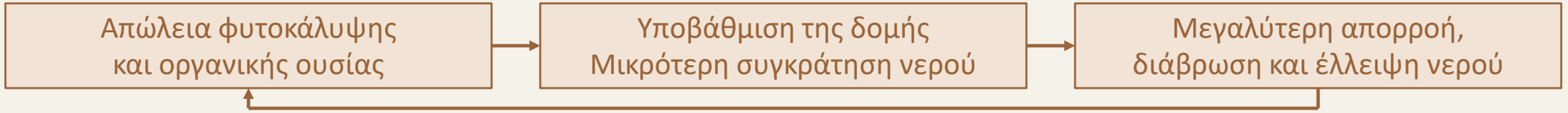
Αναπληρωτής καθηγητής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας

Αθήνα, 21 Οκτωβρίου 2026

Έδαφος, νερό, καιρός, κλίμα και βλάστηση



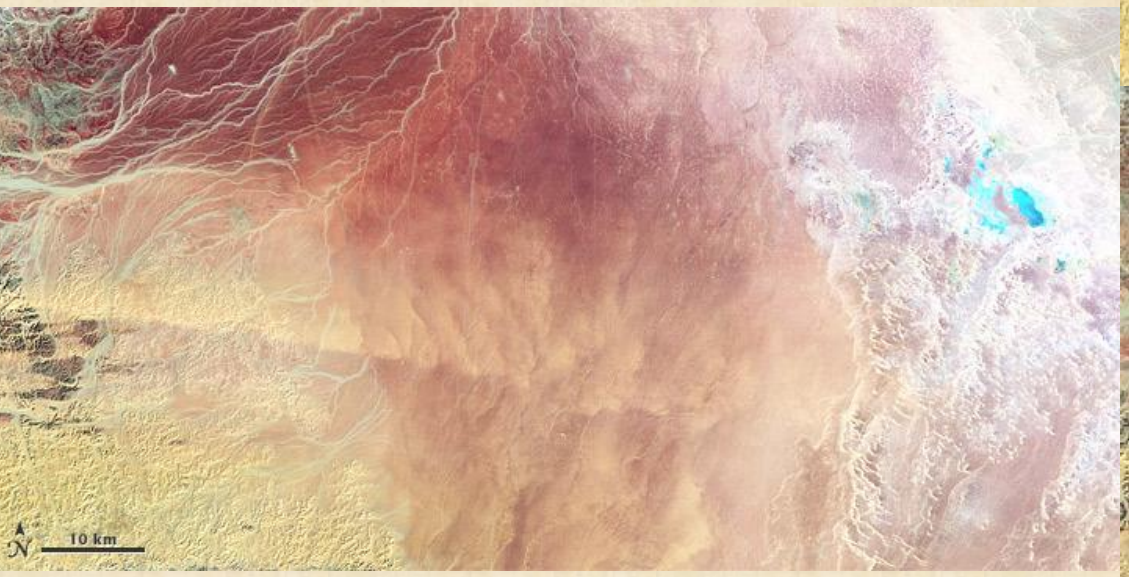
Η υποβάθμιση μπορεί να μειώνει την παραγωγικότητα και να δυσκολεύει την ανάκαμψη

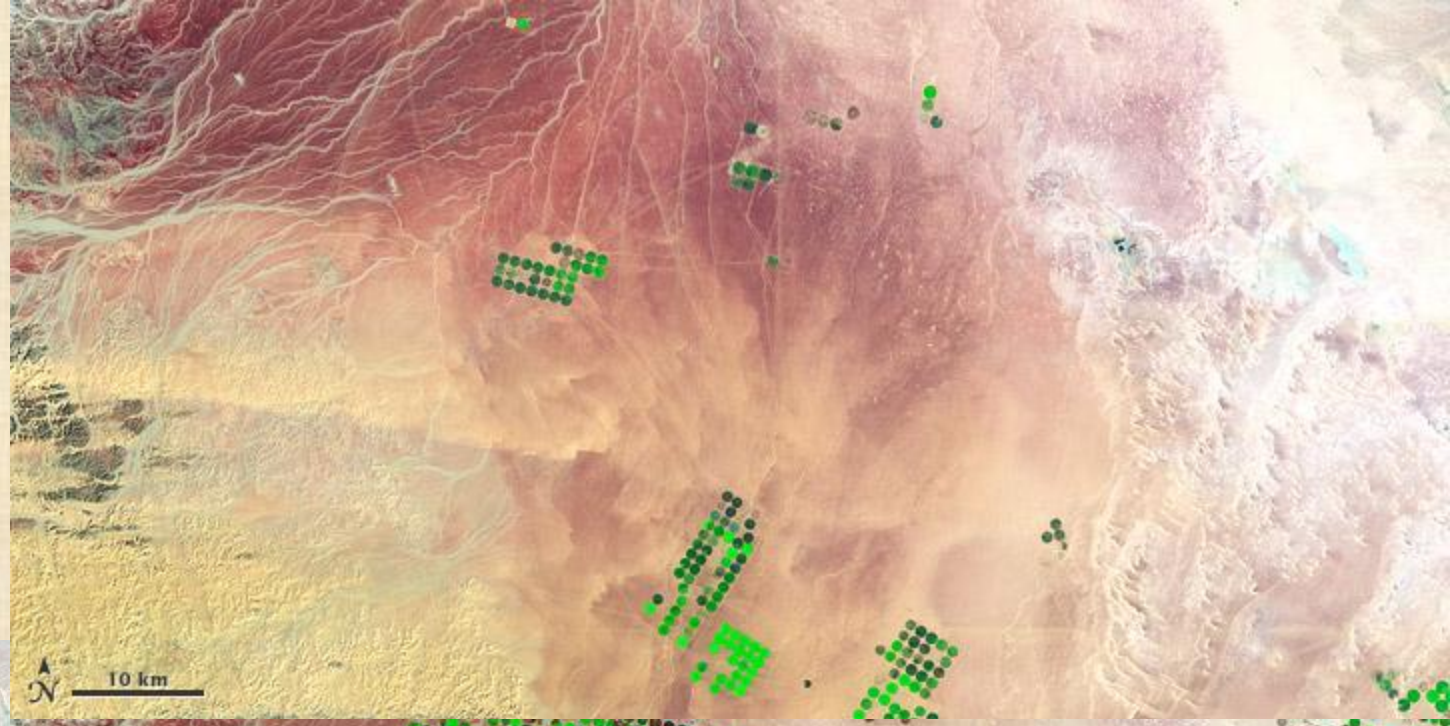


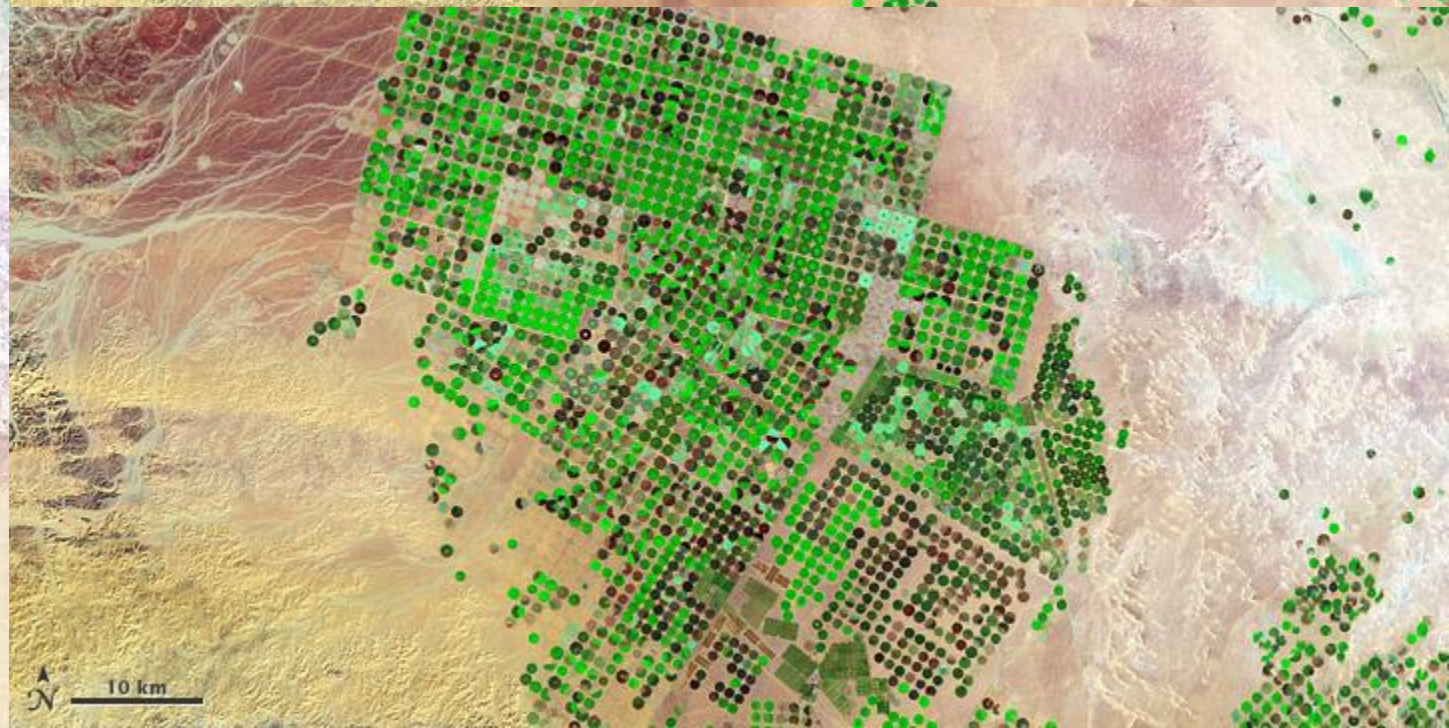
Ερημοποίηση: υποβάθμιση της γης στις ξηρές, ημίξηρες και ύφυγρες περιοχές, λόγω κλιματικών μεταβολών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων (UNCCD)

Σαουδική Αραβία

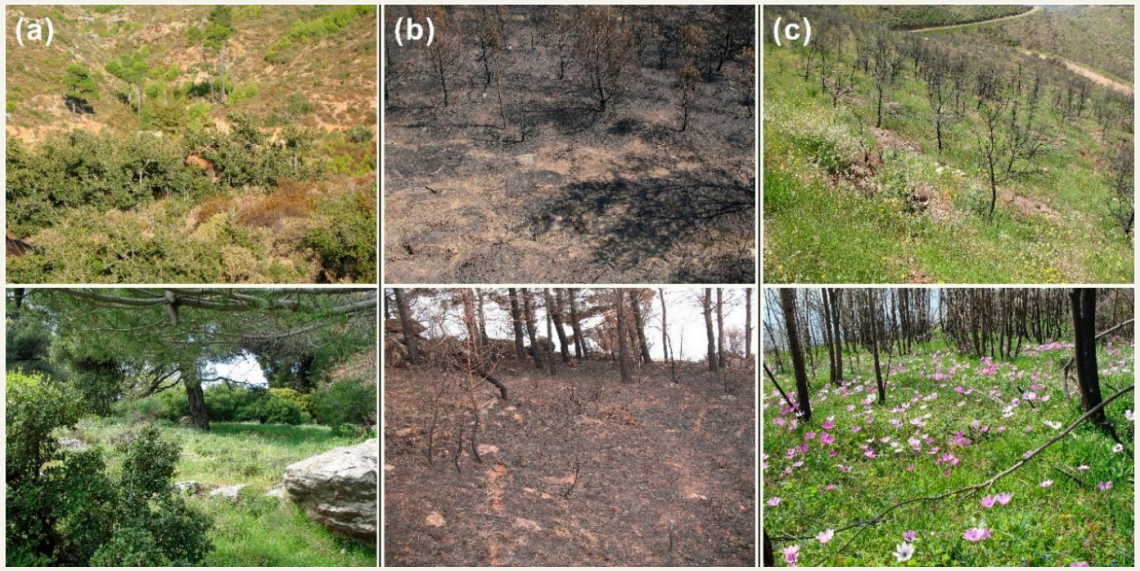
(εικόνες σε διάστημα 30 ετών)







Ένα παράδειγμα



Στην πειραματική λεκάνη του Λυκορέματος (Πεντέλη) υπήρχαν μετρήσεις πριν και μετά την πυρκαγιά του 2009. Έτσι μπορέσαμε να εξετάσουμε πώς άλλαξε η κατανομή του νερού.

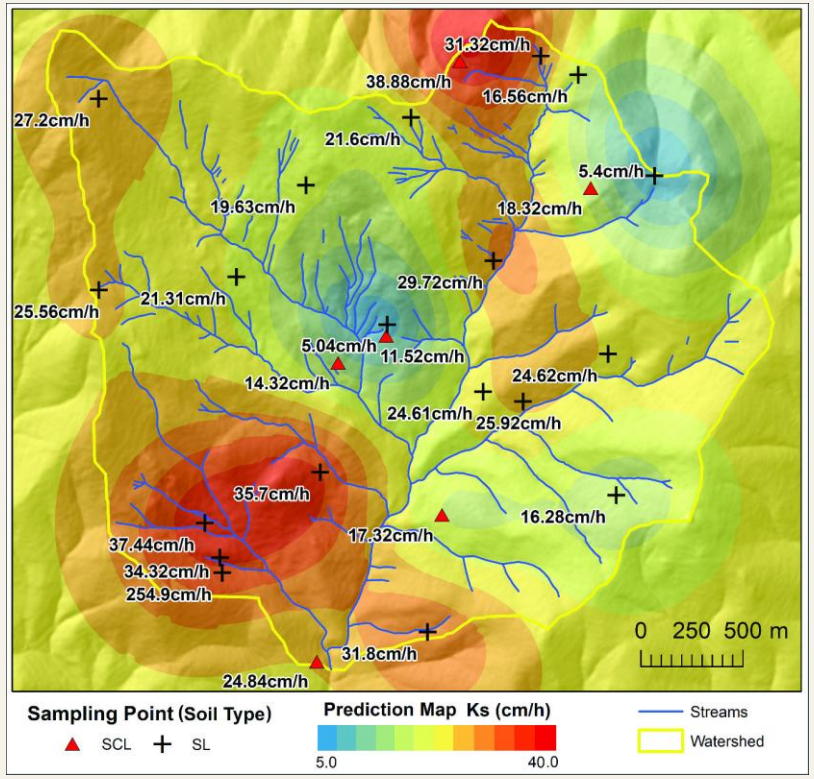
Στις προσομοιώσεις με την ίδια σειρά μετεωρολογικών δεδομένων, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή μειώθηκε περίπου 30% και **η επιφανειακή απορροή αυξήθηκε στο τριπλάσιο**.

Η επανεμφάνιση της βλάστησης δεν αρκεί για να κρίνουμε αν το σύστημα συγκρατεί και χρησιμοποιεί το νερό όπως πριν.

Πριν από την πυρκαγιά (a), αμέσως μετά (b) και στα πρώτα έτη αναβλάστησης, κατά την υγρή περίοδο (c). Soulis et al., 2021, Σχ. 7

Οι μετρήσεις πριν από την πυρκαγιά επέτρεψαν να εκτιμήσουμε τις επιπτώσεις της

Σύγχρονη έρευνα για το έδαφος και το νερό



Οι αισθητήρες και οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις καταγράφουν πώς μεταβάλλονται η εδαφική υγρασία, η διήθηση και η απορροή μέσα στον χρόνο.

Η τηλεπισκόπηση επεκτείνει τις παρατηρήσεις σε μεγαλύτερες εκτάσεις. Οι μετρήσεις πεδίου παραμένουν απαραίτητες για τον έλεγχο της ακρίβειας και την ερμηνεία των αλλαγών.

Τα πειράματα και τα μοντέλα μάς βοηθούν να εξηγήσουμε τους μηχανισμούς και να συγκρίνουμε μέτρα διαχείρισης σε αγροτικές και φυσικές εκτάσεις.

Π.χ. 6 εκστρατείες μετρήσεων το 2005–2018 σε αυτή την πειραματική λεκάνη ανέδειξαν σημαντικές διαφορές της υδραυλικής λειτουργίας στο χώρο και στο χρόνο.

Η πρόοδος στηρίζεται στον συνδυασμό παρατηρήσεων, πειραμάτων και μοντέλων

Γιατί έχει σημασία πότε μετράμε

Μέτρηση Ks (cm/h)	Θέση 1	Θέση 2
Πριν τη φωτιά, Απρ. 2009	12,3	15,3
Μετά τη φωτιά, πριν τη βροχή	14,4	27,9
Μετά τις πρώτες βροχές	**2,5**	**3,6**

Σε δύο θέσεις όπου επαναλάβαμε τις μετρήσεις, η έντονη μείωση της αγωγιμότητας εμφανίστηκε μετά τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές, μαζί με σχηματισμό επιφανειακής κρούστας.

⇨

Χρειάζονται επαναλήψεις πριν και μετά τα γεγονότα.

Δύο θέσεις δεν περιγράφουν τη συμπεριφορά ολόκληρης της λεκάνης.

Μετά την πυρκαγιά: πριν (a) και μετά τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές (b,c). Soulis et al., 2012, Σχ.4

Μια μόνο μέτρηση μπορεί να μην καταγράψει την κρίσιμη μεταβολή

Τι χρειάζεται να γνωρίζουμε για κάθε παρέμβαση

01 Ιεράρχηση

Πού είναι μεγαλύτερη η ανάγκη και ποιες περιοχές έχουν προτεραιότητα;

02 Αιτιολόγηση

Τι προκαλεί την υποβάθμιση και πώς επηρεάζει το διαθέσιμο νερό;

03 Επιλογή

Ποιο μέτρο είναι κατάλληλο για τις συγκεκριμένες συνθήκες;

04 Αποτέλεσμα

Τι άλλαξε μετά την εφαρμογή του μέτρου και με ποιο κόστος;

Χρειαζόμαστε στοιχεία για την κατάσταση πριν από την παρέμβαση και για την εξέλιξή της

Αξιολόγηση των παρεμβάσεων μετά την εφαρμογή. Απαραίτητο βήμα για τον σχεδιασμό και την βέλτιστη κατανομή πόρων.

Αξιολόγηση και επίδειξη των παρεμβάσεων

Καταγραφή της κατάστασης πριν από την παρέμβαση.

Σύγκριση με κατάλληλες θέσεις χωρίς το μέτρο και επανάληψη των δοκιμών.

Παρακολούθηση για περισσότερες καλλιεργητικές περιόδους / χρονιές και διαφορετικές καιρικές συνθήκες - Η αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων καθιστά αυτή την προσέγγιση επιτακτική.

Συμμετοχή παραγωγών και διαχειριστών, με καταγραφή κόστους και δυσκολιών εφαρμογής.

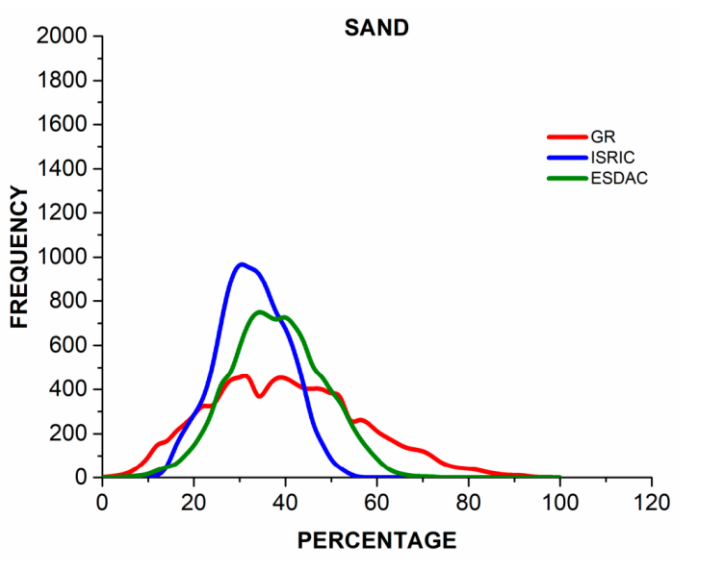
Πόσο ωφελεί το μέτρο, σε ποιες συνθήκες και με ποιο κόστος;

Τι μετράμε και για ποιον σκοπό

Ανάγκη διαχείρισης	Ενδεικτικές μετρήσεις
Νερό διαθέσιμο στα φυτά	Εδαφική υγρασία σε διαφορετικά βάθη, ιδιότητες συγκράτησης και κίνησης του νερού
Περιορισμός απορροής και διάβρωσης	Ένταση βροχής, φυτοκάλυψη, ιδιότητες εδάφους, διήθηση, απορροή και απώλεια εδάφους
Ανάκαμψη μετά από πυρκαγιά ή ξηρασία	Μεταβολές της δομής, της υγρασίας και της βλάστησης, σε βάθος χρόνου
Υποβάθμιση εδάφους	Ιδιότητες εδάφους, δείκτες παραγωγικότητας, δείκτες βιοποικιλότητας

Ένα αντιπροσωπευτικό εθνικό δίκτυο χρειάζεται και επιλεγμένες θέσεις συστηματικής έρευνας

Διεθνείς εδαφολογικοί χάρτες. Είναι αρκετοί; Τι χρειάζεται να κάνουμε επιπρόσθετα;



Παράδειγμα σύγκρισης της περιεκτικότητας σε άμμο: ελληνικές μετρήσεις (κόκκινο), ISRIC/SoilGrids (μπλε), προϊόν ESDAC (πράσινο). Gerontidis et al., 2025, Σχ. 3

Οι διεθνείς βάσεις προσφέρουν μεγάλη χωρική κάλυψη. Για τη διαχείριση του νερού, όμως, χρειαζόμαστε αξιόπιστες πληροφορίες για το συγκεκριμένο έδαφος.

Σε σύγκριση με ελληνικές μετρήσεις, η κατηγορία μηχανικής σύστασης των χαρτών συνέπιπτε με εκείνη των μετρήσεων **περίπου στο 19–20% των θέσεων αναφοράς.**

Το εύρημα αφορά συγκεκριμένα προϊόντα SoilGrids και ESDAC. Το ESDAC διαθέτει επίσης πραγματικές μετρήσεις LUCAS. Η καταλληλότητα κάθε συνόλου δεδομένων χρειάζεται χωριστό έλεγχο.

≈19%

SoilGrids: συμφωνία κατηγορίας

≈20%

ESDAC: συμφωνία κατηγορίας

Οι μετρήσεις πεδίου δείχνουν πόσο αξιόπιστος είναι ένας χάρτης για τη συγκεκριμένη χρήση

Η ευκαιρία της ευρωπαϊκής οδηγίας

Οδηγία (ΕΕ) 2025/2360 για την παρακολούθηση και την ανθεκτικότητα του εδάφους

2025

Έναρξη ισχύος

2028

Ενσωμάτωση στο εθνικό δίκαιο

2031

Πρώτη αξιολόγηση υγείας του εδάφους

Η οδηγία αφορά όλα τα εδάφη. Θεσπίζει κοινό πλαίσιο παρακολούθησης και αξιολόγησης.

Η εφαρμογή της δίνει στην Ελλάδα την ευκαιρία να συνδέσει τα υπάρχοντα δίκτυα και δεδομένα, με κοινές μεθόδους και σαφείς αρμοδιότητες.

Η έρευνα προσαρμοσμένη στις τοπικές συνθήκες και η εκτίμηση των αναγκών σε προσωπικό και χρηματοδότηση μπορούν να στηρίξουν ουσιαστικές παρεμβάσεις.

Η εφαρμογή της οδηγίας μπορεί να δημιουργήσει μόνιμη υποδομή γνώσης για τα ελληνικά εδάφη

Η εφαρμογή της οδηγίας απαιτεί ανάπτυξη δεικτών υγείας εδάφους προσαρμοσμένων στις οικοσυστημικές καταπονήσεις (όχι αναγκαστικά ενιαίων σε επίπεδο ΕΕ ή και κρατών)

Η παρακολούθηση χρειάζεται συνέχεια

Ένα δίκτυο μετρήσεων χρειάζεται μόνιμη υποστήριξη: προσωπικό πεδίου και εργαστηρίων, συντήρηση οργάνων, αναλώσιμα και βαθμονόμηση.

Π.χ. οι μετρήσεις πριν και μετά από μια ξηρασία ή πυρκαγιά δείχνουν τι άλλαξε και πώς εξελίσσεται η ανάκαμψη. Τα κενά στην καταγραφή περιορίζουν αυτή τη δυνατότητα.

Η διασφάλιση της ποιότητας και η οργανωμένη διαχείριση των δεδομένων επιτρέπουν να τα αξιοποιούν υπηρεσίες, ερευνητές και σύμβουλοι για περισσότερα χρόνια.

Η σταθερή λειτουργία των δικτύων πρέπει να αποτελεί μέρος του σχεδιασμού και της χρηματοδότησης

Προτεραιότητες χρηματοδότησης

01 Σταθερή χρηματοδότηση ενός εθνικού δικτύου παρακολούθησης, με αξιοποίηση των υπαρχόντων δεδομένων και κάλυψη των κενών σε διαφορετικά εδάφη και χρήσεις γης.

02 Πολυετή πειράματα και επίδειξη μέτρων μαζί με παραγωγούς και διαχειριστές, για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και της πρακτικής εφαρμογής τους.

03 Συγκεκριμένος προϋπολογισμός για μετρήσεις πριν και μετά τις παρεμβάσεις, ώστε κάθε πρόγραμμα να τεκμηριώνει τα αποτελέσματά του.

Κοινός σχεδιασμός από τα αρμόδια υπουργεία, τις υπηρεσίες και τους επιστημονικούς φορείς

Μετρήσεις πεδίου και εργαστηρίου

Συμπληρωματικές τεχνολογίες για την παρακολούθηση του εδάφους και του νερού

Τεχνολογία / μέθοδος	Πληροφορία και χρήση
Αισθητήρες σε διαφορετικά βάθη και τηλεμετρία	Υγρασία, θερμοκρασία και ηλεκτρική αγωγιμότητα: πότε μειώνεται το νερό στη ζώνη των ριζών και πότε εμφανίζονται ενδείξεις αλατότητας.
Δοκιμές των φυσικών και υδραυλικών ιδιοτήτων	Διήθηση, συγκράτηση νερού και αντίσταση στη διείσδυση: πόσο νερό δέχεται το έδαφος και πού η συμπίεση δυσκολεύει τις ρίζες.
Μετεωρολογικές και υδρολογικές καταγραφές	Βροχή, απορροή και φερτά υλικά: πότε και πόσο νερό και έδαφος μεταφέρονται προς τα ρέματα.
Εργαστηριακές αναλύσεις και eDNA	Οργανικός άνθρακας, σταθερότητα συσσωματωμάτων και βιολογική δραστηριότητα· eDNA για τη βιοποικιλότητα του εδάφους και τη σύνθεση των κοινοτήτων οργανισμών.

Μετρήσεις πριν και μετά τις παρεμβάσεις, με βαθμονόμηση και έλεγχο ποιότητας

Συνδυασμός δεδομένων και υποστήριξη αποφάσεων

Οι τοπικές μετρήσεις συνδέονται με τη χωρική εικόνα και τις εκτιμήσεις για το επόμενο διάστημα

Τεχνολογία / προσέγγιση	Πληροφορία και χρήση
Δορυφορικές παρατηρήσεις και μη επανδρωμένα αεροσκάφη	Χαρτογράφηση φυτοκάλυψης, θερμοκρασίας της βλάστησης και ενδείξεων υδατικής καταπόνησης σε μεγαλύτερες εκτάσεις.
Ενοποίηση δεδομένων και τεχνητή νοημοσύνη	Έλεγχος ασυνεπειών, εντοπισμός αλλαγών και επιλογή θέσεων για πρόσθετες μετρήσεις, ανάλογα με την αβεβαιότητα.
Μοντέλα εδαφικού νερού, απορροής και διάβρωσης	Σύγκριση επιλογών άρδευσης και χωρική στόχευση μέτρων συγκράτησης νερού και προστασίας του εδάφους.
Εποχικές εκτιμήσεις κινδύνου	Συνδυασμός κατάστασης εδάφους, κλιματικής πληροφορίας και ευαισθησίας της βλάστησης για έγκαιρη προσαρμογή της διαχείρισης.

Κάθε εκτίμηση χρειάζεται έλεγχο με μετρήσεις και σαφή παρουσίαση της αβεβαιότητας

Πρακτικές διαχείρισης για το έδαφος και το νερό

Ενδεικτικοί συνδυασμοί για καλλιεργούμενα εδάφη

Παρέμβαση	Στόχος και προϋποθέσεις	Τι αξιολογούμε
Φυτοκάλυψη, διατήρηση υπολειμμάτων και μειωμένη κατεργασία	Προστασία επιφάνειας και δομής, με διαχείριση των φυτών κάλυψης ώστε να περιορίζεται ο ανταγωνισμός με την καλλιέργεια για νερό.	Απορροή, απώλεια εδάφους και διήθηση.
Κομπόστ, βιοάνθρακας και αμειψισπορές με ψυχανθή	Ενίσχυση οργανικής ουσίας και συγκράτησης νερού. Επιλογή κατάλληλου υλικού και ποσότητας για κάθε έδαφος.	Οργανικός άνθρακας, δομή και νερό που είναι διαθέσιμο στα φυτά.
Άρδευση βάσει μετρήσεων υγρασίας και κατάλληλη επιλογή καλλιέργειας	Καλύτερη αξιοποίηση του νερού, με συνεκτίμηση αλατότητας και αναγκών έκπλυσης – Ανθεκτικότητα καλλιέργειας/οικοσυστήματος	Συνολική χρήση νερού, απόδοση, ποιότητα και κόστος.

Ο συνδυασμός μέτρων προσαρμόζεται στο έδαφος, στο κλίμα και στις απαιτήσεις της καλλιέργειας

Αποκατάσταση υποβαθμισμένων εκτάσεων

Συνδυασμός προστασίας του εδάφους, βλάστησης και διαχείρισης της απορροής

Παρέμβαση	Στόχος και προϋποθέσεις	Τι αξιολογούμε
Μεταπυρική εδαφοκάλυψη και αποκατάσταση της βλάστησης	Προστασία εκτεθειμένου εδάφους. Στόχευση βάσει της επίδρασης της φωτιάς στο έδαφος, της υδατοαπωθητικότητας και του κινδύνου διάβρωσης.	Απορροή, απώλεια εδάφους μετά τη βροχή και φυτοκάλυψη.
Τοπικά προσαρμοσμένο φυτικό υλικό και αποκατάσταση οργανικής ουσίας	Ανάκαμψη της βλάστησης και των εδαφικών λειτουργιών σε ξηρά, υποβαθμισμένα εδάφη, **με επιλογές κατάλληλες για την περιοχή**.	Εγκατάσταση φυτών, διήθηση, συγκράτηση νερού και βιολογική δραστηριότητα.
Παρεμβάσεις κατά τις ισοϋψείς, φυτικές ζώνες και μικρά έργα συγκράτησης	Επιβράδυνση της απορροής και συγκράτηση φερτών, με έλεγχο των επιπτώσεων στα κατάντη και των αναγκών συντήρησης.	Απορροή, φερτά υλικά, εδαφική υγρασία και κόστος συντήρησης.

Η αποκατάσταση αξιολογείται στο πεδίο και στη λεκάνη απορροής, με παρακολούθηση σε βάθος χρόνου

Ενδεικτικό Παράδειγμα: Δυναμική χαρτογράφηση του εδάφους

01 **Βασική απογραφή**

Π.χ. Μηχανική σύσταση, βάθος και άλλες σχετικά σταθερές ιδιότητες από εθνικά δεδομένα, δειγματοληψίες, εδαφοτομές, μετρήσεις πεδίου και εργαστηριακές αναλύσεις.

02 **Παρακολούθηση των μεταβολών**

Π.χ. Εδαφική υγρασία, φυτοκάλυψη και ενδείξεις υποβάθμισης από επαναληπτικές μετρήσεις, αισθητήρες και τηλεπισκόπηση.

03 **Συνδυασμός δεδομένων**

Μοντέλα και εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης, ελεγμένα με ανεξάρτητες μετρήσεις, δίνουν χάρτες ιδιοτήτων, διαθέσιμου νερού και κινδύνου υποβάθμισης. Η συχνότητα ενημέρωσης εξαρτάται από το φαινόμενο.

04 **Υποστήριξη αποφάσεων**

Εντοπισμός ζωνών προτεραιότητας, καλύτερη στόχευση χρηματοδότησης και έλεγχος των αποτελεσμάτων των παρεμβάσεων.

Ο ρόλος των καλλιέργειών

Ανθεκτικότητα αγροοικοσυστήματος σημαίνει και προσαρμογή

Προσαρμογή της καλλιέργειας στο ξηροθερμικό περιβάλλον = προστασία από ερημοποίηση

Ένα παράδειγμα:

Όταν περνάμε στο φυστίκι αιγίνης στις αμυγδαλιές ή στα αρωματικά φυτά (κάτι που βλέπουμε σε περιοχές στη Θεσσαλία) τότε δημιουργούμε ένα οικοσύστημα προσαρμοσμένο και ανθεκτικό στις πιέσεις της ερημοποίησης.

Η παραγωγή φυτικής βιομάζας (αλλά και οι απαιτήσεις σε νερό) πέφτουν στο ναδίρ.

Όμως τα εδάφη μας διατηρούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους και τις οικοσυστημικές τους λειτουργίες και αποδίδουν παραγωγή και καλό εισόδημα.

Η προσαρμογή αυτή χρειάζεται υποστήριξη

Επιλογή και στρατηγική προώθηση καλλιεργειών και πολλαπλασιαστικού υλικού για ξηροθερμικά εδαφοκλιματικά περιβάλλοντα.

«Μελέτη σκοπιμότητας εισαγωγής νέας καλλιέργειας» / «αγροτεχνική και οικονομική αξιολόγηση νέας καλλιέργειας»

Αγρονομική αξιολόγηση σε τοπικό επίπεδο / καταλληλότητα καλλιέργειας (crop suitability assessment / land suitability evaluation)

Ανάλυση αλυσίδας αξίας (value chain analysis)

Έρευνα/ανάλυση/αγοράς (market analysis)

Υποστήριξη πρόσβασης στις αγορές

Ευχαριστώ!

Χρειαζόμαστε σταθερή παρακολούθηση των εδαφων μας για να κατανοούμε τις μεταβολές τους και να αξιολογούμε και βελιτώνουμε τις παρεμβάσεις

Κωνσταντίνος Σούλης
Αναπληρωτής καθηγητής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας