

ΑΡΧΙΜ. ΙΓΝΑΤΙΟΣ ΜΟΥΡΤΖΑΝΟΣ
Δρ ΘΕΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΒΥΖΑΝΤΙΝΗΣ ΦΙΛΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΡΩΤΟΣΥΓΓΕΛΛΟΣ Ι. Μ. ΛΑΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΝΑΒΟΥ
ΥΠ. Δρ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Η ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ, ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ

Ἡ τεχνητή νοημοσύνη ἔχει ἀναδειχθεῖ ὡς ἓνα κρίσιμο ἐργαλεῖο γιὰ τὴν ἀνάλυση τῶν περιπλοκῶν ἀλληλεξαρτήσεων μεταξὺ τῶν γεωργικῶν συστημάτων καὶ τῶν ἐνεργειακῶν ἀπαιτήσεων, κυρίως λόγῳ τῆς ἀξιοσημείωτης ικανότητάς της νὰ ἐπεξεργάζεται τεράστιους ὄγκους δεδομένων σὲ σύντομο χρονικὸ διάστημα. Πολλοὶ μελετητές (*Gonzalez-de-Santos et al., 2020*) ἔχουν ἐπισημάνει τίς ποικίλες ἐφαρμογές τῆς τεχνητῆς νοημοσύνης, οἱ ὁποῖες ὑπερτεροῦν σημαντικὰ ἔναντι τῶν συμβατικῶν μεθοδολογιῶν (*Chen, Cowan, & Grant, 1991*). Ἡ ΤΝ προάγει τὴν ὀλοκλήρωση μεταξὺ τῶν τομέων τῆς γεωργίας, τῆς ἐνέργειας, τῆς περιβαλλοντικῆς διαχείρισης καὶ τῆς κοινωνικῆς ἀνάπτυξης. Στὴν οὐσία της, ἡ ΤΝ χρησιμοποιεῖ προηγμένους ἀλγόριθμους πού ὑποστηρίζουν εὐφυῆ συστήματα μὲ τὴν ικανότητα νὰ μαθαίνουν, νὰ ἀναλύουν, νὰ προβλέπουν καὶ νὰ λαμβάνουν ἀποφάσεις μὲ τρόπους συγκρίσιμους μὲ τὴν ἀνθρώπινη γνωστικὴ λειτουργία. Τὰ συστήματα αὐτὰ ἔχουν σχεδιαστεῖ γιὰ τὴν ἐκτέλεση σύνθετων ἐργασιῶν, ὅπως ἡ ὀργάνωση δεδομένων, ἡ ἀναγνώριση προτύπων καὶ ἡ ἐξαγωγή πληροφοριῶν. Οἱ σύγχρονες ἐφαρμογές τῆς τεχνητῆς νοημοσύνης καλύπτουν ἓνα εὐρὺ φάσμα τομέων, ὅπως ἡ ἀναγνώριση εἰκόνων, τὰ αὐτόνομα ὀχήματα, ἡ διάγνωση στὸν τομέα τῆς ὑγείας, ἡ ἀνίχνευση ἀσθενειῶν, ἡ ἐξερεύνηση τοῦ Διαστήματος, ἡ μηχανικὴ καὶ ἡ ἐπεξεργασία φυσικῆς γλώσσας. Ἡ βελτίωση τῆς κατανόησης καὶ τῆς ἐφαρμογῆς αὐτῶν τῶν κατηγοριῶν τῆς τεχνητῆς νοημοσύνης συμβάλλει στὴ βελτίωση τῆς λειτουργικῆς ἀποδοτικότητας (*Zhang et al., 2021*).

Ἡ τεχνητή νοημοσύνη ἐπιδεικνύει ἀνθρώπινες ἱκανότητες, μεταξύ ἄλλων, μαθαίνοντας ἀπό τὴν ἐμπειρία, ἀναγνωρίζοντας μοτίβα, λαμβάνοντας ἀποφάσεις καὶ ἐρμηνεύοντας τὴ γλῶσσα. Στὸ πλαίσιο τῆς γεωργικῆς παρακολούθησης, οἱ τεχνολογίες τεχνητῆς νοημοσύνης χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὴν παρατήρηση τῶν καιρικῶν συνθηκῶν, τὴν παρακολούθηση τῶν ἐκπομπῶν ἀερίων τοῦ θερμοκηπίου, τὴν ἀξιολόγηση τῆς ὑγείας τῶν καλλιεργειῶν καὶ τοῦ ἐδάφους, τὴν παρακολούθηση τῆς ποιότητας τοῦ νεροῦ καὶ τὴν ἀνίχνευση ἀσθενειῶν σὲ φυτὰ καὶ ζῶα. Οἱ τεχνολογίες τηλεπισκόπησης ὑποστηρίζουν περαιτέρω τὶς ἀξιολογήσεις περιβαλλοντικῶν ἐπιπτώσεων πού βασίζονται στὴν τεχνητὴ νοημοσύνη. Τὰ συστήματα ἐλέγχου πού βασίζονται στὴν τεχνητὴ νοημοσύνη σπὶ γεωργία διευκολύνουν τὴν αὐτοματοποίηση τῆς ἄρδευσης, τῆς ἐφαρμογῆς λιπασμάτων, τῆς διαχείρισης παρασίτων, τῆς γεωργίας ἀκριβείας καὶ τῶν θερμοκηπιακῶν δραστηριοτήτων. Ἡ προγνωστικὴ ἀνάλυση ἐπιτρέπει τὴν πρόβλεψη βασικῶν γεωργικῶν μεταβλητῶν. Ἐπιπλέον, ἡ τεχνητὴ νοημοσύνη βελτιώνει τὴν ἐφοδιαστικὴ, βελτιστοποιώντας τὴν ἐπεξεργασία, τὴ μεταφορά, τὴ διανομὴ καὶ τὴν ἀποθήκευση τῶν γεωργικῶν προϊόντων. Ὑποστηρίζει ἐπίσης τὴ διαχείριση τῆς ἐφοδιαστικῆς ἀλυσίδας μέσω τῆς παρακολούθησης τῶν ἀποθεμάτων, τῆς παρακολούθησης σὲ πραγματικὸ χρόνο καὶ τῶν συστημάτων παράδοσης, βελτιώνοντας ἔτσι τὴν παραγωγικότητα, τὴ βιωσιμότητα καὶ τὴν ἀποδοτικότητα στὸν τομέα (Regan, 2019).

Ἡ τεχνητὴ νοημοσύνη ἐπιτρέπει τὴν ἐνσωμάτωση ποικίλων πηγῶν ἀκατέργαστων δεδομένων –συμπεριλαμβανομένων αἰσθητήρων ἐδάφους, μετεωρολογικῶν σταθμῶν, συσκευῶν τοῦ Διαδικτύου τῶν Πραγμάτων (IoT) καὶ δορυφορικῶν εἰκόνων– στὶς διαδικασίες λήψης ἀποφάσεων στὸν τομέα τῆς γεωργίας. Οἱ τεχνολογίες αὐτὲς ὑποστηρίζουν πρακτικὲς γεωργίας ἀκριβείας, ὅπως ἡ βέλτιστη χρῆση φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων καὶ ἄρδευσης. Μέσω τῆς ἀνάλυσης δεδομένων σὲ πραγματικὸ χρόνο, τὰ συστήματα τεχνητῆς νοημοσύνης μποροῦν νὰ ἐκτιμήσουν μὲ ἀκρίβεια τὶς ἀνάγκες σὲ νερὸ συγκεκριμένων ἀγροτεμαχίων. Ἐτσι, ἡ TN συμβάλλει στὴν ἐλαχιστοποίηση τῶν περιβαλλοντικῶν ἐπιπτώσεων, ἐπιτρέποντας τὴ στοχευμένη ἀντιμετώπιση τῶν ἀσθενειῶν τῶν καλλιεργειῶν μὲ ἐλάχιστη χρῆση πόρων (Khanna & Kaur, 2019).

Οἱ προηγμένες τεχνολογίες, ὅπως ἡ TN, ἡ ὑπολογιστικὴ ὄραση καὶ ἡ μηχανικὴ μάθηση (ML), διαδραματίζουν καθοριστικὸ ρόλο στὴν ἔγκαιρη ἀνίχνευση ἀσθενειῶν τῶν καλλιεργειῶν μέσω τῆς ἀνάλυσης δορυφορικῶν εἰκόνων. Ἡ ἔγκαιρη διάγνωση ἐπιτρέπει τὴν ἐφαρμογὴ ἀκριβῶν παρεμβάσεων, μειώνοντας

έτσι την εξάρτηση από χημικά φυτοφάρμακα ευρέος φάσματος. Τά προγνωστικά μοντέλα, που αναπτύσσονται μέσω της ανάλυσης ιστορικών και περιβαλλοντικών δεδομένων, διευκολύνουν την έγκαιρη προειδοποίηση για πιθανές επιδημίες ασθενειών, γεγονός που με τη σειρά του βοηθά τους αγρότες να μετριάσουν τις απώλειες των καλλιεργειών και να βελτιστοποιήσουν την οικονομική απόδοση (*Elbasi et al.*, 2023).

Στόν τομέα της διαχείρισης της άλυσίδας εφοδιασμού της γεωργίας, η τεχνητή νοημοσύνη βελτιώνει τη λήψη αποφάσεων με βάση τις απαιτήσεις της αγοράς. Έπιτρέπει στους αγρότες να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με την επιλογή των καλλιεργειών και τις στρατηγικές πώλησης, συμβάλλοντας στην αύξηση της κερδοφορίας. Έπιπλέον, η TN υποστηρίζει την ακριβή πρόβλεψη των απαιτήσεων logistics και πόρων, γεγονός που οδηγεί σε βελτιωμένα αποτελέσματα παραγωγής. Η χρήση της TN εξασφαλίζει επίσης ότι τά γεωργικά προϊόντα παραδίδονται στις τοπικές αγορές σύμφωνα με τά πρότυπα ποιότητας, ελαχιστοποιώντας έτσι την αλλοίωση και μειώνοντας τό κόστος μεταφοράς (*Bidyalakshmi et al.*, 2024).

Οί αναδυόμενες γεωργικές τεχνολογίες στοχεύουν στην προώθηση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας μέσω της ενσωμάτωσης στρατηγικών για τό μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, την εξοικονόμηση νερού και τό βέλτιστη χρήση των εισροών. Αυτές οί καινοτομίες μειώνουν συλλογικά τά απόβλητα και συμβάλλουν στην πρόληψη της υποβάθμισης του εδάφους, βοηθώντας στην μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των γεωργικών συστημάτων (*Araújo et al.*, 2021). Η τεχνητή νοημοσύνη συνεχίζει να προωθεί τό διαχείριση των θερμοκηπίων μέσω έξυπνων συστημάτων περιβαλλοντικού έλέγχου που ρυθμίζουν τό θερμοκρασία, την ύγρασία, την άρδευση, τόν φωτισμό και τά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα. Αυτά τά αυτόματοποιημένα συστήματα έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώνουν την αποδοτικότητα των πόρων, να μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να υποστηρίζουν την ανάπτυξη οικονομικά βιώσιμων γεωργικών πρακτικών (*Soheli et al.*, 2022). Η εφαρμογή της ρομποτικής, σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη και την υπολογιστική όραση, έχει φέρει επανάσταση στις σύγχρονες πρακτικές διαχείρισης των ζιζανίων. Αυτά τά [*Gerhards et al.* (2022), *Roslim et al.* (2021) και *Vasileiou et al.* (2024)], προσφέρουν σημαντικά περιβαλλοντικά όφελι, μειώνοντας την ανάγκη για χημικά ζιζανιοκτόνα, μειώνοντας έτσι τόν κίνδυνο μόλυνσης του εδάφους. Έπιπλέον, η αυτόματοποίηση βελτιώνει την επιχειρησιακή αποδοτικότητα, μειώνει τό

κόστος εργασίας και συνεισφέρει στην αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας και της βιωσιμότητας.

Η τεχνητή νομοσύνη συμβάλλει σημαντικά στη λήψη χρηματοοικονομικών αποφάσεων στον τομέα της γεωργίας, καθώς επιτρέπει την υπολογιστική ανάλυση των τάσεων της αγοράς και των χρηματοοικονομικών δεδομένων. Διευκολύνει την εξαγωγή πληροφοριών από σύνολα δεδομένων τιμολόγησης, τά προτύπα της ζήτησης των καταναλωτών και τις πιθανές επενδυτικές ευκαιρίες (Moro Visconti, 2024). Μέσω της εφαρμογής αλγορίθμων πρόβλεψης, τα συστήματα ΤΝ δίνουν τη δυνατότητα στους αγρότες να εντοπίζουν τη δυναμική της αγοράς και να προβλέπουν τις τάσεις, ενημερώνοντας έτσι τον στρατηγικό σχεδιασμό των καλλιεργειών σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αγοράς και ενισχύοντας τό δυναμικό έσόδων (Qazi, Khawaja & Farooq, 2022). Τα συστήματα αυτά συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση των στρατηγικών τιμολόγησης, στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του μάρκετινγκ, στη μείωση του λειτουργικού κόστους και στη βελτίωση της διαχείρισης των πόρων. Ός αποτέλεσμα, ή ΤΝ υποστηρίζει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και τη χρηματοοικονομική σταθερότητα, έξοπλίζοντας τους αγρότες για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της αγοράς και να προωθήσουν τη βιώσιμη ανάπτυξη της γεωργίας.

Επιπλέον, ή τεχνητή νομοσύνη διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στις στρατηγικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή στον γεωργικό τομέα. Υποστηρίζει την ανάπτυξη πρακτικών που αποσκοπούν στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, διευκολύνοντας την αποτελεσματική επιλογή των καλλιεργειών και βελτιστοποιώντας τη χρήση κλιματικά ανθεκτικών γεωργικών εισροών (Kaack et al., 2022). Αυτές οι προσεγγίσεις που βασίζονται στην τεχνητή νομοσύνη ευθυγραμμίζουν τις πρακτικές διαχειρίσεις των γεωργικών έκμεταλλεύσεων με τις περιβάλλοντικές συνθήκες, ενισχύοντας έτσι την προσαρμοστική ικανότητα.

Στόν τομέα της αντιμετώπισης καταστροφών, ή τεχνητή νομοσύνη λειτουργεί ως ένα προηγμένο αναλυτικό εργαλείο που παρέχει προγνωστικές πληροφορίες για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των φυσικών κινδύνων στη γεωργία (Jaber et al., 2022). Μέ την επεξεργασία δεδομένων από δορυφόρους, αισθητήρες και μετεωρολογικές αναφορές, τά συστήματα τεχνητής νομοσύνης αξιολογούν άκραιο καιρικά φαινόμενα όπως πλημμύρες, ξηρασίες, καταιγίδες και χιονοπτώσεις. Αυτές οι αναλύσεις επιτρέπουν την λήψη

προληπτικών μέτρων, όπως η έγκαιρη άρδευση, ή προστασία των καλλιεργειών και η μετακίνηση του ζωικού κεφαλαίου. Μετά από μία καταστροφή, ή τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης βοηθά στην αξιολόγηση των ζημιών στις καλλιέργειες, στην άκεραιότητα του εδάφους και στις υποδομές, αναλύοντας εικόνες υψηλής ανάλυσης (Wu et al., 2022). Αυτές οι πληροφορίες υποστηρίζουν τις κυβερνητικές υπηρεσίες και τις τοπικές Αρχές στον συντονισμό των προσπαθειών αποκατάστασης, στην αποτελεσματική κατανομή των πόρων και στη χάραξη στοχευμένων στρατηγικών για την αποκατάσταση της παραγωγής, ενισχύοντας έτσι την επισιτιστική ασφάλεια, σταθεροποιώντας τις αγροτικές οικονομίες και μειώνοντας τις μακροπρόθεσμες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις.

Ωστόσο, ένα σημαντικό εμπόδιο για την ευρεία υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης στη γεωργία, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, είναι η περιορισμένη ευαισθητοποίηση και κατανόηση των τεχνολογιών αυτών από τους αγρότες. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το κενό, είναι απαραίτητη η υλοποίηση προγραμμάτων κατάρτισης και εκπαιδευτικών πρωτοβουλιών που θα εισαγάγουν τους αγρότες στις σύγχρονες γεωργικές τεχνολογίες (Sun, Lyu & Ge, 2022). Τά προγράμματα αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν εικονικές προσομοιώσεις, διαδραστικές παρουσιάσεις και πρακτικές επιδείξεις στο πεδίο. Τά εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης που είναι έξοπλισμένα με φιλικές προς τον χρήστη διεπαφές μπορούν να υποστηρίξουν περαιτέρω τη μεταφορά γνώσεων, παρέχοντας στους αγρότες πρακτικές πληροφορίες, ευκαιρίες ανάπτυξης δεξιοτήτων και υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων, συμβάλλοντας τελικά στην αύξηση της παραγωγικότητας και της κερδοφορίας (Titirmare et al., 2024).

Η έξυπνη άρδευση αναφέρεται σε μία προηγμένη γεωργική πρακτική κατά την οποία το νερό χορηγείται στις καλλιέργειες σε ακριβείς ποσότητες με βάση τις απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η μέθοδος μειώνει σημαντικά τη σπατάλη νερού και βελτιώνει τη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα των γεωργικών εργασιών (Obaideen, 2022). Τό σύστημα λειτουργεί μέσω της ένσωμάτωσης τεχνολογιών αιχμής, όπως αισθητήρες που παρακολουθούν συνεχώς κρίσιμες παραμέτρους –συμπεριλαμβανομένης της υγρασίας του εδάφους, των κλιματολογικών συνθηκών και της υγείας των φυτών– και ενεργοποιούν ανάλογες ενέργειες.

Οί αισθητήρες υγρασίας του εδάφους χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της περιεκτικότητας σε νερό σε πολλαπλά στρώματα του εδαφικού προ-

φύλ, παρέχοντας πληροφορίες πού καθοδηγούν τά προγράμματα άρδευσης (Anagha, Pawar & Tamizharasan, 2023). Παράλληλα, οί αισθητήρες καιρού συλλέγουν δεδομένα γιά τοπικές κλιματικές μεταβλητές, όπως ή θερμοκρασία, ή ύγρασία καί οί βροχοπτώσεις, προκειμένου νά καθοριστούν οί βέλτιστες στρατηγικές κατανομής του νερού. Έπιπλέον, οί αισθητήρες πού βασίζονται στά φυτά αναλύουν τί φυσιολογική κατάσταση των καλλιεργειών, όπως ή περιεκτικότητα των φύλλων σε νερό, προκειμένου νά προσδιοριστούν οί ανάγκες τους σε ύγρασία (Lee, Wei & Zhu, 2021). Αυτές οί τεχνολογίες άνίχνευσης εΐναι διασυνδεδεμένες μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων, τό όποιο διευκολύνει τήν άνταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο καί τόν συντονισμό μεταξύ των συσκευών.

Η αυτόματοποίηση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην εφαρμογή αυτών των γνώσεων, καθώς τά συστήματα έλέγχου μπορουν νά ρυθμίζουν δυναμικά τήν ύποδομή άρδευσης –συμπεριλαμβανομένων άντλιών, βαλβίδων καί ψεκαστήρων–, προσαρμόζοντας τόν ρυθμό ροής, τήν πίεση, τί διάρκεια καί τόν όγκο του νερού πού χρησιμοποιείται (Phasinam et al., 2022). Έπιπλέον, οί τεχνικές μηχανικής μάθησης καί τεχνητής νοημοσύνης βελτιώνουν αυτή τί διαδικασία αναλύοντας ιστορικά καί πραγματικά δεδομένα γιά τήν άνάπτυξη προγνωστικών μοντέλων. Αυτά τα μοντέλα προσαρμόζονται συνεχώς στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, βελτιώνοντας έτσι τήν ακρίβεια καί τήν άνταπόκριση των συστημάτων άρδευσης. Ός άποτέλεσμα, ή έξυπνη άρδευση πού έπιτρέπει ή τεχνητή νοημοσύνη έξασφαλίζει τήν άποδοτική χρήση του νερού, ύποστηρίζει τήν ύγιη άνάπτυξη των καλλιεργειών καί συμβάλλει στην αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας καί της μακροπρόθεσμης άειφορίας (Shi et al., 2019).

Μιά ιδιαίτερα έλπιδοφόρα εξέλιξη σε αυτόν τόν τομέα εΐναι ή εφαρμογή της Geo-AI, ή όποία ενσωματώνει γεωχωρικές τεχνολογίες μέ τήν τεχνητή νοημοσύνη γιά τί βελτιστοποίηση των πρακτικών άρδευσης. Η ροή έργασίας της Geo-AI περιλαμβάνει διάφορα άλληλένδετα στάδια πού έχουν σχεδιαστεί γιά τί βελτίωση της διαχείρισης των ύδάτινων πόρων καί τί μεγιστοποίηση της άπόδοσης των καλλιεργειών. Αρχικά, συλλέγονται άκατέργαστα δεδομένα άπό πολλαπλές πηγές, συμπεριλαμβανομένων πλατφορμών τηλεπισκόπησης, δορυφορικών εικόνων καί συσκευών IoT. Αυτά τά δεδομένα παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά μέ τις ιδιότητες του εδάφους, τήν περιεκτικότητα σε ύγρασία, τί ζωτικότητα των καλλιεργειών καί τις καιρικές συνθήκες. Η

έπακόλουθη έπεξεργασία τών δεδομένων περιλαμβάνει τόν καθαρισμό τού συνόλου τών δεδομένων από θόρυβο, σφάλματα και άσχετες πληροφορίες, προκειμένου να διασφαλιστούν ή ακρίβεια και ή αξιοπιστία. Χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως ή επικύρωση, ή κανονικοποίηση, ή συγχώνευση και ή χαρτογράφηση τών δεδομένων, προκειμένου να καταρτιστεί ένα ένοποιημένο σύνολο δεδομένων για ανάλυση. Στή συνέχεια, εφαρμόζονται αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για τήν εκτίμηση τών ακριβών απαιτήσεων σε νερό για διάφορα γεωργικά περιβάλλοντα. Για τήν περαιτέρω διερεύνηση τής υδρολογικής δυναμικής, ξεχειδικευμένα μοντέλα προσομοιώνουν τήν κίνηση τού νερού και τί διαθέσιμότητά του για απορρόφηση από τίς καλλιέργειες. Τό τελικό στάδιο περιλαμβάνει τήν ανάπτυξη ενός Συστήματος Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (DSS), τό οποίο προσφέρει στους αγρότες μία διαισθητική διεπαφή μέσω τής οποίας μπορούν να παρακολουθηούν τίς γεωργικές διαδικασίες σε πραγματικό χρόνο και να λαμβάνουν πρακτικές οδηγίες. Αυτές οι συστάσεις μπορούν να εκτελεστούν μέσω αυτοματοποιημένων συστημάτων άρδευσης με έλάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Τό σύστημα λειτουργεί σε έναν βρόχο ανατροφοδότησης, ένσωματώνοντας συνεχώς νέα δεδομένα για να βελτιώνει και να βελτιστοποιεί τήν απόδοση με τήν πάροδο τού χρόνου. Ή Geo-AI αποτελεί ένα μετασχηματιστικό εργαλείο στήν έξυπνη γεωργία, βελτιώνοντας τήν ακρίβεια στήν άρδευση, έλαχιστοποιώντας τί σπατάλη πόρων και αυξάνοντας τήν απόδοση τών καλλιεργειών. Ή ολοκληρωμένη προσέγγισή της στή διαχείριση τών υδάτων με βάση τά δεδομένα συμβάλλει σημαντικά στόν στόχο τών βιώσιμων, ανθεκτικών και υψηλής απόδοσης γεωργικών πρακτικών (Navulur, Sastry & Prasad, 2017).

Στή συνεχιζόμενη μεταμόρφωση τών γεωργικών πρακτικών, ή Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί ως κεντρικός καταλύτης, ύποστηριζόμενη από προηγμένες τεχνολογίες όπως ή ρομποτική, ή υπολογιστική όραση, ή μηχανική μάθηση, τά συστήματα αισθητήρων και τό Διαδίκτυο τών Πραγμάτων. Μεταξύ αυτών, ή μηχανική μάθηση εφαρμόζεται έκτενώς σε διάφορους τομείς, όπως ή καταπολέμηση παρασίτων, ή έγκαιρη ανίχνευση φυτικών άσθενειών, ή πρόβλεψη τής απόδοσης τών καλλιεργειών, ή διαχείριση τής άρδευσης, ή αξιολόγηση τής ποιότητας τού εδάφους και ή βελτιστοποίηση τών συστημάτων πού βασίζονται σε αισθητήρες (Obade & Gaya, 2021). Ή υπολογιστική όραση συμπληρώνει αυτές τίς προσπάθειες, έπιτρέποντας τήν έπεξεργασία εικόνων σε πραγματικό χρόνο για τήν παρακολούθηση τών καλλιεργειών, τήν αναγνώριση ζιζανίων,

τήν ανάλυση τῆς χλωροφύλλης, τήν ἀξιολόγηση τῆς ὑγείας τῶν φυτῶν καί τήν αὐτοματοποίηση τῶν διαδικασιῶν συγκομιδῆς. Ἡ ρομποτική ἐνισχύει περαιτέρω τήν ἀποδοτικότητα τῆς γεωργίας, μειώνοντας τήν ἔνταση τῆς ἐργασίας μέσῳ αὐτοματοποιημένων λειτουργιῶν, ὅπως ἡ σπορά καί ἡ φύτευση ἀκριβείας, ἡ ἐπιλεκτική ἀπομάκρυνση ζιζανίων, ἡ στοχευμένη ἐφαρμογή φυτοφαρμάκων καί ἡ μηχανοποιημένη συγκομιδή (Yadav *et al.*, 2022). Οἱ τεχνολογίες IoT συμβάλλουν σέ αὐτό τό ὀλοκληρωμένο σύστημα παρέχοντας ἔξυπνες λύσεις ἄρδευσης, παρακολούθηση τῶν περιβαλλοντικῶν καί κλιματικῶν συνθηκῶν καί ἐπιτήρηση τῆς ὑγείας τῶν ζώων. Αὐτά τά συστήματα βασίζονται σέ διασυνδεδεμένους αἰσθητήρες πού παρέχουν δεδομένα σέ πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας τήν ἔγκαιρη καί βασισμένη σέ δεδομένα λήψη ἀποφάσεων σέ διάφορους τομεῖς τῆς διαχείρισης τῶν γεωργικῶν ἐκμεταλλεύσεων. Ἡ σύγκλιση αὐτῶν τῶν τεχνολογιῶν πού βασίζονται στήν τεχνητή νοημοσύνη μετασχηματίζει τίς παραδοσιακές μεθόδους γεωργίας σέ γεωργικά συστήματα βασισμένα σέ δεδομένα καί προσανατολισμένα στήν ἀκρίβεια. Αὐτή ἡ ἐνσωμάτωση προάγει τί βελτιστοποίηση τῶν πόρων, ἐνισχύει τήν παραγωγικότητα, ἐπιτρέπει τήν ἀποτελεσματική διαχείριση τῶν παρασίτων καί τῶν ἀσθενειῶν καί ἐνισχύει τήν περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Καθώς οἱ τεχνολογίες τεχνητῆς νοημοσύνης συνεχίζουν νά ἐξελίσσονται, οἱ ἐφαρμογές τους στή γεωργία ἀναμένεται νά ἐπεκταθοῦν περαιτέρω, προσφέροντας νέες εὐκαιρίες γιά καινοτομία, αὐξημένη ἀποδοτικότητα καί συνεχῆ ἐξέλιξη τῶν γεωργικῶν πρακτικῶν (Sachithra & Subhashini, 2023).

Ἡ τεχνητή νοημοσύνη φέρνει ἐπανάσταση στόν τομέα τῆς γεωργίας, εἰσάγοντας προηγμένες τεχνολογίες πού ὑποστηρίζουν βιώσιμες καί ἀποδοτικές γεωργικές πρακτικές, προωθώντας ταυτόχρονα τήν προστασία τοῦ περιβάλλοντος καί τί διατήρηση τῆς βιοποικιλότητας. Ἡ καινοτομία αὐτή ἐπιτρέπει τήν καλύτερη εὐθυγράμμιση μεταξύ τῶν συστημάτων παραγωγῆς τροφίμων, τῆς προστασίας στήν κλιματική ἀλλαγὴ καί τῆς αὐξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης γιά τροφίμα, ὅλα στό πλαίσιο τῆς οἰκολογικῆς διατήρησης. Ὡστόσο, ἡ πρακτική ἐφαρμογή τῆς τεχνητῆς νοημοσύνης σέ πραγματικές γεωργικές συνθήκες συνοδεύεται ἀπό μιά σειρά ἀπό σημαντικές προκλήσεις καί περιορισμούς. Ἐνα ἀπό τά κύρια ἐμπόδια εἶναι ἡ ὑψηλή ἀρχική ἐπένδυση πού ἀπαιτεῖται γιά τίς τεχνολογίες TN, ἡ ὁποία ἀποτελεῖ σημαντικό βᾶρος γιά τοὺς μικροὺς ἀγρότες, οἱ ὁποῖοι συχνά δέν διαθέτουν τήν οικονομική δυνατότητα νά ἀποκτήσουν ἐργαλεῖα πού βασίζονται στήν TN, τό σχετικό λογισμικό καί

τίς υπηρεσίες συντήρησης (*Chatrabhuji et al., 2025*). Επιπλέον, η εύρεια έλλειψη τεχνικής κατάρτισης εμποδίζει πολλούς αγρότες να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τα εργαλεία ΤΝ, με αποτέλεσμα την αντίσταση στην υιοθέτησή τους και την αναποτελεσματικότητα της λειτουργίας τους. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, πρέπει να καταστούν εύρεως προσβάσιμα ολοκληρωμένα προγράμματα κατάρτισης σε συνδυασμό με φιλικές προς τον χρήστη διεπαφές, προκειμένου να καλυφθούν τα κενά γνώσεων και να ενθαρρυνθεί η ευρύτερη συμμετοχή.

Τα γεωργικά συστήματα που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη συλλογή και την επεξεργασία μεγάλου όγκου ευαίσθητων δεδομένων, γεγονός που τα καθιστά εύαλωτα σε απειλές για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, σε μη έξουσιοδοτημένη πρόσβαση και σε πιθανή έκμεταλλευση των δεδομένων. Προκύπτουν επίσης ανησυχίες σχετικά με την προστασία των δεδομένων, ιδίως όταν η κυριότητα των συλλεγόμενων δεδομένων ανήκει στους παρόχους υπηρεσιών τεχνητής νοημοσύνης και όχι στους ίδιους τους γεωργούς. Αυτό δημιουργεί αβεβαιότητα όσον αφορά τη νομική ευθύνη και την ψηφιακή ασφάλεια. Επιπλέον, πολλοί αγρότες εξακολουθούν να διστάζουν να αντικαταστήσουν τις παραδοσιακές γνώσεις τους με τεχνολογικά εργαλεία λήψης αποφάσεων, λόγω του φόβου ότι θα χάσουν την αυτονομία τους και θα υποτιμηθεί ή πρακτική εμπειρογνωμοσύνη τους. Η έλλειψη σαφών έθνικων και διεθνών πολιτικών πλαισίων περιπλέκει περαιτέρω την ηθική ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στη γεωργία, με κρίσιμα κενά στους κανονισμούς που αφορούν την ιδιοκτησία των δεδομένων, τη διαφάνεια των αλγορίθμων, τις δομές τιμολόγησης και τις περιβαλλοντικές διασφαλίσεις. Ο γρήγορος ρυθμός της τεχνολογικής ανάπτυξης ασκεί οικονομική πίεση στους αγρότες, οι οποίοι πρέπει να επενδύουν συχνά σε νεώτερα συστήματα για να παραμείνουν ανταγωνιστικοί και να διατηρήσουν τη θέση τους στην εξελισσόμενη αγορά.

Ηθικές προκλήσεις προκύπτουν επίσης σε τομείς όπως η αλγοριθμική μεροληψία, όπου οι μεγάλης κλίμακας έκμεταλλεύσεις μπορεί να επωφελοούνται δυσανάλογα από συστήματα τεχνητής νοημοσύνης που έχουν εκπαιδευτεί σε μη ισορροπημένα σύνολα δεδομένων, με κίνδυνο περιθωριοποίησης των μικρών έκμεταλλεύσεων. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση συμβάλλει στην εκτόπιση της αγροτικής εργασίας και επιδεινώνει τις εισοδηματικές ανισότητες μεταξύ των αγροτών. Άν και τό κοινό μπορεί να υποστηρίξει τις προσπάθειες

πού άποσκοποϋν στή διατήρηση τών πόρων, συχνά ύπάρχει αντίσταση στις περιβαλλοντικές συνέπειες τών ήλεκτρονικών άποβλήτων και σέ άλλα άκούσια άποτελέσματα τών ψηφιακών γεωργικών πρακτικών (*Chatrabhuji et al., 2025*).

Γιά τήν άντιμετώπιση αυτών τών ζητημάτων, πρέπει νά θεσπιστοϋν ήθικά πλαίσια πού θά καθοδηγοϋν τήν ανάπτυξη και τί χρήση τής τεχνητής νομοσύνης στή γεωργία, διασφαλίζοντας τί δικαιοσύνη, τί διαφάνεια και τί λογοδοσία. Είναί άπαραίτητο νά συμμετάσχουν τόσο οί άγρότες όσο και οί υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής σέ συνεργατικές έρευνες μέ σκοπό τί δημιουργία κανονισμών προσαρμοσμένων στό συγκεκριμένο πλαίσιο, οί όποιοι θά άντανακλοϋν τίς τοπικές άνάγκες και θά διαφυλάσσουν τίς παραδοσιακές γεωργικές γνώσεις. Η ένσωμάτωση τών αυτόχθονων και έμπειρικών γνώσεων στά μοντέλα τεχνητής νομοσύνης μπορει νά προωθήσει μιá ύβριδική προσέγγιση πού θά ενισχύσει τήν υιοθέτηση τής τεχνολογίας χωρίς νά άντικαταστήσει τίς παραδοσιακές γεωργικές μεθόδους. Η ΤΝ διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένης τής έπιτήρησης τής άγριας ζωής. Ωστόσο, χωρίς κατάλληλους ήθικούς έλέγχους, τέτοιες έφαρμογές ενδέχεται νά χρησιμοποιηθοϋν καταχρηστικά γιά δραστηριότητες όπως ή λαθροθηρία. Κατά συνέπεια, οί στρατηγικές διατήρησης τής βιοποικιλότητας πρέπει νά επιβάλλουν αυστηρές κατευθυντήριες γραμμές γιά τήν πρόληψη τής παράνομης παρακολούθησης και νά διασφαλίζουν τί συμμετοχή τής κοινότητας στις προσπάθειες διατήρησης. Η υιοθέτηση συμπληρωματικών τεχνολογιών, όπως ή άλυσίδα μπλόκ, άπαιτεί τήν ανάπτυξη νέων κανονισμών γιά τήν προστασία τής ιδιωτικής ζωής πού θά παρέχουν στους άγρότες πλήρη έλεγχο τών δεδομένων τους. Έν τω μεταξύ, ή μακροπρόθεσμη ασφάλεια τής άπασχόλησης στον άγροτικό τομέα μπορει νά βελτιωθεί μέσφ εκπαιδευτικών πρωτοβουλιών πού θά δίνουν στους εργαζομένους τί δυνατότητα νά διαχειρίζονται και νά καινοτομοϋν μέ πρακτικές πού ενισχύονται άπό τήν τεχνητή νομοσύνη. Γιά νά έλαχιστοποιηθεί ό περιβαλλοντικός άντίκτυπος τής τεχνητής νομοσύνης, οί έρευνητές θά πρέπει νά δώσουν προτεραιότητα στην ανάπτυξη ενεργειακά άποδοτικών μοντέλων, νά προωθήσουν συστήματα άνακύκλωσης ήλεκτρονικών άποβλήτων και νά ενθαρρύνουν τί χρήση τής τεχνητής νομοσύνης σέ συνδυασμό μέ φιλικές προς τό περιβάλλον τεχνικές, όπως ή βιολογική καταπολέμηση τών παρασίτων. Οί έφαρμογές μηχανικής μάθησης θά πρέπει νά υποβάλλονται σέ εκτίμηση του άντίκτυπου

πρίν από τήν εφαρμογή τους, προκειμένου νά αξιολογείται τόσο ή ασφάλειά τους όσο καί οί μακροπρόθεσμες οικολογικές επιπτώσεις τους. Επιπλέον, ή προώθηση εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης άνοιχτού κώδικα —μέ τήν ύποστήριξη κυβερνητικών φορέων— μπορεί νά μετριάσει τά μονοπώλια τών επιχειρήσεων καί νά αύξησει τί διαφάνεια καί τήν προσβασιμότητα στό οίκοσύστημα τής τεχνητής νοημοσύνης. Τελικά, ή ήθική ανάπτυξη τής τεχνητής νοημοσύνης στή γεωργία πρέπει νά βασίζεται σέ διεπιστημονική έρευνα καί συνεργασίες μεταξύ κυβερνήσεων, ακαδημαϊκών ίδρυμάτων καί νεοσύστατων επιχειρήσεων. Αύτές οί συνεργασίες εἶναι άπαραίτητες γιά τόν σχεδιασμό βιώσιμων πλαισίων τεχνητής νοημοσύνης πού θά άποφέρουν έκτεταμένα κοινωνικά καί περιβαλλοντικά όφέλη, έλαχιστοποιώντας παράλληλα τούς συναφείς οικονομικούς κινδύνους (Chatrabhuj *et al.*, 2025).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Anagha C.S., Pawar P.M. and Tamizharasan P.S., «Cost-effective IoT-based intelligent irrigation system», *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 14(S1), 2023, pp. 263-274. doi:<https://doi.org/10.1007/s13198-023-01854-y>.

Araújo S.O., Peres R.S., Barata J., Lidon F. and Ramalho J.C., «Characterising the Agriculture 4.0 Landscape—Emerging Trends, Challenges and Opportunities», *Agronomy*, 11(4), 2021, p. 667. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy11040667>.

Bidyalakshmi T., Mansuri S.M., Srivastava A., Mohapatra D. and Kalnar Y.B., «Application of Artificial Intelligence in Food Processing: Current Status and Future Prospects», *Food Engineering Reviews*, 2024, doi:<https://doi.org/10.1007/s12393-024-09386-2>.

Chatrabhuj N., Meshram K., Mishra U. and Rathnayake U., «Application of Artificial Intelligence in Agri-Tech, Environmental and Biodiversity Conservation», *Array*, 2025, pp. 100412-100412. doi:<https://doi.org/10.1016/j.array.2025.100412>.

Chen S., Cowan C.F.N. and Grant P.M., «Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks», *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2(2), 1991, pp. 302-309. doi:<https://doi.org/10.1109/72.80341>.

Elbasi E., Zaki C., Topcu A.E., Abdelbaki W., Zreikat A.I., Cina E., Shdefat A. and Saker L., «Crop Prediction Model Using Machine Learning Algorithms», *Applied Sciences*, [online] 13(16), 2023, p. 9288. doi:<https://doi.org/10.3390/app13169288>.

Gerhards R., Andújar Sanchez D., Hamouz P., Peteinatos G.G., Christensen S. and Fernandez-Quintanilla C., «Advances in site-specific weed management in agriculture—A review», *Weed Research*, 62(2), 2022, pp. 123-133. doi:<https://doi.org/10.1111/wre.12526>.

Gonzalez-de-Santos P., Fernández R., Sepúlveda D., Navas E., Emmi L. and Armada M., «Field Robots for Intelligent Farms—Inhering Features from Industry», *Agronomy*,

[online] 10(11), 2020, p. 1638. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy10111638>.

Jaber M.M., Ali M.H., Abd S.K., Jassim M.M., Alkhayyat A., Aziz H.W. and Alkhuwayldeed A.R., «Predicting climate factors based on big data analytics based agricultural disaster management», *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C, [online] 128, 2022, p. 103243. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103243>.

Kaack L.H., Donti P.L., Strubell E., Kamiya G., Creutzig F. and Rolnick D., «Aligning artificial intelligence with climate change mitigation», *Nature Climate Change*, 12(6), 2022, pp. 518–527. doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-022-01377-7>.

Khanna A. and Kaur S., «Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture», *Computers and Electronics in Agriculture*, [online] 157, 2019, pp. 218–231. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.039>.

Lee G., Wei Q. and Zhu Y., «Emerging Wearable Sensors for Plant Health Monitoring», *Advanced Functional Materials*, 31(52), 2021, p. 2106475. doi:<https://doi.org/10.1002/adfm.202106475>.

Moro Visconti R., «Artificial Intelligence-Driven FinTech Valuation: A Scalable Multilayer Network Approach», *FinTech*, 3(3), 2024, pp. 479–495. doi:<https://doi.org/10.3390/fintech3030026>.

Navulur S., Sastry A.S.C.S. and Prasad M.N.G., «Agricultural Management through Wireless Sensors and Internet of Things», *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, [online] 7(6), 2017, pp. 3492–3499. doi:<https://doi.org/10.11591/ijece.v7i6.pp3492-3499>.

Obade V. de P. and Gaya C., «Digital technology dilemma: on unlocking the soil quality index conundrum», *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1), 2021, doi:<https://doi.org/10.1186/s40643-020-00359-x>.

Obaideen K., «An overview of smart irrigation systems using IoT». *Energy Nexus*, [online] 7(7), 2022, p. 100124. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100124>.

Phasinam K., Kassaruk T., Shinde P.P., Thakar C.M., Sharma D.K., Mohiddin Md.K. and Rahmani A.W., «Application of IoT and Cloud Computing in Automation of Agriculture Irrigation», *Journal of Food Quality*, 2022, pp. 1–8. doi:<https://doi.org/10.1155/2022/8285969>.

Qazi S., Khawaja B.A. and Farooq Q.U., «IoT-Equipped and AI-Enabled Next Generation Smart Agriculture: A Critical Review, Current Challenges and Future Trends», *IEEE Access*, 10, 2022, pp. 21219–21235. doi:<https://doi.org/10.1109/access.2022.3152544>.

Regan Á., «Smart farming’ in Ireland: A risk perception study with key governance actors», *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 2019, p. 100292 doi:<https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.02.003>.

Roslim M.H.M., Juraimi A.S., Che’Ya N.N., Sulaiman N., Manaf M.N.H.A., Ramli Z. and Motmainna M., «Using Remote Sensing and an Unmanned Aerial System for Weed Management in Agricultural Crops: A Review», *Agronomy*, [online] 11(9), 2021, p. 1809. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy11091809>.

Sachithra V. and Subhashini L.D.C.S., «How artificial intelligence uses to achieve the agriculture sustainability: Systematic review», *Artificial Intelligence in Agriculture*, 8, 2023. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iaia.2023.04.002>.

Shi X., An X., Zhao Q., Liu H., Xia L., Sun X. and Guo Y., «State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture», *Sensors*, 19(8), 2019, p. 1833. doi:<https://doi.org/10.3390/s19081833>.

Soheli S.J., Jahan N., Hossain Md.B., Adhikary A., Khan A.R. and Wahiduzzaman M., «Smart Greenhouse Monitoring System Using Internet of Things and Artificial Intelligence», *Wireless Personal Communications*, 2022. doi:<https://doi.org/10.1007/s11277-022-09528-x>.

Sun X., Lyu J. and Ge C., «Knowledge and Farmers' Adoption of Green Production Technologies: An Empirical Study on IPM Adoption Intention in Major Indica-Rice-Producing Areas in the Anhui Province of China», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, [online] 19(21), 2022, pp. 14292-14292. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph192114292>.

Titirmare S., Margal P.B., Gupta S. and Kumar D., «AI-Powered Predictive Analytics for Crop Yield Optimization», *Agriculture 4.0*, 2024, pp. 89-110. doi:<https://doi.org/10.1201/9781003570219-5>.

Yadav S., Kaushik A., Sharma M. and Sharma S., «Disruptive Technologies in Smart Farming: An Expanded View with Sentiment Analysis», *AgriEngineering*, 4(2), 2022, pp. 424-460. doi:<https://doi.org/10.3390/agriengineering4020029>.

Vasileiou M., Kyrgiakos L.S., Kleisiari C., Kleftodimos G., Vlontzos G. and Pardalos P.M., «Transforming weed management in sustainable agriculture with artificial intelligence: A systematic literature review towards weed identification and deep learning», *Crop Protection*, 176, 2024, pp. 106522–106522. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106522>.

Wu S.R., Shirkey G., Celik I., Shao C. and Chen J., «A Review on the Adoption of AI, BC, and IoT in Sustainability Research», *Sustainability*, [online] 14(13), 2022, p. 7851. doi:<https://doi.org/10.3390/su14137851>.

Zhang J., Liu J., Chen Y., Feng X. and Sun Z., «Knowledge Mapping of Machine Learning Approaches Applied in Agricultural Management—A Scientometric Review with CiteSpace», *Sustainability*, 13(14), 2021, p. 7662. doi:<https://doi.org/10.3390/su13147662>.