



Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Ανθρακικού Αποτυπώματος και Δέσμευσης Άνθρακα

1. Επισκόπηση Συστήματος

Το Διαβαλκανικό Κέντρο Περιβάλλοντος (ΔΚΠ) αναπτύσσει ένα ολοκληρωμένο, ψηφιακά καθοδηγούμενο **σύστημα διαχείρισης ανθρακικού αποτυπώματος και δέσμευσης άνθρακα στη γεωργία**, το οποίο μετατρέπει την εδαφική υγεία και τη λειτουργία του αγροτικού συστήματος σε μετρήσιμη βιωσιμότητα και επιχειρησιακά αξιοποιήσιμα αποτελέσματα.

Στο πλαίσιο αυτό, οι πρακτικές carbon farming ενσωματώνονται ως στοχευμένες παρεμβάσεις διαχείρισης, οι οποίες υποστηρίζονται και βελτιστοποιούνται μέσω δεδομένων και αναλύσεων του συστήματος.

Στον πυρήνα του συστήματος βρίσκεται η **Τηλεσυμβουλευτική Διαγνωστική Εργαλειοθήκη Πεδίου (TFDT)**, σε συνδυασμό με μια **ψηφιακή εφαρμογή (app)**, που λειτουργούν ως ένα ενιαίο σύστημα συλλογής, επεξεργασίας και αξιοποίησης δεδομένων.

1.1 Ρόλος του ΔΚΠ ως Carbon Project Developer και Scheme Owner

Το ΔΚΠ λειτουργεί ως ο **φορέας σχεδιασμού, ανάπτυξης και διαχείρισης** του συνολικού σχήματος διαχείρισης ανθρακικού αποτυπώματος και δέσμευσης άνθρακα.

Στο πλαίσιο αυτό, αναλαμβάνει τον ρόλο του **Carbon Project Developer και Scheme Owner**, οργανώνοντας και υποστηρίζοντας το σύνολο των διαδικασιών που απαιτούνται για την υλοποίηση έργων άνθρακα στον αγροδιατροφικό τομέα.

Το ΔΚΠ συνδέει τους παραγωγούς, τις αγροδιατροφικές επιχειρήσεις, τους γεωπόνους συμβούλους, τους φορείς πιστοποίησης, τους δημόσιους οργανισμούς και τους τελικούς αποδέκτες της περιβαλλοντικής αξίας σε ένα ενιαίο λειτουργικό οικοσύστημα, παρέχοντας την απαραίτητη επιστημονική, τεχνική και ψηφιακή υποδομή.

Ειδικότερα, το ΔΚΠ:

- σχεδιάζει και αναπτύσσει τα έργα άνθρακα και τα αντίστοιχα πρωτόκολλα εφαρμογής,

- οργανώνει τη διαδικασία παρακολούθησης και συλλογής δεδομένων μέσω της Τηλεσυμβουλευτικής Διαγνωστικής Εργαλειοθήκης Πεδίου (TFDT), των δειγματοληψιών, των εργαστηριακών αναλύσεων και των δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΕΟ),
- αναπτύσσει και διαχειρίζεται τα μοντέλα εκτίμησης εδαφικών ιδιοτήτων, δέσμευσης άνθρακα και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου,
- υποστηρίζει τη λειτουργία του συστήματος Monitoring και Reporting στο πλαίσιο του MRV,
- παρέχει συμβουλευτική και τεχνική υποστήριξη για την εφαρμογή πρακτικών carbon farming,
- διασφαλίζει την τεκμηρίωση, την ιχνηλασιμότητα και τη διαφάνεια των παραγόμενων δεδομένων,
- υποστηρίζει τη διαδικασία πιστοποίησης και ανεξάρτητης επαλήθευσης μέσω διαπιστευμένων φορέων,
- δημιουργεί τις προϋποθέσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων σε συστήματα ESG reporting, πράσινης χρηματοδότησης, carbon inseting και μελλοντικών μηχανισμών αγοράς άνθρακα.

Με τον τρόπο αυτό, το ΔΚΠ λειτουργεί ως ο **ενορχηστρωτής του οικοσυστήματος**, μετατρέποντας δεδομένα και πρακτικές διαχείρισης σε επαληθεύσιμη και αξιοποιήσιμη περιβαλλοντική αξία.

1.2 Οικοσύστημα Εμπλεκόμενων Φορέων

Η ανάπτυξη και λειτουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ανθρακικού αποτυπώματος και δέσμευσης άνθρακα προϋποθέτει τη συνεργασία ενός ευρέος οικοσυστήματος φορέων, οι οποίοι συμμετέχουν σε διαφορετικά στάδια της διαδικασίας, από την εφαρμογή των παρεμβάσεων στο πεδίο έως την αξιοποίηση της παραγόμενης περιβαλλοντικής αξίας.



Όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 1**, το ΔΚΠ διασυνδέει τους βασικούς συμμετέχοντες του οικοσυστήματος, διασφαλίζοντας τη ροή δεδομένων, τεχνογνωσίας και περιβαλλοντικής αξίας μεταξύ των διαφορετικών ομάδων ενδιαφερομένων.

Οι **παραγωγοί**, οι **ομάδες παραγωγών** και οι **συνεταιρισμοί** αποτελούν τον βασικό πυρήνα εφαρμογής των παρεμβάσεων στο πεδίο, υιοθετώντας πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης και carbon farming. Οι παρεμβάσεις αυτές παρακολουθούνται και τεκμηριώνονται μέσω του συστήματος του ΔΚΠ, δημιουργώντας μετρήσιμη περιβαλλοντική αξία.

Οι **αγροδιατροφικές επιχειρήσεις** αποτελούν τους βασικούς αποδέκτες της παραγόμενης περιβαλλοντικής υπεραξίας, αξιοποιώντας τα αποτελέσματα για την υποστήριξη στρατηγικών βιωσιμότητας, ESG reporting, carbon insetting και ενίσχυση της ανθεκτικότητας των εφοδιαστικών τους αλυσίδων.

Οι **γεωπόνοι σύμβουλοι** και οι **υπεύθυνοι συστημάτων ποιότητας** λειτουργούν ως επιχειρησιακός σύνδεσμος μεταξύ του συστήματος και της εφαρμογής του στο πεδίο, υποστηρίζοντας την υλοποίηση των παρεμβάσεων, τη μεταφορά τεχνογνωσίας και την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων.

Παράλληλα, οι **φορείς πιστοποίησης και επαλήθευσης** διασφαλίζουν την αξιοπιστία, τη διαφάνεια και την αντικειμενικότητα του συστήματος, ενώ οι **δημόσιοι φορείς και οι οργανισμοί χάραξης πολιτικής** μπορούν να αξιοποιήσουν το σύστημα ως υποδομή

παρακολούθησης, τεκμηρίωσης και υποστήριξης βιώσιμων αγροδιατροφικών και περιβαλλοντικών πολιτικών.

2. Επίπεδο Συλλογής Δεδομένων (Front-End)

Το πρώτο επίπεδο λειτουργίας αφορά τη συστηματική και αξιόπιστη συλλογή δεδομένων, τα οποία αποτελούν τη βάση του συστήματος.

2.1 Τηλεσυμβουλευτική Διαγνωστική Εργαλειοθήκη Πεδίου - Field Diagnostic Toolbox (TFDT)

Η TFDT αποτελεί ένα **ολοκληρωμένο σύστημα πεδίου** που συνδυάζει προηγμένες τεχνολογίες και πρωτόκολλα για την πολυεπίπεδη αποτύπωση του αγροτικού συστήματος.

Περιλαμβάνει:

- Φασματικούς αισθητήρες NIR τεχνολογίας MEMS για τη συλλογή φασματικών υπογραφών εδάφους
- In-situ αισθητήρες για την παρακολούθηση εδαφικών και περιβαλλοντικών δεικτών
- Συστήματα μέτρησης ροής αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και αναπνοής εδάφους
- Ενσωμάτωση δεδομένων Παρατήρησης Γης (Earth Observation – EO) για χωρική και χρονική ανάλυση

Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν συχνές και χωρικά εκτεταμένες μετρήσεις, με χαμηλό κόστος και δυνατότητα επαναληψιμότητας απευθείας στο πεδίο.

2.1.1 Σύστημα Παρακολούθησης Εδάφους (Soil Monitoring Component)

Το Σύστημα Παρακολούθησης Εδάφους αποτελεί μία **εξειδικευμένη υπηρεσία της TFDT** για τη συστηματική παρακολούθηση εδαφικών ιδιοτήτων σε επιλεγμένες περιοχές ενδιαφέροντος. Στόχος του είναι η υποστήριξη των τελικών χρηστών μέσω της παροχής τακτικής και χωρικά συγκεκριμένης πληροφορίας σχετικά με την κατάσταση του εδάφους, συνδυάζοντας επιτόπιες μετρήσεις, δεδομένα Παρατήρησης Γης (EO) και αλγοριθμικά μοντέλα μηχανικής μάθησης.

Στο πλαίσιο της υπηρεσίας, πραγματοποιούνται επιτόπιες μετρήσεις με τη χρήση φορητού συστήματος σάρωσης εδάφους (π.χ. φασματικούς αισθητήρες NIR

τεχνολογίας MEMS), το οποίο συλλέγει φασματικές πληροφορίες απευθείας στο πεδίο. Κάθε μέτρηση αξιοποιείται για την εκτίμηση βασικών εδαφικών ιδιοτήτων, όπως ο οργανικός άνθρακας εδάφους (Soil Organic Carbon – SOC), η περιεκτικότητα σε άργιλο (Clay Content), το pH και το ανθρακικό ασβέστιο. Οι επιτόπιες αυτές παρατηρήσεις συνδυάζονται στη συνέχεια με δορυφορικά δεδομένα, επιτρέποντας τη μετατροπή σημειακών μετρήσεων σε χωρικά προϊόντα που καλύπτουν το σύνολο της περιοχής παρακολούθησης.

Ο τελικός χρήστης δεν απαιτείται να σχεδιάσει μόνος του τη διαδικασία παρακολούθησης. Το εν λόγω υποσύστημα υποστηρίζει τον καθορισμό κατάλληλων σημείων παρακολούθησης, με βάση τη χωρική μεταβλητότητα των αγροτεμαχίων και πληροφορίες που προκύπτουν από δεδομένα ΕΟ. Στα σημεία αυτά πραγματοποιούνται γεωαναφερόμενες μετρήσεις με το φορητό σύστημα σάρωσης, οι οποίες αξιοποιούνται για την εκτίμηση των βασικών εδαφικών ιδιοτήτων.

Παράλληλα, ένα ειδικό σύστημα back-end διαχειρίζεται, επεξεργάζεται και αξιολογεί συνεχώς τα συλλεγόμενα δεδομένα. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τον ποιοτικό έλεγχο των επιτόπιων μετρήσεων, την επεξεργασία φασματικών δεδομένων, την ενοποίηση με δορυφορικά δεδομένα και τη δημιουργία προϊόντων χαρτογράφησης.

Τα τελικά προϊόντα του συστήματος αποτελούν μέρος του επιπέδου αναφοράς (reporting layer) της TFDT και περιλαμβάνουν **χάρτες οργανικού άνθρακα εδάφους (SOC), Clay Content, pH, ανθρακικού ασβεστίου**, καθώς και **χάρτες δεικτών εδαφικής υγείας (Soil Health Indicators)**. Τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζουν τον εντοπισμό ζωνών διαχείρισης, περιοχών με χαμηλότερη ποιότητα εδάφους, πιθανών εδαφικών περιορισμών, καθώς και σημείων όπου απαιτείται επιπλέον παρακολούθηση ή στοχευμένη παρέμβαση.

Η υπηρεσία συνοδεύεται από τεχνική υποστήριξη προς τον χρήστη, η οποία καλύπτει τη διαδικασία συλλογής δεδομένων, τη χρήση του εξοπλισμού, την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και την αξιοποίηση των παραγόμενων χαρτών και αναφορών. Με τον τρόπο αυτό, το Σύστημα Παρακολούθησης Εδάφους παρέχει μια ολοκληρωμένη επιχειρησιακή λύση για τη συνεχή παρακολούθηση εδαφικών ιδιοτήτων, συνδυάζοντας επιτόπια φασματική σάρωση, δορυφορική ανάλυση, επεξεργασία δεδομένων, χαρτογραφική απεικόνιση και τεχνική υποστήριξη.

2.1.2 Μέτρηση Ροής Αερίων του Θερμοκηπίου και Αξιολόγηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (GHG – Carbon Net removals)

Η μέτρηση των ροών αερίων του θερμοκηπίου πραγματοποιείται μέσω φορητού συστήματος κλειστού θαλάμου (AirSpectra Portable Gas Measurement System), το οποίο επιτρέπει υψηλής

συχνότητας καταγραφή CO₂, CH₄ και N₂O και υποστηρίζει την εκτίμηση καθαρών ροών άνθρακα (carbon net removals) σε αγρο-οικοσυστήματα.

Η διαδικασία περιλαμβάνει:

- Επιτόπια εγκατάσταση κλειστού θαλάμου με διείσδυση στο έδαφος και αεροστεγή εφαρμογή μεταξύ γραμμών καλλιέργειας
- Μέτρηση CO₂, CH₄ και N₂O μέσω NDIR αισθητήρων, με ενσωματωμένη καταγραφή θερμοκρασίας και πίεσης για κανονικοποίηση
- Συνεχή καταγραφή μεταβολών συγκέντρωσης ανά 30s και σταθεροποίηση ροής εντός ~1–3 λεπτών, με ένδειξη πιθανής διαρροής.
- Δειγματοληψία αέρα από τον θάλαμο και συλλογή σε αεροστεγή σακούλα για ανάλυση με αέρια χρωματογραφία (GC) και εργαστηριακή επαλήθευση/ βαθμονόμηση.
- Τυποποιημένη λειτουργία σε κύκλους 30 λεπτών ανά σημείο, με σύσταση των ωρών μετρήσεως για τις πιο αντιπροσωπευτικές ημερήσιες τιμές.
- Δειγματοληψία κατόπιν συμβάντος (event-triggered) μετά από διαχειριστικά ή κλιματικά γεγονότα (λίπανση, άρωση, βόσκηση, άρδευση, έντονες βροχοπτώσεις)
- Υπολογισμό ροών από μεταβολή συγκέντρωσης με εφαρμογή συντελεστή μετατροπής

Τα δεδομένα οργάνωνονται σε διακριτές επιμέρους συνιστώσες (components):

- Βασικές ροές GHG (CO₂, CH₄, N₂O) από μικροβιακές και φυσικοχημικές διεργασίες
- Ανταλλαγές εδάφους–ατμόσφαιρας στο επίπεδο αναφοράς (baseline) που αντιστοιχούν σε σταθερή βιολογική δραστηριότητα
- Ροή εκροών που σχετίζονται με διαχειριστικά ή περιβαλλοντικά γεγονότα
- Συνιστώσες του συστήματος μέτρησης (drift, αποκλίσεις βαθμονόμησης, στεγανότητα θαλάμου), οι οποίες αξιολογούνται μέσω συγκρίσεων με αναφορικές περιβαλλοντικές τιμές και βαθμονομούνται με χρήση αέριας χρωματογραφίας (GC).

Η μελέτη του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment-LCA) και η λογιστική άνθρακα (carbon accounting) πραγματοποιείται με μοντέλα. Τα αποτελέσματα των μοντέλων LCA εκφράζουν το περιβαλλοντικό αποτυπώμα της δραστηριότητας του συστήματος ανά λειτουργική μονάδα, ενώ τα μοντέλα λογιστικής άνθρακα εκφράζουν τις μεταβολές αποθεμάτων άνθρακα στο έδαφος και τα ισοζύγια των εκπομπών αέριων ρύπων του θερμοκηπίου (GHG). Τα δεδομένα εισόδου των μοντέλων περιλαμβάνουν (με βάση τα όρια του συστήματος και χωρίς να περιορίζονται σε αυτά):

- Εισροές από την χρήση καυσίμων στα γεωργικά μηχανήματα
- Εισροές αγροχημικών (λιπάσματα, φυτοφάρμακα)
- Χρήση αρδευτικού νερού
- Καταγραφή καλλιεργητικών πρακτικών
- Δεδομένα εδαφολογικών αναλύσεων

Οι μετρούμενες ροές αερίων του θερμοκηπίου από το επιτόπιο σύστημα AirSpectra αποτελούν την πρωτογενή παρατηρήσιμη βάση για την ποσοτικοποίηση των ανταλλαγών CO₂, CH₄ και N₂O σε επίπεδο πεδίου. Οι ροές αυτές, σε συνδυασμό με τα δεδομένα καλλιεργητικών πρακτικών και εδαφολογικών χαρακτηριστικών, τροφοδοτούν τα μοντέλα λογιστικής άνθρακα και κύκλου ζωής (carbon accounting και LCA), με έμφαση στην αλλαγή του αποθέματος του άνθρακα στο έδαφος. Παράλληλα, ενσωματώνονται δορυφορικά δεδομένα παρατήρησης Γης και οικοσυστημικά μοντέλα για την εκτίμηση της βιομάζας και της οργανικής ουσίας του εδάφους. Η ενοποίηση των επιτόπιων ροών, των μεταβολών αποθεμάτων άνθρακα και των εκπομπών μη-CO₂ αερίων οδηγεί στον υπολογισμό του συνολικού ισοζυγίου αερίων του θερμοκηπίου και των καθαρών αφαιρέσεων άνθρακα (carbon net removals) σε επίπεδο συστήματος. Η μεθοδολογία βασίζεται στα [IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories](#) και στην [2019 Refinement](#) για την απογραφή και τον υπολογισμό εκπομπών και αποθεμάτων άνθρακα στον τομέα AFOLU και είναι σχεδιασμένη ώστε να υποστηρίζει επαλήθευση και πιστοποίηση μονάδων άνθρακα σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14064-2.

2.2 Δειγματοληψία Εδάφους & Εργαστηριακή Αναφορά

Για τη διασφάλιση της ακρίβειας και της επιστημονικής εγκυρότητας, τα δεδομένα πεδίου υποστηρίζονται από **πιστοποιημένη δειγματοληψία (ISO/IEC 17025:2017)** και **εργαστηριακές αναλύσεις**, οι οποίες εντάσσονται σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο χωρικής και αναλυτικής τεκμηρίωσης.

Η διαδικασία περιλαμβάνει:

- Συλλογή διαταραγμένων και αδιατάρακτων εδαφικών δειγμάτων βάσει τυποποιημένων και πιστοποιημένων πρωτοκόλλων του ΔΚΠ, από εξειδικευμένο προσωπικό
- Χωρικό σχεδιασμό της δειγματοληψίας μέσω χαρτών ζωνοποίησης, με αξιοποίηση δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΕΟ), για τον καθορισμό αντιπροσωπευτικών υποπεριοχών
- Συστηματική επισήμανση, γεωαναφορά και καταγραφή των δειγμάτων, διασφαλίζοντας την ιχνηλασιμότητα σε όλα τα στάδια
- Εργαστηριακή ανάλυση φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών, καθώς και δεικτών εδαφικής βιοποικιλότητας
- Συμπληρωματικές επιτόπιες μετρήσεις για την αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του εδάφους

Τα παραγόμενα δεδομένα αποτελούν υψηλής αξιοπιστίας δεδομένα αναφοράς (ground truth), τα οποία αξιοποιούνται για:

- Τη βαθμονόμηση και συνεχή βελτίωση των αλγοριθμικών μοντέλων
- Την επαλήθευση των μετρήσεων πεδίου και των φασματοσκοπικών εκτιμήσεων
- Τη διασφάλιση της συγκρισιμότητας και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων στο χρόνο και στον χώρο

2.2.1 Δειγματολήπτης Εδαφικού Προφίλ – Καρότο (Core Soil Profile Sampler)

Στο πλαίσιο της δειγματοληψίας, το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει **εξειδικευμένη δειγματοληψία εδάφους** μέσω δειγματολήπτη εδαφικού προφίλ (Core Soil Profile Sampler), επιτρέποντας τη συλλογή **εδαφικών πυρήνων** με διατήρηση της φυσικής στρωματογραφίας και των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους.

Η συλλογή των εδαφικών πυρήνων πραγματοποιείται με ελεγχόμενη κρουστική διείδυση, (μειώνοντας σημαντικά τις διαταραχές της εδαφικής δομής σε σχέση με συμβατικές μεθόδους δειγματοληψίας.) Με τον τρόπο αυτό διατηρούνται κρίσιμα χαρακτηριστικά του εδαφικού προφίλ, όπως η διάταξη των οριζόντων, η πυκνότητα, η υγρασία, η δομή και η στρωματογραφία του εδάφους.

Παράλληλα, η διαδικασία συνοδεύεται από συστηματική γεωαναφορά, καταγραφή βάθους, περιγραφή των εδαφικών οριζόντων και τυποποιημένη τεκμηρίωση του εδαφικού προφίλ, διασφαλίζοντας ομοιομορφία, ιχνηλασιμότητα και συγκρισιμότητα των δεδομένων.

Η ενσωμάτωση της δειγματοληψίας εδαφικού προφίλ στο συνολικό σύστημα ενισχύει σημαντικά την επιστημονική τεκμηρίωση και τη χωρική αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα σε εφαρμογές που σχετίζονται με τη δέσμευση άνθρακα, τη μακροχρόνια παρακολούθηση εδάφους και την υποστήριξη έργων βιώσιμης διαχείρισης και γεωργίας άνθρακα.

2.3 Ημερολόγιο Αγρού

Το **ψηφιακό ημερολόγιο αγρού** αποτελεί μία από τις βασικές λειτουργίες της ενιαίας ψηφιακής εφαρμογής πεδίου και υποστηρίζει τη συστηματική καταγραφή των καλλιεργητικών πρακτικών και των διαχειριστικών ενεργειών που εφαρμόζονται στον αγρό.

Μέσω αυτού καταγράφονται συστηματικά οι καλλιεργητικές πρακτικές, όπως:

- Λίπανση και διαχείριση θρεπτικών στοιχείων
- Άρδευση
- Κατεργασία εδάφους
- Χρήση εισροών (αγροχημικών ή οργανικών)
- Αμειψισπορές και καλλιεργητικές επιλογές

Η σημασία του είναι καθοριστική, καθώς συνδέει τις **πρακτικές διαχείρισης με τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα**.

Συγκεκριμένα, επιτρέπει:

- Την ποσοτικοποίηση των ροών άνθρακα στο σύστημα
- Την εκτίμηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- Την παρακολούθηση της εξέλιξης του οργανικού άνθρακα εδάφους (SOC)
- Την τεκμηρίωση της αρχής του additionality

Χωρίς τη συστηματική αυτή καταγραφή, δεν είναι εφικτή ούτε η αξιόπιστη αποτύπωση του ανθρακικού αποτυπώματος ούτε η παροχή στοχευμένης συμβουλευτικής.

2.4 Ενιαία Ψηφιακή Εφαρμογή Διαχείρισης Δεδομένων και Λειτουργιών Πεδίου

Η λειτουργία των επιμέρους υποσυστημάτων της Τηλεσυμβουλευτικής Διαγνωστικής Εργαλειοθήκης Πεδίου (TFDT) υποστηρίζεται από μία **ενιαία ψηφιακή εφαρμογή πεδίου**, η οποία λειτουργεί ως το κοινό επιχειρησιακό περιβάλλον συλλογής, καταγραφής, συγχρονισμού και διαχείρισης δεδομένων.

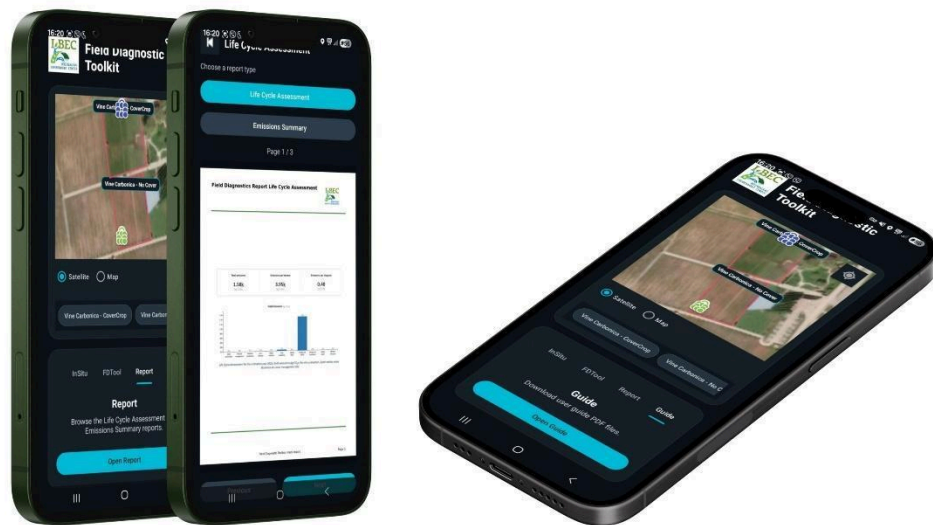
Η εφαρμογή **διασυνδέει τα διαφορετικά υποσυστήματα της εργαλειοθήκης**, επιτρέποντας την ενοποιημένη διαχείριση μετρήσεων, παρατηρήσεων και πληροφοριών που συλλέγονται κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου.

Μέσω της εφαρμογής υποστηρίζονται:

- η διασύνδεση και ο συγχρονισμός των αισθητήρων και των συστημάτων μέτρησης,

- η γεωχωρική καταγραφή και τεκμηρίωση των δεδομένων πεδίου,
- η διαχείριση σημείων δειγματοληψίας, μετρήσεων και παρατηρήσεων,
- η ψηφιακή καταγραφή καλλιεργητικών πρακτικών και στοιχείων διαχείρισης αγρού,
- η πρόσβαση σε αποτελέσματα, αναφορές και χαρτογραφικά προϊόντα,
- η μεταφορά και ο συγχρονισμός των δεδομένων με την κεντρική υποδομή επεξεργασίας και ανάλυσης.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον λειτουργίας, το οποίο διασφαλίζει την ομοιομορφία της συλλογής δεδομένων, την ιχνηλασιμότητα των ενεργειών και τη συνεχή διασύνδεση μεταξύ των εργασιών πεδίου, της επεξεργασίας δεδομένων και της παραγωγής αποτελεσμάτων.



3. Επίπεδο Επεξεργασίας & Ανάλυσης Δεδομένων (Back-End)

Τα δεδομένα που συλλέγονται μεταφέρονται σε **κεντρική ψηφιακή υποδομή**, όπου αναλύονται και μετατρέπονται σε χρήσιμη πληροφορία.

3.1 Ενοποίηση και Συνδυασμός Δεδομένων

Το σύστημα ενσωματώνει πολλαπλές πηγές δεδομένων σε ένα ενιαίο πλαίσιο:

- Δεδομένα πεδίου (TFDT)
- Εργαστηριακά δεδομένα
- Δεδομένα ΕΟ
- Δεδομένα από το ημερολόγιο αγρού

Ο συνδυασμός αυτός επιτρέπει την **ολιστική κατανόηση του αγροτικού συστήματος**.

3.2 Ανάπτυξη Μοντέλων & Φασματικών Βιβλιοθηκών

Αναπτύσσονται και ενημερώνονται συνεχώς προηγμένα αλγοριθμικά μοντέλα, τα οποία υποστηρίζονται από δυναμικά εξελισσόμενες φασματικές βιβλιοθήκες και δεδομένα αναφοράς.

Ειδικότερα, περιλαμβάνονται:

- Μοντέλα πρόβλεψης εδαφικών ιδιοτήτων (SOC, pH, Clay Content, total nitrogen – TN κ.ά.)
- Μοντέλα εκτίμησης δέσμευσης άνθρακα
- Μοντέλα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG)

Παράλληλα, αναπτύσσονται και εμπλουτίζονται συνεχώς φασματικές βιβλιοθήκες εδάφους, οι οποίες συγκεντρώνουν φασματικά δεδομένα συνδεδεμένα με εργαστηριακές αναλύσεις και λειτουργούν ως βάση γνώσης για:

- τη βαθμονόμηση και εκπαίδευση των μοντέλων,
- τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων,
- τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της επεκτασιμότητας του συστήματος

3.3 Ψηφιακή Υποδομή

Η υποδομή του συστήματος εξασφαλίζει:

- Ασφαλή αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων
- Υπολογιστική επεξεργασία σε περιβάλλον cloud
- Άμεση πρόσβαση στα αποτελέσματα μέσω της εφαρμογής

Το σύστημα λειτουργεί ως ένα **δυναμικό περιβάλλον μάθησης**, όπου τόσο τα μοντέλα όσο και οι υποκείμενες βιβλιοθήκες δεδομένων εξελίσσονται συνεχώς, βελτιώνοντας την ακρίβεια και τη σταθερότητα των αποτελεσμάτων.

4. Παραγόμενα Αποτελέσματα & Υπηρεσίες

Τα δεδομένα μετατρέπονται σε συγκεκριμένα προϊόντα και υπηρεσίες για τον τελικό χρήστη.

4.1 Reporting (Αναφορές)

Παράγονται ολοκληρωμένες και τυποποιημένες αναφορές, όπως:

- Αναφορές εδαφικής υγείας
- Αναφορές δέσμευσης άνθρακα
- Προφίλ εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (δείκτες επιπτώσεων αγροτικών πρακτικών)
- Χάρτες χωρικής ανάλυσης (μέσω ΕΟ)

4.2 Συμβουλευτική & Υποστήριξη Αποφάσεων

Με βάση τα αποτελέσματα, παρέχονται στοχευμένες συστάσεις για τη βελτιστοποίηση των πρακτικών.

Οι προτάσεις βασίζονται σε:

- Την κατάσταση του εδάφους
- Το ιστορικό πρακτικών (μέσω ημερολογίου αγρού)
- Τους στόχους του παραγωγού ή του οργανισμού

Ενδεικτικές παρεμβάσεις περιλαμβάνουν:

- Υιοθέτηση μειωμένης ή μηδενικής κατεργασίας
- Εισαγωγή καλλιεργειών κάλυψης
- Βελτιστοποίηση λίπανσης
- Βελτίωση διαχείρισης άρδευσης

Με τον τρόπο αυτό, τα δεδομένα μετατρέπονται σε πρακτικές και εφαρμόσιμες αποφάσεις.

4.2.1 Σύστημα Συνταγογράφησης Εδαφοβελτιωτικών Προϊόντων για Πιστοποιημένες Εφαρμογές σε Έργα Άνθρακα (Carbon Projects)

Στο πλαίσιο της συμβουλευτικής και υποστήριξης αποφάσεων, το σύστημα μπορεί να ενσωματώσει μηχανισμό συνταγογράφησης εδαφοβελτιωτικών προϊόντων, όπως προϊόντα τύπου κομπόστ, για πιστοποιημένες εφαρμογές σε έργα άνθρακα.

Μέσω του συστήματος καθορίζονται εξειδικευμένα πρωτόκολλα χρήσης εδαφοβελτιωτικών προϊόντων, καθώς και αποδεκτά όρια (thresholds) περιβαλλοντικών παραμέτρων, ώστε να διασφαλίζεται η συμβατότητα της εφαρμογής με τις απαιτήσεις αδειοδότησης, περιβαλλοντικής τεκμηρίωσης και πιθανής ένταξης σε έργα άνθρακα (carbon projects).

5. Πρακτικές Carbon Farming (Επίπεδο Παρεμβάσεων)

Οι πρακτικές carbon farming αποτελούν τις παρεμβάσεις που εφαρμόζονται στο πεδίο, βάσει των αποτελεσμάτων και της συμβουλευτικής του συστήματος.

Στόχος τους είναι:

- Η αύξηση της δέσμευσης άνθρακα στο έδαφος
- Η μείωση των εκπομπών GHG
- Η βελτίωση της εδαφικής υγείας

Ενδεικτικά περιλαμβάνουν:

- Αξιοποίηση οργανικής ύλης (π.χ. κομπόστ, βιοάνθρακας)
- Μειωμένη διατάραξη εδάφους και γεωργία διατήρησης
- Καλλιέργειες κάλυψης
- Βελτιστοποίηση θρεπτικών εισροών
- Ορθολογική διαχείριση νερού
- Ενεργειακή αποδοτικότητα και χρήση ΑΠΕ

Οι πρακτικές αυτές εφαρμόζονται με τεκμηριωμένο και δυναμικό τρόπο, και αξιολογούνται συνεχώς μέσω του συστήματος.

6. Σύστημα MRV (Monitoring – Reporting – Verification)

Για να αποκτήσει αξία η βιωσιμότητα, απαιτείται να είναι μετρήσιμη, τεκμηριωμένη και επαληθεύσιμη.

6.1 Παρακολούθηση (Monitoring)

Η παρακολούθηση επιτυγχάνεται μέσω:

- Μετρήσεων TFDT
- Δεδομένων ΕΟ
- Δειγματοληψιών και εργαστηριακών αναλύσεων

6.2 Αναφορά (Reporting)

Τα δεδομένα καταγράφονται και οργανώνονται μέσω της ψηφιακής πλατφόρμας, διασφαλίζοντας:

- Πληρότητα και συνέπεια
- Ιχνηλασιμότητα
- Δυνατότητα αξιοποίησης για ESG reporting

6.3 Επαλήθευση (Verification)

Το ΔΚΠ υποστηρίζει πλήρως τα στάδια Monitoring και Reporting.

Η επίσημη διαδικασία επαλήθευσης, που απαιτείται για πιστοποίηση ή έκδοση carbon credits, πραγματοποιείται από ανεξάρτητους διαπιστευμένους φορείς, σύμφωνα με διεθνή πρότυπα (π.χ. ISO 14064-2).

7. Δημιουργία Αξίας και Impact

Το σύστημα μετατρέπει δεδομένα, μετρήσεις και πρακτικές διαχείρισης σε ουσιαστική αξία για όλους τους συμμετέχοντες του οικοσυστήματος. Μέσα από τη συνδυαστική αξιοποίηση δεδομένων πεδίου, εργαστηριακών αναλύσεων, τεχνολογιών Παρατήρησης Γης (ΕΟ) και προηγμένων μοντέλων ανάλυσης, παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της περιβαλλοντικής κατάστασης και της εξέλιξης των αγροτικών συστημάτων.

Η αξία που δημιουργείται δεν περιορίζεται μόνο στην παρακολούθηση δεικτών, αλλά μεταφράζεται σε **καλύτερες αποφάσεις, πιο αποτελεσματική διαχείριση των πόρων και νέες δυνατότητες αξιοποίησης της περιβαλλοντικής επίδοσης των εκμεταλλεύσεων και των επιχειρήσεων.**

Ειδικότερα, το σύστημα συμβάλλει:

- ✓ στην αξιόπιστη ποσοτικοποίηση του ανθρακικού αποτυπώματος, της δέσμευσης άνθρακα και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εφαρμοζόμενων πρακτικών,
- ✓ στη δημιουργία της απαραίτητης τεχνικής και επιστημονικής τεκμηρίωσης για την υποστήριξη έργων άνθρακα, συστημάτων carbon accounting και διαδικασιών MRV,
- ✓ στην κάλυψη απαιτήσεων ESG reporting και βιωσιμότητας, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών δεικτών στις στρατηγικές και τις εκθέσεις των οργανισμών,
- ✓ στη διευκόλυνση της πρόσβασης σε πράσινη χρηματοδότηση και σε μηχανισμούς που συνδέονται με την περιβαλλοντική επίδοση και τη βιώσιμη ανάπτυξη,
- ✓ στη βελτιστοποίηση της χρήσης εισροών και στη μείωση του λειτουργικού κόστους μέσω στοχευμένων και τεκμηριωμένων παρεμβάσεων,
- ✓ στην ενίσχυση της εδαφικής υγείας, της ανθεκτικότητας και της παραγωγικότητας των αγροτικών συστημάτων,
- ✓ στη δημιουργία περιβαλλοντικής υπεραξίας, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί από παραγωγούς, αγροδιατροφικές επιχειρήσεις και αλυσίδες αξίας στο πλαίσιο στρατηγικών βιωσιμότητας και carbon insetting.

Πέρα από τα άμεσα επιχειρησιακά οφέλη, το σύστημα συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός **πιο ανθεκτικού και βιώσιμου αγροδιατροφικού μοντέλου**, όπου οι περιβαλλοντικές επιδόσεις δεν αποτελούν απλώς έναν δείκτη συμμόρφωσης, αλλά έναν πραγματικό παράγοντα δημιουργίας αξίας για την παραγωγή, τις επιχειρήσεις και την κοινωνία.