

## Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία

Ομάδα Εργασίας:  
Ανδρέας Καραμάνος, Ακαδημαϊκός, Ομ. Καθηγητής Γ.Π.Α., Μέλος Συντονιστικής Ομάδας ΕΜΕΚΑ  
Δημήτριος Βολουδάκης, Επιστημονικός Συνεργάτης Ακαδημίας Αθηνών, Διδάκτωρ Γ.Π.Α.  
Ορέστης Καϊρης, Επ. Καθηγητής Εδαφολογίας Γ.Π.Α  
Αλέξανδρος Μήλιος, Γεωπόνος Α.Π.Θ.

Η επικαιροποίηση της μελέτης επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ελληνική γεωργία, ουσιαστικά αποτελεί εξέλιξη μεθοδολογιών και εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη μελέτη της ΕΜΕΚΑ το 2011 και στηρίζεται στις παρακάτω προσεγγίσεις.

Χρονικά η μελέτη αναφέρεται σε τρεις περιόδους: α) από 01/01/1971 έως 31/12/2000 (περίοδος αναφοράς), β) από 01/01/2031 έως 31/12/2060 και γ) από 01/01/2071 έως 31/12/2100.

Όπως και στην πρώτη μελέτη, γεωγραφικά καλύπτονται και οι δεκατρείς περιφέρειες της χώρας, με τη διαφορά ότι τώρα η ανάλυση των κλιματικών και γεωχωρικών δεδομένων γίνεται σε γεωργικές ζώνες με μέγιστο υψόμετρο έως 500 μέτρα.

Για την ανάλυση των επιπτώσεων χρησιμοποιούνται για κάθε περιφέρεια κλιματικά δεδομένα που προκύπτουν από τα κλιματικά σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 και για κάθε σενάριο εφαρμόστηκε το περιοχικό κλιματικό μοντέλο MPI-REMO, το οποίο παρείχε κλιματικά δεδομένα σε ημερήσια βάση για την περίοδο αναφοράς καθώς και προβλέψεις των αντίστοιχων τιμών για τις άλλες δύο περιόδους μελέτης. Τα κλιματικά δεδομένα αφορούσαν τη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία (°C), τη σχετική υγρασία (%), την ταχύτητα του ανέμου (m/s), την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>) και τη βροχόπτωση (mm).

Για την ανάλυση των επιπτώσεων στις βασικές κατηγορίες της φυτικής παραγωγής ακολουθείται η ίδια προσέγγιση με την αρχική μελέτη του 2011. Δηλαδή, προς μελέτη επιλέχθηκαν από τις ετήσιες αροτραίες καλλιέργειες, το βαμβάκι, ο αραβόσιτος και το σιτάρι. Η εκτίμηση των επιπτώσεων σε αυτές τις καλλιέργειες έγινε με τη χρήση προτύπου ανάπτυξης καλλιεργειών και πιο συγκεκριμένα του μοντέλου AquaCrop (Steduto et al., 2009), το οποίο αναπτύχθηκε από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO)

Επιπλέον, όσον αφορά τις ετήσιες κηπευτικές καλλιέργειες (όχι υπό κάλυψη) για πρώτη φορά επιλέχθηκε η τομάτα ως αντιπροσωπευτική καλλιέργεια, για την οποία η εκτίμηση των επιπτώσεων έγινε ομοίως με τη χρήση του προτύπου AquaCrop.

Για τις πολυετείς καλλιέργειες και πιο συγκεκριμένα ελιά, αμπέλι, εσπεριδοειδή και ακρόδρυα η εκτίμηση των επιπτώσεων πραγματοποιήθηκε με βάση την βιβλιογραφική έρευνα και την κρίση των ειδικών. Συνεκτιμάται επίσης, με βάση συγκεκριμένους βιοκλιματικούς δείκτες, η επίπτωση στην παραγωγή ακραίων

κλιματικών φαινομένων που σχετίζονται περισσότερο με περιόδους ακραίων θερμοκρασιών.

Όπως και το 2011, η ομάδα εργασίας έκρινε σκόπιμο να ενσωματώσει τον παράγοντα έδαφος στον υπολογισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Πιο συγκεκριμένα, για το έδαφος υπολογίστηκε η διάβρωση και αναλυτικότερα ο μέσος ρυθμός απώλειας εδάφους λόγω υδατικής και μηχανικής διάβρωσης, με την πρώτη να επηρεάζεται περισσότερο από τη μεταβολή κλιματικών παραμέτρων και τη δεύτερη από τους καλλιεργητικούς χειρισμούς που σχετίζονται με την κατεργασία του εδάφους. Για τον υπολογισμό της υδατικής διάβρωσης έγινε εφαρμογή της μεθοδολογίας RUSLE (Renard et al., 1997; Loureiro and Coutinho, 2001; Lopez et al., 2008). Για τη μηχανική διάβρωση, μελετήθηκε αποκλειστικά η περίπτωση άροσηςκάθετα στις ισοϋψείς με χρήση αρότρου [Gerontidis et al., 2001, Tsara et al., 2001].

Για να εφαρμοστεί η μεθοδολογία στις 13 Περιφέρειες της Ελλάδας, χρησιμοποιήθηκε τρισδιάστατο μοντέλο υψομέτρων ανάλυσης 25 m., από το οποίο υπολογίζονταν σε σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων οι κλίσεις των εδαφικών επιφανειών. Έτσι, ελήφθησαν διακριτά δεδομένα για τις τρεις κλάσεις βάθους εδάφους για τις οποίες η ομάδα μελέτης έκρινε ως πιο αντιπροσωπευτικές του ενεργού ριζοστρώματος: 0-30 εκ., 30-60 εκ και >60 εκ.

Για κάθε μία καλλιέργεια εκτιμάται η επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στις δύο περιόδους μελέτης συγκριτικά με την περίοδο αναφοράς στα τρία κλιματικά σενάρια. Κατ' αρχήν, υπολογίζεται η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις αποδόσεις των καλλιεργειών (σε τόνους/εκτάριο). Στη συνέχεια, για τον υπολογισμό της επιφάνειας του παραγωγικού εδάφους λαμβάνεται υπόψη η υδατική και η μηχανική διάβρωση και υπολογίζεται ο ρυθμός απώλειας ενεργού ριζοστρώματος για τα βάθη 0-30, 30-60 και >60 εκ. Η παραπάνω προσέγγιση έχει δημοσιευθεί ήδη σε πραγματεία της Ακαδημίας Αθηνών (Καραμάνος κ.ά., 2022) καθώς και σε επιστημονικά άρθρα (Kairis et al., 2022, Karamanos et al. 2022).

Με βάση τα στοιχεία ΟΣΔΕ 2022 και γνωρίζοντας για κάθε περιφέρεια την επιφάνεια των κλάσεων βάθους εδάφους που καλλιεργούνται οι προαναφερόμενες καλλιέργειες, υπολογίζεται η μεταβολή στην δυνητική παραγωγικότητα της κάθε καλλιέργειας ανά περιφέρεια, ανά περίοδο, ανά κλιματικό σενάριο.

# ► ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

## ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

### ΦΥΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ:

- **Ανδρέας Καραμάνος**, Ακαδημαϊκός, Ομ. Καθηγητής Γ.Π.Α., μέλος συντονιστικής ομάδας ΕΜΕΚΑ
- **Δημήτριος Βολουδάκης**, επιστημονικός συνεργάτης Ακαδημίας Αθηνών, διδάκτωρ Γ.Π.Α.
- **Ορέστης Καΐρης**, Επ. Καθηγητής Εδαφολογίας Γ.Π.Α.
- **Αλέξανδρος Μήλιος**, γεωπόνος Α.Π.Θ.

### ΖΩΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ:

- **Γεώργιος Ζέρβας**, Ομ. Καθηγητής, π. Πρύτανης Γ.Π.Α.

### ΑΛΙΕΙΑ –ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

- **Ελένη Μήλιου**, Καθηγήτρια, Αντιπρύτανης Γ.Π.Α.
- **Στέφανος Καλογήρου**, Επικ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
- **Εμμανουήλ Μαλανδράκης**, Επικ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

**ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ  
ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΙΣ  
ΑΡΟΤΡΑΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**Α. Καραμάνος, Δ. Βολουδάκης, Ο. Καϊρης,  
Κ. Κοσμάς, Ι. Καψωμενάκης, Κ. Δουβής,  
Χ. Ζερεφός**

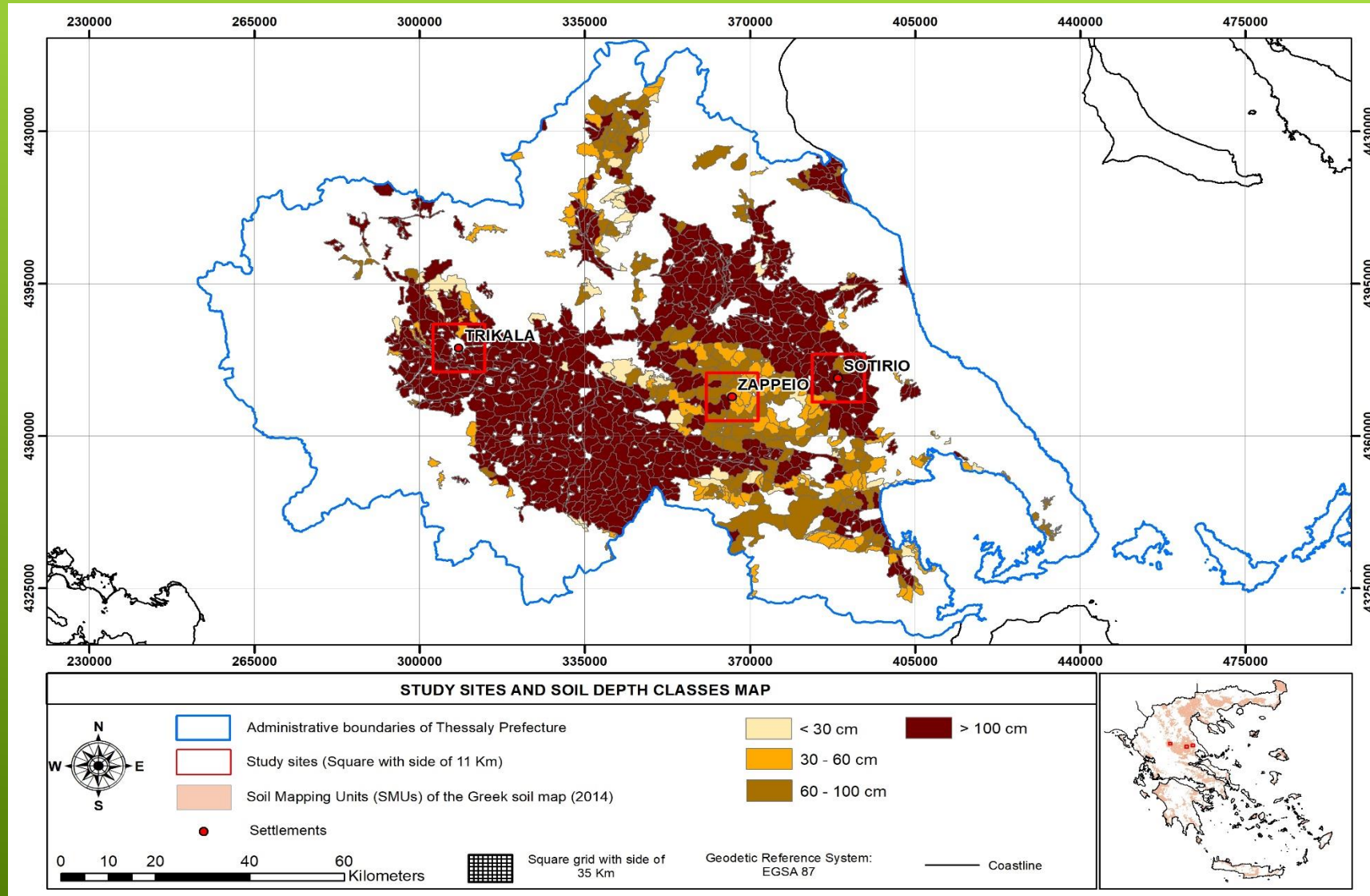
## ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

- Προβλέψεις των αποδόσεων και της παραγωγής των κύριων αροτραίων καλλιεργειών της Θεσσαλίας (σιταριού, βαμβακιού και αραβοσίτου) στο μέσο (2041-2060) και το τέλος (2081-2100) του τρέχοντος αιώνα συγκριτικά με την περίοδο αναφοράς (1981-2000).
- Εκτίμηση των συστατικών της ερημοποίησης του εδάφους (μηχανική και υδατική διάβρωση, αλάτωση) και συμπερίληψή τους στις προβλέψεις των αποδόσεων και της παραγωγής των καλλιεργειών.

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

- Τρεις περιοχές μελέτης με διαφορετική διαμόρφωση εδάφους διαστάσεων 11x11 km (Τρίκαλα, Ζάππειο, Σωτήριο)
- Χρήση δύο σεναρίων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, RCP4.5 και RCP8.5.
- Εφαρμογή ενός πρόσφατου περιφερειακού μετεωρολογικού μοντέλου (RCM) υψηλής ανάλυσης για την πρόβλεψη της αλλαγής του κλίματος σε ημερήσια βάση στο μέσο (2041-2060) και τέλος (2081-2100) του αιώνα.
- Εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης καλλιεργειών AQUACROP για πρόβλεψη των αποδόσεων των καλλιεργειών σύμφωνα με τις προβλέψεις αλλαγής του κλίματος.
- Υπολογισμός της παραγωγής των καλλιεργειών βάσει των αποδόσεων και των εκτάσεων του καλλιεργήσιμου εδάφους.

# ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΑΘΟΥΣ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΤΙΣ 3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



# ΣΥΝΟΨΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

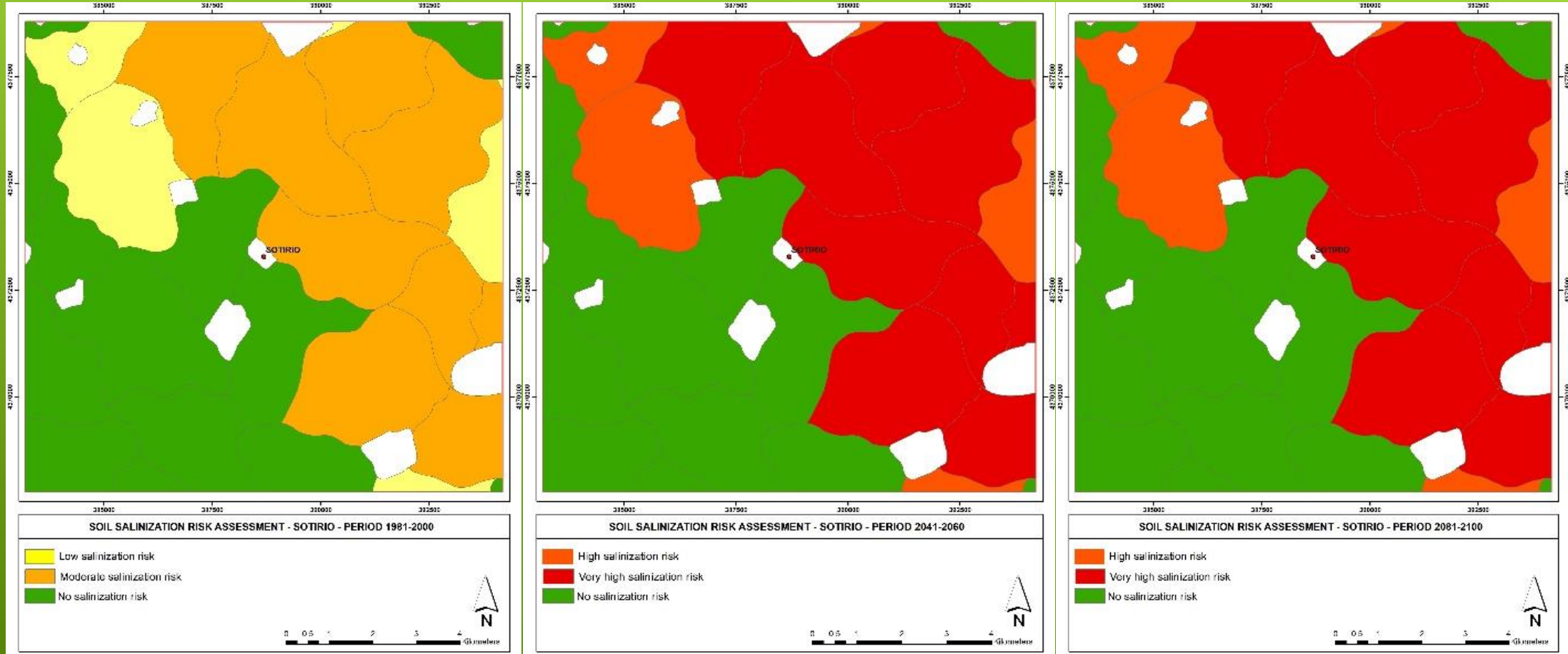
	RCP4.5		RCP8.5	
	2041-2060	2081-2100	2041-2060	2081-2100
<b>T<sub>max</sub> (°C)</b>	1.62	1.85	2.26	4.98
<b>T<sub>min</sub> (°C)</b>	1.60	1.84	2.24	4.84
<b>P (%)</b>	0.33	3.22	-10.10	-23.11
<b>ET<sub>o</sub> (%)</b>	13.79	13.80	17.05	30.62



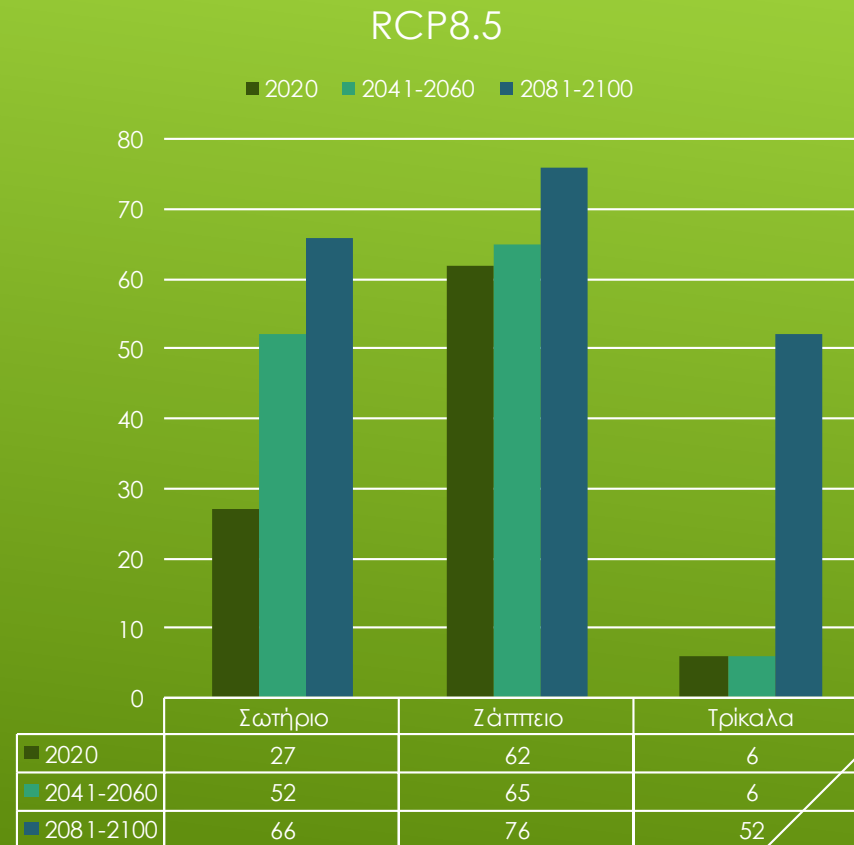
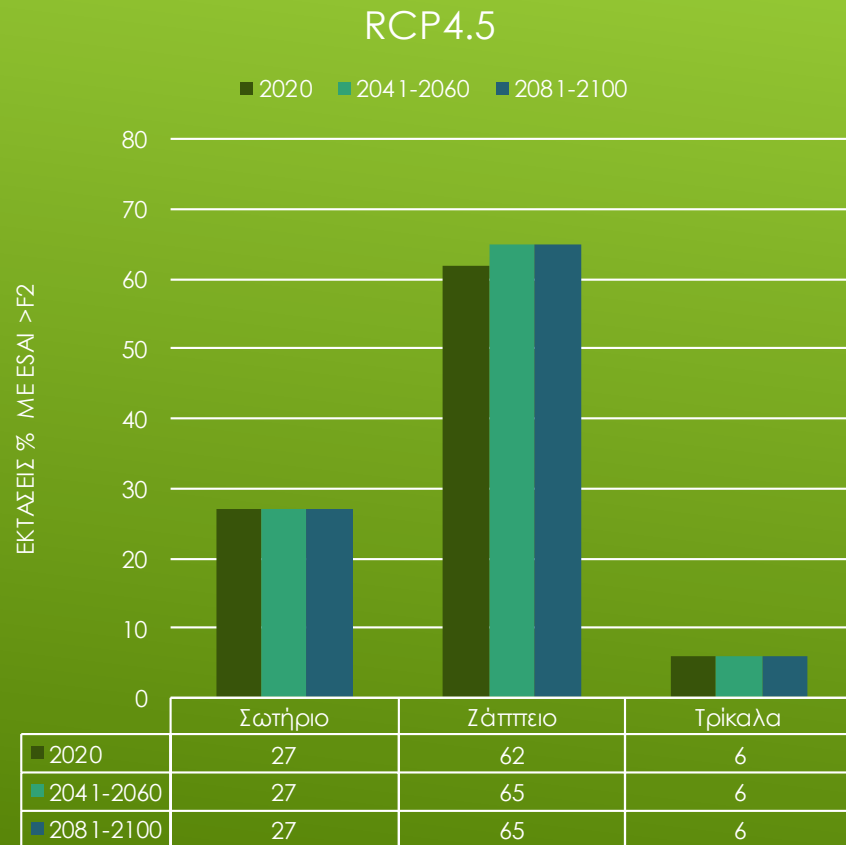
# ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ [CO<sub>2</sub>]

[CO <sub>2</sub> ] (ppm)	1981-2000	353.60	
		RCP4.5	RCP8.5
	2041-2060		487.20
2081-2100		545.40	850.10

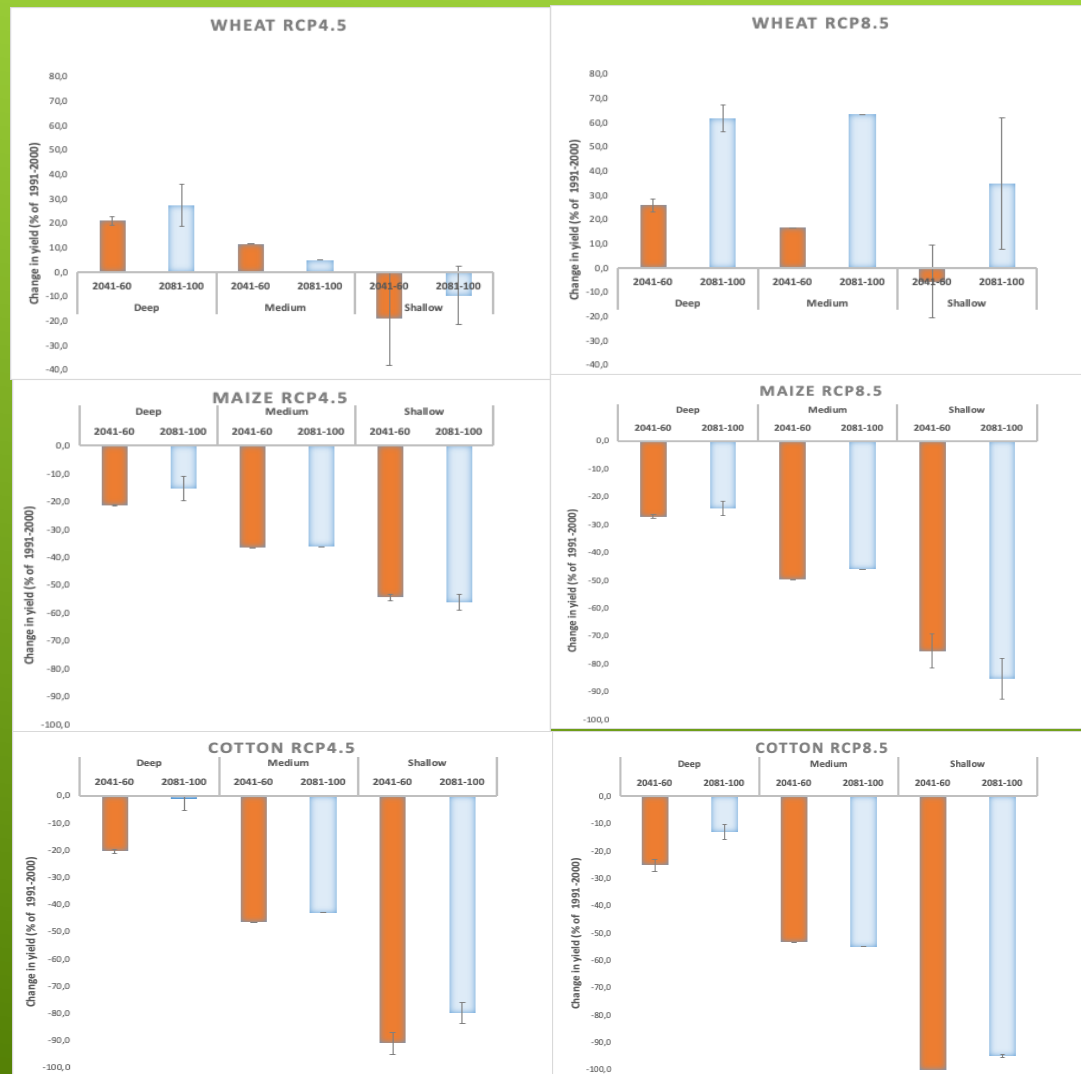
# ΤΟΠΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΣΩΤΗΡΙΟΥ ΤΟ 2014 (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), 2041-2060 (ΚΕΝΤΡΟ) ΚΑΙ 2081-2100 (ΔΕΞΙΑ)



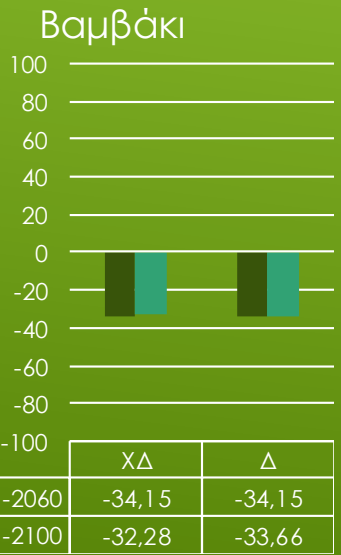
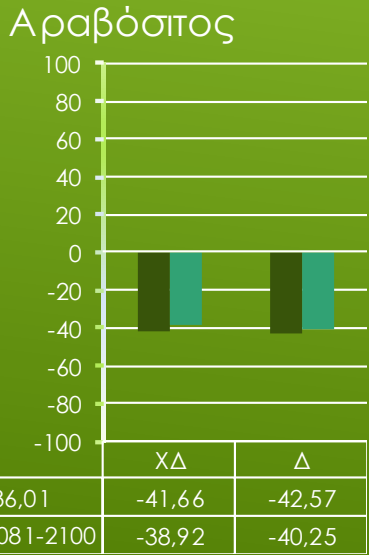
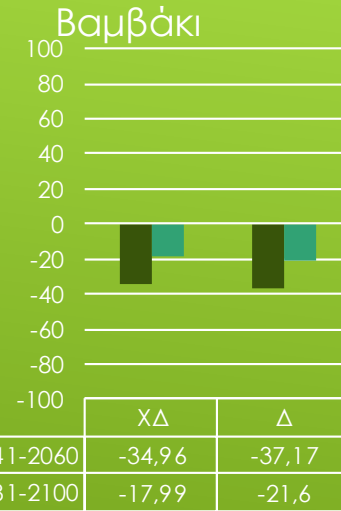
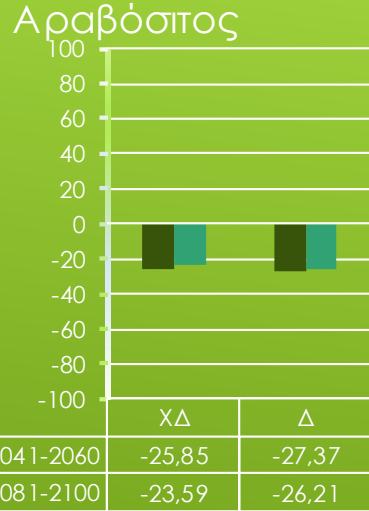
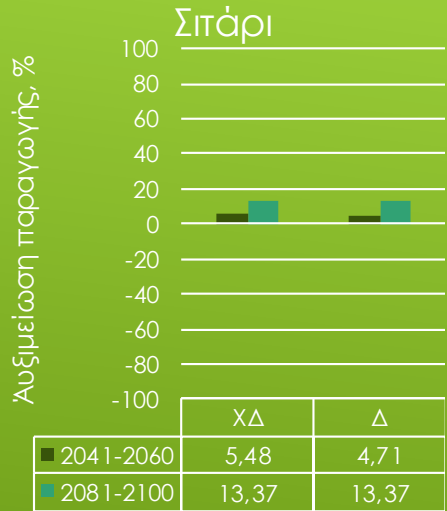
# ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗΣ (ESAI) >1,32 ΜΕ ΤΑ ΣΗΜΕΡΙΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ, ΤΟ 2041-60 ΚΑΙ ΤΟ 2081-100



# ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΤΩΝ 3 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ (% ΤΟΥ 1981-2000) ΚΑΤΑ ΤΟ 2041-60 ΚΑΙ 2081-100 ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΒΑΘΕΙΑ (>100CM), ΜΕΣΑΙΟΥ ΒΑΘΟΥΣ (100-60CM) ΚΑΙ ΡΗΧΑ (<60CM)



# ► ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ 3 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ (% ΤΟΥ 1981-2000) ΚΑΤΑ ΤΟ 2041-60 ΚΑΙ 2081-100 ΣΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ RCP4.5 (ΕΠΑΝΩ) ΚΑΙ RCP8.5 (ΚΑΤΩ) ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΜΗ ΔΙΑΒΡΩΜΕΝΑ (ΧΔ) ΚΑΙ ΔΙΑΒΡΩΜΕΝΑ (Δ)



# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αλλαγή του κλίματος προβλέπεται να:

- Εντείνει τις τάσεις ερημοποίησης του εδάφους, ιδιαίτερα σε περιοχές επικλινείς (μέσω διάβρωσης) ή κακώς στραγγιζόμενες (μέσω αλάτωσης), με αποτέλεσμα τον **περιορισμό και την υποβάθμιση των καλλιεργήσιμων γαιών**.
- Μειώσει τις αποδόσεις του αραβοσίτου έως 29,3% και του βαμβακιού μέχρι 29,6% και να αυξήσει τις αποδόσεις του σιταριού μέχρι 68,6% **σε βαθιά εδάφη** έως το τέλος του αιώνα στο δυσμενέστερο σενάριο εκπομπής.
- Εκμηδενίσει ουσιαστικά τις αποδόσεις του βαμβακιού και του αραβοσίτου, αλλά να διατηρήσει σε χαμηλά επίπεδα τις αποδόσεις του σιταριού **σε ρηχά και επικλινή εδάφη** έως το τέλος του αιώνα.

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αλλαγή του κλίματος προβλέπεται να:

- Μειώσει την παραγωγή αραβοσίτου μέχρι 41,7% και του βαμβακιού μέχρι 34,2% και να αυξήσει την παραγωγή σιταριού κατά 13,4% στο δυσμενέστερο σενάριο εκπομπής έως το τέλος του αιώνα.
- Επιφέρει περαιτέρω μειώσεις στην παραγωγή κατά 3,6% σε όλες τις καλλιέργειες σε διαβρωμένα εδάφη.

# ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

- ▶ Εφαρμογή καλλιεργητικών μέτρων διατήρησης του εδάφους στις επικλινείς εκτάσεις.
- ▶ Οι καλλιέργειες βαμβακιού και αραβοσίτου να περιορισθούν στις πεδινές εκτάσεις και στα βαθειά εδάφη, ενώ στις επικλινείς εκτάσεις να προτιμάται το σιτάρι και λειμώνια φυτά.
- ▶ Εφαρμογή μέτρων αποκατάστασης του εδάφους στις περιοχές υψηλού κινδύνου αλάτωσης.
- ▶ Τροποποίηση του χρόνου σποράς: οψιμότερα στις χειμωνιάτικες και πρωιμότερα στις καλοκαιρινές καλλιέργειες.
- ▶ Καλλιέργεια φυτικών ειδών και ποικιλιών με βραχύτερο βιολογικό κύκλο για εξοικονόμηση νερού.
- ▶ Νέα στρατηγική χρήσης αρδευτικού νερού με έμφαση στα επιφανειακά ύδατα.
- ▶ Κατασκευή κατάλληλων υποδομών για την αντιμετώπιση πλημμυρών.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ

