



Αποτύπωμα άνθρακα και νερού για την καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας στη Θεσσαλία

Δρ Λευτέρης Εναγγέλου, Γεωπόνος - Εδαφολόγος
 Δρ Χρήστος Τσαντήλας, Τακτικός Ερευνητής
 Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών

Ο αγροδιατροφικός τομέας θεωρείται ένας από τους βασικούς τομείς περιβαλλοντικής επιβάρυνσης παγκόσμια. Όπως είναι γνωστό, οι γεωργικές δραστηριότητες παράγουν το 10 - 12% της παγκόσμιας παραγωγής αερίων θερμοκηπίου και καταναλώνουν κατά μέσο όρο το 70% των παγκόσμιων αποθεμάτων γλυκού νερού, ενώ υπάρχουν περιοχές, όπως η Θεσσαλία, όπου το ποσοστό κατανάλωσης γλυκού νερού από τη γεωργία ξεπερνά το 90% της κατανάλωσης γλυκού νερού σε ετήσια βάση.

Οι έννοιες των αποτυπωμάτων άνθρακα και νερού αποκτούν συνεχώς ιδιαίτερη σημασία, καθώς αποτελούν βασικά εργαλεία για την αναγνώριση και εφαρμογή διαχειριστικών πρακτικών, που συμβάλλουν στη μείωση των παραγόμενων αερίων θερμοκηπίου και νερού στην πρωτογενή παραγωγή.

Το αποτύπωμα άνθρακα (*Carbon Footprint*) ενός προϊόντος είναι το σύνολο του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία εκπέμπονται κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής του, της χρήσης του και της τελικής απόρριψής του. Υπολογίζεται ως ισοδύναμο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2e).

Η έννοια του υδατικού αποτυπώματος (*Water Footprint*) εκφράζει την ποσότητα νερού που καταναλώνεται άμεσα ή έμμεσα για την παραγωγή προϊόντων. Το συνολικό υδατικό αποτύπωμα ενός προϊόντος αποτελείται από το άθροισμα επιμέρους αποτυπωμάτων γνωστά ως μπλε, πράσινο και γκρι υδατικό αποτύπωμα. Το μπλε υδατικό αποτύπωμα αναφέρεται στην κατανάλωση επιφανειακού ή υπόγειου νερού σε όλη τη διάρκεια της παραγωγής του προϊόντος ή της υπηρεσίας. Το πράσινο υδατικό αποτύπωμα αναφέρεται στην κατανάλωση των «πράσινων



Η πρώτη άρδευση μετά την εγκατάσταση της φυτείας σε πειραματικό αγρό στη Γλαύκη.

υδατικών πόρων», δηλαδή στην ποσότητα της βροχοπτώσης που δεν απορρέει ή τροφοδοτεί τα υπόγεια νερά, αλλά αποθηκεύεται στο έδαφος ή πρόσκαιρα παραμένει στην επιφάνεια του εδάφους ή της βλάστησης. Το γκρι υδατικό αποτύπωμα αναφέρεται στη μόλυνση, και προσδιορίζεται ως η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την αραίωση του φορτίου ρύπων, που προέρχεται από την παραγωγή του προϊόντος/υπηρεσίας σε ανεκτά επίπεδα σύμφωνα με τα τοπικά standards ποιότητας των υδάτων.

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αποτυπωμάτων άνθρακα και νερού ποικίλλουν ανάλογα των στόχων, της επιθυμητής λεπτομέρειας και των ειδικών χαρακτηριστικών που εμπεριέχει η παραγωγή και χρήση κάθε προϊόντος.

Το Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών του



Εγκατάσταση φυτείας τομάτας με κατάλληλη σπαρτική μηχανή σε έναν από τους πειραματικούς αγρούς.

ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ έχει δραστηριοποιηθεί τα τελευταία χρόνια στη μελέτη των αποτυπωμάτων άνθρακα και νερού στην καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας, που καλλιεργείται με το σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης, σε συνεργασία με τοπικές ενώσεις παραγωγών και βιομηχανίες μεταποίησης. Στο δημοσίευμα αυτό παρουσιάζεται συνοπτικά η μελέτη των αποτυπωμάτων άνθρακα και νερού για την καλλιεργητική περίοδο του 2015.

Μελέτη ισοζυγίου άνθρακα

Η έρευνα του «αποτυπώματος άνθρακα» και του «υδατικού αποτυπώματος» της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκε με την οργάνωση σχετικού πειράματος. Η μελέτη των αποτυπωμάτων αναφέρεται στο χρονικό διάστημα από τη φύτευση των φυταρίων τομάτας έως και τη συγκομιδή και δεν περιλαμβάνει προγενέστερα (παραγωγή φυταρίων στο θερμοκήπιο) ή μεταγενέστερα (μεταφορά στο εργοστάσιο, μεταποίηση) στάδια.

Επιλέχθηκαν εννέα (9) αγροί, ώστε να αντιπροσωπεύονται οι τυπικές περιοχές καλλιέργειας της βιομηχανικής τομάτας, καθώς και οι βασικές κατηγορίες εδαφών όσον αφορά στην κοκκομετρική τους σύσταση. Τα υπό εξέταση εδάφη κατηγοριοποιήθηκαν σε 4 τάξεις: Αμμοπηλώδη (SL), Πηλώδη (L), Αργιλοπηλώδη (CL) και Αργιλώδη (C).

Ο υπολογισμός του αποτυπώματος άνθρακα έγινε με τη χρήση κατάλληλου μοντέλου, που λαμβάνει υπόψη το σύνολο των παραμέτρων που επηρεάζουν την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου κατά την καλλιέργεια όπως είναι, η θερμοκρασία, τα εδαφικά χαρακτηριστικά, τα είδη, οι τύποι και ο τρόπος εφαρμογής των λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων, οι αλλαγές στη χρήση γης, η χρήση της ενέργειας κ.ά. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο για κάθε αγρό προήλθαν από το ημερολόγιο αγρού, που είναι υποχρεωμένος να διατηρεί κάθε παραγωγός στο σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης.

Μελέτη υδατικού αποτυπώματος

Για τη μελέτη του υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιήθηκε η διεθνώς αναγνωρισμένη μέθοδος του Hoekstra και συνεργατών. Ο υπολογισμός του υδατικού αποτυπώματος πραγματοποιήθηκε για την άμεση κατανάλωση του νερού κατά την παραγωγή της βιομηχανικής τομάτας από τη στιγμή της εγκατάστασης των φυτών στον αγρό μέχρι και τη συγκομιδή. Έμμεσες καταναλώσεις νερού, όπως π.χ. για την παρασκευή φυτοπροστατευτικών μέσων, δεν έχουν ληφθεί υπόψη.

Το συνολικό υδατικό αποτύπωμα της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας αποτελεί το άθροισμα του πράσινου (WF_{green}), μπλε (WF_{blue}) και γκρι (WF_{grey}) υδατικού αποτυπώματος ($WF = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey}$). Το υδατικό αποτύπωμα εκφράστηκε



Εγκατάσταση πειραματικών επιφανειών σε πειραματικούς αγρούς.

ως το πηλίκο της ποσότητας νερού (m^3 νερού) που καταναλώθηκε προς την ποσότητα της παραγόμενης τομάτας, εκφρασμένη σε τόνους.

Το WF_{green} και WF_{blue} (m^3/ton) υπολογίζεται ως το «πράσινο» και «μπλε» συστατικό» της χρήσης του νερού από την καλλιέργεια (CWU_{green} , CWU_{blue} , m^3/ha) διαιρούμενο με την απόδοση της καλλιέργειας (Y , ton/ha).

Το μπλε και πράσινο συστατικό της χρήσης του νερού (CWU , m^3/ha) υπολογίζεται από τη συσσωρευμένη «μπλε» και «πράσινη» εξατμισοδιαπνοή κατά το σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου, από την ημέρα της φύτευσης έως και τη συγκομιδή της καλλιέργειας.

Η πράσινη και μπλε εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη χρήση του μοντέλου CROPWAT του FAO. Η «μπλε εξατμισοδιαπνοή» (ET_{blue}), ισοδυναμεί με τη συνολική καθαρή άρδευση, όπως προσδιορίζεται στο μοντέλο. Η «πράσινη εξατμισοδιαπνοή» (ET_{green}), υπολογίστηκε ως η διαφορά μεταξύ της συνολικής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και της άρδευσης.

Οι υπολογισμοί έγιναν με τη χρήση δεδομένων από τους πιο κοντινούς στους πειραματικούς αγρούς διαθέσιμους μετεωρολογικούς σταθμούς. Οι συνολικές καταναλώσεις αρδευτικού νερού σε κάθε πειραματικό αγρό είχαν καταγραφεί από υδρόμετρα που τοποθετήθηκαν στην αρχή της αρδευτικής περιόδου, ενώ οι αποδόσεις εκτιμήθηκαν από τη ζύγιση του καρπού πριν τη συγκομιδή σε 3 πειραματικές επιφάνειες κάθε αγρού. Δεδομένα σχετικά με την ημερομηνία σοράς και την περίοδο της καλλιεργητικής περιόδου, χρησιμοποιήθηκαν από το ημερολόγιο του κάθε αγρού, ενώ δεδομένα σχετικά με την κοκκομετρική σύσταση κάθε αγρού από τις εδαφολογικές αναλύσεις χαρακτηρισμού των εδαφών.

Το γκρι συστατικό του υδατικού αποτυπώματος (m^3/ton) υπολογίζεται ως το φορτίο των ρύπων που εισέρχεται στο σύστημα των νερών (kg/yr) διαιρούμενο με τη διαφορά μεταξύ των επιπέδων ρύπων του περιβάλλοντος για αυτόν τον ρύπο (τη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση C_{max}) και της συγκέντρωσής του στα φυσικά συστήματα (C_{nat}):

$$WF_{grey} = \frac{Excess\ N}{Y} \cdot \frac{(C_{max} - C_{nat})}{Y}$$

όπου:

- WF_{grey} , το γκρι υδατικό αποτύπωμα σε m^3/ton ,
- $Excess\ N$, το άζωτο που διαφεύγει από το ριζόστρωμα της καλλιέργειας σε kg/ha , όπως αυτό υπολογίστηκε με τις δειγματοληψίες εδάφους,
- C_{max} , η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση αζώτου και C_{nat} , η συγκέντρωση N του περιβάλλοντος (kg/m^3),
- Y , η απόδοση της καλλιέργειας (ton/ha).

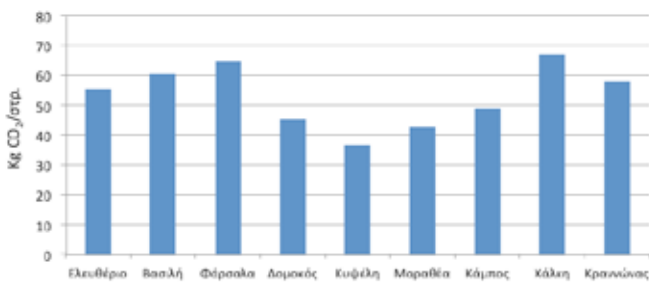
Σε αυτή τη μελέτη το άζωτο επιλέχθηκε ως ο ρύπος που μπορεί να καταλήξει στα συστήματα των υδροφορέων. Η συνολική ποσό-

τπα νερού που χρειάζεται για την αραίωση κάθε τόνου αζώτου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική ποσότητα αζώτου, που έχει διαφύγει μέσω βαθιάς διήθησης από το έδαφος της καλλιέργειας τομάτας και της μέγιστης επιτρεπτής συγκέντρωσης του στοιχείου στα συστήματα των υδροφορέων. Χρησιμοποιήθηκε το όριο των 10mgN/l προκειμένου να υπολογιστεί ο όγκος του νερού που είναι απαραίτητος για την αραίωση των φορτίων στα αποδεκτά επίπεδα, σύμφωνα με τη μέγιστη συγκέντρωση νιτρικού αζώτου που προτείνει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσω της οδηγίας για τα νερά και των ορίων που θέτει για τα νερά ύδρευσης η Αμερικανική Υπηρεσία Environmental Protection Agency.

Η ποσότητα του νιτρικού αζώτου που καταλήγει στους υδροφορείς (σε kg/ha/yr), στην παρούσα μελέτη, υπολογίστηκε για κάθε πειραματικό αγρό χωριστά μετά τη συγκομιδή της τομάτας σε βάθος εδάφους 60-90 cm μετά από κατάλληλες δειγματοληψίες εδάφους. Η επίδραση άλλων θρεπτικών και αγροχημικών στο περιβάλλον δεν αναλύθηκε, όπως συμβαίνει και στο σύνολο σχεδόν των αντίστοιχων μελετών του γκρι υδατικού αποτυπώματος.

Αποτελέσματα

Η ποσότητα άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα λόγω των διαχειριστικών πρακτικών κυμάνθηκε ευρέως, ήτοι από 274,30 έως 571,58 kg ισοδύναμου CO₂/στρ., ενώ η κατανάλωση ενέργειας σε κάθε πειραματικό αγρό εκφρασμένη σε kg CO₂ eq /στρ που εκτιμήθηκε από το σύνολο των καλλιεργητικών εργασιών κυμάνθηκε από 36,62 kg CO₂ eq /στρ έως 66,83 kg CO₂ eq /στρ.



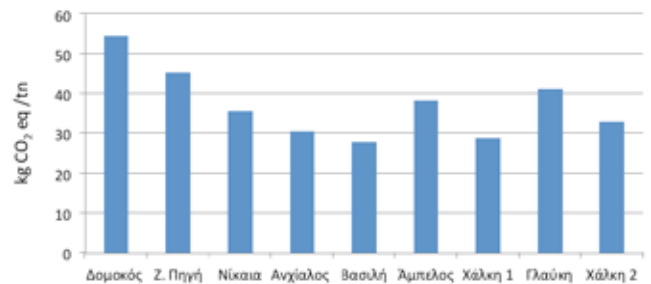
Συνολική κατανάλωση ενέργειας εκφρασμένη σε kg CO₂eq /στρ. για κάθε πειραματικό αγρό.

Συγκρίνοντας τις ποσότητες άνθρακα που εκλύονται στην ατμόσφαιρα λόγω των διαχειριστικών πρακτικών με τις συνολικές ποσότητες άνθρακα που «δεσμεύονται» στα φυτικά μέρη της καλλιέργειας (ρίζες και στελέχη), προκύπτει το ισοζύγιο άνθρακα, το οποίο σε όλες τις περιπτώσεις είναι αρνητικό και κυμαίνεται από -65,17 έως -368,24 kg CO₂/στρ., δηλαδή εκλύεται λιγότερο CO₂ του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από αυτό που «δεσμεύεται» στη φυτική βιομάζα κατά την καλλιέργεια της τομάτας. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τη σημασία της έρευνας σχετικά με τη βέλτιστη διαχείριση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας, προκειμένου να δεσμευτεί στο έδαφος το μέγιστο δυνατό ποσοστό C με θετικές επιδράσεις, τόσο στην ποιότητα του εδάφους, αλλά και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όπως και στην περίπτωση της απόδοσης, έτσι και στις παραμέτρους που σχετίζονται με τη δέσμευση ή έκλυση CO₂, οι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο είναι πολλοί και η δράση τους σύνθετη. Η ποικιλία των καλλιεργούμενων φυτών, οι εδαφικές ιδιότητες και οι καλλιεργητικές πρακτικές φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο.

Στο επόμενο σχήμα εμφανίζεται η ποσότητα ισοδύναμου CO₂ ανά τόνο παραγόμενης τομάτας, όπως αυτό υπολογίστηκε από το μοντέλο Cool Farm Tool. Οι τιμές κυμαίνονται από 28 kg CO₂ eq/tn έως 54 kg CO₂ eq/tn, αναδεικνύοντας τα περιθώρια μείωσης του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα στην καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας στη Θεσσαλία.



Άρδευση των πειραματικών αγρών με σταγόνες. Υδρόμετρα στην κεντρική παροχή παρέχουν τη συνολική ποσότητα αρδευτικού νερού που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε αγρό.



Αποτύπωμα άνθρακα της βιομηχανικής τομάτας εκφρασμένο σε kg CO₂ eq/tn παραγόμενης τομάτας.

Υδατικό αποτύπωμα

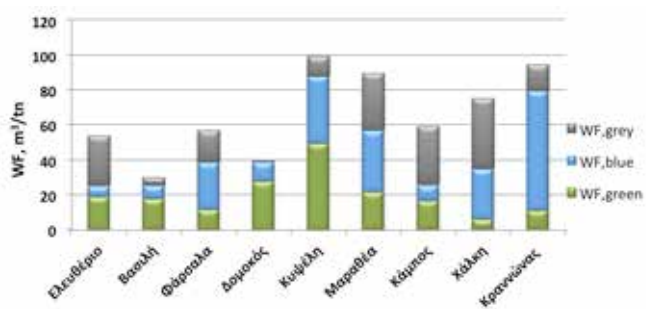
Το συνολικό υδατικό αποτύπωμα για την καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας στους πειραματικούς αγρούς κυμάνθηκε από 30m³ έως 95 m³ νερού για κάθε τόνο παραγόμενης τομάτας, με το πράσινο αποτύπωμα να κυμαίνεται από 6 m³ /τον έως 50 m³ /τον το μπλε αποτύπωμα να κυμαίνεται από 8 m³/τον έως 68 m³ /τον και το γκρι αποτύπωμα να κυμαίνεται από 1 m³ /τον έως 40 m³ /τον.

Οι τιμές του υδατικού αποτυπώματος αναφέρονται στα αποθέματα του νερού, που έχει χρησιμοποιήσει η καλλιέργεια για την παραγωγή και δεν περιλαμβάνουν την ποσότητα νερού που έχει ενσωματωθεί στον παραγόμενο καρπό, που αποτελεί 1 έως 2.5% του υδατικού αποτυπώματος που συνδέεται με το εξατμιζόμενο νερό.

Το μπλε υδατικό αποτύπωμα που κυμαίνεται από 11% έως και 72% του συνολικού υδατικού αποτυπώματος, αναδεικνύει τις



Συλλογή και ζύγιση καρπού τομάτας σε πειραματική επιφάνεια στη Χάλκη.



Πράσινο, μπλε και γκρι υδατικό αποτύπωμα της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας σε 9 πειραματικούς αγρούς της Θεσσαλίας.

σημαντικές δυνατότητες που υπάρχουν για μια πιο ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού στην παραγωγή της βιομηχανικής τομάτας στη Θεσσαλία, ενώ το γκρι υδατικό αποτύπωμα διαφέρει σημαντικά και κυμαίνεται από 3% έως και 56% του συνολικού αναδεικνύοντας τη σημασία της προσπάθειας που πρέπει να γίνει για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του αζώτου στην καλλιέργεια και την ελαχιστοποίηση των απωλειών του στοιχείου από τη ζώνη του ριζοστρώματος. Τέλος, το πράσινο υδατικό αποτύπωμα κυμαίνεται από 9% έως και 70% του συνολικού υδατικού αποτυπώματος.

Τα ποσοστά διαφέρουν σημαντικά στους πειραματικούς αγρούς και εξαρτώνται άμεσα από τη διαχείριση των αρδεύσεων, όλων εκείνων των παραγόντων που επηρεάζουν τη συνολική απόδοση της καλλιέργειας, τη διαχείριση της αζωτούχου λίπανσης, καθώς και από τους κλιματικούς παράγοντες κάθε περιοχής.

Το υδατικό αποτύπωμα μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορί-



ες για τη συγκριτική αξιολόγηση των καλλιεργητικών συστημάτων και να αναδείξει τις κατάλληλες καλλιεργητικές πρακτικές, προκειμένου να επιτευχθεί μια αποδοτικότερη αρδευτική διαχείριση με περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.

Ειδικότερα, οι επιχειρήσεις του αγροδιατροφικού τομέα, γνωρίζοντας τα αποτυπώματα άνθρακα και νερού των προϊόντων τους, θα μπορούσαν να επιτύχουν μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και της κατανάλωσης νερού μέσω των εσωτερικών τους δραστηριοτήτων, να επηρεάσουν διαφορετικά στάδια των εφοδιαστικών τους αλυσίδων και/ή να επικοινωνήσουν με τους καταναλωτές τους μέσω ειδικών σημάτων για την κατανάλωση άνθρακα και νερού.

Πληροφορίες: Ινστιτούτο Βιομηχανικών & Κτηνοτροφικών Φυτών Λάρισας, Θεοφράστου 1, Συν/σμός Αβέρωφ, 413 35 Λάρισα, τηλ.: 2410 660290, e-mail: christotsadilas@gmail.com