

# Τα ρομπότ στη γεωργία

Η ώρα της 4ης γεωργικής επανάστασης έχει έρθει και για την Ελλάδα, με το Πολυτεχνείο να πρωτοπορεί στην κατασκευή γεωργικών ρομπότ

Γράφουν οι κ. Γεώργιος Μπολανάκης, M.Eng. υποψήφιος διδάκτορας, και Ευάγγελος Παπαδόπουλος, καθηγητής στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

**Η** γεωργία αντιμετωπίζει σήμερα πολλές προκλήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, στις οποίες περιλαμβάνονται η κλιματική αλλαγή, η λειψυδρία, η υποβάθμιση του εδάφους και η αυξανόμενη ζήτηση λόγω της πληθυσμιακής αύξησης.

Καθώς η ανάγκη για ανάπτυξη και εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών στις σύγχρονες καλλιέργειες γίνεται όλο και πιο επιτακτική, καθίσταται απαραίτητο η Ελλάδα να ακολουθήσει την τέταρτη γεωργική επανάσταση που συντελείται ήδη εδώ και αρκετά χρόνια σε άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Αξίζει να σημειωθεί πως εξαιτίας της έλλειψης των απαραίτητων εργατικών χεριών στη χώρα μας, ιδιαίτερως εποικοδομητική θα ήταν η αυτοματοποίηση των επιμέρους σταδίων μιας καλλιέργειας. Αυτό θα ωφελούσε σημαντικά τους αγρότες, τόσο με την ελάττωση του λειτουργικού κόστους όσο και με την αύξηση της παραγωγής.

## Ρομποτική και γεωργία

Η ρομποτική δύναται να αποτελέσει βασικό εργαλείο στη σύγχρονη γεωργία, παρέχοντας πολυάριθμα οφέλη όχι μόνο στους αγρότες, αλλά και στο περιβάλλον. Τα αυτόνομα ρομπότ έχουν τη δυνατότητα να εκτελέσουν διάφορες εργασίες, όπως είναι η φύτευση σπόρων, το πότισμα, η εφαρμογή λιπασμάτων και η συγκομιδή με υψηλή ακρίβεια και αποδοτικότητα.

Η αυτοματοποίηση των συγκεκριμένων διαδικασιών θα επιτρέψει στους αγρότες να αυξήσουν την παραγωγή με ταυτόχρονη χρησιμοποίηση λιγότερων πόρων, να ελαττώσουν τη χρήση των φυτοφαρμάκων και να μειώσουν το αποτύπωμα στο περιβάλλον.



Πρωτότυπη ρομποτική αρπάγη αποτελούμενη από δύο εύκαμπτα ηλεκτρομαγνητικά δάχτυλα.

Επιπλέον, τα ρομπότ μπορούν να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα σχετικά με το υπέδαφος, τα καιρικά μοτίβα, την ανάπτυξη και την υγεία των καλλιεργειών, παρέχοντας έτσι πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής.

Η ρομποτική επιτρέπει επίσης την εφαρμογή εξελιγμένων τεχνικών καλλιέργειας, όπως είναι η «γεωργία ακριβείας» και η «κάθετη γεωργία», οι οποίες, αν και μέχρι στιγμής δεν εφαρμόζονται ευρέως, είναι πολλά υποσχόμενες και ζωτικής σημασίας για τη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων στο μέλλον.

Παρόλο που τα συμβατικά ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούνται τακτικά στα διάφορα στάδια μιας καλλιέργειας, η χρήση άκαμπτων μεταλλικών ή πλαστικών εξαρτημάτων στην κατασκευή τους τα καθιστά ακατάλληλα για την επιτέλεση εργασιών που περιλαμβάνουν επαφή με καρπούς, όπως φέρ' ειπείν κατά τη συγκομιδή ή τη συσκευασία των εσπεριδοειδών.

Επιπλέον, τα συμβατικά ρομπότ αδυνατούν να προσαρμοστούν στο σχήμα του εκάστοτε καρπού, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο ενδεχόμενου τραυματισμού του, σε αντίθεση με το ανθρώπινο χέρι που παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητα και ευελιξία.

## Ρομπότ μαλακών υλικών

Τα παραπάνω μειονεκτήματα της συμβατικής ρομποτικής έδωσαν ώθηση στη ραγδαία εξάπλωση ενός νέου κλάδου, αυτού που ασχολείται με την ανάπτυξη ρομπότ με βραχίονες από εύκαμπτα υλικά, όπως είναι για παράδειγμα η σιλικόνη και η υδρογέλη.

Τα συγκεκριμένα υλικά, όντας συμβατά με τον ανθρώπινο οργανισμό και ασφαλή για τα τρόφιμα, χρησιμοποιούνται συχνά στη σύγχρονη βιομηχανία κατά τη διαχείριση και επεξεργασία των τροφίμων.

Η ρομποτική «μαλακών» υλικών (soft robotics) εστιάζει στην κατασκευή ρομπότ που μπορούν να μιμηθούν τις κινήσεις και την προσαρμοστικότητα των ανθρώπων, και ως εκ τούτου η χρήση τους στη γεωργία μπορεί να παρουσιάσει πολλά οφέλη.

Τα τελευταία έτη καταβάλλεται σημαντική προσπάθεια από τους ερευνητές ανά τον κόσμο προκειμένου να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες μαλακών επενεργητών με μορφή –συνθήρα– δακτύλων. Μεταξύ άλλων, έχουν κατασκευαστεί μαλακοί επενεργητές για συγκομιδή ντομάτας και μανιταριών.

## Επενεργητές του ΕΜΠ

Στο πλαίσιο της προσπάθειας αυτής, το Εργαστήριο Αυτόματου Ελέγχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) ανέπτυξε τους διεθνώς πρωτότυπους μαλακούς επενεργητές «Mag-Nets», με σκοπό να δώσει λύση στο υψηλό κόστος κατασκευής και στον περίπλοκο έλεγχο που παρουσιάζουν οι υπάρχουσες τεχνολογίες.

Για το σχεδιασμό των συγκεκριμένων επενεργητών, η έμπνευση προήλθε από μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες μαλακών επενεργητών, τα λεγόμενα πνευματικά δάχτυλα «Fast Pneu-Nets». Η ερευνητική ομάδα του Πολυτεχνείου, διατηρώντας το βασικό σχεδιασμό των «Fast

Pneu-Nets», αντικατέστησε τους πνευματικούς θαλάμους με ζεύγη μόνιμων μαγνητών νεοδυμίου και πηνίων χαλκού, κατασκευάζοντας τα «Mag-Nets».

Η κάμψη του επενεργητή οφείλεται στις απωστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ ενός ζεύγους όταν το αντίστοιχο πηνίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Στην πράξη, ελέγχοντας την ένταση του ρεύματος, είναι εφικτό να ελεγχθεί με ακρίβεια η γωνία κάμψης του δακτύλου.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του ηλεκτρομαγνητικού επενεργητή είναι το εξαιρετικά χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι το κόστος των υλικών για την κατασκευή και τον έλεγχο μιας ρομποτικής ηλεκτρομαγνητικής αρπάγης ανέρχεται σε 41,9 ευρώ, ενώ το κόστος μιας συμβατικής πνευματικής αρπάγης κυμαίνεται στα 578 ευρώ, όντας υψηλότερο κατά 1.379%.

Επιπροσθέτως, τα «Mag-Nets» παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες κάμψης που αγγίζουν τα 26 ακτίνια ανά δευτερόλεπτο, ελαχιστοποιώντας έτσι το χρόνο εκτέλεσης μιας εργασίας.

Από την άλλη πλευρά, βασικό μειονέκτημα έναντι των αντίστοιχων πνευματικών επενεργητών είναι η υψηλή κατανάλωση ισχύος (8 W), το κόστος της οποίας, βέβαια, παραμένει αμελητέο συγκριτικά με το συνολικό όφελος που προσφέρει η αυτοματοποίηση μιας γεωργικής διεργασίας.

## Ρομποτική αρπάγη του ΕΜΠ

Έχοντας ως βάση τους επενεργητές «Mag-Nets», αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου του ΕΜΠ μία πρωτότυπη ρομποτική αρπάγη, η οποία αποτελείται α) από δύο εύκαμπτα ηλεκτρομαγνητικά δάχτυλα και β) από ένα άκαμπτο σώμα κατασκευασμένο από ABS (τριπολυμερές



## Η αυτοματοποίηση των επιμέρους σταδίων μιας καλλιέργειας είναι πλέον αναγκαία λόγω της έλλειψης εργατικών χεριών

πλαστικό ακριλονιτριλίου [A], βουταδιενίου [B] και στυρενίου [S]) σε εκτυπωτή τριών διαστάσεων, το οποίο συγκρατεί τα δάχτυλα στις επιθυμητές θέσεις.

Σε πρώτο στάδιο, πραγματοποιήθηκαν υπολογιστικά και εργαστηριακά πειράματα μέσω των οποίων επιβεβαιώθηκαν οι παραδοχές του μαθηματικού μοντέλου που αναπτύχθηκε για να περιγράψει τη δυναμική συμπεριφορά των δακτύλων.

Στη συνέχεια, εξετάσθηκε η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία της αρπάγης σε διαδικασίες περισυλλογής διαφορετικών καρπών, όπως είναι λεμόνια και κρεμμύδια ποικίλων διαστάσεων και μαζών.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακό περιβάλλον με τη χρήση ενός ρομποτικού συστήματος τριών βαθμών ελευθερίας, στο οποίο προσαρτήθη-

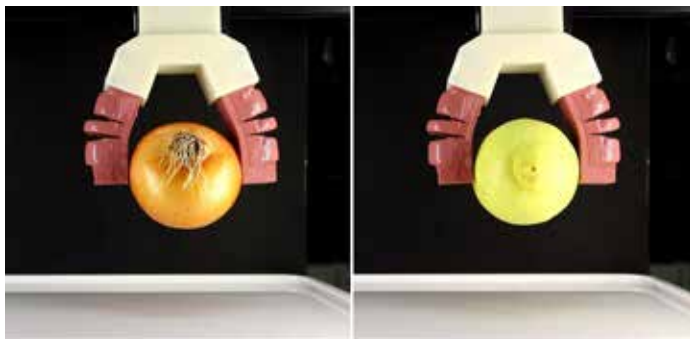
κε η αρπάγη ως τελικό στοιχείο δράσης. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, ένας κεντρικός ηλεκτρονικός υπολογιστής στέλνει εντολές θέσης στο ρομποτικό σύστημα και παράλληλα διαβιβάζει εντολές ρεύματος για το ανοιγοκλείσιμο της αρπάγης.

Τα πειράματα ανέδειξαν την αποτελεσματικότητα της μαλακής ηλεκτρομαγνητικής αρπάγης στην εκτέλεση εργασιών περισυλλογής και επανατοποθέτησης των καρπών (pick and place). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε όλες τις περιπτώσεις υπήρξε απουσία ολίσθησης των στόχων / καρπών από την αρπάγη.

Τέλος, με τη χρήση ενός βαθμονομημένου αισθητήρα δύναμης μετρήθηκε ότι η μέγιστη δύναμη επαφής που μπορεί να ασκηθεί από τον συγκεκριμένο επενεργητή είναι ίση με 1,19 N. Η δυνατότητα αυτή καθιστά τον επενεργητή κατάλληλο για επιτέλεση επιδέξιων χειρισμών στα περισσότερα είδη βρώσιμων καρπών και φρούτων.

Το μέλλον των «μαλακών» ρομπότ φαίνεται λαμπρό και γεμάτο υποσχέσεις, και πιθανώς θα οδηγήσει σε καθολική μεταμόρφωση του πρωτογενούς τομέα. Το αυξημένο κόστος παραγωγής, η έλλειψη εργατικών χεριών και οι μεγάλοι χρόνοι συγκομιδής είναι μόνο λίγα από τα προβλήματα που μαστίζουν τη γεωργία στη σημερινή εποχή.

Πιθανώς, οι λύσεις σε αυτά να δοθούν από τη ρομποτική «μαλακών» υλικών. Σε κάθε περίπτωση, η Ελλάδα οφείλει να συνεχίσει την προσπάθεια και να επιταχύνει την εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών και ρομποτικών τεχνολογιών, με απώτερο στόχο να καταστεί το μέλλον πιο βιώσιμο για όλους.



Πειράματα περισυλλογής διαφορετικών καρπών που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ.