چارچوب مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران

فرهاد مشیری[۱]، محمدرضا بلالی، فرهاد رجالی و آزاده صداقت

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. **fmoshiri@swri.ir**

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. **mrbalali68@gmail.com**

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. **frejali@yahoo.com**

دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران. **Azadehsedaghat65@gmail.com**

چکیده

همگام با طرح ایده توسعه پایدار، مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه مورد توجه قرار گرفته است. بررسی چالش ها و مسائل حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران شامل کمبود ماده آلی و عناصر غذایی در خاک، عدم تعادل تغذیه‌ای گیاه، کارایی کم استفاده از کودهای شیمیایی، وجود تنش‌های محیطی و انتقال ناقص دانش به بهره‌برداران پیچیدگی و چند بعدی بودن توصیه کودی را در سطح مزارع مشخص می‌نماید. مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در کشور مسیر تکاملی به‌سوی جامع‌نگری را در دوره‌ی اول حرکت به‌سوی تلفیق با کاربرد انواع کودهای شیمیایی و آلی در قالب یک برنامه واحد مدیریتی طی نموده است. با این حال در توسعه مدیریت تلفیقی ضروری است چارچوبی تدوین گردد که کلیه عوامل دخیل را به‌صورت یکپارچه و در یک بسته مدیریتی شامل شود. اجزای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه شامل رقم گیاهی، کودهای شیمیایی، آلی و زیستی، سیستم زراعی، شرایط اقلیمی، ویژگی خاکی و شرایط اقتصادی و اجتماعی مورد تأکید هست. در این مقاله سه گام شامل ۱) مشارکت کلیهٔ ذی‌نفعان در فرآیند طراحی، اولویت‌بندی، اجرا و نظارت، ۲) تطبیق مقدار، زمان و روش مصرف توأم کودهای شیمیایی، آلی و زیستی با نیازهای غذایی ارقام مختلف گیاهی در سیستم زراعی مستقر مورد نظر با توجه به تنش‌های محیطی و ۳) انتشار دانش و فناوری تلفیقی در ایستگاه‌ها یا پایگاه‌های الگویی با مشارکت مروجین مسئول و کشاورزان داوطلب به منظور حصول دستاورد و اثربخشی در منطقه مورد نظر برای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران ارائه‌شده است.

واژه‌های کلیدی: چالش‌های حاصلخیزی خاک، رویکرد مشارکتی، مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه

---

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

تأمین امنیت غذایی جمعیت رو به رشد همواره یکی از چالش‌های اساسی است که در اهداف توسعه پایدار در مقیاس جهانی گنجانده‌شده است. با افزایش جمعیت و تغییر سبک زندگی در اکثر نقاط دنیا تقاضا برای غذا و فیبر افزایش می‌یابد. درحالی‌که امکان توسعه اراضی کشاورزی قابل‌کشت محدود هست. سطح زیر کشت محصولات کشاورزی ایران از سال ۱۳۴۰ تا ۱۳۷۰ از ۶/۸ میلیون هکتار به دو برابر افزایش‌یافته در حالی که در مقطع زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ این میزان ثابت مانده است. عدم تغییر قابل توجه در افزایش سطح زیر کشت به دلیل محدودیت آب، شور شدن خاک، تبدیل اراضی و فرسایش، افزایش تولید در واحد سطح و توسعه کشاورزی فشرده[1] (کشاورزی متراکم) را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید (بلالی و همکاران، ۱۳۹۳b). از این رو فشار بر منابع خاک و آب در آینده افزایش‌یافته و نیازمند تغییر راهبردها و رویکردها آتی هست؛ اما چگونه؟ در این راستا در برنامه پایداری تولید محصول، پایداری حاصلخیزی خاک از جمله ارکان اصلی هست. تا سال‌های متمادی استفاده از کودهای شیمیایی برای حفظ حاصلخیزی خاک از ارکان اصلی مدیریت حاصلخیزی خاک به شمار می‌رفت. در دو دهه اخیر با بروز مسائل زیست‌محیطی، توجه بیشتر به جنبه‌های فیزیکی و زیستی حاصلخیزی خاک در کنار جنبه شیمیایی آن افزایش‌یافته است. وابستگی بیش از حد به نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی رایج، اصول کشاورزی پایدار را در معرض تهدید قرار داده است (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۹۵). در این میان، مصرف درازمدت و فراوان کودهای شیمیایی رایج، علاوه بر افزایش آلودگی و صدمات زیست‌محیطی می‌تواند عواقبی همچون برهم‌خوردن تعادل اسیدیته، تجمع عناصر سنگین در خاک، کاهش حلالیت عناصر ریزمغذی و تخریب ساختمان خاک را در پی داشته باشد (خان و همکاران، ۲۰۱۸).

براین اساس، مدیریت بهینه مصرف کودهای شیمیایی، تلفیق و یا جایگزینی آن‌ها با انواع کودهای آلی و زیستی به‌منظور رسیدن به تولید پایدار در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است (روسوس و همکاران، ۲۰۱۷؛ الشیخا، ۲۰۱۶). برای نیل به اهداف پایداری، رویکردهای مدیریت حاصلخیزی خاک از جنبه صرفاً شیمیایی و جایگزینی عناصر غذایی به مدیریت تلفیقی و جامع تغییر یافته است. رویکردهای حاصلخیزی خاک در طول ۲۰۰ سال گذشته به سه دوره مهم در سطح جهانی تقسیم‌شده است: ۱) دوره آلی: در این دوره برای ارتقاء حاصلخیزی خاک بیشترین تکیه بر مصرف مواد آلی بوده است. ۲) دوره معدنی: در این دوره به‌موازات صنعتی شدن، حاصلخیزی خاک بیشتر از طریق مصرف کودهای شیمیایی بهبودیافته است. ۳) دوره تلفیقی: این دوره با بروز مسائل زیست‌محیطی مصرف نامناسب کودهای شیمیایی با تأکید بر مصرف توأمان کودهای شیمیایی و آلی آغاز شد. در این راستا رویکردهای کل‌نگر و مشارکتی در مدیریت حاصلخیزی خاک همگام با مطرح شدن توسعه پایدار مورد توجه قرار گرفته است (بلالی و همکاران، ۱۳۹۴). اثرات ناشی از تغییرات زیست‌محیطی و فعالیت‌های انسانی، خطرات بالقوه برای حفظ کیفیت خاک می‌باشند. با ارتقای دانش فنی موجود در جهت استفاده کارآمد از کودهای آلی، ماندگاری طولانی‌مدت کودهای زیستی و درک بهتر از همزیستی گیاهان با ریز جانداران در کسب مواد مغذی و تنظیم روابط خاک–میکروب، در آینده یک سیستم تولید یکپارچه با کارآمدی بیشتر می‌تواند تکامل یابد؛ بنابراین برای ایجاد یک الگو و سیستم جامع مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه مبتنی بر شاخص‌های کیفیت خاک، تلاش‌های بسیاری لازم است (سیواستاوا، ۲۰۲۰). در بسط دوره یا رویکرد سوم تلاش‌های جهانی فراوانی انجام‌شده که با لحاظ آن‌ها دوره جدید حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه بایستی در ایران تبیین گردد.

کود دهی از اجزای اصلی مدیریت حاصلخیزی خاک بوده و در کاهش خلأ عملکرد پتانسیل و واقعی محصولات کشاورزی و دستیابی به امنیت غذایی اهمیت

[1]- Intensive agriculture

زیادی دارد. به‌عنوان مثال در ایجاد خلأ ۵۰ درصدی عملکرد در کشت گندم دیم پرمحصول گلستان، سهم عدم مدیریت بهینه نیتروژن، پتاسیم و عدم مصرف کود دامی بین ۱۱ تا ۱۵ درصد و در کشت گندم آبی عدم مصرف بهینه نیتروژن ۲۵ درصد برآورد گردید (حجارپور و همکاران، ۱۳۹۶). جمع‌بندی ۴۰ هزار آزمایش طی سه دهه گذشته توسط سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (فائو) بیانگر آن است که بیش از ۵۵ درصد افزایش تولیدات کشاورزی مرهون مصرف کودهای شیمیایی بوده است (حمدالله، ۲۰۰۰). در آزمایش‌های بلندمدت نقش مصرف کودهای نیتروژنی و فسفری در دستیابی به‌عملکرد مطلوب گندم به‌طور متوسط بین ۴۰ تا ۶۴ درصد گزارش شده است (استوارت و همکاران، ۲۰۰۵). در ایران مدیریت بهینه کودی بین ۱۱ تا ۱۹ درصد در افزایش عملکرد محصولات مختلف نسبت به مدیریت کوددهی زارعین مؤثر بوده است (بلالی و همکاران، ۱۳۹۳a).

در تحقق دوره مدیریت تلفیقی، بهترین اصول مدیریت کوددهی جهانی با اصول زراعی، فراهم‌کننده شرایط بهینه که تأمین‌کننده اهداف مدیریت زراعی هست، هماهنگ شده است. چهار هدف بهره‌وری، سودآوری، پایداری نظام زراعی و سلامت محیط‌زیست، به‌طور توأمان برای کلیه نظام‌های زراعی در نظر گرفته‌شده تا چهار رکن منبع تغذیه‌ای، میزان، زمان و مکان درست با بهترین اصول مدیریت زراعی تلفیق گردد (ویت، ۲۰۰۳).

مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران از سال ۱۳۳۹ با تمرکز بر توسعه مصرف کودهای شیمیایی آغاز و در دهه‌های اخیر با گام‌های مؤثری در پیشرفت آزمون خاک و به‌کارگیری کودهای آلی و زیستی ادامه داشته است؛ اما در حال حاضر با مسائل متعدد خاکی، اقلیمی، فن‌آوری و مدیریتی روبه‌رو است که مواجهه با آن‌ها نیازمند تغییر در الگوواره‌ها (پارادیم‌ها) و راهبردها به سمت جامع‌نگری است. این مقاله ضمن اشاره به برخی از چالش‌های اساسی در این حوزه به دنبال چارچوب مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه متناسب با شرایط کشور، ابعاد آن و الزامات اجرای موفق آن هست.

چالش‌ها و مسائل حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه

اغلب خاک‌های کشاورزی ایران دچار کمبود یک و یا چند عنصر غذایی می‌باشند. تحلیل مقدار کربن آلی در ۲۳۷۰۰ نمونه خاک از اراضی تحت کشت ایران نشان می‌دهد که در ۶۱/۶ درصد نمونه‌ها، میزان کربن آلی خاک کمتر از یک درصد بوده و در محدوده کم تا خیلی کم قرار دارد. از طرف دیگر بررسی تغییرات کربن آلی خاک‌ها در بازه‌های زمانی مختلف در منطقه دزفول در جنوب ایران و در ناحیه خزری شمال ایران بیانگر روند کاهشی مقدار کربن آلی خاک‌ها است. اقلیم خشک و نیمه‌خشک سبب شده است که به‌جز شمال و برخی مناطق غربی کشور استعداد کافی برای انباشت ماده آلی وجود نداشته باشد. بررسی‌ها نشان داده همبستگی کاملاً معنی‌داری (r =۰/۹۱) بین میزان بارندگی و متوسط کربن آلی در مناطق زراعی زیستگاهی ایران[1] وجود دارد (بلالی و غفاری‌نژاد، ۱۳۹۸). جوان بودن خاک‌ها، کیفیت نامناسب خاک از جمله شوری و قلیائیت بالا، کمبود بنیه غذایی و حاصلخیزی کم خاک‌ها و عوامل مدیریتی چون تغییر کاربری اراضی، مدیریت نامناسب خاک‌ورزی و عدم حفظ بقایای گیاهی نیز در کمبود مواد آلی خاک‌های ایران تأثیرگذار است (مشیری و همکاران، ۲۰۱۷). از دیدگاه حاصلخیزی بیولوژیکی به دلیل کمبود ماده آلی در خاک‌های ایران و هتروتروف بودن بیشتر باکتری‌های خاکزی فعالیت زیستی این خاک‌ها کم است. در مقایسه با سایر نقاط کشور جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک‌های ناحیه خزری به دلیل شرایط مرطوب و نیمه مرطوب بیشتر است؛ اما در خاک‌های مناطق خشک نسبت به مناطق مرطوب به دلیل رطوبت و ماده آلی کم، جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها بسیار کمتر است (بلالی و غفاری نژاد، ۱۳۹۸). از دیدگاه حاصلخیزی شیمیایی به‌طور متوسط کمبود فسفر در ۷۲/۴ درصد، کمبود پتاسیم در ۲۸/۶

[1]- Agro-Ecological Zone (AEZ)

درصد (بلالی و غفاری‌نژاد، ۱۳۹۸)، کمبود آهن در ۴۴ درصد، کمبود روی در ۵۴/۶ درصد، کمبود منگنز در ۱۸/۹ درصد و کمبود مس در ۱۶/۵ درصد (بلالی و همکاران، ۱۳۹۳a) از خاک‌های کشاورزی ایران قابل‌مشاهده است.

عدم تعادل تغذیه‌ای گیاهان زراعی و باغی از عوامل مهم در کاهش عملکرد و کیفیت محصولات است. بررسی‌ها در محصولات زراعی شامل چغندرقند (کلارستاقی و سجادی، ۱۳۷۵؛ دریاشناس و رضایی، ۱۳۸۹) گندم و ذرت (مستشاری، ۱۳۹۳) و محصولات باغی شامل سیب (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۷۹)، انگور (گودرزی و حسینی فرهی، ۱۳۸۷؛ مستشاری و همکاران، ۲۰۱۸)، انار (دریاشناس و دهقانی، ۱۳۸۱)، پرتقال (رستگار و تدین، ۱۳۸۱؛ بصیرت و همکاران، ۱۳۹۷)، زیتون (مستشاری و همکاران،۱۳۹۰) و خیار گلخانه‌ای (زارع مهرجردی، ۱۳۹۱) نشانگر کمبود یک یا چند عنصر غذایی است.

کارایی کم در استفاده از کودها یکی از چالش‌های اساسی در ایران است. در گزارشی که توسط سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد منتشر گردیده است میزان کارایی زراعی استفاده از کود (کیلوگرم افزایش محصول به ازای کیلوگرم کود مصرفی) برای کل تولیدات کشاورزی بین ۹/۲ تا ۱۴/۲ (کیلوگرم/ کیلوگرم) در فاصله سال‌های ۱۳۸۰–۱۳۶۸ برآورد شده است (فائو، ۲۰۰۵). در فاصله سال‌های ۱۳۸۲–۱۳۹۲ کارایی زراعی نیتروژن در تولید غلات از ۱۰/۶ تا ۳۲/۹ متغیر بوده است. در اکثر سال‌ها در این بازه زمانی (۶ سال از ۹ سال) میزان کارایی زراعی کمتر از ۲۰ کیلوگرم بر کیلوگرم است. در ایران متوسط بهره‌وری جزئی نیتروژن (کیلوگرم محصول تولیدی به ازای کیلوگرم نیتروژن مصرفی) در غلات برابر با ۳۹ کیلوگرم بر کیلوگرم است که این میزان از متوسط جهانی (۴۴ کیلوگرم بر کیلوگرم) کمتر است (مشیری و موسوی، ۱۳۹۷). برای بهبود کارایی استفاده از عناصر غذایی توجه به توانایی ارقام در جذب عناصر، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک، فعالیت‌های زیستی خاک، تنش‌های محیطی، مدیریت کوددهی و مدیریت زراعی ضروری است (بالیگار و فاجریه، ۲۰۱۵).

تنش‌های محیطی ناشی از تغییرات اقلیمی و عوامل مدیریتی یکی دیگر از چالش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه است. در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در زمینه مقاوم‌سازی گیاهان زراعی و باغی از طریق تغذیه متعادل با عناصر غذایی و متمایز ساختن نقش پتاسیم و روی در کاهش تنش‌های محیطی به‌خصوص شوری، خشکی و سرما در کشور صورت گرفته است. نگاهی به تحقیقات دو دهه گذشته در این زمینه اهمیت نقش تغذیه متعادل و تغییر نیاز غذایی گیاهان در شرایط تنش محیطی واضح‌تر می‌گردد (بصیرت ۱۳۹۴). بررسی‌ها نشان می‌دهد که اثر تنش‌های غیرزنده شامل شوری، خشکی، سرمازدگی، سمیت عناصر غذایی (بصیرت، ۱۳۹۴) و تنش‌های زنده مانند زوال مرکبات (حسینی و همکاران، ۱۳۹۶)، جاروک لیموترش، سرخشکیدگی خرما در کاهش عملکرد در سال‌های اخیر رو به گسترش است.

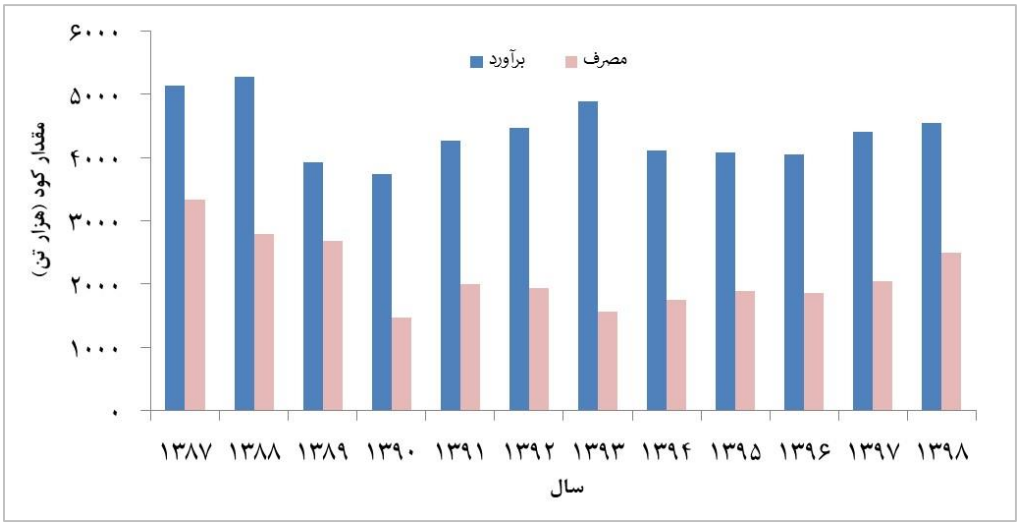
ناکارآمدی نظام کود در کشور (زنجیره برآورد، تأمین، توزیع، توصیه و مصرف) سبب شده است تا مصرف کودها برای تأمین نیاز غذایی گیاهان و غلبه بر کمبود عناصر غذایی و عدم تعادل آن‌ها در خاک و گیاه کافی نباشد. در سال ۲۰۱۸ متوسط جهانی مصرف کود برحسب عنصر غذایی اصلی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) ۱۳۲ کیلوگرم در هکتار است درحالی‌که این رقم در ایران ۶۶ کیلوگرم در هکتار گزارش‌شده است. این میزان از بسیاری از کشورهای همسایه ایران در خاورمیانه و کشورهای پیشرفته اروپایی و کمتر است (جدول ۱). مقایسه داده‌های مصرف کود نسبت به تولید محصولات در بین کشورها در جدول (۱) نشان می‌دهد که در اکثر موارد با افزایش مصرف کودها، میزان کل تولید محصولات زراعی و باغی در واحد سطح افزایش می‌یابد ($r = ۰/۹$). متشرع‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) روند کوددهی در ایران را با کشورهای آلمان، فرانسه، ژاپن، ترکیه و آمریکا در فاصله سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ مقایسه کرده و

نشان دادند که بیشترین میزان مصرف کود مربوط به آلمان و فرانسه (۲۸۵ کیلوگرم در هکتار) بوده و کمترین مقدار مربوط به ایران (۶۶ کیلوگرم در هکتار) است. مقدار کودهای برآورد شده برای تأمین عناصر غذایی اصلی از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ بین چهار تا پنج میلیون تن در نوسان بوده است. در طول این سال‌ها در اکثر موارد تا نصف مقدار کودهای برآورد شده توزیع و مصرف‌شده است (شکل ۱). این امر منجر به بیلان منفی عناصر غذایی در خاک گردیده (شکل ۲ الف) که می‌تواند به‌عنوان یک تهدید اساسی در پایداری حاصلخیزی خاک در آینده محسوب شود. مشیری و زاهدی فرد (۱۳۹۸) بیلان منفی نیتروژن، فسفر و پتاسیم را به ترتیب به میزان ۱۴۶/۶، ۳۹/۵ و ۵۵۷/۲ هزار تن در سال برای خاک‌های کشاورزی ایران برآورد کرده‌اند. در صورت مصرف عناصر غذایی معادل با میزان برآورد شده، می‌توان انتظار داشت که خطر کاهش حاصلخیزی خاک از طریق تخلیه عناصر غذایی تا حد زیادی برطرف شود (شکل ۲ ب).

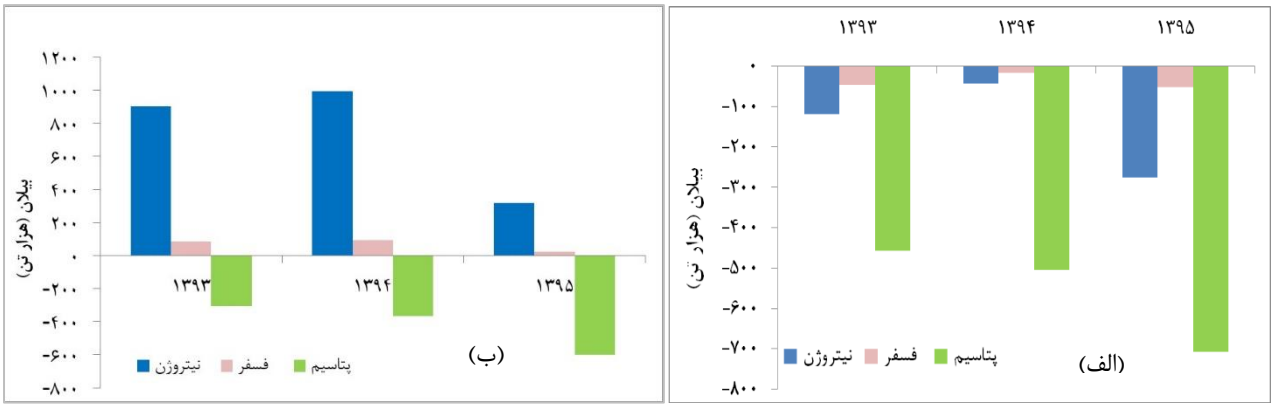
جدول ۱- مقایسه میزان مصرف عناصر غذائی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کشورهای مختلف در سال ۲۰۱۸ (کیلوگرم در هکتار)

کشور	سطح زیر کشت (میلیون هکتار)	تولید در واحد سطح (تن در هکتار)	مصرف عناصر غذایی			
			نیتروژن (N)	فسفر (P_2O_5)	پتاسیم (K_2O)	جمع
استرالیا	۳۰/۹	۲/۷	۴۰	۳۱	۹	۸۰
بلژیک	۰/۹	۱۴/۹	۲۱۵	۲۲	۶۹	۳۰۵
چین	۱۳۵/۷	۱۴/۲	۱۷۲	۸۹	۶۹	۳۲۹
مصر	۳/۸	۲۲/۱	۳۲۵	۵۸	۳۳	۴۱۵
فرانسه	۱۹/۱	۶/۹	۱۱۲	۲۲	۲۴	۱۵۸
آلمان	۱۱/۹	۷/۰	۱۱۳	۱۷	۳۴	۱۶۴
هند	۱۶۹/۴	۷/۱	۱۰۴	۴۱	۱۶	۱۶۱
ایتالیا	۹/۲	۵/۷	۶۵	۱۸	۱۲	۹۵
ایران	۱۶/۵	۴/۲	۵۸	۶	۲	۶۶
ژاپن	۴/۴	۹/۲	۸۴	۷۶	۶۱	۲۲۱
پاکستان	۳۱/۳	۴/۶	۱۰۴	۳۷	۲	۱۴۳
کره جنوبی	۱/۶	۱۴/۴	۱۹۲	۸۶	۱۹۵	۴۷۳
آفریقای جنوبی	۱۲/۴	۴/۰	۳۱	۲۰	۱۱	۶۱
اسپانیا	۱۶/۸	۴/۵	۶۳	۲۷	۲۳	۱۱۲
ترکیه	۲۳/۲	۴/۹	۶۷	۲۲	۵	۹۴
انگلستان	۶/۱	۶/۵	۱۷۱	۳۱	۴۴	۲۴۵
آمریکا	۱۶۰/۴	۴/۵	۷۰	۲۳	۲۶	۱۲۰
جهان	۱۴۰۸/۳	۶/۹	۷۲	۳۲	۲۵	۱۳۲

مرجع: (بانک داده‌های IFA و FAO، ۲۰۲۱)



شکل ۱- مقایسه برآورد و مصرف کودهای شیمیایی برای تولید محصولات زراعی و باغی در ایران (۱۳۸۷-۱۳۹۸)



شکل ۲- بیلان عناصر غذایی در خاک‌های کشاورزی ایران. (الف) بر اساس آمار مصرف کودها و (ب) بر اساس آمار برآورد کودهای موردنیاز

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در تلاش هستند تا با انتقال دانش و نوآوری از طریق اجرای پایلوت در مزارع و باغات کشاورزان خلأ عملکرد را کاهش و متوسط تولید را در سطح کلان افزایش دهند. مسیر تحقیق از اقدام برای کشف نوآوری در آزمایشگاه و پلات‌های آزمایشی تا انجام پایلوت در مزارع بهره‌برداران که بیانگر اثربخشی تحقیقات در سطح کوچک است شروع‌شده اما برای توسعه در سطح وسیع الزامات دیگری را می‌طلبد که به تعمیم عرضی و طولی[1] نیازمند است تا مجموعه عوامل زنجیره ارزش[2] فراهم‌شده و تغییر تولید را تسهیل نماید. در این راستا مطالعات جهانی به‌ویژه در هند نشان داده است که پایلوت‌ها در میانه راه تحقیق برای توسعه بوده و بایستی سه تا پنج سال ادامه یابند تا با تغییر نگرش بهره‌برداران انگیزه انجام توصیه‌ها را در سطح وسیع پیدا نمایند. تحلیل پایلوت‌های کشور نشان داد که علیرغم نتایج مثبت ملاحظه شده متأسفانه عمدتاً یک‌ساله بوده و به تغییر نگرش بهره-برداران منجر نمی‌شود که بایستی مشارکت کلیهٔ ذی‌نفعان در مراحل طراحی، اجرا و پایش سرلوحه برنامه‌های آتی قرار گیرد (صفاری و همکاران، ۱۳۹۸).

[1]- Out and Up Scaling

[2]- Value chain

تغییر رویکردهای جهانی مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه به مدیریت تلفیقی

در مقیاس جهانی در طول ۵۰ سال گذشته تغییرات زیادی در مبانی و عملیات مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک اتفاق افتاده است. در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی نیروی محرکه پژوهش و توسعه مدیریت حاصلخیزی خاک بر پایه انقلاب سبز در آسیا و آمریکای جنوبی و با تأکید بر کاربرد نهاده‌های بیرونی عمدتاً شیمیایی همراه با استفاده از آهک در خاک‌های اسیدی و آبیاری مزارع استوار بود. در دهه ۱۹۸۰ میلادی گرایش به استفاده از نهاده‌های آلی افزایش یافت اما به دلیل کمبود منابع آلی و محدودیت‌های اقتصادی پیشرفت چندانی نداشت. در دهه ۱۹۹۰ کاربرد توأم کودهای شیمیایی و آلی مطرح شد و پس از آن مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک به‌صورت یک مدیریت جامع با در نظر گرفتن تمام جنبه‌ها و عوامل مؤثر در فرآیند تخریب خاک شامل جنبه‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی، سیاست‌گذاری و پیامدهای آن معرفی گردید. به‌گونه‌ای که سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) روش مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه با منابع و نهاده‌های تجدیدپذیر شامل مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی را برای بهبود حاصلخیزی خاک در راستای توسعه کشاورزی پایدار پیشنهاد داده است (فائو، ۲۰۰۶). در حال حاضر بیشتر کارهای تحقیقاتی در راستای کاربرد توأم کودهای شیمیایی و منابع آلی در شرایطی است که سازگار با شرایط محلی بوده و بتواند به‌عملکردهای مطلوب مورد انتظار و افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی دست یابد (موگو و همکاران، ۲۰۱۹).

تعریف‌های متفاوتی برای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک [1](ISFM) و مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه(INM)[2] بسته به نوع و ابعاد مسائل و میزان جامع‌نگری در حل مشکلات ذکر شده است. در تعریف موسسه بین‌المللی توسعه و محیط‌زیست[3]، مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، مدیریت دقیق ذخایر عناصر غذایی و چرخه عناصر غذایی به‌گونه‌ای است که به تولید پایدار و سودده منجر شود. در این مدیریت جنبه‌های مهم ترکیب پیچیده خاک ازجمله نگهداشت کربن آلی خاک، ساختمان خاک و زنده‌بودن خاک در نظر گرفته می‌شود (هیلهورست و تولمین، ۲۰۰۰). لذا مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک علاوه بر مدیریت منابع عناصر غذایی (کودها) به سایر جنبه‌های مهم خصوصیات خاک مانند حفظ مقدار مواد آلی، ساختار فیزیکی خاک، رطوبت و تنوع زیستی میکروبی توجه می‌کند؛ بنابراین، در مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک شاخص‌های کیفیت و سلامت خاک با در نظر گرفتن مدیریت‌های کم‌هزینه از جمله مدیریت بیولوژیکی خاک اهمیت بسیاری دارد (سیواستاوا و همکاران، ۲۰۱۵؛ سیواستاوا و همکاران، ۲۰۱۹). به‌عنوان مثال کود نیتروژن یکی از پرمصرف‌ترین کودها در مزارع است که به‌صورت شیمیایی، آلی و زیستی استفاده می‌گردد. هر چند استفاده از کودهای معدنی ظاهراً سریع‌ترین راه برای تأمین حاصلخیزی خاک به شمار می‌رود، ولی هزینه‌های زیاد مصرف کود همراه با آلودگی و تخریب محیط‌زیست و منابع آب‌وخاک، نگران‌کننده است؛ بنابراین یکی از راه‌های بهبود کارآیی مصرف کودهای نیتروژنه و کاهش تلفات آن، مصرف هم‌زمان کودهای آلی و زیستی با کودهای شیمیایی است. با اجرای صحیح مدیریت تلفیقی، پایداری حاصلخیزی خاک از طریق تمرکز بر کارایی استفاده از عناصر غذایی، کاهش تلفات عناصر غذایی با استفاده از فنون مناسب حفاظت خاک و بهبود حاصلخیزی خاک در سطح مزارع به‌دست می‌آید (فیرهرست، ۲۰۱۲). در تعریف مرکز بین‌المللی توسعه کاربرد کودهای شیمیایی[4]، مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک به‌صورت یک بسته مدیریتی شامل استفاده توأم از اصلاح‌گرهای خاک، مواد آلی و کودهای شیمیایی با هدف بازسازی ذخیره عناصر غذایی و بهبود کارایی و به‌صرفه

[1]- Integrated Soil FertilityManagement
[2]- Integrated Nutrient Management
[3] -International Institute for Environment and Development (IIED)
[4]- International Fertilizer Development Center (IFDC)

نمودن کاربرد نهاده‌های بیرونی تعریف‌شده است (آی اف دی سی، ۲۰۰۲). مرکز بین‌المللی تحقیقات مناطق گرمسیری مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک را محدوده کاملی از محرک‌ها و پیامدهای تخریب خاک شامل عوامل بیولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی، اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و سیاستی می‌داند (TSBF-CIAT، ۲۰۰۵). در این تعریف مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک مجموعه اقداماتی است که الزاماً شامل استفاده از کودهای شیمیایی، نهاده‌های آلی و ژرمپلاسم‌های بهبودیافته در ترکیب با دانش سازگاری این عملیات با شرایط محلی، با هدف افزایش کارایی زراعی عناصر غذایی و ارتقای تولید محصول است (وانلاو و همکاران،۲۰۱۰). به‌علاوه آن‌ها معتقدند برای دستیابی به یک مدیریت جامع و فراگیر لازم است شرایط اقتصادی، اجتماعی و بیوفیزیکی محلی نیز در این تعریف گنجانده شود (وانلاو و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس تعاریف ذکرشده ابعاد مختلفی بیان‌شده است که بایستی برای هر منطقه بومی شود؛ بنابراین در ایران نیز نیازمند چارچوب‌بندی خاص خود است.

مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران

تعدد چالش‌ها و مسائل حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه شامل ابعاد و ویژگی‌های خاک، اقلیم، مدیریت و تفاوت در شرایط محلی به‌ویژه رفتار اجتماعی و اقتصادی در پهنه وسیع کشاورزی، چندبعدی بودن و پیچیدگی را مشخص می‌نماید. بررسی روند تغییرات پژوهش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در کشور (جدول ۲) مسیر تکاملی در وارد نمودن برخی از عوامل پیش‌گفته را به‌سوی جامع‌نگری نشان می‌دهد. بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در کشور و همچنین موسسه تحقیقات خاک و آب در زمینه مدیریت بهینه کاربرد کودهای شیمیایی است. با این حال با توجه به تأثیر مثبت کاربرد کودها و مواد آلی در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و تأمین بخشی از عناصر غذایی موردنیاز گیاهان مطالعات پراکنده‌ای در جهت مدیریت کاربرد کودهای آلی به‌ویژه در زمینه مقدار مناسب کاربرد آن‌ها صورت گرفته است که متناسب با دوره‌ی اول حرکت به‌سوی تلفیق یعنی مصرف توأمان کودهای شیمیایی و آلی است. از طرف دیگر توجه به‌سلامت خاک به مفهوم ظرفیت آن برای حفظ یک اکوسیستم با تنوع زیستی با عملکرد بالا و تعیین شاخص‌های چند بعدی (فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) در ارزیابی سلامت خاک در یک نگاه جامع به مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ضروری است (کاردوسو و همکاران، ۲۰۱۳).

کمبود کربن آلی در خاک‌های ایران به‌عنوان عامل اصلی و کلیدی در ناپایداری حاصلخیزی خاک معرفی‌شده است (مشیری و همکاران، ۲۰۱۷). لذا در انتخاب مدیریت بهینه حاصلخیزی خاک، حفظ و افزایش کربن آلی خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جمع‌بندی پژوهش‌ها نشانگر آن است که کاربرد کودهای آلی می‌تواند به افزایش کربن آلی خاک‌ها منجر شود. تداوم در مصرف کودهای آلی به نتایج بهتری می‌انجامد به‌گونه‌ای که مصرف هرساله آن‌ها (با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی) سبب افزایش دو برابری کربن آلی خاک‌ها گردیده است (مشیری و سماوات، ۱۳۹۶). کاربرد کود سبز (رامرودی و همکاران، ۱۳۸۹؛ نصری و همکاران، ۲۰۱۴) و حفظ بقایای گیاهی و شخم حداقل (بحرانی و همکاران، ۲۰۰۷) از دیگر مدیریت‌های شناخته‌شده در افزایش کربن آلی خاک و بهبود چرخه عناصر غذایی خاک به‌ویژه نیتروژن و در نهایت بهبود رشد و عملکرد محصولات کشاورزی است. به‌علاوه، کاربرد تلفیقی کود سبز با کود شیمیایی نیتروژن‌دار (بغدادی و همکاران، ۱۳۹۶) و کاربرد توأم کود دامی و کودهای شیمیایی (سماوات، ۱۳۹۶) با کاهش قابل‌توجه در مصرف کود شیمیایی و اثرات سوء زیست‌محیطی آن‌ها می‌گردد.

جدول ۲- روند زمانی پژوهش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران

دوره زمانی	مسئله	سؤال	رویکرد/هدف	فعالیت‌ها	نتایج و بروندادها
۱۳۳۹-۱۳۶۳	-عملکرد کم محصولات کشاورزی	تأثیر کودهای شیمیایی در افزایش تولید محصول چقدر است؟	گسترش کاربرد کودها	انجام آزمایش‌های اثربخشی کود	توصیه عمومی کودها به‌ویژه نیتروژن و فسفر
۱۳۶۴-۱۳۷۴	-عملکرد کم محصولات کشاورزی -عمومی بودن توصیه کودها	تأثیر خصوصیات خاک بر توصیه کودها چگونه است؟	بهینه‌سازی کاربرد کودها	آزمون خاک	شروع توصیه کودی ویژه مکان گسترش آزمایشگاه‌های دولتی
۱۳۷۵-۱۳۸۹	-عدم تعادل تغذیه‌ای -کیفیت کم محصولات کشاورزی -بروز مسائل زیست‌محیطی -پایداری تولید	نقش تغذیه متعادل در افزایش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی چقدر است؟	تغذیه متعادل	آزمون خاک، آزمون اثربخشی پتاسیم، عناصر کم‌مصرف و ثانویه، تحقیقات کودهای آلی و زیستی	تکمیل توصیه کودی مکان ویژه گسترش آزمایشگاه‌های خصوصی تنوع سبد کودی
۱۳۹۰-	-پایداری تولید -گسترش تنش‌های محیطی -شکاف تحقیق تا توسعه	جامع‌نگری در حل مسائل حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه چگونه انجام می‌شود؟	مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه	انجام تحقیقات مشارکتی کاربرد توأم کودهای آلی، شیمیایی و زیستی کاربرد محرک‌های رشد مدیریت تغذیه گیاه در شرایط تنش‌های محیطی	بازنگری برنامه‌های تحقیقاتی چارچوب مدیریت تلفیقی گذار از کرت آزمایشی به منطقه

مرجع: طهرانی و همکاران (۱۳۹۱)، بلالی و همکاران (۱۳۹۴)، بازرگان و همکاران (۱۳۹۵)

ارتباط تنگاتنگی میان کشاورزی پایدار و کیفیت خاک وجود دارد، به‌طوری‌که بخشی از ناپایداری سیستم کشاورزی به دلیل کاهش کیفیت خاک در طول زمان است، بنابراین حفظ و بهبود کیفیت خاک، استراتژی مهمی برای پیشرفت اقتصادی و بهبود وضعیت کیفیت محیط‌زیست است. بر همین اساس، انتخاب نوع عملیات مدیریتی و بهره‌برداری از زمین باید با در نظر گرفتن حفظ کیفیت خاک انجام گیرد (لال و همکاران، ۱۹۹۹). از راهبردهای اساسی در راستای بهبود حاصلخیزی و کیفیت خاک و کاهش کاربرد کودهای شیمیایی، بهره‌گیری از کودهای آلی، گیاهان پوششی و یا کود سبز است. سماوات (۱۳۹۶) در مطالعه‌ی گسترده‌ای در ۱۰ منطقه زراعی-زیستگاهی کشور در سیستم تناوب گندم- ذرت نشان داد که مصرف توأمان کود آلی و شیمیایی، علاوه بر افزایش تولید سیستم زراعی سبب افزایش شاخص‌های فعالیت‌های زیستی خاک از جمله تنفس میکروبی به میزان ۱۰۰-۴۰ درصد، فعالیت آنزیم اوره‌آز به میزان ۵۰-۳۰ درصد، فعالیت آنزیم فسفاتاز به میزان ۸۰-۴۰ درصد، جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات به میزان ۱۰۰ برابر شد. همچنین مصرف توأمان کودها موجب افزایش ۲۰ تا ۵۰ درصدی فسفر قابل استفاده، ۳۰ تا ۱۰۰ درصدی پتاسیم قابل استفاده، ۲۰ تا ۷۰ درصدی میانگین قطر خاکدانه‌ها و ۵ تا ۱۰ درصدی آب قابل استفاده گردید. کاربرد توأم کود آلی با کود شیمیایی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه سویا (پیردشتی و همکاران، ۲۰۱۰)، سورگوم (انور و همکاران، ۲۰۰۵)، ذرت (دوان و همکاران، ۲۰۱۵؛ علیزاده و فلاح، ۱۳۹۱)، برنج (عاشوری و همکاران، ۱۳۹۲؛ مصلحی و همکاران، ۱۳۹۵) و باغات میوه (سیواستاوا، ۲۰۲۰) شده است. کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی فسفری نه‌تنها با پایداری تولید در سیستم زراعی گندم-ذرت علوفه‌ای همراه است بلکه با افزایش بیلان فسفر به تجمع فسفر خاک و افزایش حاصلخیزی خاک منجر خواهد شد (مشیری و همکاران، ۱۳۹۸). مدیریت تلفیقی

گیاه پوششی و خاک‌ورزی‌های حفاظتی، بهترین مدیریت در جهت بهبود و افزایش کیفیت خاک است. ورود بقایای گیاهی از طریق گیاه پوششی و گیاه اصلی در خاک، می‌تواند ماده آلی خاک را افزایش دهد، افزون بر این، انجام خاک‌ورزی‌های حفاظتی باعث نگهداری و ترسیب کربن آلی شده که خود باعث افزایش فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک می‌شود که به‌تبع آن، چرخه عناصر و سایر ویژگی‌های آن بهبودیافته و کیفیت خاک نیز افزایش می‌یابد (اسفندیاری اخلاص و همکاران، ۱۳۹۶).

مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک به‌عنوان روشی کارا در پاسخ به تغییرات آب و هوایی و تنش‌های محیطی معرفی‌شده است (گرم و همکاران، ۲۰۲۰). بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک برای کاهش اثرات تنش خشکی پیشنهادشده است (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹). با مصرف کودهای آلی و یا کاربرد توأم کود آلی و شیمیایی در شرایط تنش خشکی افزایش عملکرد گیاه و مقاومت آن‌ها به کم‌آبی حاصل‌شده است (اسماعیلیان و همکاران، ۱۳۹۳؛ گنگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ آنتولین و همکاران، ۲۰۱۰). کاظم علیلو و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که با مصرف تلفیقی کود فسفری و لجن فاضلاب در شرایط تنش خشکی شاخص کلروفیل برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی، ارتفاع بوته و قطر ساقه آفتابگردان به‌صورت معنی‌داری بهبود یافت. کاربرد توأم کودها در کاهش اثرات تنش شوری بر رشد و عملکرد گیاه مؤثر است (البسایدی و همکاران، ۲۰۰۸؛ خیری‌زاده آروق، ۱۳۹۷؛ یداللهی و اصغری پور، ۱۳۹۴؛ صباحی و همکاران، ۱۳۸۹). در کشت برنج تحت شرایط شوری خاک تلفیق کود نیتروژنی و کمپوست مواد آلی باعث حفظ باروری و بهبود خصوصیات خاک، افزایش قابلیت دسترسی گیاه به فسفر و افزایش تعداد خوشه می‌گردد (زاید و همکاران، ۲۰۱۳).

پژوهش‌ها اثرات مثبت کاربرد کودهای زیستی بر افزایش عملکرد و تولید محصولات مختلف را از طریق افزایش فعالیت زیستی ریزوسفر و افزایش قابل توجه ظرفیت جذب مواد مغذی گیاه نشان داده است (اسدی، ۱۳۹۵؛ زارعا و همکاران، ۲۰۰۹؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۸؛ وو و همکاران، ۲۰۱۶b؛ راجاسکران و همکاران، ۲۰۱۵). نقش کودهای زیستی در تأمین ۴۰ تا ۸۰ درصدی نیاز نیتروژنی بقولات اثبات‌شده است (رجالی و خاوازی، ۱۳۷۹؛ خودشناس و همکاران، ۱۳۸۵؛ قاسم‌زاده و اصغرزاده، ۱۳۹۲). کاربرد کودهای زیستی اثرات مطلوبی در کاهش اثر تنش‌های محیطی و افزایش تحمل گیاهان نسبت به تراکم خاک (میرانسری و همکاران، ۲۰۰۸)، خشکی (قربانیان و همکاران، ۱۳۹۳؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۶) و شوری خاک (مردوخی، ۱۳۸۷؛ دایی و همکاران، ۲۰۰۹) دارد. تلفیق کود زیستی و شیمیایی موجب بهبود قابل توجه رشد و عملکرد گیاه و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در گشنیز (بستامی و مجیدیان، ۱۳۹۴)، ذرت شیرین (مجاب قصرالدشتی و همکاران، ۱۳۹۶)، نخود (ظفری و همکاران، ۱۳۹۸)، بادام‌زمینی (شهبازی و سپهری، ۱۳۹۶) و گندم (سیدی و همکاران، ۱۳۹۷) شده است.

با در نظر گرفتن عوامل گیاهی، خاکی و اقلیمی مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک می‌بایست به سمت استفاده از ژنوتیپ‌های گیاهی کارا در جذب عناصر غذایی خاک، کاهش تنش‌های محیطی و همچنین بهینه‌سازی کاربرد کودها از طریق اصلاح مقدار، زمان، روش و نوع کودهای مصرفی که منطبق با شرایط خاکی، نیاز فیزیولوژیکی گیاه و شرایط اقتصادی است سوق داده شود (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به مطالب پیش‌گفته مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران، به‌صورت استفاده هوشمندانه از ترکیب بهینه منابع آلی، معدنی و زیستی عناصر غذایی در کنار سازگاری با شرایط محیطی و محلی با هدف بهینه‌سازی استفاده از منابع ذاتی خاک در یک سیستم زراعی برای دستیابی به پایداری حاصلخیزی خاک، ارتقای کارایی استفاده از عناصر غذایی، بهبود چرخه عناصر غذایی و تولید مطلوب محصول بدون آسیب رساندن به زیست‌بوم خاک تعریف می‌شود. در جدول (۳) اجزای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه شامل رقم

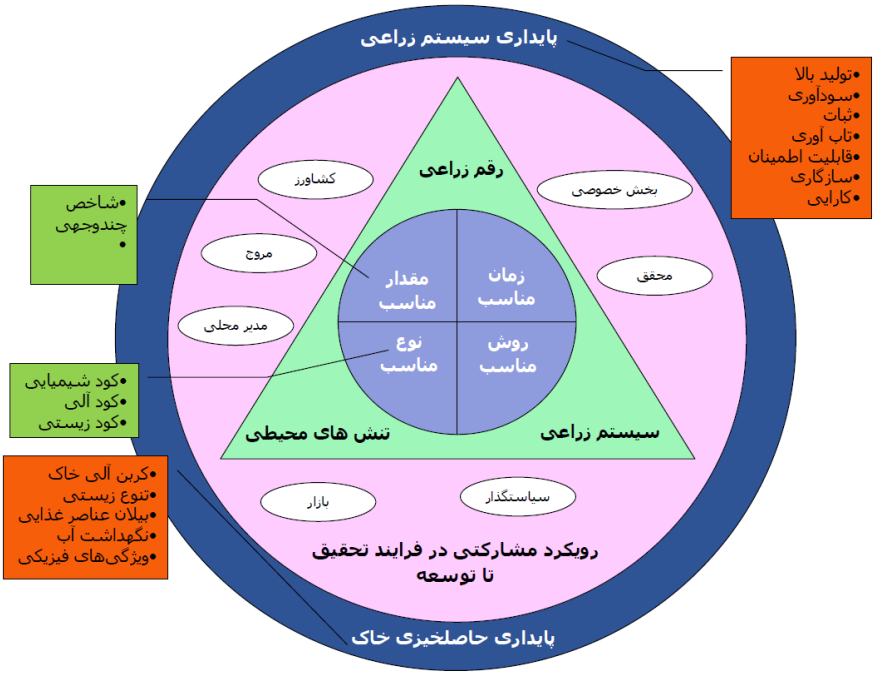
گیاهی، کودهای شیمیایی، آلی و زیستی، سیستم زراعی، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاکی و شرایط اقتصادی و اجتماعی و عملیات اجرائی آن‌ها معرفی‌شده است.

جدول ۳- اجزای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران

جزء	عملیات اجرایی
رقم زراعی	کشت ارقام پرمحصول کشت ارقام متحمل به خشکی، شوری، آفات و بیماری‌های گیاهی و کارا در جذب عناصر غذایی
کودهای شیمیایی	کاربرد نوع مناسب کود به مقدار مناسب، در زمان مناسب و با روش مناسب توسعه شاخص‌های چندوجهی در تعیین مقدار مناسب کود توجه به معیارهای کیفی محصولات کشاورزی
کودها و مواد آلی	استفاده از کودهای حیوانی کشت کود سبز کاربرد کمپوست مدیریت بقایای گیاهی (حفظ بقایا به جای سوزاندن آن‌ها)
کودهای زیستی	کاربرد محرک‌های زیستی رشد گیاه استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های مایکوریز استفاده از باکتری‌ها برای افزایش قابلیت استفاده از عناصر غذایی خاک (حل‌کننده فسفات و سیلیکات پتاسیم، ...) استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن
سیستم زراعی	انجام کشاورزی حفاظتی کشت بقولات در تناوب زراعی کشت تناوبی، کشت مخلوط، کشت تأخیری، کشت نواری کشت متراکم
تنش‌های محیطی	مقاومت، سازگاری و یا کاهش اثرات تنش‌های محیطی (سرما، گرما، خشکی و شوری)
شرایط اقتصادی و اجتماعی	رفتار محلی در مدیریت حاصلخیزی خاک بررسی دسترسی به منابع مختلف آلی و زیستی برای تأمین عناصر غذایی خاک انجام کار مشارکتی با حضور حداکثری ذینفعان در فرایند تحقیق برای توسعه طی نمودن تمام زنجیره اثربخشی شامل تبدیل یافته به دستاورد و درنهایت اثربخشی تحلیل اقتصادی یافته‌های پژوهشی

برای دستیابی به بهترین مدیریت کوددهی در قالب مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه نحوه کارکرد چهار عامل اصلی مدیریت کود دهی شامل نوع، زمان، مقدار و روش مصرف کودها با سایر اجزای مدیریت زراعی، شرایط اقلیم و خاکی و شرایط اقتصادی و اجتماعی تلفیق می‌گردد (شکل ۳). در مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه سعی بر این است که از انواع کودهای شیمیایی، آلی و زیستی با توجه به شرایط اقتصادی و اجتماعی هر منطقه در تأمین عناصر غذایی یا افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی بومی خاک و نیز مقابله با تنش‌ها بهره‌گیری شود؛ بنابراین اتخاذ روش مشارکتی در مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک جزو الزامات این روش محسوب می‌شود. در این رویکرد در گام اول ذی‌نفعان اعم از کارشناسان تخصصی مربوطه (زراعی، اقتصادی، ترویجی، ...) بهره‌برداران، تشکل‌های کشاورزان و بخش خصوصی در فرایند طراحی، اجرا و نظارت بر برنامه مدیریت تلفیقی

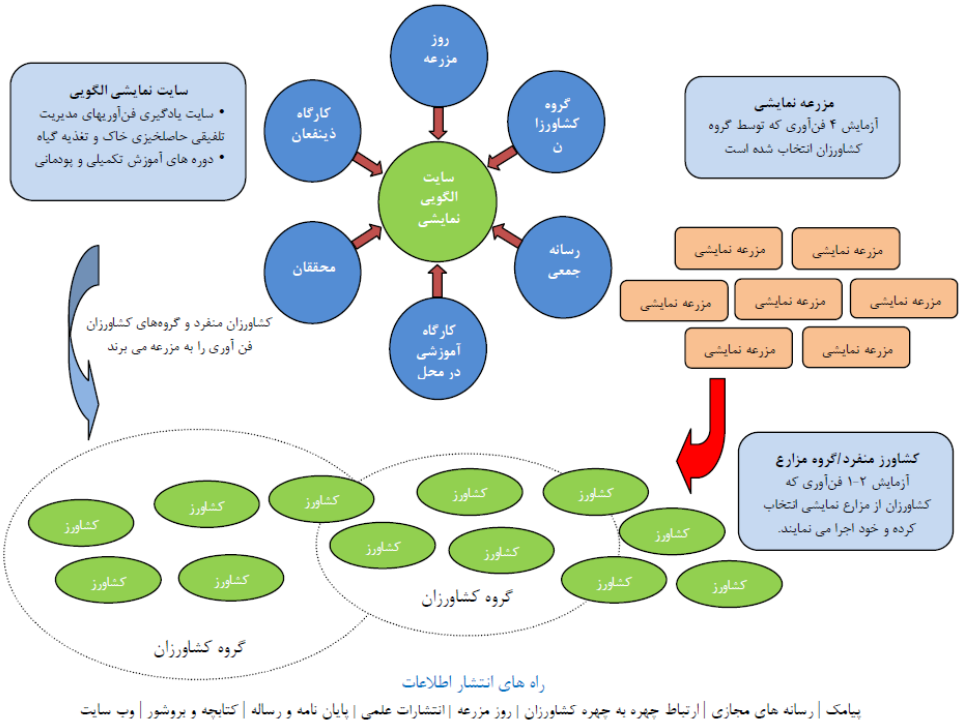
حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ۷۷۰۰ پهنه تولیدی کشاورزی زیرمجموعه ۱۴۴۰ مرکز جهاد کشاورزی کشور مشارکت داده می‌شوند. در گام دوم با مشارکت ذی‌نفعان، ابتدا مسائل و چالش‌های منطقه شناسایی‌شده و اولویت‌بندی می‌گردد. سپس نیاز غذایی ارقام مختلف گیاهی در سیستم زراعی مستقر در محل تعیین می‌گردد. درنهایت با لحاظ تنش‌های محیطی و شرایط اقتصادی و اجتماعی محل، مقدار، زمان و روش مصرف توأم کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بر اساس یافته‌های تحقیقاتی و در قالب بسته مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه تنظیم می‌گردد. در گام سوم فرایند توسعه و انتشار دانش و یافته‌ها[1] پیگیری می‌شود. در این مرحله، بسته مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه که با شرایط محلی تطبیق داده‌شده است در مزارع نمایشی و سایت‌های الگویی با مشارکت مروجین پهنه تولیدی و گروه کشاورزان داوطلب تا حصول دستاورد و اثربخشی[2] در کل منطقه و یا پهنه تولیدی به کار گرفته می‌شود. نکته مهم در این مرحله، استمرار فعالیت‌ها در سایت‌های الگویی به مدت حداقل سه تا پنج سال تا دستیابی به مدل بهینه و توسعه‌یافته مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه است (صفاری و همکاران، ۱۳۹۸). در طول این فرایند اصلاحات لازم در بسته مدیریتی برای انطباق با شرایط محلی لحاظ شده و بسته نهایی معرفی می‌گردد (شکل ۴).



شکل ۳- چارچوب بهترین مدیریت کوددهی در راهبرد مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه

[1] -Output

[2] -Outcome and Impact



شکل ۴- تعمیم نتایج به‌منظور تسریع پذیرش مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه. تأکید بر اختصاص زمان کافی برای کشاورزان جهت سازگاری با فن‌آوری در گروه کشاورزان قبل از اجرای انفرادی آن

نتیجه‌گیری

در یک نگاه کل‌نگر به اکوسیستم زراعی، برای دستیابی به پایداری حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه با هدف افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی و بهبود حاصلخیزی خاک به‌ویژه افزایش کربن آلی خاک، نیازمند تغییر نگرش از سطح مزرعه‌ای به سطح منطقه‌ای و لحاظ نمودن شاخص‌های پایداری در توصیه مصرف کودها (شیمیایی، آلی و زیستی) هستیم. از طرف دیگر مدیریت بهینه تغذیه گیاه و افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی می‌بایست در یک سیستم زراعی و در قالب تناوب زراعی رایج باشد. در یک سیستم کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌هایی که جنبه‌های اکولوژیکی سیستم زراعی را بهبود بخشیده و مخاطرات زیست‌محیطی را کاهش دهند ضروری است. لذا انتخاب رویکرد مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه به مفهوم استفاده هوشمندانه از ترکیب بهینه منابع آلی، معدنی و زیستی عناصر غذایی در کنار سازگاری با شرایط محیطی و محلی با هدف بهینه‌سازی استفاده از منابع ذاتی خاک در یک سیستم زراعی بدون آسیب رساندن به زیست‌بوم خاک توصیه می‌شود. در این نوع مدیریت در یک مسیر تکاملی با مشارکت کلیهٔ ذی‌نفعان رقم گیاهی، کودهای شیمیایی، آلی و زیستی، سیستم زراعی، شرایط اقلیمی و خاکی و شرایط اقتصادی و اجتماعی مدنظر قرار می‌گیرند.

فهرست منابع

۱. اسدی. ه. ۱۳۹۵. بررسی اثربخشی کود زیستی ویژه گندم (فلاویت) بر عملکرد گندم در استان‌های مختلف کشور. نشریه فنی شماره ۲۰۲۸. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران .

۲. اسفندیاری اخلاص، ا.، نائل، م.، حمزه‌ئی، ج.، صفری سنجانی، ع. ا.، و م. شکل‌آبادی. ۱۳۹۷. اثر میان‌مدت مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی خلر بر برخی شناسه¬های زیستی کیفیت خاک در زراعت لوبیا. نشریه علوم آب‌وخاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۰: ۲۳۵-۲۲۳.

۳. اسماعیلی. م.، گلچین، ا.، و م. س. درودی. ۱۳۷۹. تعیین حد متعادل عناصر غذایی در سیب به روشDRIS . مجله علوم خاک و آب. ۱۲: ۲۶-۲۲.

۴. اسماعیلیان، ی.، گلوی، م.، امیری، ا.، و م. حیدری. ۱۳۹۳. اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد ، اجزای عملکرد و کیفیت دانه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی. نشریه دانش آب‌وخاک. ۲۴: ۱۸۹-۱۷۵

۵. بازرگان، ک.، بلالی، م. ر.، سعادت، س.، دواتگر، ن.، رضایی، ح.، افتخاری، ک.، غالبی، س.، طهرانی، م. م.، مشیری، ف.، اسدی رحمانی، ه.، فلاح، ع. ر.، شهبازی، ک.، داوودی، م. ح.، و ا. ف. مرادی. ۱۳۹۵. برنامه تحقیقات مدیریت پایدار خاک و آب: مبانی، چالش‌ها و تلفیق فعالیت‌ها. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۶. بستامی، ا.، و م. مجیدیان. ۱۳۹۴. تأثیر میکوریزا، کود فسفات زیستی و کود دامی بر مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد گشنیز(Coriandurum sativum L.) . تولیدات گیاهی. ۶۰: ۴۹-۳۸.

۷. بغدادی، ا، ص.، کاشانی، ع.، گل زردی، ف.، و م. ن. ایلکایی. ۱۳۹۶. مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک برای بهبود عملکرد علوفهٔ ذرت. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۳۰: ۸۹-۷۵.

۸. بصیرت، م. ۱۳۹۴. تدوین زیر برنامه پژوهشی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در شرایط ویژه تنش¬های زنده و غیرزنده، کشت¬های متراکم، هیدروپونیک، ارگانیک. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. نشریه شماره ۱۹۶۲. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۹. بصیرت، م.، حقیقت نیا، ح.، و س. م. موسوی. ۱۳۹۷. ارزیابی و تعیین وضعیت تغذیه¬ای باغات پرتقال رقم والنسیا در جنوب استان فارس. نشریه آب‌وخاک. ۳۲: ۱۵۴-۱۴۳.

۱۰. بلالی، م. ر.، و س.ع. غفاری نژاد. ۱۳۹۸. تحلیل وضعیت حاصلخیزی خاک کشور از دیدگاه مدیریت تلفیقی: چالش‌ها و راهبردها. مجموعه مقالات شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۸-۵ شهریور ۱۳۹۸. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران .

۱۱. بلالی، م. ر.، رضایی، ح.، و ف. مشیری. a ۱۳۹۳. وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشور و ضرورت ارتقای توان آن برای خدمات‌رسانی به تولیدات کشاورزی. ص. ۴۸-۱۷. در کتاب: خاوازی، ک. و همکاران (نویسندگان). برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ۱۴۰۱-۱۳۹۳. جلد اول. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۱۲. بلالی، م. ر.، مشیری، ف.، و ح. رضایی. b۱۳۹۳. روند تغییرات جمعیت، تولید محصولات کشاورزی و وضعیت منابع خاک و آب. ص. ۱۶-۵. در کتاب: خاوازی، ک. و همکاران (نویسندگان). برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ۱۴۰۱-۱۳۹۳. جلد اول. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران

۱۳. بلالی، م. ر.، طهرانی، م. م.، مشیری، ف.، بصیرت، م.، کشاورز، پ.، غیبی، م. ن.، سماوات، س.، و م. محمودی. ۱۳۹۴. مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران: نظریه تا عمل. مجموعه مقالات چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران. ۱۸-۱۶ شهریور ۱۳۹۴. دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران.

۱۴. حجارپور، ا.، سلطانی، ا.، زینلی، ا.، کشیری، ح.، آینه بند، ا.، و م. ناظری. ۱۳۹۶. ارزیابی خلأ عملکرد گندم (Triticum aestivum L.)با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) در استان گلستان. مجله علوم زراعی ایران. ۱۹: ۱۰۱-۸۶ .

۱۵. حسینی، ی.، صالح، ج.، عسکری، م.، و م. بصیرت. ۱۳۹۶. راهنمای تغذیه گیاهی و مدیریت تنش‌های محیطی به‌منظور پیشگیری و مقابله با عارضه زوال مرکبات. نشریه فنی شماره ۵۵۳. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۱۶. خود شناس. م.، دادیور، م.، اسدی رحمانی، ه.، و م. افشاری. ۱۳۸۵. ارزیابی استفاده از مایه تلقیح ریزوبیوم در مقایسه با مصرف کود نیتروژن در زراعت لوبیا در استان مرکزی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳: ۱۱۴-۱۰۵.

۱۷. خیری‌زاده آروق، ی.، سید شریفی، ر.، و ر. خلیل زاده. ۱۳۹۷. کاهش اثرات تنش شوری در تریتیکاله (Triticosecale×) با کاربرد کودهای زیستی و روی. مجله پژوهش‌های گیاهی. ۳۱: ۸۸۲-۸۶۹.

۱۸. دریاشناس، ع. م.، و ف. دهقانی. ۱۳۸۱. تعیین حد بهینه عناصر غذایی در انار استان یزد به روش DRIS ..نشریه فنی شماره ۱۱۴۰. موسسه تحقیقات خاک و آب .

۱۹. دریاشناس، ع. م.، و ح. رضایی. ۱۳۸۹. تعیین نرم‌های استاندارد دریس (DRIS) برای چغندرقند پاییزه در استان خوزستان. مجله چغندرقند. ۲۶: ۲۰۴-۱۸۳.

۲۰. رجالی. ف.، و ک. خاوازی. ۱۳۷۹. مقایسه کارایی مایه تلقیح‌های سویا تهیه شده در موسسه تحقیقات خاک و آب با انواع مشابه وارداتی. مجله علوم خاک و آب، ۹: ۱۱۳-۱۱۰.

۲۱. رستگار، ح.، و م. س. تدین. ۱۳۸۱. تعیین حد بهینه عناصر غذایی در مرکبات جنوب کشور به روشDRIS . گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، زرقان، ایران

۲۲. رمرودی،م.، مظاهری، د.، مجنون حسینی، ن.، حسین زاده، ع.، و م. حسینی. ۱۳۸۹. تأثیر گیاهان پوششی، سیستم خاک‌ورزی و کود نیتروژن بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای (Sorgum bicolor L). علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۱: ۷۶۳-۷۶۹.

۲۳. زارع مهرجردی، م. ۱۳۹۱. تعیین شاخص‌های DOP و بررسی وضعیت نیترات در میوه خیار گلخانه‌ای استان یزد. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. نشریه شماره ۱۹۲۳. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۲۴. سماوات، س. ۱۳۹۶. بررسی اثر کاربرد کودهای آلی مختلف بر خواص شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک تحت کشت تناوب گندم-ذرت. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. نشریه شماره ۲۱۶۱. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۲۵. سیدی، م؛ مجدمف م.، بابایی نژاد، ت.، و ن. دروگر. ۱۳۹۶. بررسی اثر توأم کودهای شیمیایی و زیستی بر ویژگی‌های کمی و کیفی برخی از ارقام گندم نان در شرایط آب و هوایی شوشتر. علوم به زراعی گیاهی. ۸: ۱۱-۱.

۲۶. شهبازی، ح.، و ع. سپهری. ۱۳۹۶. اثر تاریخ کاشت و مصرف کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد بادام‌زمینی. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۷: ۶۸-۵۷.

۲۷. صباحی، ح.، تکافویان، ج.، مهدوی دامغانی، ع.، و ه، لیاقتی. ۱۳۸۹ . بررسی اثر مصرف تلفیقی کودهای دامی، بیولوژیک و شیمیایی بر تولید کلزا (Brassica napus L) در شرایط خاک شور استان قم. مجله بوم‌شناسی کشاورزی. ۲: ۲۸۷-۲۹۱.

۲۸. صفاری، ح.، بلالی، م. ر.، و ل. رضاخانی. ۱۳۹۸. تداوم پایلوت‌های تغذیه بهینه در مزارع کشاورزان ضمانت تغییر پایدار متوسط تولید محصولات کشاورزی. مجموعه مقالات شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۸-۵ شهریور ۱۳۹۸. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲۹. طهرانی، م. م.، بلالی، م. ر.، مشیری، ف.، و ع. م. دریاشناس. ۱۳۹۱. توصیه و برآورد کود در ایران: چالش‌ها و راهکارها. مجله پژوهش‌های خاک. ۲۶: ۱۲۳-۱۴۴ .

۳۰. ظفری، ج.، رخزادی، ا.، و ر. طالبی. ۱۳۹۸. اثر کودهای آلی و شیمیایی بر رشد و عملکرد ارقام نخود تحت شرایط دیم. مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱: ۱۰۳-۸۵.

۳۱. عاشوری، م.، اصفهانی، م.، عبداللهی، ش.، و ب. ربیعی. ۱۳۹۲. اثر محلول‌پاشی مکمل‌های کود آلی بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی دو رقم برنج. مجله تحقیقات غلات.۳: ۲۹۱-۳۰۵.

۳۲. علیزاده، پ.، و س. فلاح. ۱۳۹۱. اثر قطع آبیاری و کودهای نیتروژن‌دار بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای. فن‌آوری تولیدات کشاورزی. ۱۲: ۳۷-۲۵.

۳۳. غیبی، ن.، مشیری، ف.، بلالی، م. ر.، طهرانی، م. م.، سماوات، س.، اسدی رحمانی، ه.، ح. رضایی. ۱۳۹۳. نظام برآورد، تولید، تأمین، توزیع و مصرف کود. ص. ۱۰۶-۷۱. در کتاب: خاوازی، ک. و همکاران (نویسندگان). برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ۱۴۰۱-۱۳۹۳. جلد اول. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران .

۳۴. قاسم‌زاده. م.، و ا. اصغرزاده. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر تلقیح سویه¬های مختلف ریزوبیومی و مصرف کود بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود بومی نیشابور در خراسان رضوی. پژوهش‌های حبوبات ایران. ۱: ۵۸-۵۱.

۳۵. قربانیان، د.، رجالی، ف.، و ا. اسمعیلی زاد. ۱۳۹۳. بررسی کارایی همزیستی قارچ‌های مایکورایزا با گیاه ذرت تحت شرایط تنش کم‌آبی. پژوهش‌های آب در کشاورزی. ۴: ۶۸۹-۶۷۷.

۳۶. کاظم علیلو، س.، نجفی، ن.، ریحانی تبار، ع.، و م. غفاری. ۱۳۹۶. اثر مصرف تلفیقی کود فسفر و لجن فاضلاب بر شاخص کلروفیل و برخی ویژگی‌های رشد آفتابگردان در شرایط تنش کم‌آبی. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. ۷: ۱-۱۸.

۳۷. کشاورز، پ.، مشیری، ف.، طهرانی، م. م.، و م. ر. بلالی. ۱۳۹۴. راهبردهای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک در تولید گندم در ایران. نشریه مدیریت اراضی. ۳: ۷۲-۶۱.

۳۸. کلارستاقی، ک.، و ا. س. سجادی. ۱۳۷۵. حد متعادل عناصر غذایی در چغندرقند با روش DRIS در خراسان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. نشریه شماره ۹۹۹. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۳۹. گودرزی، ک.، و م. حسینی فرهی. ۱۳۸۷. ارزیابی تعادل تغذیه‌ای در تاکستان‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از روش دریس. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۹: ۵۸-۴۸.

۴۰. مجاب قصرالدشتی، ع.، مقصودی، ع.، بهزادی، ی.، و م. ج. فریدونی. ۱۳۹۶. تأثیر منابع مختلف کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۱: ۱۸۴-۱۷۱.

۴۱. مردوخی، ب.، رجالی، ف.، و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۷. تأثیر همزیستی میکوریزی بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم نیمه مقاوم و مقاوم گندم در سطوح مختلف شوری. علوم خاک و آب. ۲۲: ۹۵-۸۳.

۴۲. مستشاری، م. ۱۳۹۳. شناخت ناهنجاری‌های تغذیه‌ای و حد مطلوب عناصر غذایی در محصولات زراعی گندم و ذرت استان قزوین. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. نشریه شماره ۱۸۸۸. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۴۳. مستشاری، م.، گلمحمدی، م.، و م. پیله فروش.۱۳۹۰. تعیین انحراف از حد بهینه عناصر پرمصرف و کم‌مصرف باغات زیتون در استان قزوین. هفتمین کنگره علوم باغبانی. ۱۴ شهریور ۱۳۹۰. دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان. ایران .

۴۴. مشیری، ف.، و ن. زاهدی فرد. ۱۳۹۸. بیلان عناصر غذایی در خاک‌های کشاورزی ایران. مجموعه مقالات شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۷-۵ شهریور ۱۳۹۸. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران .

۴۵. مشیری، ف.، و س. سماوات. ۱۳۹۶. مدیریت کربن آلی خاک در اراضی کشاورزی ایران چالش‌ها و راهکارها. مجموعه مقالات پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۸-۶ شهریور ۱۳۹۶. دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران .

۴۶. مشیری، ف.، و س. م. موسوی. ۱۳۹۷. وضعیت کارایی مصرف کود در ایران: چالش‌ها و راهکارها. دوازدهمین کنگره پیشگامان پیشرفت. ظرفیت‌ها، چالش‌ها و تدابیر پیشرفت ایران. ۲۲ آذرماه ۱۳۹۷. دانشگاه الزهرا، تهران، ایران .

۴۷. مشیری، ف.، ضیائیان، ع. ح.، فروهر، م.، کلهرف م.، سبطی، م.، و ح. ملاحسینی. ۱۳۹۸. اثر کاربرد توأم کود گاوی وسوپرفسفات تریپل بر بهره‌دهی سیستم زراعی و بیلان فسفر خاک طی دو سال کشت تناوبی گندم–ذرت علوفه‌ای. مجموعه مقالات شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۷–۵ شهریور ۱۳۹۸. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران .

۴۸. مصلحی، ن.، نیک نژاد، ی.، فلاح آملی، ه.، و ن. خیری. ۱۳۹۵. اثر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بر برخی صفات مرفوفیزیولوژیکی برنج (Oryza sativa L.) رقم طارم هاشمی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی– دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۸: ۱۰۳–۸۷.

۴۹. ناصری. ر.، مهرشاد، ب.، زارع، م.، خاوازی، ک.، و ز. طهماسبی. ۱۳۹۶. اثر باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ مایکورایزا بر رشد و عملکرد گندم در شرایط دیم. نشریه زیست‌شناسی خاک. ۱: ۶۷–۴۹.

۵۰. نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، رضوانی، پ.، و ع. بهشتی. ۱۳۹۵. اگرواکولوژی (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۶۰ صفحه.

۵۱. یداللهی، پ.، و م. ر. اصغری‌پور. ۱۳۹۴. تأثیر کیفیت آب آبیاری و تیمارهای مختلف کودی بر جذب عناصر در گیاه دارویی گاوزبان اروپایی. تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲: ۱۲۰–۱۰۵.

52. Al-Busaidi, A., Yamamoto, T., Inoue, M., Eneji, A. E., Mori, Y., and M. Irshad. 2008. Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. Journal of Plant Nutrition. 31: 1159-1173.
53. Antolin, M. C., Muro, I., and M. Sanchez-Diaz. 2010. Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions. Environ. Exp. Bot. 68: 75-82
54. Anwar, M., Patra, D. D., Chand, S., Alpesh, K. Nagvi, A. A. and S. P. S. Khanuja. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient. Accumulation, and oil quality of French basil, communication in soilse. And plant Analysis 36: 1737-1746.
55. Bahrani, M.J., Raufat, M. H., and H. Ghadiri. 2007. Influence of wheat residue management on irrigated corn grain production in a reduced tillage system. Soil and Tillage Research. 94: 305-309.
56. Baligar, V. C., and N. K. Fageria. 2015. Nutrient use efficiency in plants: An overview. In: A. Rakshit et. Al. (eds.), Nutrient use efficiency: from basics to advances. Springer, India.
57. Cardoso, E. J. B. N., Vasconcellos, R. L. F., Bini, D., Miyauchi, M. Y. H., Santos, C. A. D., Alves, P. R. L., Paula, A. M., Nakatani, A. S., Pereira, J. M., and M. A. Nogueira. 2013. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effect of use and management on soil health? Sci. Agric. 70: 274–289.
58. Daei, H., Ardekani. M. R., Rejali, F., Teimuri, S., and M. Miransari. 2009. Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield component, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Journal of Plant Physiology. 166: 617-625.
59. Doan, T. T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J. L. and P. Jouquet. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three years mesocosm experiment. Science of the Total Environment. 514: 147-154.
60. El Sheikha, A. F. 2016. Mixing manure with chemical fertilizer, why? and what is after? Nutrition and Food Technology. 2: 1-5.
61. Fairhurst, T. 2012. Handbook for integrated soil fertility management. Africa Soil Health Consortium, Nairobi.
62. FAO. 2005. Fertilizer use by crop in the Islamic republic of Iran. Rome, Italy.
63. FAO. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. FAO Fertlizer and plant nutrition bulletin. Rome, No 16, 347p.

64. Farooq, M., A. Wahid. N. Kobatashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev. 29: 185-212.
65. Gang, X. M., Chu, L. D., Mei, L. J., Zhu, Q. D., Yagi, K. and Y. Hosen. 2008. Effects of organic manure application with chemical fertilizers on nutrient absorption and yield of rice in hunan of southern china. Agricultural Sciences in China. 7: 1245-1252.
66. Gram, G., Roobroeck, D., Pypers, P., Six, J., Merckx, R., and B. Vanlauwe. 2020. Combining organic and mineral fertilizers as a climate-smart integrated soil fertility management practice in sub-Saharan Africa: A meta-analysis. PloS one. 15: e0239552.
67. Hamdallah, G. 2000. Soil fertility management: the need for new concepts in the region. Proceedings of the regional workshop on soil fertility management through farmer field schools in the Near East. 2-5 October 2000, Amman, Jordan.
68. Hilhorst, T., and C. Toulmin.2000. Policy and best practices document. Integrated soil fertility management. Dutch Ministry of Foreign Affairs, The Hague, 64p.
69. IFDC. 2002. Collaborative research programme for soil fertility restoration and management in resource-poor areas of Sub-Saharan Africa. Technical Bulletin IFDC–T-67, IFDC, Muscle Shoals, AL.
70. Khan, M. N., Mobin, M., Abbas, Z. K. and S. A. Alamri. 2018. Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. Encyclopedia of Anthropocene. 5: 225-240.
71. Lal, R., Mokma, D., and B. Lowery. 1999. Relation between soil quality and erosion. PP. 39-56. In: R. Lal, (Eds.). Soil Quality and Soil Erosion, Soil and Water Conservation Society and CRC Press, Boca Raton.
72. Liu, C. Y., Zhang, F., Zhang, D. J., Srivastava, A.K., Qiang-Sheng, W., and Z. Ying-Ning. 2018. Mycorrhiza stimulates root-hair growth and IAA synthesis and transport in trifoliate orange under drought stress. Sci. Rep. 8: 1-9.
73. Miransari, M., Bahrami, H. A., Rejali, F., and M. J. Malakouti. 2008. Using arbuscular mycorrhiza to alleviate the stress of soil compaction on wheat (Triticum aestivum L.) growth. Soil Biology and Biochemistry. 40: 1197-1206.
74. Moshiri, F., Samavat, S., and M. R. Balali. 2017. Soil organic carbon: A key factor of sustainable agriculture in Iran. pp. 492-496. Proceedings of the global symposium on soil organic carbon. 21-23 March, 2017. FAO, Rome, Italy.
75. Mostashari, M., Khosravinejad, A., and M. Golmohammadi. 2018. Comparative study of DOP and CND methods for leaf nutritional diagnosis of vitis vinifera in Iran. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 49: 576-584.
76. Motesharezadeh, B., Etesami, H., Bagheri-Novair, S., and H. Amirmokri. 2017. Fertilizer consumption trend in developing countries vs. developed countries. Environmental monitoring and assessment. 189: 103.
77. Mugwe, J., Ngetich, F., and E. Oduor Otiengo. 2019. Integrated soil fertility management in sub-saharan Africa: Evolving paradigms toward integration. In W. Leal Filho et. al., (Eds.). Zero hunger. Springer, Switzerland.
78. Nasri, R., Kashani, A., Paknejad, F., Vazan, S., and M. Barary. 2014. Effect of pre-sowing plants and different nitrogen levels on the yield and yield components of wheat (Triticum aestivum L.). International Journal of Biosciences. 5: 157-166
79. Pirdashti, H., Motaghian, A., and M. A. Bahmanyar. 2010. Effect of organic amendments application on grain yield, leaf chlorophyll content and some morphological characteristics in soybean cultures. Journal of Plant Nurture 33: 485-495.
80. Rajasekaran, S., Sundaramoorthy, P. and K. Sankar Ganesh. 2015. Effect of FYM, N, P fertilizers and biofertilizers on germination and growth of paddy (Oryza sativa L.). International Letters of Natural Sciences. 35: 59-65.
81. Roussos, P. A., Gasparatos, D., Kechrologou, K., Katsenos, P., and P. Bouchagier. 2017. Impact of organic fertilization on soil properties, plant physiology and yield in two newly planted olive (OleaeuropaeaL.) cultivars under Mediterranean conditions. ScientiaHorticulturae, 220: 11- 19.
82. Srivastava, A. K., Malhotra, S. K., and N. K. Krishna Kumar. 2015. Exploiting nutrient-microbe synergy in unlocking productivity potential of perennial fruits: a review. Ind. J. Agric. Sci. 85: 459–481

83. Srivastava, A.K. 2020. Climate-smart integrated soil fertility management in fruit crops: An overview. In Fruit Crops. Elsevier. Pp: 521-540.
84. Srivastava, A.K., Paithankar, D.H., Venkataramana, K.T., Hazarika, B., and P. Patil. 2019. INM in fruit crops sustainable quality production and soil health. Indian J. Agric. Sci. 89: 379–395.
85. Stewart, W. M., Dibb, D. W., Johnston, A. E., and T. J. Smyth. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agronomy Journal. 97:1-6.
86. TSBF-CIAT. 2005. Integrated soil fertility management in the tropics: From knowledge to implementation: TSBF-CIAT's strategy and work plan 2005–2010. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Columbia.
87. Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K. E., Merckx, R., Mokwunye, U., Ohiokpehai, O., Pypers, P., Tabo, R., Shepherd, K. D., Smaling, E. M. A., Woomer, P. L., and N. Sanginga. 2010. Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. Outlook on Agriculture. 39: 17-24.
88. Vanlauwe, B., Descheemaeker, K., Giller, K. E., Huising, J., Merckx, R., Nziguheba, G., Wendt, J., and S. Zingore. 2015. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. Soil. 1:491-508.
89. Witt, C. 2003. Fertilizer use efficiencies in irrigated rice in Asia. Proceedings of the IFA regional conference for Asia and the Pacific. 6-8 October 2003. Cheju Island, Republic of Korea.
90. Wu, Q. S., Srivastava, A. K., and M. Q. Cao. 2016b. Systematicness of glomalin in roots and mycorrhizosphere of a split-root trifoliate orange. Plant Soil Environ. 62: 508–514.
91. Zarea, M. J., Ghalavand, A., Mohammadi Goltapeh. E., and F. Rejali. 2009. Role of clover species and AM Fungi (Glomus mosseae) on forage yield, nutrients uptake, nitrogenase activity and soil microbial biomass. Journal of Agricultural Technology. 2: 337-347
92. Zayed, B. A., Elkhoby, W. M., Salem, A. K., Ceesay, M., and N. T. Uphoff. 2013. Effect of integrated nitrogen fertilizer on rice productivity and soil fertility under saline soil conditions. Journal of Plant Biology Research. 2: 14-24.

A Framework for Integrated Soil Fertility and Plant Nutrition Management in Iran

F. Moshiri[1], M. R. Balali, F. Rejali ,and A. Sedaghat

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran**. fmoshiri@swri.ir**

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **mrbalali68@gmail.com**

Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **frejali@yahoo.com**

PhD student in the Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran. **Azadehsedaghat65@gmail.com**

Abstract

In congruence with the idea of sustainable development, integrated soil fertility and plant nutrition management has received global attention. The challenges facing soil fertility and plant nutrition in Iran include low soil organic carbon and nutrient contents, imbalanced plant nutrition, low nutrient efficiency, ineffective soil fertility system, environmental stresses, non-efficient fertilizer application, and inadequate knowledge transfer to users. Under these conditions, recommending proper fertilizers will be a multi-faceted and complex task. The development of a framework that incorporates all the factors involved into a single management package is the prerequisite to the integrated soil fertility and plant nutrition management as a smart system for applying an optimal assortment of chemical, organic, and biological sources of nutrients well adapted to environmental and local conditions and aimed at optimized exploitation of inherent soil capacities in a cropping system while sparing negative effects on soil ecological services. The desired integrated management system must be capable of duly accounting for all the components including plant variety; chemical, organic, and biological fertilizers; cropping system; climatic and soil conditions; and socio-economic parameters. The present study introduces the following three steps to achieve an integrated management system: 1) participation of all the stakeholders in the design, prioritization, implementation, and monitoring processes; 2) integrated use of chemical, organic, and bio-fertilizers in terms of amounts, timing, and method of application well adapted to the nutritional requirements of the plant varieties grown in the established cropping system with due consideration of environmental stresses; and 3) dissemination of localized knowledge and know-how of the integrated management system with the help of local extensionists and volunteer farmers from a pilot farm for replication and achievement of the expected outcomes in other farming sites.

Keywords: Integrated plant nutrition, Participatory approach, Soil fertility challenges

[1] - Corresponding author: Soil and Water Research Institute.