



Η Γεωργία στην Εποχή της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Drones –

Επισημάνσεις από το 14ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής

Σε μια περίοδο όπου η ελληνική γεωργία καλείται να ανταποκριθεί σε αυξανόμενες περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές πιέσεις, το 14ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ) ανέδειξε μια νέα πραγματικότητα: η τεχνητή νοημοσύνη, η ρομποτική, οι αυτοματισμοί, η τηλεπισκόπηση, τα drones και οι ψηφιακές τεχνολογίες δεν αποτελούν πλέον απλώς τεχνολογικές υποσχέσεις, αλλά εργαλεία που ήδη διαμορφώνουν το μέλλον της ελληνικής παραγωγής.

Σε δύο ημέρες συνεδρίου, παρουσιάστηκαν 77 επιστημονικές εργασίες, καλύπτοντας όλο το φάσμα της σύγχρονης γεωργικής μηχανικής — από τα ευφυή συστήματα παραγωγής και τη γεωργία ακριβείας, μέχρι τις αγροτικές κατασκευές, τη διαχείριση υδατικών πόρων, τη βιοενέργεια, την κυκλική οικονομία και τις νέες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις.

Το συνέδριο έστειλε ένα ξεκάθαρο μήνυμα: η ελληνική γεωργία αλλάζει γρήγορα, και η τεχνολογία είναι πλέον ο πυρήνας της μετάβασης.

1. Ρομποτικά συστήματα και αυτοματισμοί στην υπηρεσία των παραγωγών

Οι εξελίξεις στη ρομποτική που παρουσιάστηκαν στο συνέδριο δείχνουν ότι η αυτοματοποίηση παίρνει πια σταθερή θέση στη σύγχρονη παραγωγή. Δεν μιλάμε πλέον για μεμονωμένες εφαρμογές, αλλά για ολοκληρωμένα ρομποτικά συστήματα ικανά να πλοηγούνται αυτόνομα, να συλλέγουν δεδομένα, να εκτελούν εργασίες και να ενσωματώνονται στη διαχείριση της καλλιέργειας. [1],[2],[3],[4].

Οι πλατφόρμες αυτές μπορούν να συνδυάζουν πολλαπλούς αισθητήρες - από απλές κάμερες RGB μέχρι τρισδιάστατους αισθητήρες LiDAR και πολυφασματικούς και θερμικούς αισθητήρες που επιτρέπουν να αποτυπωθεί η κατάσταση των φυτών σε πραγματικό χρόνο [3],[5]. Μπορεί επίσης να έχουν ρομποτικούς βραχίονες για την εκτέλεση σύνθετων εργασιών όπως η

εγκατάσταση ξύλινων υποστυλωμάτων σε αναρριχώμενες ποικιλίες κηπευτικών [1].

Οι τεχνολογίες αυτές έχουν πλέον ξεφύγει από τα στενά πλαίσια της επιστημονικής έρευνας και μέσα από το χαμηλό τους κόστος βρίσκουν ευρεία εμπορική απήχηση. Από την άλλη, η ικανότητά των ρομποτικών πλατφόρμων να κινούνται αυτόνομα και με ακρίβεια μέσα σε σύνθετες καλλιέργειες, όπως οι αμπελώνες, αποδεικνύει ότι η ρομποτική δεν είναι πλέον πειραματική, αλλά πλήρως λειτουργική [7].

Ακόμη και η διαχείριση του φωτισμού εξελίσσεται προς αυτή την κατεύθυνση: ρυθμιζόμενες ρομποτικές πλατφόρμες με εκπεμπόμενη PAR ακτινοβολία δείχνουν ότι η τεχνολογία μπορεί να επεμβαίνει στο μικροκλίμα με ακριβή, στοχευμένο τρόπο, βελτιστοποιώντας τη φωτοσυνθετική απόκριση των φυτών όταν η φυσική ακτινοβολία είναι ανεπαρκής [8].

Το μήνυμα στο συνέδριο ήταν σαφές: η ρομποτική μετατρέπεται πολύ γρήγορα σε βασικό εργαλείο παρακολούθησης και ενεργής διαχείρισης των καλλιεργειών. Οι αισθητήρες, τα μοντέλα και οι αυτοματισμοί μπορούν να δημιουργήσουν ένα πλήρως διασυνδεδεμένο οικοσύστημα διαχείρισης των καλλιεργειών.

2. Θερμοκήπια, ενέργεια και αγροβολταϊκά

Στο πεδίο των θερμοκηπιακών κατασκευών, η επιστήμη δείχνει να συγκλίνει προς ένα κεντρικό στόχο: την ενεργειακή βελτιστοποίηση χωρίς απώλειες στην παραγωγή. Οι εφαρμογές

φωτοβολταϊκών μέσα ή πάνω σε θερμοκήπια συνοδεύονται πλέον από ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης φωτισμού και CO_2 , που επιτρέπουν την αντιστάθμιση της μειωμένης φυσικής ακτινοβολίας.[9],[10],[11],[12],[13].

Η μείωση της εισερχόμενης PAR ακτινοβολίας από αγροβολταϊκά συστήματα μπορεί να είναι σημαντική, όμως ο εμπλουτισμός CO_2 [13] και η σωστή σχεδίαση των συστημάτων εξαερισμού [14] επιτρέπουν τη διατήρηση της παραγωγικότητας σε υψηλά επίπεδα. Παράλληλα, τα υπολογιστικά μοντέλα που εφαρμόζονται για την καταγραφή θερμικών ροών [15] ή κατανομών πίεσης [16] σε κατασκευές ενισχύουν την ικανότητα των μηχανικών να σχεδιάζουν θερμοκήπια, αποθήκες και κτηνοτροφικές μονάδες που ανταποκρίνονται καλύτερα σε έντονα και μεταβαλλόμενα κλιματικά φορτία.

Η ενεργειακή διαχείριση δεν αφορά μόνο την εξοικονόμηση πόρων [17],[18]: αφορά τη μετάβαση σε ένα νέο πρότυπο παραγωγής, όπου το θερμοκήπιο και η κτηνοτροφική μονάδα λειτουργούν ως ένα έξυπνο, πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον.

3. Προστασία και αποκατάσταση εδαφών

Οι εργασίες που αφορούν το έδαφος παρουσιάζουν μια εντυπωσιακή στροφή προς πιο λεπτομερείς μηχανισμούς κατανόησης της ρύπανσης και προς πιο προσαρμοσμένες παρεμβάσεις για την αποκατάσταση.

Η συμπεριφορά των ρυπαντών στο έδαφος είναι γενικά πολύπλοκη, επηρεάζεται από φυσικοχημικές παραμέτρους και απαιτεί μακρόχρονη και συστηματική παρακολούθηση. Με τη χρήση μοντέλων διάχυσης και εξειδικευμένων λογισμικών όμως η μετακίνηση των βαρέων μετάλλων και η συσσώρευση μικροπλαστικών στο έδαφος μπορεί και αναλύεται πλέον στο πεδίο με ακρίβεια εργαστηρίου επιτρέποντας την ποσοτικοποίηση της ρύπανσης και τη λήψη κατάλληλων και έγκυρων αποφάσεων [19],[20],[21].

Από την άλλη, η χρήση οργανικών εδαφοβελτιωτικών φαίνεται να ενισχύει τη γονιμότητα και την πρόσληψη θρεπτικών, όμως ταυτόχρονα μεταβάλλει την κινητικότητα στοιχείων όπως πχ του ψευδαργύρου και του σιδήρου [22],[23]. Τέλος, η βιοαποκατάσταση με φυτικά είδη και βιολογικά υλικά φαίνεται να αποκτά πιο στοχευμένο χαρακτήρα [24],[25],[26]. Η διαφοροποίηση στις χημικές και βιολογικές διεργασίες της ριζόσφαιρας [27],[28] μεταξύ διαφορετικών φυτών αποδεικνύει ότι η επιλογή του είδους της καλλιέργειας αποτελεί εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης, με πραγματική αποτελεσματικότητα σε υποβαθμισμένα εδάφη.

4. Υδατικοί πόροι και φυσικοί κίνδυνοι

Στον τομέα της υδρολογίας, η επιστήμη δείχνει να μετακινείται από τις εμπειρικές εκτιμήσεις σε ποσοτικά, γεωχωρικά αξιόπιστα μοντέλα. Η χαρτογράφηση πλημμυρικού κινδύνου με στατιστικές μεθόδους [29],[30] , η αξιολόγηση μοντέλων και η σύγκλιση με

επίσημους κρατικούς χάρτες δείχνουν μια σημαντική τάση: η εκτίμηση κινδύνου εισέρχεται σε μια νέα εποχή πιστοποίησης, όπου τα εργαλεία δεν έχουν μόνο επιστημονική αξία, αλλά και άμεση χρησιμότητα για τις τοπικές αρχές και την λήψη αποφάσεων [31]. Η γεωργική μηχανική στηρίζει πλέον ενεργά την πρόληψη φυσικών καταστροφών, προσφέροντας προβλέψεις που επιτρέπουν καλύτερο σχεδιασμό υποδομών και στρατηγικών διαχείρισης. Επιπλέον, με τη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών άρδευσης επιτυγχάνεται ουσιαστική μείωση του υδατικού και ενεργειακού αποτυπώματος των καλλιεργειών [32],[33] ενώ η δυνατότητα για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για σκοπούς άρδευσης δημιουργώντας προοπτικές για πιο ανθεκτικά και βιώσιμα αρδευτικά συστήματα, ιδιαίτερα σε περιοχές της Ελλάδος με περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού [34].

5. Αειφορικά συστήματα φυτικής παραγωγής και ευφυής διαχείριση

Στη φυτική παραγωγή, οι εργασίες συγκλίνουν προς ένα διττό στόχο: καλύτερη αξιοποίηση των πόρων και μείωση των εισροών. Οι συγκαλλιέργειες και οι καλλιέργειες κάλυψης αναδεικνύονται ως πρακτικές με σαφή οφέλη - όχι μόνο βιολογικά, αλλά και περιβαλλοντικά - αφού μειώνουν την παρουσία ζιζανίων και ενισχύουν τη βιομάζα και την κάλυψη του εδάφους [35],[36].

Η δυνατότητα διαρκούς παρακολούθησης των καλλιεργειών με μεθόδους τηλεπισκόπησης από *drones* και δορυφόρους αλλά και ρομποτικές επίγειες πλατφόρμες ανοίγει νέες δυνατότητες για

την ορθή διαχείριση [37],[38],[39]. Στο συνέδριο αποδείχτηκε ότι προηγμένοι αλγόριθμοι μπορούν να προβλέψουν την τελική απόδοση με ακρίβεια που ξεπερνά το 90%, ακόμη και με πρώιμες προβλέψεις στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας [40]. Αυτό σημαίνει ότι οι παραγωγοί μπορούν να λαμβάνουν κρίσιμες αποφάσεις για τη λίπανση, την άρδευση, την διαχείριση κινδύνων κ.α. πολύ νωρίτερα και με σημαντικά χαμηλότερη αβεβαιότητα. Τεχνολογίες όπως η υπερφασματική απεικόνιση μπορεί να εντοπίζει ακόμη και μυκητολογικές ασθένειες πριν την εμφάνιση συμπτωμάτων, επιτρέποντας εφαρμογές χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος μέσα από στοχευμένες επεμβάσεις [41],[42],[4].

Η συνεργατική δράση ευφυών και αειφόρων καλλιεργητικών πρακτικών όπως η Γεωργία Διατήρησης με τη Γεωργία Ακριβείας οδηγεί σε μια εντυπωσιακή μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος [43] προσφέροντας λύσεις για την επίτευξη των στόχων της Αναγεννητικής Γεωργίας [44] και της Γεωργίας Δέσμευσης Άνθρακα [45] και την προσαρμογή του παραγωγικού μοντέλου στη κλιματική αλλαγή [46],[47]

Η αγρο-οικολογική συνείδηση πλέον, πλακισιώνει σήμερα όλες τις εκφάνσεις της γεωργικής παραγωγής συμπεριλαμβανομένου του γεωργικού εξοπλισμού. Οι γεωργικές εργασίες πρέπει να εκτελούνται με ακρίβεια και ασφάλεια. Η μηχανική δεν στοχεύει μόνο στην αύξηση της απόδοσης, αλλά και στη μείωση των περιβαλλοντικών πιέσεων που συνδέονται με τις καλλιεργητικές πρακτικές. Τα ψεκαστικά drone αποτελούν ένα πρακτικό εργαλείο,

καθώς επιτρέπουν ακριβή κάλυψη και καλύτερο έλεγχο με στοχευμένες εφαρμογές που μειώνουν την κατανάλωση εισροών και τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο [48]. Καινοτόμα **συστήματα φορητών σταθμών συγκέντρωσης των εκπλυμάτων** πλήρωσης και καθαρισμού των ψεκαστικών μηχανημάτων επιτρέπει την ορθή διαχείριση των υπολειμμάτων μειώνοντας τη ρύπανση και εισάγοντας μια πιο υπεύθυνη προσέγγιση στη διαχείριση των φυτοπροστατευτικών [49].

Η ανάγκη για ακριβή, αποδοτική και πρακτικά εφαρμόσιμη διαχείριση αναδεικνύεται επίσης και στις **καλλιέργειες υψηλής αξίας**, οι οποίες αναμένεται να διαδραματίσουν όλο και σημαντικότερο ρόλο σε ένα γεωργικό περιβάλλον που μεταβάλλεται ραγδαία. Για αυτές τις καλλιέργειες, ο κατάλληλος εξειδικευμένος εξοπλισμός είναι καθοριστικός για τη βιωσιμότητά τους. Ο **κρόκος Κοζάνης** αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα: μια καλλιέργεια με υψηλή προστιθέμενη αξία, αλλά με κρίσιμο περιορισμό στη διαδικασία συγκομιδής. Στο συνέδριο της ΕΓΜΕ παρουσιάστηκε μια λεπτομερής μελέτη που αναλύει τις μηχανικές παραμέτρους της αποκόλλησης του άνθους, θέτοντας τις βάσεις για τον σχεδιασμό μιας καινοτόμου μηχανής που θα μπορούσε να μετασχηματίσει την παραγωγική διαδικασία και να καταστήσει την καλλιέργεια ακόμη πιο ανταγωνιστική [50].

6. Ζωική παραγωγή, ψηφιακή παρακολούθηση και έλεγχος περιβάλλοντος

Στον τομέα της ζωικής παραγωγής, το συνέδριο ανέδειξε μια σαφή στροφή προς συστήματα ψηφιακής παρακολούθησης και τεχνολογιών ακριβείας. Τα ψηφιακά συστήματα παρακολούθησης ζώων, που καλύπτουν την υγεία, την ευζωία και την παραγωγή, αποτυπώνουν μια εκτροφή περισσότερο ελεγχόμενη και ακριβή, με δυνατότητα έγκαιρης λήψης αποφάσεων [51],[52],[53]. Στο ίδιο πλαίσιο, η έρευνα για τον φυσικό αερισμό και η συστηματική παρακολούθηση των αερίων του θερμοκηπίου σε κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις υπογραμμίζει τη σημασία των μικροκλιματικών συνθηκών για την άνεση και την απόδοση των ζώων και τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [54],[55].

Παράλληλα, η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων μεθόδων διάγνωσης, όπως για παράδειγμα η ανίχνευση χλωότητας στα πρόβατα με αισθητήρες και αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, δείχνει ότι η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί πλέον να υποστηρίζει την έγκαιρη αναγνώριση προβλημάτων υγείας [56]. Την ίδια στιγμή, η μελέτη για την ποιότητα και την αξιοποίηση του μαλλιού των προβάτων επαναφέρει στο προσκήνιο την ανάγκη ανανέωσης παραδοσιακών αλυσίδων αξίας με σύγχρονους όρους ποιότητας και βιωσιμότητας [57].

Η εικόνα που διαμορφώνεται είναι μια ζωική παραγωγή που υιοθετεί ολοένα πιο εξελιγμένα εργαλεία ελέγχου και παρακολούθησης, με τη γεωργική μηχανική να παίζει καθοριστικό ρόλο στη μετάβαση προς πιο ανθεκτικά και βιώσιμα συστήματα εκτροφής.

7. Μετασυλλεκτική ποιότητα και τεχνητή νοημοσύνη

Η εφαρμογή βαθιάς μάθησης στη μετασυλλεκτική διαχείριση αποτελεί ίσως το πιο ώριμο παράδειγμα τεχνητής νοημοσύνης που παρουσιάστηκε στο συνέδριο. Η αυτόματη αναγνώριση μορφολογικών αλλοιώσεων σε φυτικούς ιστούς δείχνει ότι τα συστήματα μηχανικής όρασης μπορούν πλέον να λειτουργήσουν ως πλήρως αξιόπιστοι αξιολογητές ποιότητας [58].

Η τεχνολογία αυτή δεν αντικαθιστά απλώς τη χειρωνακτική διαλογή· προσφέρει **ποιοτικό έλεγχο με συνέπεια**, μειώνει απώλειες και ενισχύει την ασφάλεια των προϊόντων. Η μετάβαση προς αυτό το μοντέλο φαίνεται μονόδρομος, καθώς προσφέρει προστιθέμενη αξία σε προϊόντα υψηλής ποιότητας.

8. Ψηφιακές αλυσίδες και ιχνηλασιμότητα

Η ψηφιοποίηση της παραγωγής δεν περιορίζεται μέσα στο χωράφι, αλλά επεκτείνεται σε **ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα**.

Τεχνολογίες όπως **blockchain** και **IoT** καθιστούν τη διαδρομή ενός προϊόντος από τον παραγωγό στον καταναλωτή πλήρως ανιχνεύσιμη. Η χρήση τους σε πολύ διαφορετικά συστήματα, όπως η πατάτα και η ζυθοποιία, δείχνει ότι η ανάγκη για αξιοπιστία και διαφάνεια είναι καθολική [59],[60]. Η ερευνητική κατεύθυνση εδώ είναι ξεκάθαρη: τα ψηφιακά συστήματα αναμένεται να αποτελέσουν **απαραίτητο στοιχείο ποιότητας** και όχι πρόσθετο πλεονέκτημα [61].[62].

9. Εκπαίδευση και τεχνολογία

Η ένταξη τεχνολογικών εργαλείων στη γεωργική εκπαίδευση είναι πλέον πραγματικότητα. Πλατφόρμες μάθησης, εργαστηριακός εξοπλισμός και εφαρμοσμένες δραστηριότητες δείχνουν ότι η νέα γενιά επιστημόνων εκπαιδεύεται μέσα σε ένα περιβάλλον όπου η τεχνολογία δεν είναι παράρτημα, αλλά κεντρικό συστατικό του επαγγελματικού τους ρόλου [63],[64],[65]. Αποτέλεσμα είναι μια πιο ώριμη, ψηφιακά καταρτισμένη επιστημονική κοινότητα, έτοιμη να υιοθετήσει και να εξελίξει τις σύγχρονες τεχνολογίες.

Το 14ο Συνέδριο της ΕΓΜΕ απέδειξε ότι η επιστήμη της γεωργικής μηχανικής στην Ελλάδα δεν ακολουθεί απλά τις διεθνείς εξελίξεις, αλλά ηγείται αυτών. Οι εργασίες που παρουσιάστηκαν στο συνέδριο δείχνουν ότι ο κλάδος των γεωργικών μηχανικών εξελίσσεται σε μια **επιστήμη-κλειδί για την κλιματική ανθεκτικότητα της γεωργίας**. Τα ρομποτικά συστήματα, οι αισθητήρες και τα εργαλεία τηλεπισκόπησης παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για το νερό, τη βλάστηση και την ανάπτυξη των φυτών, επιτρέποντας στους παραγωγούς να αντιδρούν έγκαιρα σε φαινόμενα όπως η υδατική και θερμική καταπόνηση. Τα ενεργειακά βελτιστοποιημένα θερμοκήπια, τα αγροβολταϊκά και τα συστήματα ελέγχου κλίματος δημιουργούν προστατευμένα περιβάλλοντα που μετριάζουν τις επιπτώσεις των ακραίων συνθηκών. Παράλληλα, οι μελέτες εδαφικής ρύπανσης και τα μοντέλα πρόβλεψης φυσικών κινδύνων ενισχύουν την ικανότητα της γεωργίας να λειτουργεί με ασφάλεια σε ένα περιβάλλον που αλλάζει ραγδαία.

Ίσως όμως το πιο ουσιαστικό μήνυμα του συνεδρίου είναι ότι η γεωργική μηχανική δεν αντιμετωπίζει την κλιματική αλλαγή μόνο τεχνικά, αλλά και στρατηγικά. Με την ενσωμάτωση της ιχνηλασιμότητας, της ψηφιακής παρακολούθησης και της ακριβούς διαχείρισης εισροών, δημιουργείται ένα νέο μοντέλο παραγωγής που στοχεύει στη μείωση της σπατάλης και στην υπεύθυνη χρήση πόρων. Πρόκειται για μια μετάβαση σε μια γεωργία που δεν επιδιώκει απλώς να επιβιώσει σε ένα δυσμενές κλιματικό περιβάλλον, αλλά να αναλάβει έναν ενεργητικό ρόλο για την προστασία του περιβάλλοντος και την διασφάλιση των πόρων και των τροφίμων. Η γεωργική μηχανική εδώ αποτελεί τον βασικό δίαυλο μέσα από τον οποίο η επιστήμη, η τεχνολογία και η παραγωγή συνδέονται για να δώσουν λύσεις και απαντήσεις στις πιο κρίσιμες προκλήσεις των καιρών μας.

Τα πλήρη κείμενα όλων των εργασιών που παρουσιάστηκαν στο 14^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής βρίσκονται στην ιστοσελίδα της ΕΓΜΕ www.egme.gr στην καρτέλα «Πρακτικά Συνεδρίων ΕΓΜΕ»