CLIMPACT

ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Κλιματική Αλλαγή και επιπτώσεις στη γεωργία

NEWSLETTER #13

Περιεχόμενα

5 **Η κλιματική αλλαγή και η επίδρασή της στη γεωργία – φόρουμ ενημέρωσης και συζήτησης στη Κρήτη.**

Μαρία Κανακίδου

9 **Ποσοτικοποίηση της επίδρασης των βιώσιμων πρακτικών γεωργίας στο κλίμα και διερεύνηση της επιδραστικότητας τους στο μελλοντικό κλίμα**

Ιάσων Τσαρδανίδης
Ηλίας Τσούμας
Δρ. Χαράλαμπος Κοντοές

11 **Κλιματική Αλλαγή και Επισιτιστική Ασφάλεια**

Αναστασία Πασχαλίδου
Κυριακή Ψιστάκη
Δημήτριος Μελάς
Δάφνη Παρλιάρη
Μιχάλης Λαζαρίδης

14

Η χρονική εξέλιξη του "χειμερινού ψύχους" στη Βόρεια Ελλάδα και οι επιπτώσεις του σε καλλιέργειες πυρηνοκάρπων

Παυλίνα Δρογούδη
Γιώργος Παντελίδης
Ιωάννης Μάνθος
Γεωργία Ουζουνίδου
Θεόδωρος Μαυρομάττης

17

Επίδραση των καλλιεργητικών πρακτικών στην ερημοποίηση της γης και την κλιματική αλλαγή, στη Μεσόγειο

Ιωάννα Μιχαήλ
Χρήστος Πανταζής
Σταύρος Σολωμός
Βασίλης Γκισάκης
Γιώργος Μανέας
Χρήστος Ζερεφός

21

Επίδραση της επιλογής κατάλληλων μελών από ένα σύνολο κλιματικών μοντέλων περιοχής στα αποτελέσματα του CERES-Wheat

Μελπομένη Νίκου
Αριστείδης Γεωργούλιας
Θεόδωρος Μαυρομμάτης

26

FROSTDEFEND

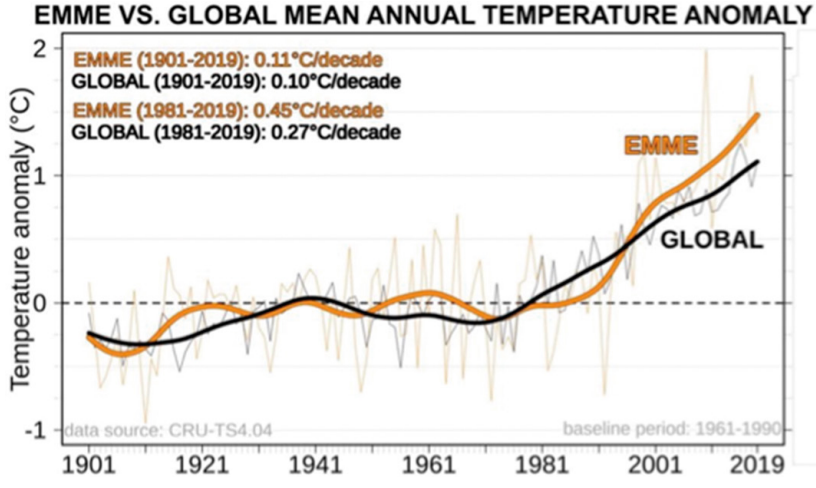
Δημήτρης Γεωργακόπουλος
Μαρία Γκίνη
Κώστας Ελευθεριάδης

Η κλιματική αλλαγή και η επίδρασή της στη γεωργία – φόρουμ ενημέρωσης και συζήτησης στη Κρήτη

Μαρία Κανακίδου
Τμήμα Χημείας,
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Η Ελλάδα στο σταυροδρόμι τριών ηπείρων με την υψομετρική διαβάθμισή, το μεσογειακό κλίμα, τη μεγάλη ακτογραμμή της, τη γεωλογική της ποικιλομορφία και τα σπήλαιά της έχει περιβαλλοντικές συνθήκες που επέτρεψαν την ανάπτυξη πολλών ειδών πανίδας και χλωρίδας κάνοντας τη χώρα να είναι ιδιαίτερα πλούσια σε αυτά σχετικά με άλλες χώρες της Ευρώπης. Αυτές οι συνθήκες όμως αλλάζουν με τη κλιματική αλλαγή, που συμβαίνει με γρήγορο ρυθμό λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων για παραγωγή ενέργειας και τροφής, και πολλά είδη βρίσκονται σε σταδιακή μείωση με κίνδυνο εξαφάνισης.

Στην Ανατολική Μεσόγειο βιώνουμε τη κλιματική αλλαγή πιο έντονα από ότι παγκοσμίως καθόσον η θερμοκρασία στη περιοχή μας αυξάνεται τις τελευταίες δεκαετίες σχεδόν 2 φορές πιο γρήγορα από ότι παγκοσμίως (εικόνα 1), γεγονός που αποδίδεται τόσο στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου και της ξηρασίας του εδάφους αλλά και στον επιτυχή περιορισμό αερολυμάτων που, ενώ ψύχουν την ατμόσφαιρα, βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία (Urdiales-Flores et al., NPJ, Clim. Atm. Sci., 2023). Η αύξηση της θερμοκρασίας και της ξηρασίας στη περιοχή μας, αλλά και της συχνότητας εμφάνισης των ακραίων καιρικών φαινομένων (καύσωνες, ραγδαίες βροχές, πλημμύρες) επηρεάζουν όχι μόνο την ανθρώπινη υγεία αλλά και τον παραγωγικό τομέα της γεωργίας, τις καλλιέργειες, την κτηνοτροφία και την αλιεία.



Εικόνα 1. Η αύξηση της θερμοκρασίας παγκοσμίως (μαύρη γραμμή) και περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής (EMME) (κίτρινη γραμμή) σχετικά με τη μέση τιμή της περιόδου 1961-1990 (από Zittis et al., *Review of Geophysics*, 2022).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ μικρή αύξηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα δημιουργεί κατάσταση ευφορίας σε μερικά φυτά, τα οποία έτσι μεγαλώνουν γρηγορότερα, μειώνεται όμως η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες και θρεπτικά συστατικά (π.χ στα σιτηρά, σόγια και ρύζι). Τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως καύσωνες, πλημμύρες, ξηρασία, ειδικά όταν συνδυάζονται με ατμοσφαιρική ρύπανση, μειώνουν επίσης την απόδοση των καλλιεργειών. Το ζωικό κεφάλαιο επηρεάζεται και αυτό από την κλιματική αλλαγή, άμεσα λόγω θερμικής καταπόνησης και έμμεσα από τη μειωμένη ποιότητα τροφής. Η αλλαγή στη θερμοκρασία της θάλασσας και του επιφανειακού νερού καθιστά τα νερά αφιλόξενα για τα παραδοσιακά είδη, τα οποία μετακινούνται σε πιο κρύες περιοχές, ενώ χωροκατακτητικά είδη έχουν πλέον εμφανιστεί και εγκατασταθεί στη περιοχή μας. Παρατηρούνται επίσης αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα κύκλου ζωής μερικών ειδών, πχ. μπορεί να αλλάξει ο χρόνος αναπαραγωγής ψαριών, η περίοδος άνθισης φυτών.

Ο αγροτικός τομέας στη χώρα μας είναι ζωτικής σημασίας για την ευημερία των κατοίκων και αποτελεί διαχρονικά σημαντικό κλάδο της Ελληνικής οικονομίας. Απαρτίζεται από πολλές οικογενειακές μονάδες και συνεταιρισμούς οι οποίοι όμως είναι λιγότεροι αναλογικά με άλλες χώρες της Ε.Ε.. Με βάση την απογραφή του ΕΛΣΤΑΤ το 2021, οι γεωργικές δραστηριότητες εκτείνονται στο 21% της επιφάνειας της Ελληνικής επικράτειας και απασχολούν το 12% του εργατικού δυναμικού της χώρας, ποσοστό το οποίο τα τελευταία χρόνια συνεχώς μειώνεται, συνεισφέροντας το 3.6% του συνολικού ΑΕΠ της χώρας. Έχει καταγραφεί επίσης μείωση της χρησιμοποιούμενης γεωργικής έκτασης και των ζωικών μονάδων από την τελευταία 10ετία κατά περίπου 18%. Τα προϊόντα του αγροτροφικού τομέα με ποσοστό 19% του συνόλου των εξαγωγών αποτελούν την τρίτη μεγαλύτερη κατηγορία εξαγόμενων προϊόντων της χώρας και κατευθύνονται κατά σχεδόν 70% προς χώρες της Ε.Ε. (Τράπεζας Πειραιώς, 2015).

Η Ελλάδα είναι διεθνώς γνωστή για διάφορα αγροτικά προϊόντα της με λαμπρά παραδείγματα την καλλιέργεια της ελιάς (κατάταξη μεταξύ των πέντε μεγαλύτερων παραγωγών παγκοσμίως), η οποία ευδοκιμεί σε μεσογειακού τύπου κλίμα, καθώς και για την ποικιλία βοτάνων, που φυτρώνουν στην ελληνική φύση και έχουν αρχίσει να αξιοποιούνται εμπορικά τις τελευταίες δεκαετίες. Όμως αυτά και άλλα προϊόντα του αγροτικού παραγωγικού τομέα της χώρας απειλούνται από την αλλαγή του κλίματος που βιώνουμε καθημερινά.

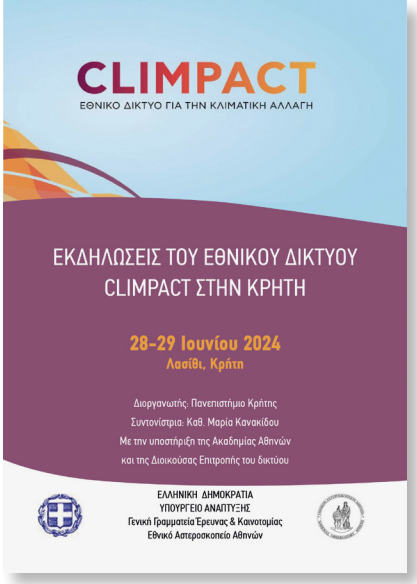
Θέτονται λοιπόν μια σειρά εύλογων ερωτημάτων:

- Πως ο αγροτικός παραγωγικός κλάδος της Ελλάδας επηρεάζεται και θα επηρεαστεί στο μέλλον λόγω της αλλαγής κλίματος, που βιώνουμε με γρήγορους ρυθμούς;
- Πως μπορεί να διασφαλιστεί ή και να αυξηθεί η ποιότητα και ποσότητα των αγροτικών προϊόντων στο μεταβαλλόμενο κλίμα μας και τι μέτρα παίρνονται από τους αγρότες και την πολιτεία για αυτό;
- Είναι η αλλαγή καλλιεργειών μία λύση; Τι κερδίζουμε και τι χάνουμε με την επιλογή ανθεκτικότερων καλλιεργειών;
- Τι μέτρα προβλέπονται από την πολιτεία για την προσαρμογή του αγροτικού τομέα στην κλιματική αλλαγή;
- Τι δράσεις γίνονται ή προβλέπονται για πρόσκτηση καινοτόμου γνώσης και διάδοσή της στους εκπαιδευτές και στους τελικούς αποδέκτες του αγροτικού χώρου;
- Μήπως μακροπρόθεσμα θα πρέπει να στραφούμε σε ένα διαφορετικό στρατηγικό μοντέλο ανάπτυξης της γεωργίας στη χώρα;

Φωτογραφία από το δίκτυο

- Έχουν ενσωματωθεί στον τοπικό σχεδιασμό δράσεις της Εθνικής Στρατηγικής για την κλιματική αλλαγή στον τομέα της γεωργίας;
- Έχει προωθηθεί Περιφερειακός σχεδιασμός με βάση τα επίπεδα τρωτότητας και τα νέα δεδομένα στον αγροτικό τομέα;
- Προβλέπεται θεσμοθέτηση ή βελτίωση υφισταμένων συστημάτων καταγραφής (monitoring) κρίσιμων παραμέτρων, με βάση τη νέα γνώση σχετικά με τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στις συνιστώσες του παραγωγικού συστήματος;

Αυτά και πολλά άλλα σχετικά θέματα με τον αγροτικό τομέα στην Ελλάδα γενικότερα και την Περιφέρεια Κρήτης πιο εστιασμένα θα συζητηθούν στην εσπερίδα που οργανώνει το δίκτυο CLIMPACT στις 28 Ιουνίου 2024 στον Αγ. Νικόλαο, Λασιθίου με τη συμμετοχή στελεχών του παραγωγικού τομέα, ερευνητών και της πολιτείας και με σκοπό την ενημέρωση και τον διάλογο για δράσεις βιώσιμης ανάπτυξης του ζωτικού αυτού κλάδου της οικονομίας της χώρας.



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28 ΙΟΥΝΙΟΥ 2024

ΦΟΡΟΥΜ CLIMPACT ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
Χώρος διεξαγωγής: Εμπορικό Επιμελητήριο Λασιθίου, Αγ. Νικόλαος, Λασιθι
ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ προεγγραφή για καλύτερη οργάνωση της εσπερίδας ΕΓΓΡΑΦΕΙΤΕ ΕΔΩ για τις 28.6.24

17.30-18.00 Προσέλευση

18.00-18.45 Χαιρετισμοί πολιτικής ηγεσίας και διοργανωτών
Αθανάσιος Κυριαζής, Γενικός Γραμματέας Έρευνας και Καινοτομίας
Νικόλαος Ξυλούρης, Αντιπεριφερειάρχης Περιβάλλοντος Κρήτης
Μιχαήλ Παυλίδης, Αντιπρύτανης Πανεπιστήμιο Κρήτης
Θωμάς Χαριτάκης, Εμπορικό Επιμελητήριο Λασιθίου
Αντώνης Κουβαράκης, Πρόεδρος Περιφερειακού τμήματος Κρήτης της Ενωσης Ελλήνων Χημικών
Στερεός Ατσαλάκης, Αντιδήμαρχος Αγ. Νικολάου

18.45-19.00 **Πλειώνης Εμμανουήλ** - Συντονιστής CLIMPACT, Πρόεδρος Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών
Το Εθνικό Δίκτυο για την Κλιματική Αλλαγή – CLIMPACT και η Πολιτεία

19.00-21.30 Εισηγήσεις μελών του CLIMPACT και εμπλεκόμενων φορέων σχετικών με τον Γεωργία

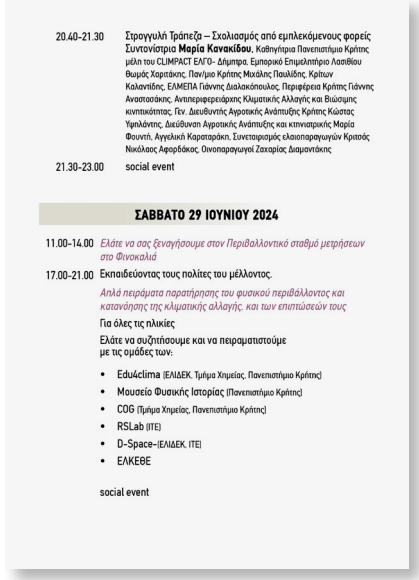
19.00-19.15 • **Νικόλαος Μιχαλόπουλος**, Επιστημονικός Υπεύθυνος CLIMPACT, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών *«Το Εθνικό Δίκτυο για την Κλιματική Αλλαγή – CLIMPACT και η Επιστήμη»*

19.15-19.30 • **Σταύρος Σολωμός**, Ακαδημία Αθηνών *«Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία και μέτρα προσαρμογής»*

19.30-19.45 • **Παυλίνα Δρογούδη**, Παντελίδης Γ., Μάνθος Ι., Ουζουνίδου Γ., Μαυρομμάτης Θ., ΕΛΓΟ Δήμητρα: *«Η χρονική εξέλιξη του "χειμερινού ψύχους" στη Βόρεια Ελλάδα και οι επιπτώσεις του σε καλλιέργειες πυρηνοκάρπων»*

19.45-20.05 • **Ευγενία Στυλιανού**, Συντονίστρια Ομάδας έργου για το ΠΕΣΠΚΑ Κρήτης
«Η ευαιστότητα του πρωτογενούς τομέα της Περιφέρειας Κρήτης και οι προβλέψεις μέτρων του ΠΕΣΠΚΑ»

20.05-20.35 • **Παναγιώτης Σαρρής**, Αναπλ. Καθηγητής στο Τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης και Επίτιμος Καθηγητής στο Πανίμιο του Exeter *«Διασφάλιση Ίχνη υπό το πρίσμα της Κλιματικής Αλλαγής»*



20.40-21.30 Στρογγυλή Τράπεζα – Σχολιασμός από εμπλεκόμενους φορείς
Συντονίστρια **Μαρία Κανακίδου**, Καθηγήτρια Πανεπιστήμιο Κρήτης μέλη του CLIMPACT ΕΛΓΟ- Δήμητρα, Εμπορικό Επιμελητήριο Λασιθίου Θωμάς Χαριτάκης, Παν/μιο Κρήτης Μιχάλης Παυλίδης, Κρίτων Καλαντίδης, ΕΛΜΕΠΑ Γιάννης Διαλοκάκοιουλος, Περιφέρεια Κρήτης Γιάννης Ανασταστάκης, Αντιπεριφερειάρχης Κλιματικής Αλλαγής και Βιώσιμης κινητικότητας, Γεν. Διευθυντής Αγροτικής Ανάπτυξης Κρήτης Κώστας Υψηλάντης, Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης και κτηνιατρικής Μαρία Φουντή, Αγγελική Καρταράκη, Συνεταιρισμός ελαιοπαραγωγών Κριτσός Νικόλαος Αφορδάκος, Οινοπαραγωγοί Ζαχαρίας Διαμαντάκης

21.30-23.00 social event

ΣΑΒΒΑΤΟ 29 ΙΟΥΝΙΟΥ 2024

11.00-14.00 *Ελάτε να σας ξεναγήσουμε στον Περιβαλλοντικό σταθμό μετρήσεων στο Φινοκαλιά*

17.00-21.00 Εκπαιδεύοντας τους πολίτες του μέλλοντος.
Απλά πειράματα παρατήρησης του φυσικού περιβάλλοντος και κατανόησης της κλιματικής αλλαγής, και των επιπτώσεών τους
Για όλες τις ηλικίες
Ελάτε να συζητήσουμε και να πειραματιστούμε με τις ομάδες των:

- Edu4clima (ΕΛΙΔΕΚ, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης)
- Μουσείο Φυσικής Ιστορίας (Πανεπιστήμιο Κρήτης)
- COG (Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης)
- RSLab (ITE)
- D-Space-(ΕΛΙΔΕΚ, ITE)
- ΕΛΚΕΒΕ

social event

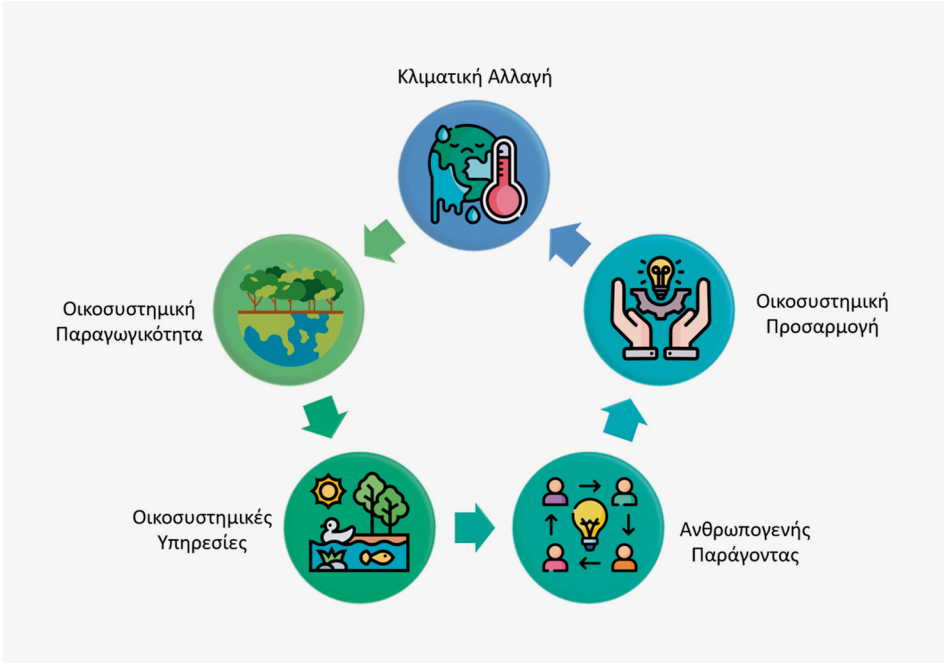
Ποσοτικοποίηση της επίδρασης των βιώσιμων πρακτικών γεωργίας στο κλίμα και διερεύνηση της επιδραστικότητας τους στο μελλοντικό κλίμα

Ιάσων Τσαρδανίδης
Ηλίας Τσούμας
Δρ. Χαράλαμπος Κοντοές
Επιχειρησιακή Μονάδα BEYOND/ΙΑΑΔΕΤ,
Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Καθώς βρισκόμαστε στο κατώφλι της περιβαλλοντικής κρίσης και αντιμετωπίζουμε την επιτακτική ανάγκη για πιο βιώσιμες γεωργικές πρακτικές, είναι απαραίτητο να αναγνωρίσουμε τις προκλήσεις που μας περιμένουν. Στην κατεύθυνση αυτή, η Πράσινη Συμφωνία (Green Deal) της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή, τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και την προώθηση της βιώσιμης γεωργίας. Ωστόσο, η επίτευξη αυτών των στόχων απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες και καινοτόμες λύσεις.

Ένα από τα κύρια προβλήματα που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε είναι η προβλεπόμενη υποβάθμιση των γεωργικών οικοσυστημάτων. Η κλιματική αλλαγή έχει εντείνει τα ακραία καιρικά φαινόμενα, θέτοντας σε κίνδυνο την μελλοντική παραγωγικότητα και την επισιτιστική ασφάλεια. Ταυτόχρονα, η εφαρμογή μη βιώσιμων καλλιεργητικών πρακτικών από τους ίδιους τους αγρότες μπορεί να έχει υψηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, προκαλώντας διάφορες οικολογικές καταστροφές, όπως η εδαφική διάβρωση, η ρύπανση των υδάτων και η απώλεια βιοποικιλότητας. Αποτελεί επιτακτική ανάγκη λοιπόν, να αναθεωρήσουμε την προσέγγισή μας στον τομέα της γεωργία, ενσωματώνοντας προηγμένες τεχνολογίες και επιστημονικές γνώσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και την αξιολόγηση της βιωσιμότητας.

Η συνδυασμός της τηλεπισκόπησης και της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση που ανοίγει νέους ορίζοντες για την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και βιώσιμων οικοσυστημάτων. Αξιοποιώντας την ισχύ των δορυφορικών εικόνων και των αλγορίθμων της αιτιώδους μηχανικής μάθησης, μπορούμε να παρακολουθούμε και να αξιολογήσουμε τις επιδράσεις από τις διάφορες γεωργικές πρακτικές που προστάζει η σύγχρονη Κοινή Αγροτικές Πολιτική (ΚΑΠ) με μεγαλύτερη ακρίβεια, βελτιστοποιώντας τη διαχείριση των πόρων με στόχο τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα διαφορετικά οικοσυστήματα. Στο πλαίσιο των δράσεων του Climpact, η Επιχειρησιακή Μονάδα BEYOND/ΙΑΑΔΕΤ/ΕΑΑ έχει ως άμεσο στόχο να αποδείξει αυτήν την προσέγγιση, συνδυάζοντας τις παρατηρήσεις της Γης και τη σύγχρονη Τεχνητή Νοημοσύνη με τη γεωργική εμπειρία. Επιπλέον, προτείνουμε τη χρήση μελλοντικών κλιματικών



μοντέλων μεγάλης κλίμακας για την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων και την ανάπτυξη βέλτιστων στρατηγικών προσαρμογής στην αλλαγή του κλίματος.

Στο πλαίσιο αυτό, θα ερευνηθεί η δυνατότητα δημιουργίας χαρτών επίδρασης (Impact maps) για συγκεκριμένες γεωργικές πρακτικές, λαμβάνοντας υπόψη δείκτες που σχετίζονται με την αγροτική παραγωγή και την κλιματική αλλαγή σε διάφορες περιοχές της ελληνικής επικράτειας. Πιο συγκεκριμένα, με την χρήση αλγορίθμων αιτιώδους συμπερασματολογίας και αιτιώδους μηχανικής μάθησης, θα εξεταστεί η επίδραση της πρακτικής της αμειψισποράς και της διαφοροποίησης των καλλιεργειών στην πρωτογενή παραγωγικότητα του εδάφους (NPP) ή και την αποθήκευση οργανικού άνθρακα στο έδαφος. Αυτή η προσέγγιση θα παρέχει σημαντική ενημέρωση, καθώς και μεθοδολογία, για την κατανόηση των επιπτώσεων των γεωργικών πρακτικών σε διαφορετικά οικοσυστήματα στις διαφορετικές περιοχές της χώρας.

Τα αποτελέσματα που αναμένονται μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- Η διαφοροποιημένη γεωχωρικά εκτίμηση της αναμενόμενης επίδρασης μιας πρακτικής στην πρωτογενή παραγωγικότητα (NPP) και χρήση αυτής ως δείκτη καταλληλόλητας εφαρμογής της στην εκάστοτε γη.
- Συμπερασματολογία αναφορικά με την αλλαγή του κλίματος και την επίδραση αυτών των αλλαγών στην αποτελεσματικότητα των πρακτικών μας. (π.χ. η αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 1,7 ± 1 °C, δείχνει και αύξηση της επίδρασης της διαφοροποίησης στο NPP.)
- Χρήση εξηγήσιμης τεχνητής νοημοσύνης (XAI) προκειμένου να αποκαλύψει τις περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. μέγιστη θερμοκρασία) που καθορίζουν το μέγεθος των επιπτώσεων της επιλεγμένης πρακτικής.

Κλιματική Αλλαγή και Επισιτιστική Ασφάλεια

Αναστασία Πασχαλίδου
Κυριακή Ψιστάκη
Τμήμα Δασολογίας
και Διαχείρισης Περιβάλλοντος
και Φυσικών Πόρων,
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο
Θράκης

Δημήτριος Μελάς
Δάφνη Παρλιάρη
Τμήμα Φυσικής,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης

Μιχάλης Λαζαρίδης
Τμήμα Χημικών Μηχανικών
και Μηχανικών Περιβάλλοντος,
Πολυτεχνείο Κρήτης

Το κλιματικό σύστημα και η ασφάλεια των τροφίμων συνδέονται στενά. Οι μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες και τα ακραία φαινόμενα επιβαρύνουν το σύστημα τροφίμων, ενώ, ταυτόχρονα, ο γεωργικός/κτηνοτροφικός τομέας συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής, τα συχνότερα, με μεγαλύτερη διάρκεια και ένταση ακραία φαινόμενα που προβλέπονται για το μέλλον είναι πιθανό να διαταράσσουν όλο και περισσότερο το παγκόσμιο σύστημα τροφίμων, με τον μεγαλύτερο κίνδυνο να εντοπίζεται στις άνυδρες περιοχές του πλανήτη, εξαιτίας κυρίως των μεταβολών στη θερμοκρασία και στο καθεστώς της βροχόπτωσης, αλλά και στη συχνότητα των ξηρασιών και πλημμυρών. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει και τους 4 πυλώνες του παγκοσμίου συστήματος τροφίμων (Stavi et al., 2021), δηλαδή α) τη διαθεσιμότητα, β) την πρόσβαση και γ) τη χρήση της τροφής, αλλά και δ) τη σταθερότητα των παραμέτρων αυτών στον χρόνο (Σχήμα 1).

Σχήμα 1: Οι τέσσερις πυλώνες του συστήματος τροφίμων

Όσον αφορά στη διαθεσιμότητα των τροφίμων, υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους η κλιματική αλλαγή και μεταβλητότητα επηρεάζουν τη γεωργική παραγωγή (τρόφιμα και ζωοτροφές), τους λειμώνες, την υγεία και την παραγωγικότητα του ζωικού κεφαλαίου, καθώς και το εμπόριο των τροφίμων. Ειδικότερα, η κλιματική αλλαγή και η μεταβλητότητα επηρεάζουν την απόδοση βασικών καλλιεργειών όπως το σιτάρι, το ρύζι, το καλαμπόκι και η σόγια, μέσω των μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών, αλλά και μέσω των μεταβολών στις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO2) στην ατμόσφαιρα. Σε γενικές γραμμές, η αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών στις περιοχές του νότου, ενώ η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων βροχοπτώσεων αυξάνει τη διάβρωση του εδάφους. Παράλληλα, οι ακραίες θερμοκρασίες καταπονούν πολλές καλλιέργειες οι οποίες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες αμέσως πριν ή κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας. Αν

και τα υψηλά επίπεδα CO2 στην ατμόσφαιρα μπορούν να ευνοήσουν την ανάπτυξη των καλλιεργειών, μπορούν επίσης να ευνοούν την ανάπτυξη των ζιζανίων, προσβάλλοντας τελικά τα φυτά και αναγκάζοντας τους παραγωγούς να καταφεύγουν σε ζιζανιοκτόνα. Επιπλέον, αν και παραμένει αβέβαιο κατά πόσο η κλιματική αλλαγή θα αυξήσει την παρουσία εντόμων και ασθενειών παγκοσμίως, είναι βέβαιο ότι θα μεταβάλει τη γεωγραφική τους κατανομή και εποχικότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εμφάνιση ακρίδων της ερήμου στις άνυδρες περιοχές της Αφρικής.

Με παρόμοιο τρόπο, η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή κτηνοτροφικών προϊόντων, εξαιτίας των επιπτώσεών της στις ζωοτροφές και το νερό. Παράλληλα, οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν θερμοπληξία στα ζώα, μειώνοντας την παραγωγή γάλακτος, την αύξηση του βάρους των ζώων, τα επίπεδα αναπαραγωγής, αλλά και την ανθεκτικότητα στις ασθένειες. Επιπλέον, οι πλημμύρες, και οι ξηρασίες μπορούν να αυξήσουν τη θνησιμότητα των κτηνοτροφικών ζώων, μέσω π.χ. πνιγμών, οδηγώντας τους κτηνοτρόφους σε οικονομική καταστροφή.

Η πρόσβαση στην τροφή καθορίζεται από το εισόδημα των νοικοκυριών και των ατόμων. Συνήθως μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας κλιματικές παραμέτρους και δεδομένα που αφορούν στις καλλιέργειες, καθώς και δημογραφικά/οικονομικά δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να εξετάζονται διάφορα πιθανά σενάρια, χωρίς όμως να υπάρχει η δυνατότητα συνυπολογισμού της ενδεχόμενης προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Εν γένει, η πρόσβαση στην τροφή μπορεί να παρακωλύεται από ακραία καιρικά φαινόμενα που επηρεάζουν την παραγωγή τροφίμων, αλλά και την αποθήκευση και μεταφορά αυτών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, σημειώνεται συνήθως αύξηση των τιμών, η οποία πλήττει κυρίως τους οικονομικά ασθενέστερους, καθιστώντας δυσχερή την πρόσβαση σε ποιοτική τροφή.

Η χρήση της τροφής συνδέεται άμεσα με την πρόσβαση σε αυτή και καθορίζει την ποιότητα και τη διατροφική αξία των τροφίμων που λαμβάνουν τα άτομα. Σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων, είναι δυνατόν να υποβαθμίζεται η ποιότητα της τροφής και του νερού, εγκυμονώντας κινδύνους για τους τοπικούς πληθυσμούς, όπως π.χ. διασπορά μολυσματικών νοσημάτων, κακές συνθήκες υγιεινής, λήψη ακατάλληλου νερού κλπ.

Τέλος, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τη σταθερότητα του παγκόσμιου συστήματος τροφίμων, προκαλώντας συχνά οικονομική και πολιτική αστάθεια. Για παράδειγμα, στις άνυδρες περιοχές του πλανήτη, η οικονομία συνδέεται στενά με τη γεωργία και η επιβίωση των τοπικών πληθυσμών είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στις ακραίες καιρικές συνθήκες. Δεν είναι τυχαίο ότι τα ακραία φαινόμενα και η κλιματική αλλαγή προκαλούν σημαντικές διακυμάνσεις στις τιμές των τροφίμων. Για παράδειγμα, η έντονη ξηρασία του 2010 στη Ρωσία προκάλεσε σοβαρές ζημιές στη συγκομιδή σιτηρών, περιορίζοντας τις εξαγωγές και οδηγώντας στην αύξηση των τιμών, με αποτέλεσμα κοινωνικές και πολιτικές αναταραχές σε αρκετές αφρικανικές και ασιατικές χώρες. Με παρόμοιο τρόπο, η ξηρασία του χειμώνα του 2011 στην ανατολική Κίνα έπληξε οικονομικά την Αίγυπτο, τον μεγαλύτερο

εισαγωγέα σιτηρών στον κόσμο, και οδήγησε σε κοινωνικές αναταραχές. Παράλληλα, οι ξηρασίες των τελευταίων ετών στην Καλιφόρνια και την Αυστραλία έχουν πλήξει τη σταθερότητα του συστήματος τροφίμων.

Τα παραπάνω ευρήματα είναι ιδιαιτέρως ανησυχητικά για την περιοχή της Μεσογείου, η οποία είναι γνωστό ότι αναμένεται να πληγεί ιδιαιτέρως από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Εστιάζοντας στην Ελλάδα, εκτιμάται ότι η κλιματική αλλαγή θα ευνοήσει ορισμένα είδη καλλιεργειών, ενώ σε άλλα θα έχει αρνητική επίδραση (Georgopoulou et al., 2017). Ειδικότερα, η παραγωγή αραβόσιτου θα μειωθεί από 2,1% στην Πελοπόννησο και τη Δυτική Ελλάδα έως 10,1% στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη (ΑΜΘ). Αντίστοιχα, περίπου 65% μείωση προβλέπεται για την απόδοση των καλλιεργειών ηλίανθου. Από την άλλη, η παραγωγή σιταριού θα αυξηθεί από 4,3% στην ΑΜΘ έως 26,7% στη Στερεά Ελλάδα, ενώ η παραγωγή ρυζιού θα ενισχυθεί περίπου κατά 15% στην Κεντρική και Δυτική Μακεδονία και κατά 30% στην ΑΜΘ. Παράλληλα, η απόδοση των καλλιεργειών τομάτας αναμένεται να μειωθεί σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας εκτός της ΑΜΘ, όπου προβλέπεται αύξηση κατά 42,2%. Παρομοίως, η παραγωγή ελιάς προβλέπεται να αυξηθεί στις περιφέρειες της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας, περίπου κατά 4%. Η απόδοση των ελαιώνων της Πελοποννήσου αναμένεται να αυξηθεί κατά 3-4% την περίοδο 2041–2070 συγκριτικά με την περίοδο 1989–2005. Επιπλέον, ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής προβλέπεται να είναι θετικός στους αμπελώνες των ορεινών περιοχών, αλλά ισχυρά αρνητικός στα νησιά και στις παράκτιες περιοχές (Lazoglou et al., 2018). Όσον αφορά στις ιχθυοκαλλιέργειες, η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να ευνοήσει κατά 10% την ανάπτυξη του κρανιού (meagre) και κατά 7% του λαυρακιού (E. seabass). Ωστόσο, τα οφέλη αυτά ενδέχεται να αντισταθμιστούν από την αρνητική επίδραση που πιθανότατα θα έχουν τα ακραία καιρικά φαινόμενα (Stavrakidis-Zachou et al., 2021). Γενικότερα, αν και η απόδοση ορισμένων καλλιεργειών (τόσο φυτικών όσο και αλιευμάτων) αναμένεται να αυξηθεί εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων CO2, τα κέρδη θα αντισταθμιστούν σε μεγάλο βαθμό από ακραία φαινόμενα, επιτείνοντας την επισιτιστική ανασφάλεια και κρίση σε πολλές περιοχές του πλανήτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Georgopoulou E, Mirasgedis S, Sarafidis Y, Vitaliotou M, Lalas DP, Theloudis I, Giannoulaki KD, Dimopoulos D, Zavras V (2017) Climate change impacts and adaptation options for the Greek agriculture in 2021–2050: A monetary assessment. Climate Risk Management 16: 164–182. DOI: https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.002.

Lazoglou G, Anagnostopoulou C, Koundouras S (2018) Climate change projections for Greek viticulture as simulated by a regional climate model. Theoretical and Applied Climatology 133(1–2): 551–567. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-017-2198-2.

Stavi I, de Pinho JR, Paschalidou AK, Adamo SB, Galvin K, de Sherbinin A, Even T, Heaviside C, van der Gees K (2021) Food security among dryland pastoralists and agropastoralists: The climate, land-use change, and population dynamics nexus. *Anthropocene Review*, DOI: 0.1177/20530196211007512.

Stavrakidis-Zachou O, Lika K, Anastasiadis P, Papandroulakis N (2021) Projecting climate change impacts on Mediterranean finfish production: A case study in Greece. Climatic Change 165(3–4): 67. DOI: https://doi.org/10.1007/s10584-021-03096-y.

Η χρονική εξέλιξη του "χειμερινού ψύχους" στη Βόρεια Ελλάδα και οι επιπτώσεις του σε καλλιέργειες πυρηνοκάρπων

Παυλίνα Δρογούδη
Γιώργος Παντελίδης
Ινστιτούτο Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων, Τμήμα Φυλλοβόλων Οπωροφόρων Δένδρων, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός-ΔΗΜΗΤΡΑ

Ιωάννης Μάνθος
Ινστιτούτο Γενετικής Βελτίωσης και Φυτογενετικών Πόρων, Τμήμα Ακρόδρυων Ελληνικός Γεωργικός, Οργανισμός-ΔΗΜΗΤΡΑ

Γεωργία Ουζουνίδου
Ινστιτούτο Τεχνολογίας Αγροτικών Προϊόντων, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός-ΔΗΜΗΤΡΑ

Θεόδωρος Μαυρομμάτης
Καθηγητής Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

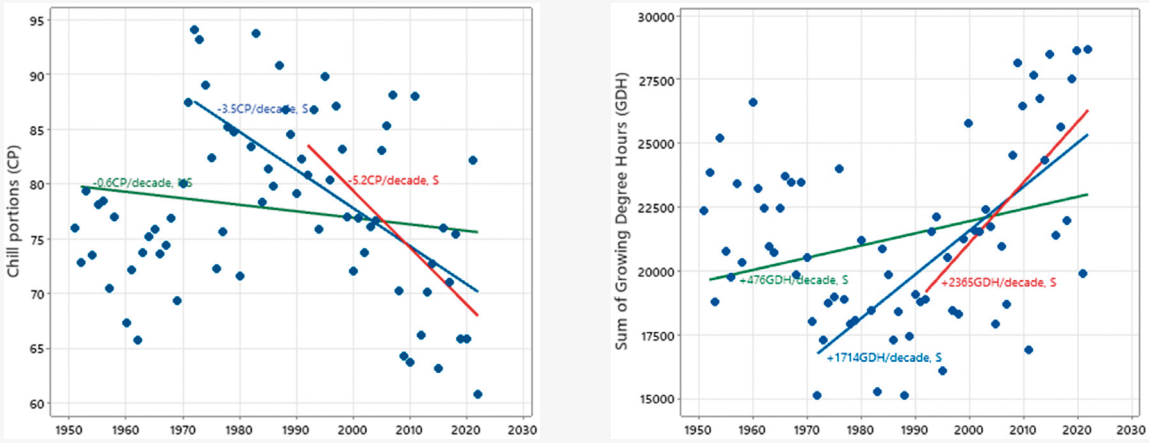
1. Ιστορική ανάλυση του χειμερινού ψύχους

Τα φυλλοβόλα οπωροφόρα δένδρα έχουν ένα μηχανισμό προσαρμογής για να επιβιώνουν στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα. Για να ανθίσουν και να παράγουν κανονικά απαιτείται η έκθεσή τους σε χαμηλές θερμοκρασίες και κατόπιν σε υψηλές θερμοκρασίες, έχουν δηλαδή 'απαιτήσεις' σε ψύχος και ακολούθως θέρμανσης, για να καρπίσουν (Drogoudi et al., 2023). Η κλιματική αλλαγή συνδέεται με αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες, γεγονός που προκαλεί ανωμαλίες στην άνθηση και μειωμένη παραγωγή των φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων.

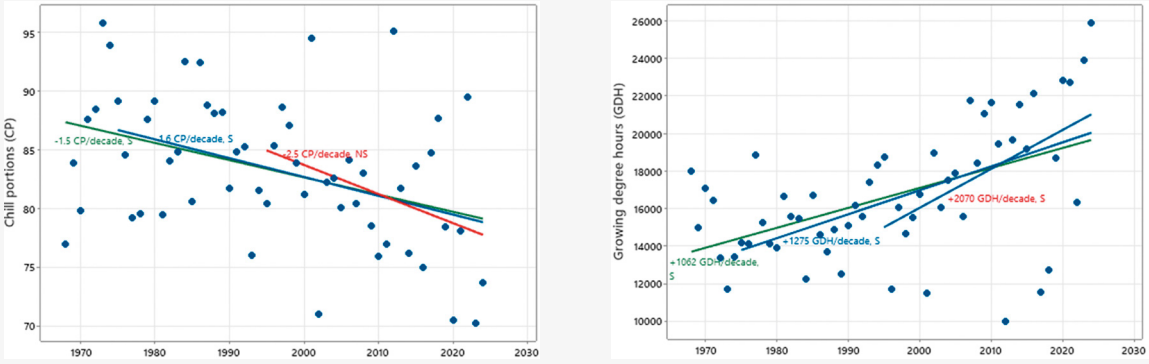
Με σκοπό την προσαρμογή των καλλιεργειών φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων στην κλιματική αλλαγή, μελετήθηκαν οι μεταβολές στη συσσώρευση ψύχους και θερμότητας κατά τη χειμερινή περίοδο σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, που είναι και η κύρια περιοχή καλλιέργειάς τους στη χώρα μας. Θερμοκρασιακά δεδομένα από την Θεσσαλονίκη και Νάουσα χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση τόσο του χειμερινού ψύχους της περιόδου Οκτώβριου – Φεβρουάριου (με την μεθοδολογία που προτάθηκε από τους Fishman et al. 1987ab) όσο και των βαθμοωρών θέρμανσης (Growing degree hours, GDH).

Στην Θεσσαλονίκη (Σχήμα 1), ο ασθενής ρυθμός μείωσης των μερίδων ψύχους (Chill portions (CP) – Δυναμικό μοντέλο) της περιόδου 1952-2021 από 0.6CP ανά δεκαετία, αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά σε 3.5CP/δεκαετία την περίοδο 1972-2021 και έφτασε στο ύψος των 5.2CP/δεκαετία το 1992-2021. Αντίθετα, οι βαθμοώρες θέρμανσης δείχνουν αυξητικές τάσεις τις αντίστοιχες περιόδους, από +476GDH την περίοδο 1952-2021 σε +2365GDH στην πιο πρόσφατη περίοδο μελέτης.

Στην Νάουσα, επίσης παρατηρήθηκε μείωση των μερίδων ψύχους (Σχήμα 2), από 1.5CP ανά δεκαετία την περίοδο 1967-2023 στους 2.5 CP/δεκαετία στην πιο πρόσφατη περίοδο 1994-2023. Αντίθετα, οι βαθμοώρες θέρμανσης τις αντίστοιχες περιόδους αυξήθηκαν από 1062GDH/δεκαετία την πρώτη περίοδο σε 2070GDH στην πιο πρόσφατη περίοδο μελέτης.



Σχήμα 1. Σύγκριση των μερίδων ψύχους (Chill portions – Δυναμικό μοντέλο) και των βαθμοωρών θέρμανσης (Growing degree hours, GDH) για τους μήνες Οκτ-Φεβ των περιόδων 1952-2021, 1972-2021 και 1992-2021 (πράσινη, μπλε και κόκκινη γραμμή, αντίστοιχα) για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ).



Σχήμα 2. Σύγκριση των μερίδων ψύχους (Chill portions – Δυναμικό μοντέλο) και των βαθμοωρών θέρμανσης (Growing degree hours, GDH) για τους μήνες Οκτ-Φεβ των περιόδων 1967-2023, 1974-2023 και 1994-2023 (πράσινη, μπλε και κόκκινη γραμμή, αντίστοιχα) για την σταθμό στην Νάουσα.

2. Οι απαιτήσεις σε ψύχος μίας ποικιλίας καθορίζει τις περιοχές όπου μπορεί να καλλιεργηθεί

Οι απαιτήσεις σε ψύχος και θερμότητα για ομαλή καρποφορία είναι ένα γενετικά καθορισμένο χαρακτηριστικό, και γι' αυτό υπάρχουν διαφορές μεταξύ των ειδών αλλά και ποικιλιών σε ένα είδος (Pantelidis and Drogoudi, 2023; Pantelidis et al., 2022). Λόγω της ευρείας εγκατάστασης οπωρώνων αμυγδαλιάς σε περιοχές με διαφορετικές κλιματολογικές παραμέτρους στην Ελλάδα, είναι σημαντικό να καθοριστούν οι απαιτήσεις σε ψύχος των νέων ποικιλιών. Μελετήθηκαν οι απαιτήσεις σε ψύχος και θερμότητα 10 αυτογόνιμων και μη-αυτογόνιμων εμπορικών ποικιλιών αμυγδαλιάς με τη μέθοδο Tabuenca. Βρέθηκε πως οι απαιτήσεις σε ψύχος για τη διάσπαση του ληθάργου κυμάνθηκαν από 37 μέχρι 60 μερίδες ψύχους (Dynamic model), αποτέλεσμα που θα χρησιμοποιηθεί για την παροχή συστάσεων για τις προτεινόμενες περιοχές καλλιέργειά τους.

Συσχέτιση του χειμερινού ψύχους και άλλων κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της άνθησης με την καρπόδεση στη βερικοκιά

Η αναγνώριση των αιτιών που προκαλούν μειωμένη παραγωγή στα φυλλοβόλα οπωροφόρα δένδρα συχνά δυσχεραίνεται γιατί οι απαιτήσεις σε ψύχος των οφθαλμών επηρεάζεται από τη θέση των βλαστών στο δένδρο, κ.α. ενώ μπορεί να συνυπάρχουν μη-ευνοϊκές συνθήκες καρπόδεσης, όπως η χαμηλή θερμοκρασία και η βροχόπτωση. Μελετήθηκε η επίδραση του χειμερινού ψύχους και μη-ευνοϊκών κλιματολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της άνθησης στην καρπόδεση 18 ποικιλιών βερικοκιάς που αναπτύσσονται σε πειραματικό οπωρώνα του Τμήματος Φυλλοβόλων Οπωροφόρων Δένδρων Νάουσας, κατά τη διάρκεια 5 ετών. Οι απαιτήσεις σε ψύχος των ποικιλιών που μελετήθηκαν κυμαίνονταν από 43 μέχρι 73 μερίδες ψύχους, ενώ η συσσώρευση ψύχους κατά τη χειμερινή περίοδο κυμάνθηκε από 72 μέχρι 89 μερίδες ψύχους. Από την ανάλυση των δεδομένων όλων των ετών μαζί, βρέθηκε πως η αποτελεσματικότητα της απόδοσης (yield efficiency) συσχετίζεται αρνητικά (r= -0.509) και η διάρκεια άνθησης συσχετίζεται θετικά (r= 0.490) με τις απαιτήσεις σε ψύχος των ποικιλιών βερικοκιάς. Η ανάλυση μόνο των δεδομένων στα έτη με αρκετό ψύχος, έδειξε πως η θερμοκρασία και/ή βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της άνθησης σχετίζονταν με τη διάρκεια άνθησης και την αποτελεσματικότητα της απόδοσης. Συμπεραίνεται ότι, η παρατεταμένη άνθηση είναι χαρακτηριστικό που σχετίζεται με ελλιπές χειμερινό ψύχος στη βερικοκιά, καθώς και ότι η χαμηλή θερμοκρασία και η βροχόπτωση ήταν αίτια μειωμένης παραγωγής σε έτη με ικανοποιητικό ψύχος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Drogoudi, P.; Cantín, C.M.; Brandi, F.; Butcaru, A.; Terrer, J.C.; Cutuli, M.; Foschi, S.; Galindo, A.; García-Brunton, J.; Luedeling, E.; et al. 2023. Impact of Chill and Heat Exposures Under Diverse Climatic Conditions on Peach and Nectarine Flowering Phenology. Plants 2023, 12(3), 584; https://doi.org/10.3390/plants12030584

Fishman, S., Erez, A., Couvillon, G.A., 1987a. The temperature dependence of dormancy breaking in plants—Computer simulation of processes studied under controlled temperatures. J. Theor. Biol. 126, 309–321.

Fishman, S., Erez, A., Couvillon, G.A., 1987b. The temperature dependence of dormancy breaking in plants—Mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition. J. Theor. Biol. 124, 473–483.

Pantelidis G., G. Reig, C.M. Cantin, D. Giovannini, P. Drogoudi 2022. Estimation of chilling and heat requirements of peach and nectarine cultivars grown in the EUFRIN trials located in different pedoclimatic conditions. Acta Horticulturae 1352: 463–470. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1352.63

Pantelidis G.E., K. Ziakou, K. Kazantzis, M. Pitsiouni and P. Drogoudi 2022. Effects of adverse environmental factors on fruit set in a peach and apricot cultivar evaluation orchard. Acta Horticulturae 1342: 337-341. Doi: 10.17660/ActaHortic.2022.1342.23

Pantelidis, G., Drogoudi, P. 2023. Exploitation of genotypic variation in chilling and heat requirements for flowering in Prunus armeniaca and Prunus persica (L.) Batsch cultivars. Scientia Horticulturae, 321, 112287 https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112287

Richardson, E.A., Seeley, S.D., Walker, D.R., 1974. A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Alberta peach trees. HortScience 82, 302–306.

Επίδραση των καλλιεργητικών πρακτικών στην ερημοποίηση της γης και την κλιματική αλλαγή, στη Μεσόγειο

Ιωάννα Μιχαήλ
Τμήμα Ελαίας & Οπωροκηπευτικών, Ινστιτούτο ελιάς υποτροπικών φυτών και αμπέλου, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός-ΔΗΜΗΤΡΑ

Χρήστος Πανταζής
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Κέντρον Ερεύνης Φυσικής της Ατμοσφαίρας και Κλιματολογίας, Ακαδημία Αθηνών

Σταύρος Σολωμός
Κέντρον Ερεύνης Φυσικής της Ατμοσφαίρας και Κλιματολογίας, Ακαδημία Αθηνών

Βασίλης Γκισάκης
Τμήμα Ελαίας & Οπωροκηπευτικών, Ινστιτούτο ελιάς υποτροπικών φυτών και αμπέλου, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός-ΔΗΜΗΤΡΑ

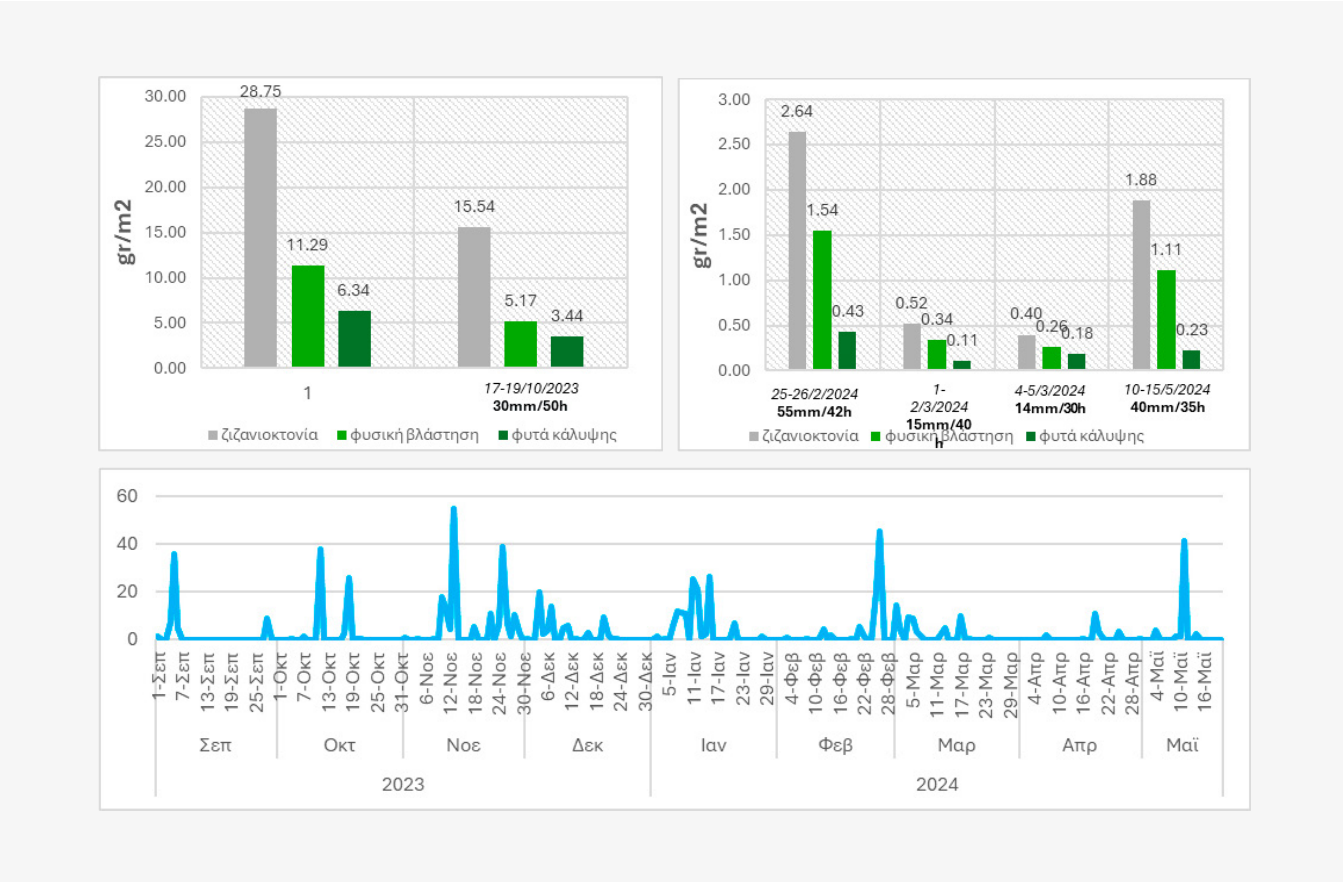
Γιώργος Μανέας
Περιβαλλοντικό Παρατηρητήριο Ναβαρίνου (ΝΕΟ)

Χρήστος Ζερεφός
Κέντρον Ερεύνης Φυσικής της Ατμοσφαίρας και Κλιματολογίας, Ακαδημία Αθηνών

Η υποβάθμιση της γης και η ερημοποίηση της Μεσογειακής λεκάνης εντείνεται λόγω της κλιματικής αλλαγής και των συνεχών πιέσεων στη γεωργική και δασική γη (Douglas κ.ά, 2009). Ένα μεγάλο μέρος της καλλιεργήσιμης γης πλέον χαρακτηρίζεται από ευρείες μονοκαλλιέργειες, η παραγωγικότητα των οποίων διατηρείται σε μεγάλη εξάρτηση από την υιοθέτηση δραστικών παρεμβάσεων. Η χρήση συνθετικών εισροών και η εντατική εδαφοκατεργασία έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια της χλωριδικής ποικιλότητας και τη συμπίεση των εδαφικών στρωμάτων (Jongrungrot και Kheowvongsri, 2021). Η μειωμένη διηθητική ικανότητα αυξάνει την επιφανειακή απορροή και συνεπώς τη διάβρωση, ενώ ταυτόχρονα καθιστά το έδαφος πιο επιρρεπές στην ξηρασία (Hulugalle, N. R., 1994). Σαν αποτέλεσμα, η διάβρωση εξαντλεί τη γονιμότητα του εδάφους και υποβαθμίζει τη δομή του, ενώ το ίζημα που συσσωρεύεται μολύνει τις υπόγειες ροές.

Η διάβρωση προκύπτει συχνά στην περιοχή της Μεσογείου λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας των περισσότερων εδαφών σε οργανική ουσία (συχνά ≤ 2%) (Rabot κ.ά, 2018). Παράλληλα, η απομάκρυνση της ποώδους βλάστησης εντείνει το φαινόμενο. Η απώλεια φυσικών ενδιαιτημάτων έχει σημαντικό ρόλο και στη μείωση της βιοποικιλότητας των αρθροπόδων (Zhang et al. 2007), καθώς λειτουργούν ως ενδιαιτήματα και πηγή τροφής για πολλά είδη. Η λειτουργική αυτή βιοποικιλότητα μπορεί να παρέχει διάφορες υπηρεσίες, που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με τη γεωργική παραγωγή, επιδρώντας στον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων, την επικονίαση και την βιολογική καταπολέμηση εχθρών των καλλιεργειών (Duru κ.ά, 2015). Οι εντατικές καλλιέργειες αποτελούν τεχνητά και γενετικά ομοιογενή συστήματα παραγωγής που παρουσιάζουν συχνά υψηλή ευπάθεια στην κλιματική αλλαγή και στην εισβολή παθογόνων, καθώς δεν διαθέτουν μηχανισμούς αντιστάθμισης ή ανθεκτικότητας (Nicholls και Altieri, 2004).

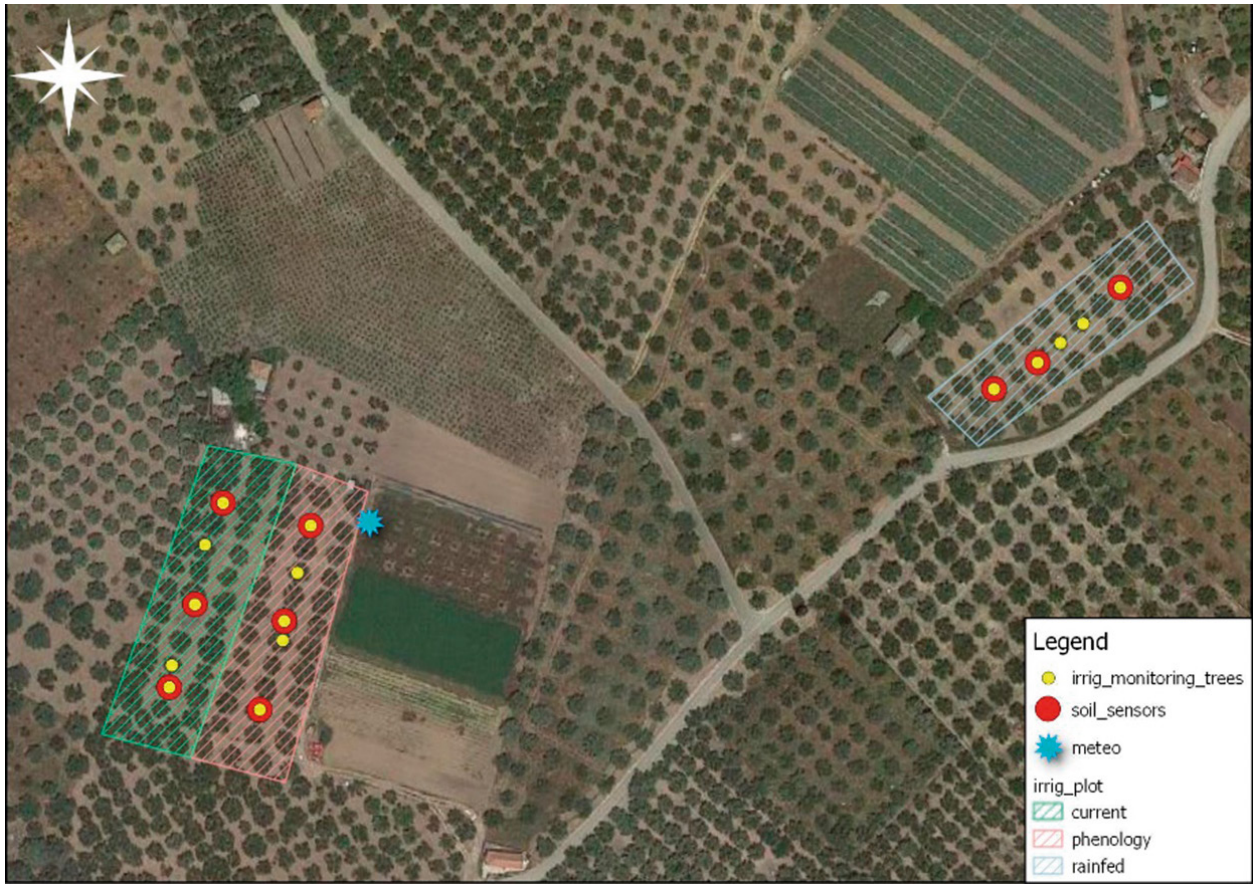
Η διατήρηση της παραγωγικότητας της γεωργικής γης μακροπρόθεσμα μπορεί να επιτευχθεί δημιουργώντας συστήματα παραγωγής τροφίμων ως σύνολα, στα οποία παραδοσιακές μεθόδους που βασίζονται στην καινοτομία συνδυάζονται με νεότερα στοιχεία για να σχηματίσουν βιώσιμα και οικολογικά γεωργικά συστήματα (Sengar και Singh, 2018). Πιο συγκεκριμένα, συνδυάζονται βασικές αρχές, όπως: i) αποφυγή διατάραξης του εδάφους, ii) διατήρηση εδαφοκάλυψης που παρέχει προστασία τόσο στα



Σχήμα 1. Δεδομένα διάβρωσης ανά μεταχείριση.

επιφανειακά όσο και βαθύτερα στρώματα του εδάφους, iii) αμειψισπορά με καλλιέργειες κάλυψης, και iv) εφαρμογή κοπριάς ή κομπόστ. Για παράδειγμα, οι πρακτικές μη άροσης συνδέονται συνήθως με υψηλότερα ποσοστά δέσμευσης άνθρακα στο έδαφος (Melero κ.ά, 2009). Η σπορά φυτών κάλυψης, παράλληλα με τη λίπανση του εδάφους και τη μείωση του ανταγωνισμού των ζιζανίων, αποτρέπει την επιφανειακή απορροή και διάβρωση (Espejo-Pérez κ.ά, 2013).

Δύο σχετικά παραδείγματα για τη μελέτη αειφόρων καλλιεργητικών πρακτικών με σκοπό την βελτίωση του εδάφους και τη βέλτιστη διαχείριση του νερού έχουν εφαρμοσθεί σε ελαιώνες της δυτικής Μεσσηνίας. Το πρώτο πείραμα αφορά σε αντιπροσωπευτικό ελαιώνα της περιοχής με ήπια κλίση 17% σε σχέση με τη διαχείριση του εδάφους. Ως βασική παράμετρος μελέτης ορίστηκε η εδαφική διάβρωση όπως επηρεάζεται από τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις εδαφοκάλυψης (ζιζανιοκτονία, τοπική βλάστηση και σπορά φυτών κάλυψης). Ο ελαιώνας αποτελείται από εννέα πειραματικά τεμάχια (τρεις επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση) με παρόμοια κλίση, έκτασης 100 τ.μ., περιλαμβάνοντας τέσσερα ελαιόδεντρα. Σε ένα πειραματικό τεμάχιο από κάθε μεταχείριση έχει εγκατασταθεί σύστημα συλλογής και αποθήκευσης της επιφανειακής απορροής σε δεξαμενές, επιτρέποντας τη μέτρηση του χώματος που έχει απομακρυνθεί μετά από κάθε βροχόπτωση. Παράλληλα, καταγράφεται ο πληθυσμός των αρθροπό-



Σχήμα 2. Άποψη πειραματικού αγρού.

δων ως δείκτης βιοποικιλότητας, και εδαφικές αναλύσεις πραγματοποιούνται εποχιακά (άνοιξη και φθινόπωρο). Πρόσφατες μετρήσεις (Οκτωβρίου 2023, Φεβρουαρίου 2024), παρουσιάζουν διαφορά μεγαλύτερη του 30% στην απώλεια χώματος μεταξύ της ζιζανιοκτονίας και των φυτών κάλυψης (Σχήμα 1). Παρομοίως, η βιοποικιλότητα των εδαφιαίων αρθροπόδων παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές κατά τη χρήση φυτών κάλυψης.

Το δεύτερο πείραμα αφορά τη διαχείριση του νερού κατά την άρδευση της ελιάς σε πεδινό ελαιώνα. Με παρόμοια μεθοδολογία το αγροτεμάχιο έχει χωριστεί σε τρία μέρη (Σχήμα 2) εφαρμόζοντας τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις (μη άρδευση, συμβατική άρδευση και άρδευση στα κρίσιμα φαινολογικά στάδια βασιζόμενη στην εξατμισοδιαπνοή). Οι βασικές παράμετροι που μελετώνται είναι η εδαφική υγρασία με την εγκατάσταση τριών αισθητήρων σε κάθε μεταχείριση, η εξατμισοδιαπνοή με την εγκατάσταση ενός αγρο-μετεωρολογικού σταθμού και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ελαιόλαδου. Η ανάπτυξη της πειραματικής διάταξης ξεκίνησε το καλοκαίρι του 2023 με τα πρώτα αποτελέσματα να αφορούν τη σύγκριση του συμβατικά αρδευόμενου ελαιώνα με τον ξερικό ελαιώνα που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με τον πρώτο. Η πρώτη ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του ελαιόλαδου έδειξε μικρές διαφοροποιήσεις κυρίως στην οξύτητα και στις πολυφαινόλες, χωρίς να υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην ελαιοπεριεκτικότητα του καρπού των δύο μεταχειρίσεων. Η

εφαρμογή της άρδευσης κατά τα κρίσιμα φαινολογικά στάδια στοχεύει στη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενισχύοντας τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του ελαιόλαδου και στον περιορισμό της ανεξέλεγκτης χρήσης των υδατικών πόρων της περιοχής.

Τα δύο πειράματα θα συνεχιστούν για τα επόμενα χρόνια με σκοπό τη συλλογή περισσότερων δεδομένων, ώστε να εξάγουμε ασφαλέστερα συμπεράσματα σε συνεργασία με τους αγρότες και τους ενδιαφερόμενους φορείς της περιοχής. Έτσι, προάγεται η κατάλληλη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη αξιοποίηση των φυσικών πόρων, συμβάλλοντας στον περιορισμό της εδαφικής διάβρωσης και της ερημοποίησης (Tilman et al., 2011; Douglas, 2009).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

De Brogniez, D., Ballabio, C., Stevens, A., Jones, R. J. A., Montanarella, L., & van Wesemael, B. (2015). A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model. European Journal of Soil Science, 66(1), 121-134.

Douglas, E. M., Beltrán-Przekurat, A., Niyogi, D., Pielke Sr, R. A., & Vörösmarty, C. J. (2009). The impact of agricultural intensification and irrigation on land–atmosphere interactions and Indian monsoon precipitation—A mesoscale modeling perspective. Global and Planetary Change, 67(1-2), 117-128.

Duru, M., O. Therond and M. Fares (2015). Designing agroecological transitions: a review. Aronomy for Sustainable Development 35: 1237–57.

Espejo-Pérez, A. J., Rodríguez-Lizana, A., Ordóñez, R., & Giráldez, J. V. (2013). Soil loss and runoff reduction in olive-tree dry-farming with cover crops. Soil Science Society of America Journal, 77(6), 2140-2148.

Hulugalle, N. R. (1994). Long-term effects of land clearing methods, tillage systems and cropping systems on surface soil properties of a tropical Alfisol in SW Nigeria. Soil Use and Management, 10(1), 25-29.

Jongrungrot, V., & Kheowvongsri, P. (2021). Comparative study between rubber agroforestry systems and rubber monocultures and soil erosion decrease via rubber agroforestry profile and crown cover in lower southern Thailand. Kasetsart Journal of Social Sciences, 42(2), 255-261.

Melero, S., López-Garrido, R., Madejón, E., Murillo, J.M.,Vanderlinden,K., Ordónez, ˜ R., Moreno, F., 2009. Long-term effects of conservation tillage on organic fractions in two soils in southwest of Spain. Agric. Ecosyst. Environ. 133, 68–74.

Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2004). Designing Species-Rich, Pest-Suppressive Agroecosystems through Habitat Management. Agroecosystems analysis, 43, 49-61.

Sengar, R. S., & Singh, A. (Eds.). (2018). Eco-friendly Agro-biological Techniques for Enhancing Crop Productivity. Springer.

Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., & Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review. Geoderma, 314, 122-137.

Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K. & Swinton, S. M. 2007 Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecol. Econ. 64, 253–260. (doi:10.1016/j.ecolecon.2007.02.024).

Επίδραση της επιλογής κατάλληλων μελών από ένα σύνολο κλιματικών μοντέλων περιοχής στα αποτελέσματα του CERES-Wheat

Μελπομένη Νίκου
Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων (ΙΕΥΠ), Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός-ΔΗΜΗΤΡΑ

Αριστείδης Γεωργούλιας
Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Θεόδωρος Μαυρομμάτης
Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα για την ελληνική γεωργία, επηρεάζοντας την παραγωγικότητα και τη βιωσιμότητα των καλλιεργειών (IPCC, 2023). Το σιτάρι (μαλακό (*Triticum aestivum*) και σκληρό (*Triticum durum*), αποτελεί μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες της χώρας και καλλιεργείται κυρίως στη Θεσσαλία, Μακεδονία, Θράκη και Στερεά Ελλάδα, περιοχές που προσφέρουν κατάλληλες κλιματικές συνθήκες και εύφορα εδάφη για την ανάπτυξή του (Koutsika et al. 2010). Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει αρνητικά την παραγωγή του σιταριού, με τις αυξημένες θερμοκρασίες, τα ακραία καιρικά φαινόμενα (όπως ξηρασίες και πλημμύρες) και τις μεταβολές στις βροχοπτώσεις, να μειώνουν την αποδοτικότητα και την ποιότητα των σπόρων. Οι επιπτώσεις διαφέρουν ανάλογα με το ανάγλυφο της κάθε περιοχής. Οι περιοχές μεγάλου υψομέτρου βιώνουν έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές και μειωμένη χιονοκάλυψη, ενώ οι παραθαλάσσιες περιοχές αντιμετωπίζουν κίνδυνο από άνοδο της στάθμης της θάλασσας και παράκτια διάβρωση. Η ποικιλομορφία υψομέτρου και γεωγραφίας απαιτεί προσαρμοσμένες στρατηγικές για βιώσιμη διαχείριση των πόρων και ανθεκτικότητα των γεωργικών συστημάτων. Η υιοθέτηση σύγχρονων πρακτικών, όπως η καλλιέργεια ανθεκτικών ποικιλιών σιταριού, η προσαρμογή της ημέρας σποράς, η βελτιωμένη διαχείριση υδάτινων πόρων και οι κατάλληλες τεχνικές αγρονομίας, είναι απαραίτητη (Farooq et al. 2023; Jägermeyr et al. 2021; Obembe et al. 2021). Επιπλέον, η συνεχής παρακολούθηση και πρόβλεψη των κλιματικών συνθηκών είναι καθοριστικής σημασίας για την προσαρμογή στις νέες προκλήσεις, διασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα της παραγωγής σιταριού στην Ελλάδα, την οικονομική σταθερότητα των αγροτικών περιοχών και τη διατροφική ασφάλεια της χώρας.

Η χρήση συνόλων (ensembles) κλιματικών μοντέλων είναι κρίσιμη στην κλιματική ανάλυση, προσφέροντας πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έναντι μεμονωμένων μοντέλων. Τα κλιματικά μοντέλα, ως αριθμητικές αναπαραστάσεις του κλιματικού συστήματος, διαφέρουν στον τρόπο περιγραφής των φυσικών νόμων και διεργασιών. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα είναι η βελτιωμένη ακρίβεια και αξιοπιστία των προβλέψεων, καθώς ο συνδυασμός των μοντέλων επιτρέπει την εξισορρόπηση των σφαλμάτων κάθε μεμονωμένου μοντέλου. Επιπλέον, μπορούν να παρέχουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών, λαμβάνοντας υπόψη μια ευρύτερη γκάμα πιθανών σεναρίων και αβεβαιοτήτων και επιτρέ-

Εικόνα 1. Θέσεις σταθμών δικτύου Meteo (κίτρινο σύμβολο) και grid cells του EURO-CORDEX (κόκκινα πολύγωνα).

πει μια πιο αντικειμενική εκτίμηση της μελλοντικής κλιματικής απόκρισης. Ωστόσο, η χρήση τους παρουσιάζει δυσκολίες λόγω του όγκου δεδομένων και των υπολογιστικών απαιτήσεων, ενώ η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μπορεί να είναι περίπλοκη. Όλα τα μέλη ενός συνόλου μοντέλων δεν είναι πάντα εξίσου κατάλληλα. Η προσεκτική επιλογή και αξιολόγηση τους είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ποιότητας και της χρησιμότητας των προβλέψεων (Brunner et al. 2020; Knutti et al. 2017; Merrifield et al. 2020). Μια μέθοδος για την επιλογή των πιο κατάλληλων μελών είναι η ομαδοποίηση των μελών του συνόλου με βάση κλιματικές μεταβλητές (όπως η θερμοκρασία και η βροχόπτωση) ή συγκεκριμένες εποχές του έτους.

Στο πλαίσιο της εμβληματικής δράσης CLIMPACT II, επιλέχθηκε η περιοχή της Στερεάς Ελλάδας λόγω της σημαντικής ποικιλομορφίας που παρουσιάζει η περιοχή σε υψόμετρο και κλιματικές συνθήκες. Η γεωγραφική ποικιλομορφία της περιοχής επιτρέπει την αξιολόγηση των κλιματικών μοντέλων σε διαφορετικά περιβάλλοντα και σημαντικό εύρος υψομέτρου. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας από οκτώ σταθμούς του δικτύου Meteo (https://meteosearch.meteo.gr/) (Εικόνα 1), με υψόμετρα που κυμαίνονται από 98 έως 760 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας, για ένα σύνολο 99 καλλιεργητικών περιόδων (Δεκέμβριο - Ιούνιο) της περιόδου 2006 - 2023. Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας από την Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) χρησιμοποιήθηκαν για τη συμπλήρωση των μετεωρολογικών παρατηρήσεων. Αντίστοιχα δεδομένα λήφθηκαν από 11 προσομοιώσεις με κλιματικά μοντέλα περιοχής (Regional Climate Models, RCMs) χωρικής ανάλυσης ~12.5 km, του EURO-CORDEX για τα 3 σενάρια εκπομπής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 για καθένα από τα κελιά πλέγματος (grid cells) που εμπεριέχουν τους μετεωρολογικούς σταθμούς (Εικόνα 1).Για την επιλογή των κατάλληλων μελών από το σύνολο του EURO-CORDEX υιοθετήθηκε η μεθοδολογία που προτάθηκε από τους Aschonitis et al. (2019). Σύμφωνα με αυτήν, κάθε ένα από τα 11 κλιματικά μοντέλα αξιολογήθηκε και κατατάχθηκε με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη αξι-

ολόγησης sRPI. Αυτός υπολογίζεται με βάση τις επιδόσεις 12 στατιστικών δεικτών που αξιολογούν τις αποκλίσεις της θερμοκρασίας για κάθε ένα από τα 11 κλιματικά μοντέλα από τις παρατηρήσεις. Τα αποτελέσματα της κατάταξης για το RCP4.5 παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, όπου με πράσινο χρώμα εμφανίζονται τα "καλύτερα" σενάρια προσομοίωσης (sRPI>50% - top 50%) και με κόκκινο τα "χειρότερα" (sRPI<50% - low 50%).

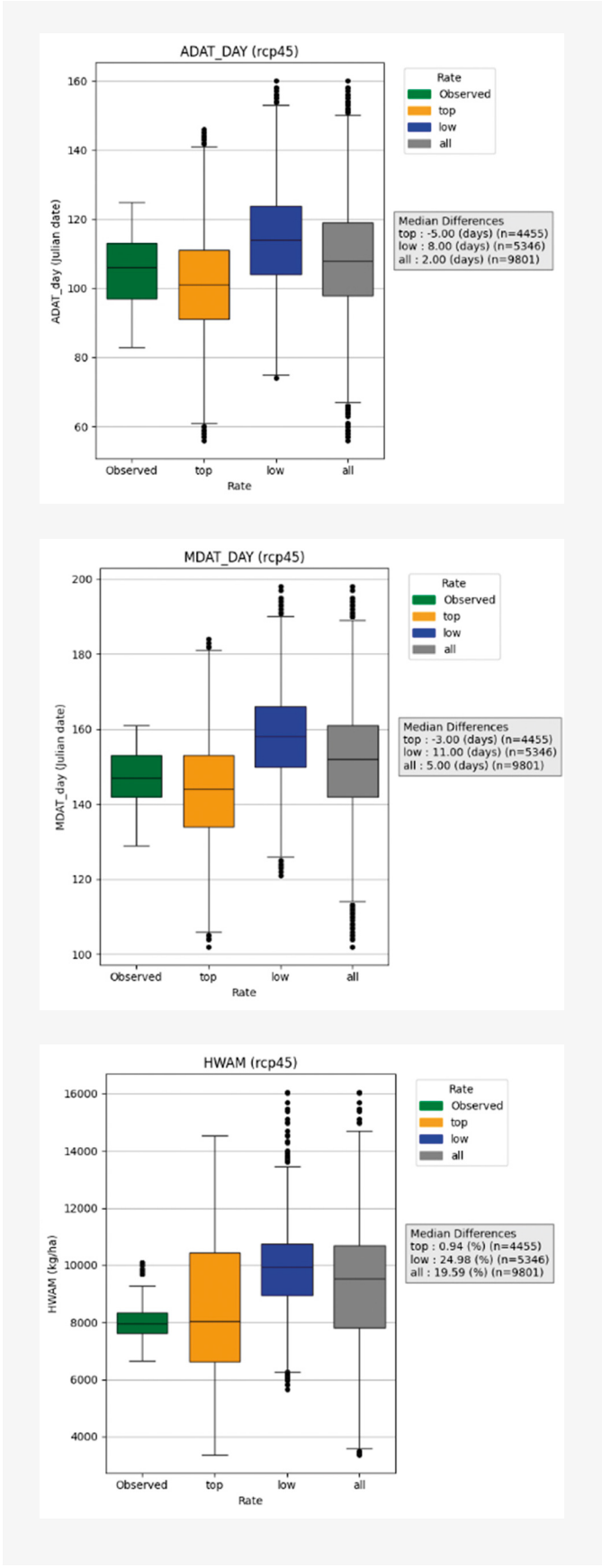
Climate model	sRPI
REMO2009__MPI-M-MPI-ESM-LR__r1	1.00
REMO2009__MPI-M-MPI-ESM-LR__r2	0.98
CCLM4-8-17__ICHEC-EC-EARTH	0.62
HIRHAM5__ICHEC-EC-EARTH	0.60
RCA4__MPI-M-MPI-ESM-LR	0.55
RCA4__MOHC-HadGEM2-ES	0.48
ALADIN63__CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	0.44
RACMO22E__MOHC-HadGEM2-ES	0.38
RCA4__ICHEC-EC-EARTH	0.21
RACMO22E__ICHEC-EC-EARTH	0.09
RACMO22E__CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	0.00

Πίνακας 1. Κατάταξη των κλιματικών μοντέλων περιοχής (Regional Climate Models) για το σενάριο εκπομπής rcp45 (top 50% με πράσινο και low 50% με κόκκινο χρώμα)

Τα πρόδρομα αποτελέσματα της σύγκρισης των ημερών άνθησης, ωρίμανσης και απόδοσης καρπού, όπως προέκυψαν από το βαθμονομημένο CERES-Wheat (Hoogenboom et al. 2012; Nikou and Mavromatis 2023)the GLUE coefficient estimator, and the global yield gap atlas (GYGA, για τρεις διαφορετικές ημέρες φύτευσης (15 Νοεμβρίου, 1 και 16 Δεκεμβρίου), για το σενάριο rcp45, δείχνει για τα "καλύτερα" σενάρια προσομοίωσης χειρότερα αποτελέσματα για το πρώτο στάδιο ανάπτυξης (3 ημέρες διαφορά) (Εικόνα 2), λίγο καλύτερα (2 ημέρες διαφορά) για την ωρίμανση και σημαντικά καλύτερα (>18% μείωση της απόκλισης) για την απόδοση καρπού, σε σχέση με το σύνολο των μελών του συνόλου.

Η προσεκτική επιλογή των κατάλληλων μελών του συνόλου, βάσει των κριτηρίων που αφορούν τις κλιματικές μεταβλητές και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, αναμένεται να διασφαλίσει πιο αξιόπιστες προβλέψεις από το αγρομετεωρολογικό μοντέλο, επιτρέποντας στους γεωργούς να προσαρμοστούν καλύτερα στις κλιματικές αλλαγές και να διατηρήσουν τη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα των καλλιεργειών.

Εικόνα 2. Σύγκριση των ημερών άνθησης, ωρίμανσης (Julian dates) και απόδοσης καρπού (kg/ha), όπως προέκυψαν από το CERES-Wheat, για τρεις διαφορετικές ημέρες φύτευσης (15 Νοεμβρίου, 1 και 16 Δεκεμβρίου), για το σενάριο rcp45, για τις παρατηρήσεις (Observed), το σύνολο (all), τα "καλύτερα" (top: sRPI>50%) και "χειρότερα" (low: sRPI<50%) σενάρια προσομοίωσης. Το μέγεθος δείγματος (σύνολο n των καλλιεργητικών περιόδων) της κάθε κατηγορίας επίσης παρουσιάζεται.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

(IPCC), Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023. *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

Aschonitis, V. G., E. Lekakis, P. Tziachris, C. Doulgeris, F. Papadopoulos, A. Papadopoulos, and D. Papamichail. 2019. "A Ranking System for Comparing Models' Performance Combining Multiple Statistical Criteria and Scenarios: The Case of Reference Evapotranspiration Models." *Environmental Modelling and Software* 114(January):98–111. doi: 10.1016/j.envsoft.2019.01.005.

Brunner, Lukas, Angeline G. Pendergrass, Flavio Lehner, Anna L. Merrifield, Ruth Lorenz, and Reto Knutti. 2020. "Reduced Global Warming from CMIP6 Projections When Weighting Models by Performance and Independence." *Earth System Dynamics* 11(4):995–1012.

Farooq, Ahsan, Nageen Farooq, Haseeb Akbar, Zia U. Hassan, and Shabbir H. Gheewala. 2023. "A Critical Review of Climate Change Impact at a Global Scale on Cereal Crop Production." *Agronomy* 13(1).

Hoogenboom, Gerrit, J. E. Jones, Paul W. Wilkens, Colin Porter, Kenneth J. Boote, L. D. Hunt, Upendra Singh, Jon I. Lizaso, Jeffrey W. White, Oxana Uryasev, Frederick S. Royce, Richard M. Ogoshi, Harm J. Gijsman, Gordon Y. Tsuji, Jawoo Koo, James Wiley Jones, Paul W. Wilkens, Cheryl H. Porter, Leslie A. Hunt, J. L. White, Frederick S. Royce, Gordon Y. Tsuji, and Jc Koo. 2012. "Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5 [CD-ROM]."

Jägermeyr, Jonas, Christoph Müller, Alex C. Ruane, Joshua Elliott, Juraj Balkovic, Oscar Castillo, Babacar Faye, Ian Foster, Christian Folberth, James A. Franke, Kathrin Fuchs, Jose R. Guarin, Jens Heinke, Gerrit Hoogenboom, Toshichika Iizumi, Atul K. Jain, David Kelly, Nikolay Khabarov, Stefan Lange, Tzu-Shun Lin, Wenfeng Liu, Oleksandr Mialyk, Sara Minoli, Elisabeth J. Moyer, Masashi Okada, Meridel Phillips, Cheryl Porter, Sam S. Rabin, Clemens Scheer, Julia M. Schneider, Joep F. Schyns, Rastislav Skalsky, Andrew Smerald, Tommaso Stella, Haynes Stephens, Heidi Webber, Florian Zabel, and Cynthia Rosenzweig. 2021. "Climate Impacts on Global Agriculture Emerge Earlier in New Generation of Climate and Crop Models." *Nature Food* 2(11):873–85. doi: 10.1038/s43016-021-00400-y.

Knutti, Reto, Jan Sedláček, Benjamin M. Sanderson, Ruth Lorenz, Erich M. Fischer, and Veronika Eyring. 2017. "A Climate Model Projection Weighting Scheme Accounting for Performance and Interdependence." *Geophysical Research Letters* 44(4):1909–18. doi: https://doi.org/10.1002/2016GL072012.

Koutsika, Metaxia, Charalampos Gogas, George Evgenidis, and Konstadinos Bladenopoulos. 2010. "Wheat Breeding in Greece." Pp. 239–73 in.

Merrifield, A. L., L. Brunner, R. Lorenz, I. Medhaug, and R. Knutti. 2020. "An Investigation of Weighting Schemes Suitable for Incorporating Large Ensembles into Multi-Model Ensembles." *Earth System Dynamics* 11(3):807–34. doi: 10.5194/esd-11-807-2020.

Nikou, Melpomeni, and Theodoros Mavromatis. 2023. "Demonstrating the Use of the Yield-Gap Concept on Crop Model Calibration in Data-Poor Regions: An Application to CERES-Wheat Crop Model in Greece." *Land* 12(7). doi: 10.3390/land12071372.

Obembe, Oladipo S., Nathan P. Hendricks, and Jesse Tack. 2021. "Decreased Wheat Production in the USA from Climate Change Driven by Yield Losses Rather than Crop Abandonment." *PLOS ONE* 16(6):e0252067.

Granier, C., S. Darras, H. Denier van der Gon, J. Doubalova, N. Elguindi, B. Galle, M. Gauss, M. Guevara, J.-P. Jalkanen, J. Kuenen, C. Liousse, B. Quack, D. Simpson, K. Sindelarova, *The Copernicus Atmosphere Monitoring Service global and regional emissions*, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) report, (April) 2019, doi:10.24380/d0bn-kx16.

FROSTDEFEND

Δημήτρης Γεωργακόπουλος
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Μαρία Γκίνη
Κώστας Ελευθεριάδης
Ινστιτούτο Πυρηνικών & Ραδιολογικών Επιστημών & Τεχνολογίας, Ενέργειας & Ασφάλειας, Εργαστήριο «Ραδιενέργεια Περιβάλλοντος & Τεχνολογίας Αερολύματος για ατμοσφαιρικές και Κλιματικές επιπτώσεις», ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

Η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει ασυνήθιστα πρότυπα εποχιακών καιρικών φαινομένων. Ήπιοι χειμώνες μπορεί να προκαλέσουν πρόωρη εκβλάστηση οφθαλμών σε δέντρα, με κίνδυνο καταστροφής της παραγωγής και του φυτικού κεφαλαίου εάν αργότερα ενσκήψει παγετός. Η εμφάνιση παγετών στην Ελλάδα έχει προκαλέσει σημαντικές καταστροφές, με πιο πρόσφατη την καταστροφή σε εσπεριδοειδή της Πελοποννήσου τον Ιανουάριο του 2021. Στην περιοχή της Αιγιαλείας έχει μειωθεί σημαντικά η παραγωγή λεμονιών λόγω παλαιότερων παγετών το 2004 και το 2007. Στη Γαλλία, η πρόωρη εκβλάστηση οφθαλμών και επακόλουθοι παγετοί το 2016, 2017 και 2019 οδήγησαν σε σημαντικές απώλειες παραγωγής οπωροφόρων δένδρων και αμπελώνων.

Οι ζημιές από παγετό στις καλλιέργειες προκαλούνται από ένα συνδυασμό μετεωρολογικών συνθηκών, φυσιολογικής κατάστασης των δένδρων και του επιφυτικού τους μικροβιώματος. Το επιφυτικό μικροβίωμα περιλαμβάνει ορισμένα βακτήρια με την σπάνια ιδιότητα της κατάλυσης του πηξίματος του νερού σε θερμοκρασίες λίγο κάτω από τους 0ο C. Αυτά τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια ανήκουν κυρίως στα γένη Pseudomonas, Pantoea, Xanthomonas και είναι κοινά μέλη του επιφυτικού μικροβιώματος σε μικρό ή μεγαλύτερο ποσοστό. Διαθέτουν στην εξωτερική τους μεμβράνη λιποπολυσακχαριτών μία πρωτεΐνη, η οποία δρα ως καταλύτης της πήξης του νερού σε θερμοκρασίες κατά τις οποίες δεν είναι δυνατή η αυθόρμητη πήξη του. Ο επιφυτικός σχηματισμός πάγου επεκτείνεται και ενδοφυλλικά με αποτέλεσμα την μηχανική καταστροφή των φυτικών κυττάρων (Lindow, 1983). Συνεπώς, ο έλεγχος των παγοποιητικών βακτηρίων μπορεί να προσδώσει ένα περιθώριο ανοχής χαμηλών θερμοκρασιών σε δενδρώδεις καλλιέργειες.

Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος Life-Climate Action μελετάμε την διακύμανση των παγοποιητικών βακτηρίων στο φύλλωμα και στην ατμόσφαιρα δύο εμπορικών οπωρώνων λεμονιάς ποικιλίας «Μαγληνό» στην περιοχή του Αιγίου (Τέμενη, Βαλιμήτικα), ταυτόχρονα με μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και μετεωρολογικών παραμέτρων. Βάσει των μετρήσεών μας, κατασκευάζουμε ένα εργαλείο πρόγνωσης του κινδύνου ζημιάς από παγετό βάσει των αναμενόμενων επιφυτικών πληθυσμών παγοποιητικών βακτηρίων. Επίσης, στους δύο εμπορικούς οπωρώνες, καθώς και σε δύο πειραματικούς οπωρώνες λεμονιάς εγκατεστημένους σε υψόμετρο, πραγματοποιούμε δοκιμές ψεκασμών με σκευάσματα χαλκού για τον έλεγχο των πληθυσμών των παγοποιητικών βακτηρίων και την συνεπαγόμενη προστασία των δένδρων από ενδεχόμενο παγετό.

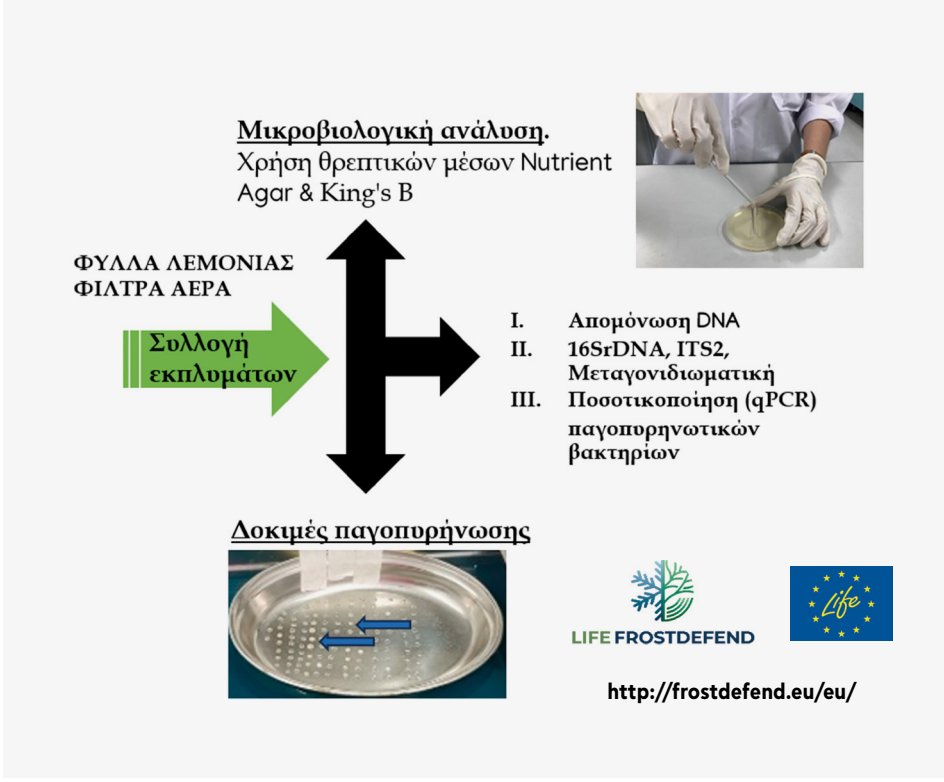
Figure 1. Στόχοι του FROSTDEFEND

Ο παγετός αποτελεί ένα σημαντικό καιρικό φαινόμενο που επηρεάζει αρνητικά τη γεωργική παραγωγή. Μετεωρολογικοί, καλλιεργητικοί και μικροβιολογικοί παράγοντες σχεδόν ισοδύναμα συμμετέχουν στην εγκαθίδρυση και εμφάνισή του εντός του αγροοικοσυστήματος. Από μικροβιολογικής σκοπιάς, βακτήρια του γένους Pseudomonas, συμμετέχουν ενεργά στην ενίσχυση δημιουργίας πάγου στα φυτά μέσω ειδικών πρωτεϊνών στην εξωτερική τους μεμβράνη, που καταλύουν τη δημιουργία πάγου σε υπέρψυχρο νερό. Η ανάπτυξη των παγοπυρηνωτικών βακτηρίων εντός του αγρο-οικοσυστήματος επηρεάζεται από μετεωρολογικές συνθήκες, διασπορά μέσω του αέρα (αφίξεις και αναχωρήσεις) και ακολουθεί συγκεκριμένη διακύμανση ανάλογη των τοπικών μικροκλιματικών συνθηκών.

Στα πλαισια του έργου μελετήσαμε την εποχική δυναμική και την παγοπυρηνωτική ενεργότητα επιφυτικών και εναέριων μικροβιακών πληθυσμών σε εγκατεστημένες βιολογικές και συμβατικές καλλιέργειες λεμονιάς στην περιοχή του Αιγίου. Μέσω μιας διεπιστημονικής προσέγγισης που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της ημερήσιας διακύμανσης των αιωρούμενων σωματιδίων ΑΣ1, ΑΣ2.5 και ΑΣ10 μm σε συνδυασμό με τεχνικές κλασικής μικροβιολογίας και μοριακής βιολογίας (qPCR) για την ταυτοποίηση των φθοριζουσών παγοπυρηνωτικών ψευδομονάδων, απεδείχθη σημαντική εποχική διακύμανση των εν λόγω πληθυσμών καθώς και των παγοπυρηνωτικών φαινομένων, τόσο εναέρια όσο και επιφυτικά.

Η πληθυσμιακή διακύμανση των αιωρούμενων και των επιφυτικών βακτηρίων φαίνεται να ακολουθεί παρόμοιο πρότυπο με την ποσοτική διακύμανση των σωματιδίων του αέρα γεγονός που αποτελεί βάση δημιουργίας μοντέλων πρόβλεψης της πληθυσμιακής δυναμικής των παγοπυρηνωτικών βακτηρίων στη δεδομένη γεωγραφική περιοχή. Σε πειραματικούς οπωρώνες τριετών δενδρυλλίων λεμονιάς σε μεγαλύτερα υψόμετρα έγιναν ψεκασμοί με σκευάσματα χαλκού με σκοπό την μείωση των πληθυσμών επιφυτικών παγοπυρηνωτικών βακτηρίων και της παγοπυρηνωτικής τους δράσης, ώστε να εκτιμηθεί η χρησιμότητά τους για μείωση της ζημιάς από παγετό στα δέντρα. Μετά από 48 ώρες, οι βακτηριακοί πληθυσμοί και η παγοπυρηνωτική ικανότητα στο φύλλωμα είχαν εξαλειφθεί σχεδόν ολοκληρωτικά.

Figure 2. Μεθοδολογία



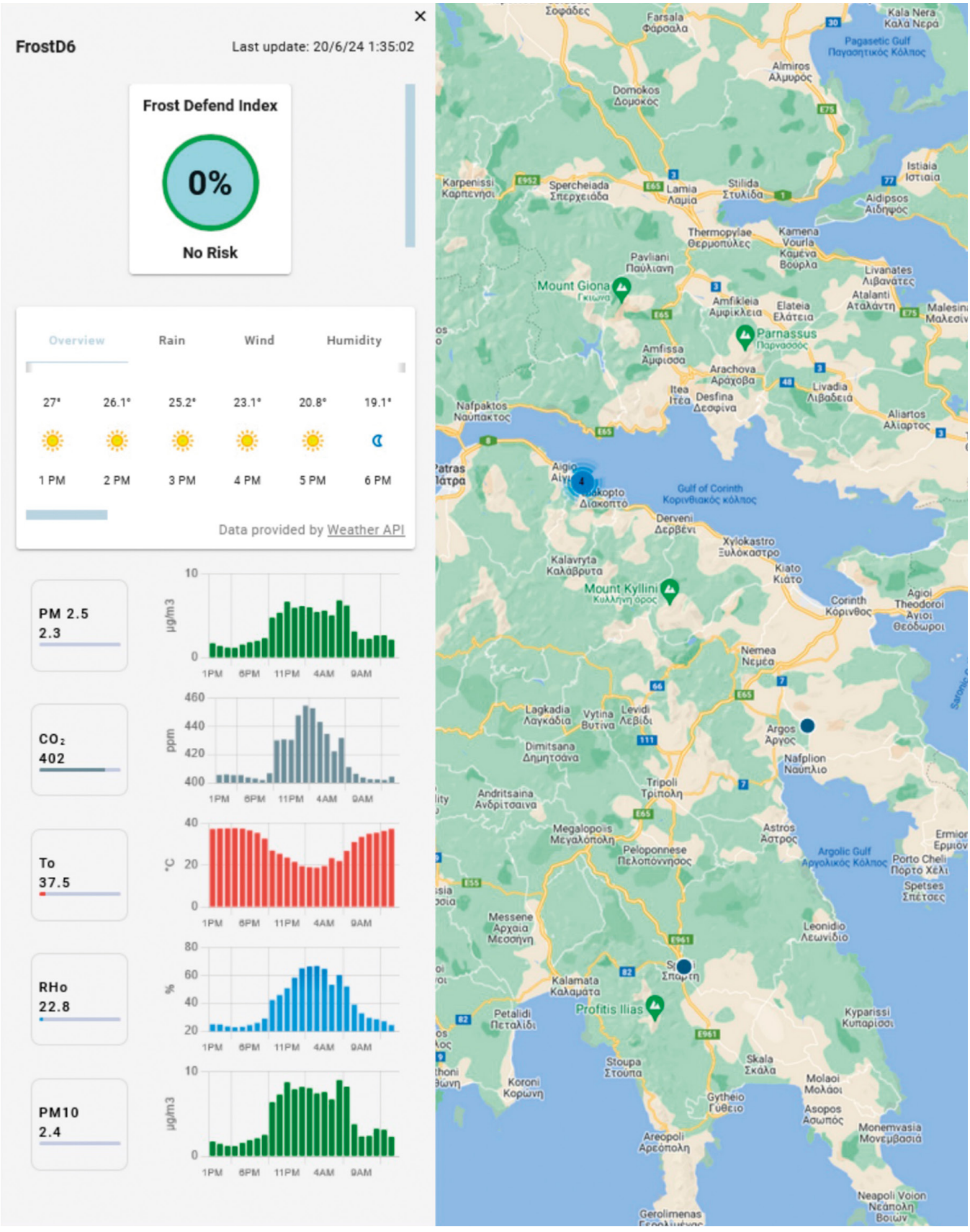


Figure 3. εφαρμογή FROSTDEFEND

CLIMPACT

ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Επιμέλεια έκδοσης
Αθηνά Δήμου
Υπεύθυνη διάχυσης – δικτύωσης CLIMPACT

Επικοινωνήστε με το Δίκτυο
Climpact@noa.gr
Τηλ. 210 3490104/7

CLIMPACT

ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Συντονιστής

ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Συμμετέχοντες φορείς

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

hcmr ΕΛΚΕΘΕ

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών
ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

ΑΘΗΝΑ Έρευνα & Καινοτομία Τεχνολογίες Πληροφορίας

University Of Crete

ΕΚΚΕ

Διασυνδεδεμένα μέλη

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ - ΔΗΜΗΤΡΑ

ΙΤΕ ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

THE AMERICAN COLLEGE OF GREECE Pierce Deree Alba 1875

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ χρόνια δημιουργίας

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ UNIVERSITY OF PATRAS

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

ΕΥΔΑΠ

Ευρωπαϊκό Πανεπιστήμιο Κύπρου

The Cyprus Institute

www.climpact.gr

Το έργο χρηματοδοτείται από:

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΓΓΕΚ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ 2021-2025