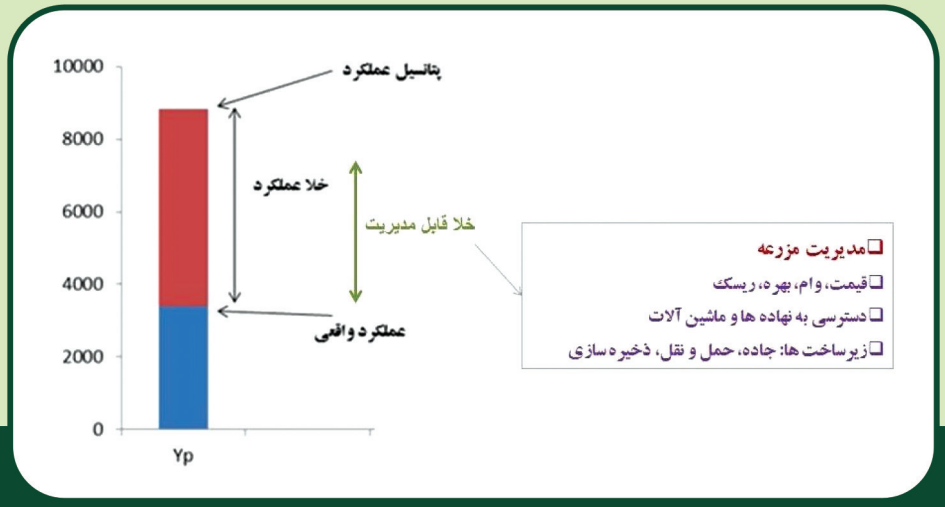
تحلیل پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد در سیستم‌های تولید گیاهی



افشین سلطانی

با همکاری عبدالرحمان میرزایی

۱۴۰۱

سرشناسه	:	سلطانی، افشین، ۱۳۵۰- Soltani, Afshin
عنوان و نام پدیدآور	:	تحلیل پتانسیل عملکرد و خلا عملکرد در سیستم‌های تولید گیاهی/ افشین سلطانی، با همکاری عبدالرحمان میرزایی.
مشخصات نشر	:	گرگان: واژگان سیرنگ، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	:	[۵] ، ۴۲ ص.مصور (رنگی)، جدول،نمودار (رنگی).
شابک	:	978-622-6595-17-9
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه: ص. ۴۲ - ۴۵.
موضوع	:	گیاهان زراعی -- ایران -- نیاز آبی Field crops -- Iran -- Water requirements
شناسه افزوده	:	میرزایی، عبدالرحمان، ۱۳۶۸-
رده بندی کنگره	:	۵/۴۹۴S
رده بندی دیویی	:	۶۳۱/۵۸۷
شماره کتابشناسی ملی	:	۸۹۸۰۷۲۵

نام کتاب: تحلیل پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد در سیستم‌های تولید گیاهی

تالیف: افشین سلطانی با همکاری عبدالرحمان میرزایی

ناشر: انتشارات واژگان سیرنگ

نوبت چاپ: اول

مشخصات ظاهری: ۵۲ صفحه

تاریخ نشر: ۱۴۰۱

شمارگان: ۵۰۰ نسخه الکترونیک

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۵۹۵-۱۷-۹

چاپ: الکترونیک

امور توزیع و فروش: گرگان، خیابان ولیعصر، مجتمع صدرا، طبقه دوم

تلفن: ۰۱۷۱-۳۲۳۴۹۹۱۶

مقدمه

نظر به اقبال پژوهشگران و مسئولین کشور به موضوع پتانسیل و خلا عملکرد، و نظر به کارهای انجام شده توسط این‌جانب و همکاران و دانشجویان در ۱۵ سال اخیر، این مجموعه تهیه شده است. در این مجموعه ابتدا پتانسیل و خلا عملکرد تعریف می‌شوند و سپس توضیحاتی در ارتباط با برآورد پتانسیل عملکرد و خلا عملکرد ارایه می‌گردد. همچنین به‌طور اختصار درباره روش‌های موجود برای بررسی دلایل خلا عملکرد به منظور رفع آن در مزارع کشاورزان صحبت می‌گردد. در بخش انتهایی مجموعه اهمیت و کاربرد خلا عملکرد به بحث گذاشته می‌شود.

از نظر این‌جانب مهمترین کارکرد خلا عملکرد این است که می‌تواند به کاهش برداشت آب و سازگاری به کم‌آبی کمک کند. در کشور به دلیل اضافه برداشت آب (عمدتا برای مصارف کشاورزی) از منابع زیرزمینی و سطحی، بسیاری از تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌های خود را از دست داده و می‌دهیم. این اضافه برداشت از طریق فرونشست زمین، تشدید فرسایش خاک، تضعیف پوشش‌های گیاهی و زیست‌گاه‌های طبیعی، توفان‌های گرد و غبار، بیابانی شدن، زوال و نابودی تنوع زیستی با تاخیر به سیستم‌های کشاورزی باز می‌گردد و موجب تخریب آن‌ها خواهد شد. بنابراین، کاهش برداشت آب برای کشاورزی یک ضرورت است و باید از طریق کاهش سطح زیر کشت آبی در کشور (۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش) دنبال شود. ولی کاهش سطح زیر کشت کاهش تولیدات کشاورزی را به دنبال خواهد داشت که رفع خلا عملکرد می‌تواند این کاهش را تا حد قابل توجهی جبران کند. به امید روزی که شاهد برگشت نشاط به طبیعت کشور همراه با تولیدات مناسب در بخش کشاورزی باشیم.

افشین سلطانی
بهار ۱۴۰۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-۱- مقدمه و تعاریف ۱

۱-۲- برآورد میزان خلأ عملکرد ۵

۱-۲-۱- برآورد عملکرد واقعی ۶

۱-۲-۲- برآورد پتانسیل عملکرد ۸

۱-۲-۳- برآورد مقدار خلأ عملکرد در ایران ۱۲

۱-۳- تحلیل دلایل خلأ عملکرد ۱۸

۱-۳-۱- آزمایش واقعی در مزرعه ۱۹

۱-۳-۲- آزمایش مجازی با مدلهای شبیه‌سازی ۲۲

۱-۳-۳- ارزیابی ساده در مزارع کشاورزان ۲۴

۱-۳-۴- ارزیابی دلایل خلأ در مزارع کشاورزان با روش تحلیل مقایسه‌ی کارکرد (CPA)..... ۲۵

۱-۳-۴-۱- ارزیابی دلایل خلأ در مزارع کشاورزان با روش تحلیل خط مرزی (BLA) ۲۹

۱-۳-۵- سایر نکات..... ۳۴

۱-۴- اهمیت و کاربرد ۳۷

۱-۱- مقدمه و تعاریف

بسیاری اوقات مایل هستیم که بین آن عملکردی که در مزرعه برداشت کرده‌ایم (عملکرد واقعی) با عملکردی که می‌توانستیم برداشت کنیم، مقایسه‌ای داشته باشیم یعنی اختلاف عملکردی که برداشت‌شده با عملکردی که می‌توانست برداشت شود را پیدا کنیم که به آن خلأ عملکرد[1] (شکاف عملکرد) گفته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، بدانیم که کجا قرار داریم و کجا می‌توانستیم قرار داشته باشیم یا چه مقدار تولید کرده‌ایم و ظرفیت تولیدمان چقدر است؟

این موضوع از گذشته مورد توجه کشاورزان، کارشناسان و متخصصان علوم کشاورزی بوده است (آلبردا، ۱۹۶۲)، اما، از سال ۲۰۰۶ به این سو به دلیل افزایش قیمت محصولات کشاورزی و نگرانی‌ها در مورد امنیت غذایی جمعیت رو به افزایش جهان، توجه به مفهوم خلأ عملکرد بیشتر شده است (لوبل، ۲۰۰۹؛ کسمن، ۲۰۱۲؛ فن ایترسام و همکاران، ۲۰۱۳). پیش‌بینی شده است که جمعیت دنیا در سال ۲۰۵۰ به حدود ۹ تا ۱۰ میلیارد نفر خواهد رسید (اونیل و همکاران، ۲۰۱۰) که نیاز به تولید غذا را ۷۰ تا ۱۱۰ درصد افزایش می‌دهد (تیلمن و همکاران، ۲۰۱۱؛ ری و همکاران، ۲۰۱۳). گفته شده است که کاهش خلأ عملکرد یکی از راه‌های امیدبخش در کمک به امنیت غذایی در کشورهای درحال‌توسعه می‌باشد (کسمن، ۲۰۱۲). مطالعات جدیدتر نشان داد که در کشورهای توسعه‌یافته نیز خلأ عملکرد قابل‌توجهی وجود دارد که می‌توان با کاهش یا رفع آن به افزایش تولیدات کشاورزی کمک کرد (هاچمن و همکاران، ۲۰۱۲).

برای توضیح بیشتر و درک بهتر مفهوم خلأ عملکرد به شکل ۱-۱ توجه شود. بالاترین عملکردی که از ارقام فعلی با مدیریت مطلوب می‌توانیم به دست آوریم را پتانسیل عملکرد[2] می‌گویند. در مدیریت مطلوب، آب (در کشت آبی) و کود مصرف می‌کنیم که کمبود آن‌ها اثر منفی بر عملکرد نداشته باشد، همین‌طور آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را به طور مؤثر کنترل می‌کنیم که تأثیری در کاهش عملکرد نداشته باشند. بنابراین، عملکردی که در این صورت حاصل می‌شود، بالاترین عملکردی است که می‌توان در یک نقطه و یا منطقه به دست آورد. پتانسیل

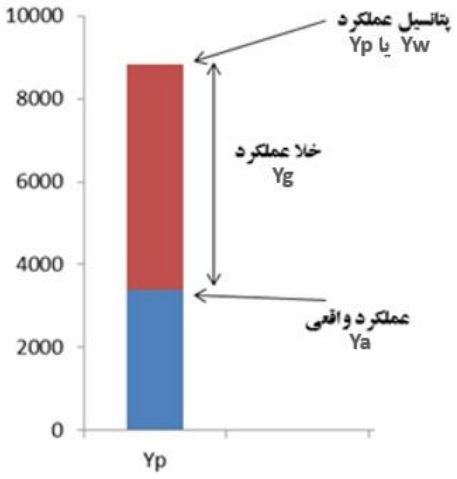
[1] Yield Gap
[2] Potential Yield

عملکرد در شرایط آبی و شرایط محدودیت آبی (دیم) به‌ترتیب با Yp و Yw نشان داده می‌شود. در شرایط محدودیت آب نیز پتانسیل عملکرد همان تعریف را دارد و عبارت است از بالاترین عملکردی که با مدیریت مطلوب در شرایط کمبود آب قابل دستیابی است. عملکرد واقعی کشاورزان همیشه کمتر از پتانسیل عملکرد است و آن اختلافی که بین این دو وجود دارد، یعنی خلأ عملکرد را می‌توان در شرایط آبی و محدودیت آب (دیم) با معادلات ۱-۱ و ۱-۲ به دست آورد (فن ایترسام و همکاران، ۲۰۱۳):

معادله ۱-۱ $$Yg_{Irr} = Yp - Ya$$

معادله ۱-۲ $$Yg_{Rfd} = Yw - Ya$$

در معادلات بالا، Ya عملکرد واقعی و Yg خلأ عملکرد هستند.



شکل ۱-۱- مفهوم پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد

در مورد خلأ عملکرد پاسخ به دو سؤال از اهمیت زیادی برخوردار است:

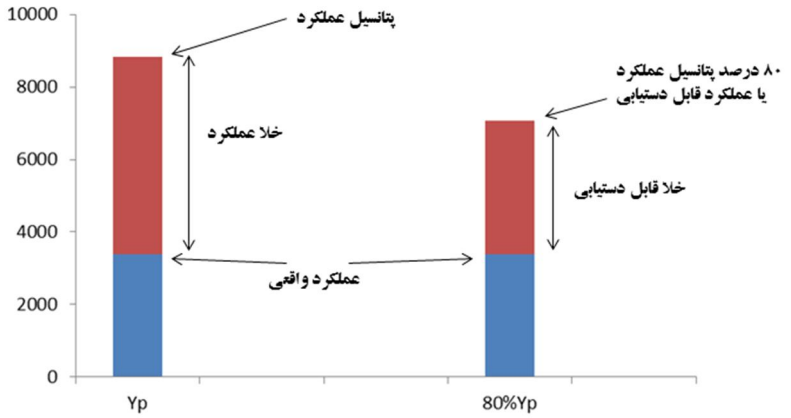
۱- مقدار خلأ عملکرد چقدر است؟

۲- دلایل خلأ عملکرد چه هستند؟

گاهی ممکن است مقدار خلأ عملکرد کم باشد یا اصلاً خلأ عملکردی نداشته باشیم که بخواهیم آن را رفع کرده و یا کاهش دهیم اما اگر خلأ عملکرد وجود داشته باشد، یافتن دلایل ایجادکننده‌ی آن اهمیت پیدا می‌کند. برای این‌که بتوانیم مقدار خلأ عملکرد یک نقطه یا منطقه را برآورد کنیم بایستی از پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی اطلاع داشته باشیم. این نقطه یا منطقه می‌تواند مانند یک مزرعه یا یک شهرستان، کوچک باشد و یا مانند یک استان یا یک کشور، بزرگ باشد.

در بحث خلأ عملکرد، هدف این نیست که به ۱۰۰ درصد پتانسیل عملکرد دست پیدا کنیم، بلکه هدف‌گذاری و برنامه‌ریزی برای دستیابی به ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد صورت می‌گیرد، یعنی از ۲۰ درصد آخر آن صرف‌نظر می‌کنیم، چرا؟ چون برای این‌که ۲۰ درصد آخر را رفع کنیم باید مقدار زیادی از نهاده‌ها (مانند کود، سموم و غیره) و منابع (مانند آب و خاک) را استفاده کنیم و مدیریت بسیار دقیقی داشته باشیم که معمولاً از نظر زیست‌محیطی یا اقتصادی به صرفه نیست (لوبل و همکارن، ۲۰۰۹؛ فن ایتر سام و همکاران، ۲۰۱۳). از نظر زیست‌محیطی، واحدهای آخر نهاده‌هایی که مصرف می‌کنیم تا بالاترین عملکردها را به دست آوریم معمولاً آلودگی زیادی به دنبال دارند. به عملکرد معادل ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد، عملکرد قابل دستیابی[1] می‌گویند که انتظار می‌رود با برنامه‌ریزی درست به آن دست یافت. به همین ترتیب، مقدار اختلاف بین عملکرد قابل دستیابی و عملکرد واقعی را خلأ قابل دستیابی[2] می‌گویند (شکل ۱-۲).

[1] Exploitable Yield
[2] Exploitable Yield Gap

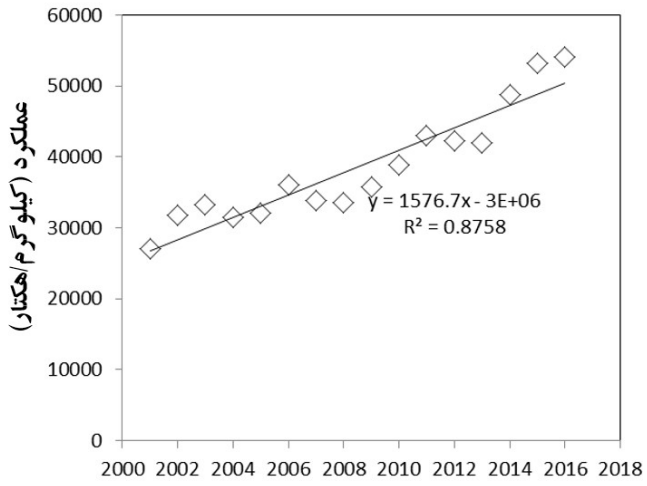


شکل ۱-۲- مفهوم عملکرد قابل دستیابی و خلأ قابل دستیابی

در ارتباط با خلأ عملکرد نکته دیگری که وجود دارد، مقیاس[1] مورد نظر یا مورد استفاده در ارزیابی پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد است. مقیاس دارای دو جنبه است، یکی مقیاس مکانی و دیگری مقیاس زمانی. مقیاس مکانی یعنی وقتی می‌گوییم مثلاً خلأ عملکرد گندم، منظور کجاست؟ مکان مورد مطالعه (مزرعه‌ی خاص، محدوده‌ی مشخص، شهرستان خاص، استان خاص، کشور خاص و یا کل دنیا) باید مشخص باشد. مقیاس زمانی نیز در مطالعه‌ی خلأ عملکرد باید مشخص باشد، یعنی باید مشخص باشد که مطالعه برای یک سال خاص و یا تعداد سال مشخصی می‌باشد و یا ممکن است مطالعه درازمدت مدنظر باشد. از نظر مقیاس زمانی باید به تغییر مدیریت و تکنولوژی تولید و تغییر اقلیم در گذر زمان توجه شود. به‌عنوان‌مثال، در شکل ۱-۳ تغییرات عملکرد چغندرقند در کشور طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است عملکرد در گذر زمان رو به افزایش بوده که ناشی از بهبود در فرآیندهای کاشت، داشت و برداشت بوده است. در چنین مواقعی باید از آمار سال‌های آخر استفاده کنیم که معمولاً پیشنهاد می‌شود از آمار ۵ سال آخر در چنین مواردی استفاده شود. اگر عملکرد در گذر زمان تغییر معنی‌داری نداشته باشد، برای برآورد خلأ عملکرد دراز مدت، استفاده از دوره آماری ۱۵ ساله پیشنهاد می‌شود، استفاده از دوره آماری طولانی‌تر از این باعث وارد شدن تأثیر تغییر اقلیم

[1] Scale

در برآورد خلأ عملکرد می‌گردد و توصیه نمی‌شود (فن ایترسام و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۱-۳- روند تغییرات عملکرد چغندرقند در کشور طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ (بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی).

۱-۲- برآورد میزان خلأ عملکرد

راه‌هایی که برای برآورد پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی، و در نتیجه خلأ عملکرد، با توجه به مقیاس زمانی و مکانی وجود دارد، عبارتند از (لوبل و همکاران، ۲۰۰۹؛ فائو و دفای، ۲۰۱۵):

الف) راه‌های برآورد عملکرد واقعی:

۱- مطالعات میدانی

۲- داده‌های سازمان‌ها

۳- سنجش‌ازدور

ب) راه‌های برآورد پتانسیل عملکرد:

۱- عملکرد رکورد[1]

۲- حداکثر عملکرد در آزمایش‌ها در ایستگاه‌های تحقیقاتی

[1] Record Yield

۳- حداکثر عملکرد کشاورزان در مطالعات میدانی

۴- برآورد با مدل‌های شبیه‌سازی

بسته به مقیاس زمانی و مکانی و روش انتخابی ممکن است برآورد متفاوتی از پتانسیل و خلاء عملکرد به دست آید و توصیه می‌شود در صورت امکان از بیش از یک روش استفاده شود.

۱-۲-۱- برآورد عملکرد واقعی

راه‌های برآورد عملکرد واقعی به همراه مزایا و معایبی که دارند، عبارتند از:

۱- برآورد عملکرد واقعی از مطالعات میدانی: در این روش محقق یا دستیاران او به مزرعه کشاورزان مراجعه می‌کنند و با انداختن کوادرات در مزرعه عملکرد واقعی را اندازه می‌گیرند و یا میزان عملکرد را از کشاورزان سؤال و یادداشت می‌کنند.

الف) مزایا:

۱- در این روش از این‌که عملکرد واقعی به‌دست‌آمده مربوط به همان منطقه و سال‌های مدنظر است، اطمینان داریم.

۲- امکان جمع‌آوری سایر اطلاعات مورد نیاز مثل عملیات به کار رفته در کاشت، داشت و برداشت برای یک آنالیز کامل خلأ عملکرد در این روش مهیا است، به این معنی که اگر این اطلاعات جمع‌آوری شود، این روش می‌تواند مراحل بعدی یک آنالیز کامل خلأ عملکرد را نیز پوشش بدهد.

ب) معایب:

۱- چون خود محقق از کشاورز میزان عملکرد و سایر اطلاعات را سؤال و یا اندازه‌گیری می‌کند، حجم کار و هزینه‌ها بالا است.

۲- به دلیل حجم کار و هزینه زیاد نمی‌توان محدوده‌ی زمانی و مکانی بزرگ مثل یک استان را پوشش داد.

۳- احتمال تأثیر عوامل روانی و فرهنگی بر اظهارات کشاورزان وجود دارد که صحت اظهارات کشاورزان را با تردید روبرو می‌سازد.

۴- نیاز به استانداردسازی عملکردهای اظهارشده توسط کشاورزان برای میزان مشخص رطوبت (بر اساس دستورالعمل‌های موجود) وجود دارد.
۵- نیاز به انجام مطالعات میدانی به مدت چندین سال بسته به گیاه، منطقه و نوع کشت برای جلوگیری از تأثیرات زمان و سال وجود دارد.

۲- استفاده از اطلاعات و آمار سازمان‌ها: در این روش از اطلاعات و آمار سازمان‌ها استفاده می‌شود، برای مثال، داده‌های سازمان‌ها و ادارات جهاد کشاورزی می‌توانند منبع این آمار باشند که معمولاً همه ساله ثبت می‌شوند و دوره‌ی زمانی طولانی را پوشش می‌دهند.

الف) مزایا:

۱- امکان انتخاب بازه‌های زمانی مناسب و بلندمدت وجود دارد (با در نظرگرفتن تغییرپذیری عملکرد در سال‌های مختلف) بدون آن‌که نیاز به صرف هزینه و وقت باشد.
۲- عملکرد به‌دست‌آمده میانگینی از کل سطح زیر کشت آن محصول در سال مورد نظر در یک منطقه، شهرستان و یا استان خاص است.

ب) معایب:

۱- به دلیل این‌که اطلاعات به‌صورت شهرستان به شهرستان ثبت می‌شود، انتخاب منطقه‌ی کوچک‌تر برای آنالیز خلأ عملکرد وجود ندارد و بنابراین مقیاس مکانی مورد استفاده باید حداقل شهرستان یا استان باشد.
۲- در تعیین محدوده‌های شهرستان‌ها عوامل سیاسی-اجتماعی مهمتر از جغرافیایی و اقلیمی هستند، درحالی‌که در تحلیل خلأ عملکرد، انتخاب مناطق همگن اقلیمی-خاکی مناسبتر است. ممکن است محدوده شهرستان دو یا چند نوع شرایط اقلیمی را پوشش دهد ولی در گزارش‌ها فقط یک عملکرد برای کل شهرستان در هر سال ثبت می‌شود.

۳- سنجش‌ازدور: در این روش برخی مشخصات یا ویژگی‌های ماهواره‌ای ثبت‌شده (مثل شاخص سبزینگی) را به عملکرد گیاه روی زمین ربط می‌دهند. برای مثال، ماهواره برای یک مشخصه در زمان معین اعدادی را ثبت می‌کند و سپس بین این اعداد و عملکرد گیاه مورد نظر در نقطه یا

منطقه مورد نظر رابطه برقرار می‌شود. این رابطه که معمولاً رگرسیونی است برای برآورد عملکرد در سایر سال‌ها قابل استفاده خواهد بود.

الف) مزایا:

۱- استفاده از داده‌های ماهواره‌ای این امکان را به محققان می‌دهد که بر مشکل زمان که در مطالعات میدانی وجود دارد، غلبه کنند و سرعت کار بالا باشد.

۲- این روش باید در تلفیق با روش میدانی به کار رود (حداقل برای یافتن رابطه بین مشخصه سنجش‌شده و عملکرد واقعی) و بنابراین مزایای روش میدانی را حداقل تا حدودی در خود دارد.

۳- درصورتی‌که رابطه مشخصه (سنجش‌شده از دور) با پتانسیل عملکرد یافته شود، برای تخمین پتانسیل عملکرد نیز قابل استفاده است.

ب) معایب:

۱- هزینه‌های تهیه عکس‌های ماهواره‌ای بالا بوده و اطلاعات و داده‌ها با قدرت تفکیک مکانی بالا در کشور موجود نمی‌باشد.

۲- نیاز به برقراری رابطه یا روابط تجربی وجود دارد که مستلزم اندازه‌گیری‌های واقعی عملکرد است که ممکن است زمان‌بر و هزینه‌بر باشد. همچنین این روابط ممکن است در طی زمان تغییر کنند.

۳- سخت بودن تشخیص پوشش سبز گیاهان از یکدیگر در هر پیکسل (این مشکل زمانی به وجود می‌آید که چند گیاه که دارای خصوصیات مشابه به هم هستند در یک منطقه به‌صورت همزمان کشت شوند و یا در مناطقی که مزارع با کشت مخلوط وجود دارد).

۱-۲-۲- برآورد پتانسیل عملکرد

برای برآورد پتانسیل عملکرد نیز راه‌های مختلفی وجود دارد که به همراه مزایا و معایب خود به‌صورت زیر هستند:

۱- عملکرد رکورد (مسابقه): در برخی از کشورها هر ساله در هر ایالت، استان و یا کل کشور مسابقه‌ای بین کشاورزان برگزار می‌کنند تا مشخص شود چه کسی بالاترین عملکرد را در گیاهان

مختلف تولید کرده است. بالاترین عملکردهایی که بدین طریق ثبت می‌شوند را می‌توان به‌عنوان برآوردی از پتانسیل عملکرد در نظر گرفت.

الف) مزایا:

۱- برآورد پتانسیل عملکرد زمینی بوده و محاسباتی نیست.

۲- این فرصت وجود دارد که روش‌های مورد استفاده برای کاشت، داشت و برداشت توسط کشاورزان برنده مسابقه را یافته و در اختیار سایر کشاورزان قرار داد.

ب) معایب:

۱- نیاز به حمایت و نظارت سازمان‌های خاص وجود دارد، یعنی باید دستگاه یا سازمانی اجرای این مسابقات را تحت نظر بگیرد تا از تقلبات احتمالی جلوگیری شود. گاهی جایزه این گونه مسابقات قابل‌توجه است و سبب می‌شود تخلفات یا تقلباتی صورت گیرد.

۲- نیاز به تعریف و اجرای استانداردهایی وجود دارد، مثلاً حداقل اندازه مزرعه.

۲- حداکثر عملکرد در آزمایش‌های مزرعه‌ای مراکز تحقیقاتی: این روش دارای دو حالت است. در حالت اول، محققین ایستگاه‌های تحقیقاتی تلاش می‌کنند تا بهترین مدیریت‌ها را در کرت‌هایی در مزرعه اعمال کنند و عملکرد حاصله را به‌عنوان پتانسیل عملکرد گزارش می‌کنند. حالت دیگر این است که از داده‌های آزمایش‌های مختلف که هر ساله در مرکز تحقیقاتی انجام می‌گیرد و معمولاً تعداد زیادی آزمایش و تیمارهای آزمایشی را شامل می‌شود، استفاده گردد. در این حالت، بالاترین عملکردها در کرت‌های آزمایشی برای گیاه مورد نظر به‌عنوان پتانسیل عملکرد در نظر گرفته می‌شود. البته در این حالت باید جانب احتیاط را رعایت کرد چون ممکن است عملکرد در همه کرت‌های آزمایشی کمتر از پتانسیل عملکرد باشد.

الف) مزایا:

۱- تعیین پتانسیل عملکرد در شرایط مزرعه‌ای کنترل‌شده و تحت نظارت متخصصین زراعت انجام می‌گیرد. بنابراین، می‌تواند یکی از بهترین و قابل لمس‌ترین روش‌ها برای مشخص‌کردن پتانسیل عملکرد باشد.

۲- چون آزمایش‌ها تیمارهای مختلفی دارند امکان شناسایی دلایل ایجاد کننده خلأ عملکرد نیز

وجود دارد.

ب) معایب:

۱- فراهم‌کردن همه شرایط برای دستیابی به بالاترین عملکرد یعنی پتانسیل عملکرد ممکن است دشوار باشد.

۲- برآوردهای حاصله به محدوده خاصی از زمان و مکان قابل تعمیم هستند و چون ایستگاه‌های تحقیقاتی محدود هستند، کاربرد این روش نیز محدود می‌باشد. گاهی اوقات نیز ایستگاه‌های تحقیقاتی که به‌طور معمول در بهترین نقطه‌ی منطقه از لحاظ توپوگرافی (زمین‌های مسطح و یا زمین‌هایی که به‌خوبی تسطیح شده و دارای عمق مناسب هستند) واقع شده‌اند و دارای خاک‌های حاصلخیز می‌باشند، شاید نماینده‌ی خوبی برای کل منطقه‌ی مورد نظر نباشند.

۳- چون پتانسیل عملکرد در سطح یک کرت تعیین می‌شود ممکن است برخی عملیات آن با دقت و با دست انجام شده باشد (مثل وجین). بنابراین، تعمیم برآورد حاصله به سطح مزرعه ممکن است زیر سؤال قرار گیرد.

۳- حداکثر عملکرد کشاورزان در مطالعات میدانی: در این روش بالاترین عملکرد از تعدادی از مزارع کشاورزان که عملکرد آن‌ها اندازه‌گیری یا ثبت شده است به عنوان پتانسیل عملکرد در نظر گرفته می‌شود. برای مثال، اگر در ۱۰۰ مزرعه عملکرد اندازه‌گیری یا ثبت شده باشد، عملکرد یا متوسط عملکرد ۱ تا ۵ مزرعه که بیشترین عملکرد را داشته‌اند به‌عنوان پتانسیل عملکرد در نظر گرفته می‌شود. در شرایطی که علاوه بر عملکرد سایر عملیات کشاورز در مراحل کاشت، داشت و برداشت ثبت شده باشد، از روش‌های آماری نیز می‌توان برای تخمین پتانسیل عملکرد استفاده کرد (مراجعه شود به توضیحات روش‌های تحلیل خط مرزی و تحلیل مقایسه کارکرد در همین فصل).

الف) مزایا:

۱- پتانسیل عملکرد به‌دست‌آمده اندازه‌گیری شده یا ثبت شده است و محاسباتی نمی‌باشد.

۲- بر خلاف روش عملکرد رکورد، برآورد پتانسیل عملکرد خاص یک مزرعه نیست و دارای گستردگی بیشتری می‌باشد.

۳- درصورتی‌که علاوه بر عملکرد سایر عملیات کشاورزان ثبت گردد، امکان جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل کامل خلأ عملکرد وجود دارد.

ب) معایب:

۱- گاهی اوقات از پتانسیل عملکرد به دلایلی نظیر عدم دسترسی به نهاده‌ها، نبود ضمانت کافی برای فروش محصول و همچنین ضعف اطلاعات یا عدم دسترسی به اطلاعات کافی از سوی کشاورزان، تخمین پایین‌تری به دست می‌آید.

۲- نیاز به حجم کار زیادی دارد و زمان‌بر و هزینه‌بر است.

۳- برآوردهای حاصله به محدوده کوچکی از زمان و مکان قابل تعمیم است و امکان اجرا برای سطوح بزرگ مثل استان و کشور و برای تعداد سال بیشتر، دشوار می‌باشد.

۴- عوامل روانی و فرهنگی بر اظهارات کشاورزان تأثیر دارد.

٤- برآورد با مدل‌های شبیه‌سازی: این روش بهترین روش برآورد عملکرد است چون مدل‌ها با داده‌های آزمایشی کالیبره می‌گردند؛ یعنی مدل‌ها بر اساس آزمایش‌ها و مشاهدات مزرعه‌ای تنظیم می‌شوند و سپس در مدل اثر عوامل محدود کننده مثل کمبود آب (در کشت آبی) و عناصر غذایی و عوامل کاهنده مثل آفات و بیماری‌ها حذف می‌شود، یعنی در برآورد مدل‌ها فرض می‌شود عوامل ذکر شده تأثیری بر عملکرد ندارند (فن ایترسام و همکاران، ۲۰۱۳). با مدل‌ها می‌توان با کمترین هزینه ممکن و در زمان کوتاهی پتانسیل عملکرد را برای تعداد زیادی نقاط و سال‌های متفاوت برآورد کرد (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۶؛ احمدی علیپور و همکاران، ۱۳۹۷).

الف) مزایا:

۱- برآورد بهتر پتانسیل عملکرد در شرایط دیم و آبی نسبت به سایر روش‌ها به این دلیل که در مدل‌ها اثر نوسانات دمایی، تشعشع و بارندگی در طی زمان و در مکان‌های مختلف بهتر تخمین زده می‌شود و اثر عوامل محدود کننده (مثل کمبود عناصر غذایی) و کاهنده (مثل آفات و بیماری‌ها) عملکرد قابل حذف است.

۲- محدودیت زمانی و مکانی مثل آن‌چه برای سایر روش‌ها ذکر شد، بسیار کمتر است.

ب) معایب:

۱- به دانش فنّی نیاز دارد که ممکن است در دسترس نباشد. باید فردی باشد که بتواند مدل را پارامتریابی و ارزیابی کند و به مزایا و معایب کار با مدل‌ها نیز تسلط داشته باشد.

۲- قبل از استفاده نمودن از مدل باید آن را برای ارقام و مکان مورد نظر پارامتریابی و آزمون نمود که برای این منظور از نتایج آزمایش‌های قبلی استفاده می‌گردد و می‌تواند کاری وقت‌گیر و دشوار باشد.

۳- به اطلاعات محیطی یعنی آمار هواشناسی روزانه و اطلاعات رطوبتی خاک نیاز می‌باشد که ممکن است در همه نقاط در دسترس نباشند و در صورت تخمین نیز دقت برآوردهای مدل کاهش خواهد یافت.

۴- اکثر مدل‌های موجود از نظر پوشش وقایع اکستریم مثل تنش گرمایی یا سرمایی یکی دو روزه در مرحله‌ی گرده‌افشانی یا خوشه‌دهی یا بارندگی‌های شدید و سیل‌آسا، عدم بارندگی در دوره‌ی طولانی و نظیر این‌ها جوان هستند و ضعف دارند.

گاهی این پرسش مطرح می‌شود که آیا می‌توان خود پتانسیل عملکرد را افزایش داد؟ پاسخ مثبت است. از دو طریق مدیریت زراعی و به‌نژادی می‌توان پتانسیل عملکرد را افزایش داد. به‌عنوان‌مثال، در زراعت دیم اگر مالچ کلش استفاده شود، پتانسیل عملکرد افزایش پیدا می‌کند یعنی وقتی سیستم زراعی تغییر می‌کند، پتانسیل عملکرد بالا می‌رود. از طریق به‌نژادی نیز امکان افزایش پتانسیل عملکرد وجود دارد (برای نمونه سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲ الف، ب).

۱-۲-۳- برآورد مقدار خلأ عملکرد در ایران

برآورد خلأ عملکرد با توجه به نقشی که در افزایش تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی دارد از اهمیت زیادی برخوردار است. پروژه‌ی بین‌المللی بنام اطلس جهانی خلأ عملکرد[1] (GYGA) وجود دارد که توسط دو دانشگاه واگینیگن هلند و نبراسکا امریکا مدیریت می‌شود و تعداد زیادی

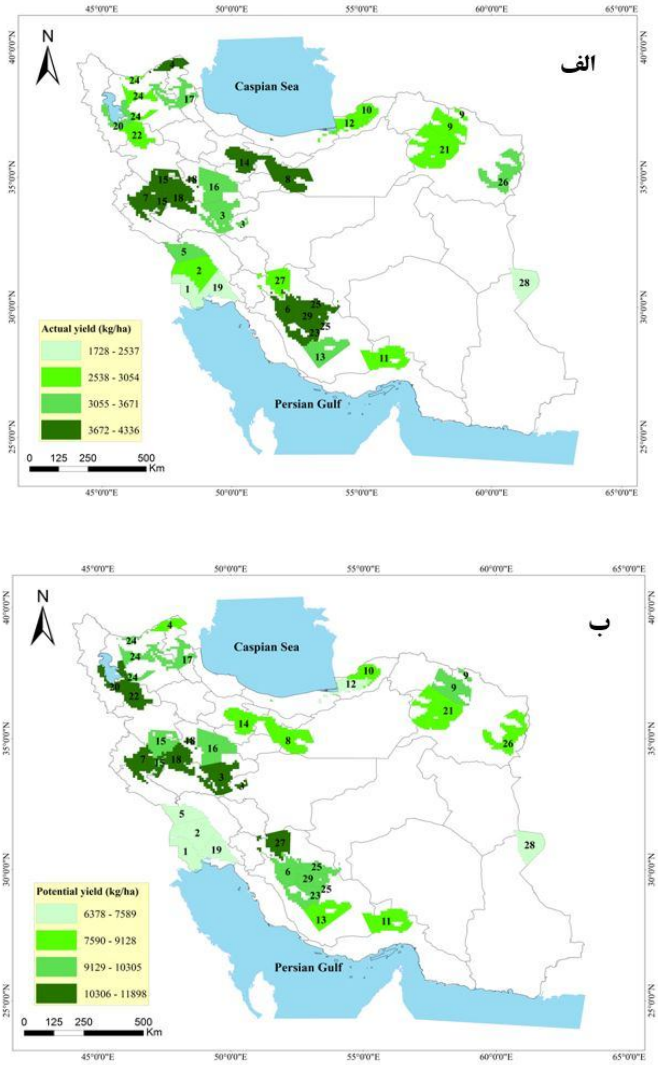
[1] Global Yield Gap and Water Productivity Atlas : GYGA

از سازمان‌های بین‌المللی از این پروژه حمایت می‌کنند (مثل مؤسسات CGIAR [1] و بنیاد بیل و ملیندا گیتس [2]) (www.yieldgap.org). هدف این پروژه آن است که پتانسیل و خلأ عملکرد را در گیاهان مختلف در کشورهای جهان برآورد کند. از طریق ارزیابی خلأ عملکرد می‌توان متوجه شد که ظرفیت تولید غذا چه قدر قابل افزایش است و یا این‌که بدانیم در کدام مناطق دنیا خلأ عملکرد زیاد است و در آن‌جا سرمایه‌گذاری کنیم.

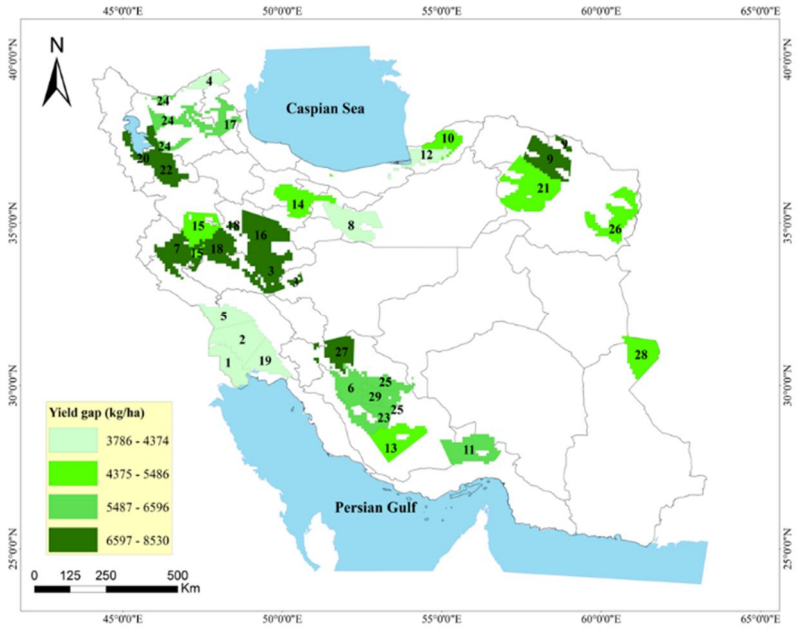
در کشور ما پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد برای گیاهان مهم کشور با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی (سلطانی و همکاران، ۲۰۲۰ الف) و پروتکل GYGA ارزیابی شده است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۲۰ ب). برای جزییات و نتایج حاصله به سلطانی و همکاران (۱۳۹۷؛ ۱۳۹۸ الف؛ ۱۳۹۸ ب) که در www.AfshinSoltani.ir در دسترس هستند، مراجعه شود. برای نمونه در شکل ۱-۴ الف میزان عملکرد گندم آبی در کشور نشان داده شده است. لکه‌هایی که در این شکل مشخص است مناطق اصلی تولید گندم آبی در کشور می‌باشند. لکه‌هایی که با رنگ سبز پررنگ نشان داده شده‌اند عملکرد بالاتر و لکه‌هایی که با رنگ سبز کم‌رنگ نشان داده شده‌اند، عملکرد کمتری دارند. عملکرد واقعی گندم آبی در کشور بین ۱۷۲۸ تا ۴۳۳۶ کیلوگرم در هکتار دامنه دارد. شکل ۱-۴ ب پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق اصلی تولید آن در کشور را نشان می‌دهد که بین ۶۳۷۸ تا ۱۱۸۹۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است. پتانسیل عملکرد در استان‌های کرمانشاه، آذربایجان غربی، لرستان و بخش‌های شمالی فارس، بالاتر و در برخی مناطق مثل استان‌های خوزستان و یا سیستان و بلوچستان، کمتر است. شکل ۱-۵ نیز خلأ عملکرد گندم آبی در مناطق اصلی تولید آن در کشور را نشان می‌دهد که بین ۳۷۸۶ تا ۷۸۲۸ کیلوگرم در هکتار است. در شکل ۱-۶ خلأ عملکرد قابل دستیابی که می‌توان آن را با مدیریت برطرف کرد، نشان داده شده است که بین ۲۳۶۳ تا ۶۲۲۶ کیلوگرم در هکتار در کشور متغیر بوده است. خلاصه نتایج مطالعات یادشده برای گیاهان زراعی مهم کشور در شکل ۱-۷ الف و ب ارائه شده است. در جدول ۱-۱ نیز برآوردهای عددی خلأ غیر قابل مدیریت، خلأ قابل

[1] Consultative Group on International Agricultural Research: CGIAR
[2] Bill & Melinda Gates Foundation

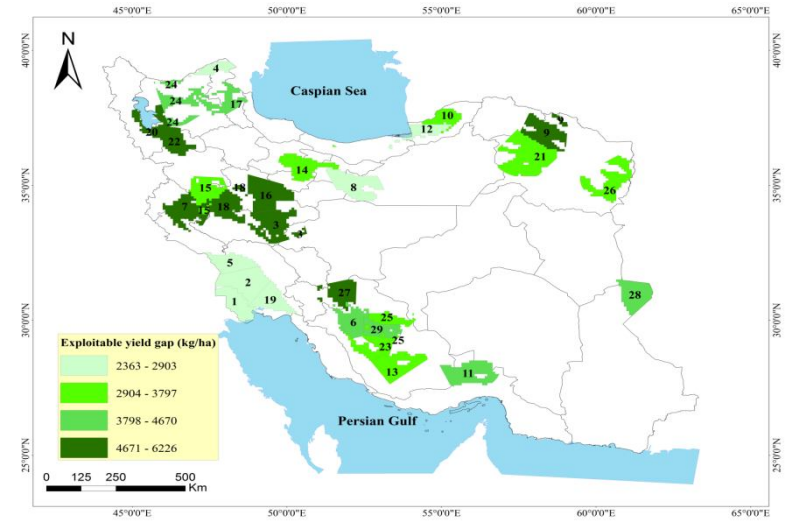
مدیریت و عملکرد واقعی گیاهان مختلف در کشور نشان داده شده است.



شکل ۱-٤- الف: عملکرد واقعی گندم آبی در مناطق اصلی تولید آن در کشور (کیلوگرم بر هکتار) بر اساس داده‌های سال‌های برداشت ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤ میلادی وزارت جهاد کشاورزی. ب: پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق اصلی تولید آن در کشور (کیلوگرم بر هکتار) شبیه‌سازی‌شده بر اساس آمار هواشناسی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤ (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷)



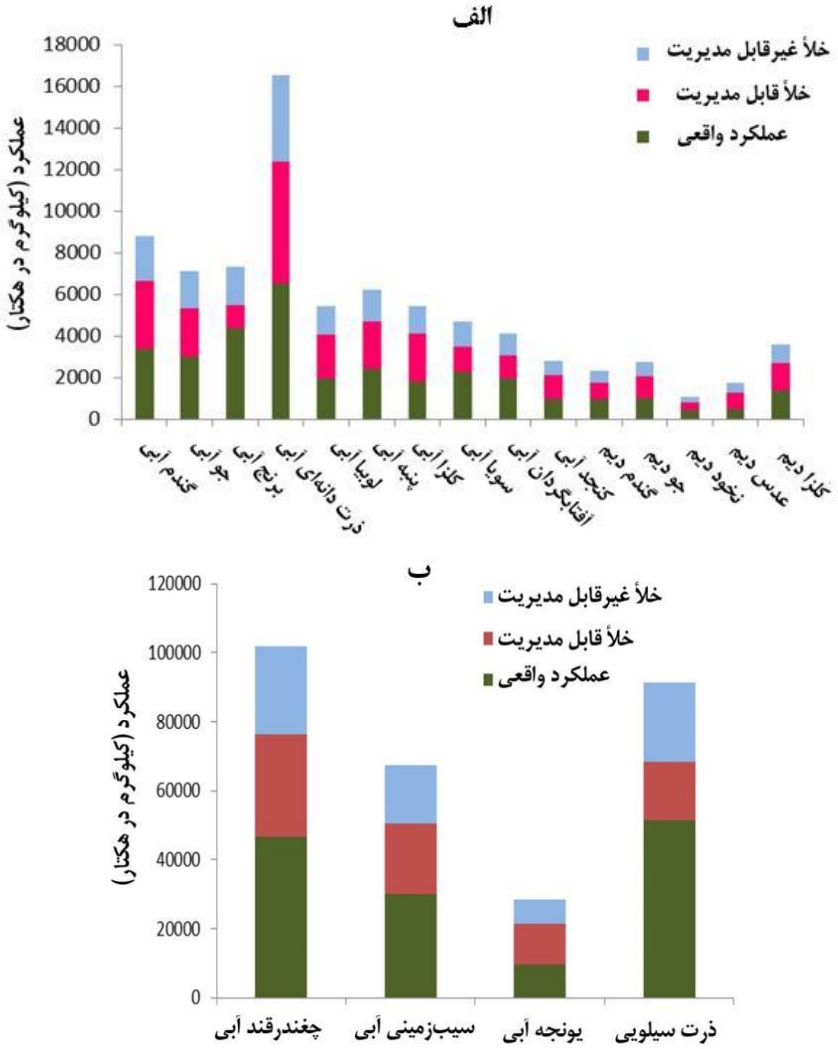
شکل ۱-۵- خلأ عملکرد گندم آبی در مناطق اصلی تولید آن در کشور (کیلوگرم بر هکتار) برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤ (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ۱-٦- خلأ عملکرد قابل دستیابی گندم آبی در مناطق اصلی تولید آن در کشور (کیلوگرم بر هکتار) برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤ (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱-۱ برآورد متوسط کشوری پتانسیل عملکرد و خلا قابل مدیریت به همراه عملکرد واقعی گیاهان زراعی مهم کشور (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷).

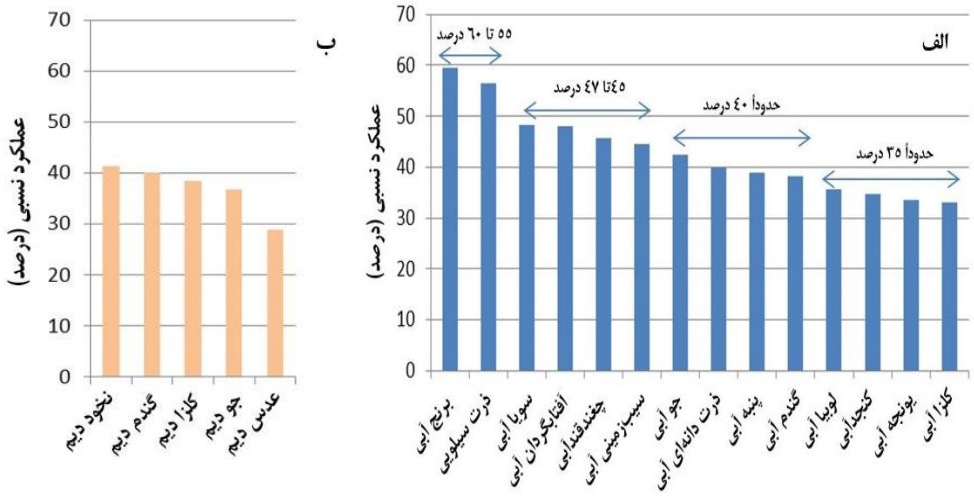
گیاه	پتانسیل عملکرد	عملکرد واقعی	خلأ قابل مدیریت
گندم آبی	۸۸۲۱	۳۳۷۸	۳۲۳۸
جو آبی	۷۰۹۰	۳۰۰۹	۲۳۰۹
برنج آبی	۷۳۳۱	۴۳۶۰	۱۱۳۸
ذرت دانه‌ای آبی	۱۶۵۰۷	۶۵۵۹	۵۸۲۱
لوبیا آبی	۵۴۴۴	۱۹۴۳	۲۱۴۰
پنبه آبی	۶۲۴۱	۲۴۳۰	۲۲۵۱
کلزا آبی	۵۴۵۷	۱۷۹۸	۲۲۹۵
سویا آبی	۴۶۸۱	۲۲۵۷	۱۲۵۴
آفتابگردان آبی	۴۱۱۸	۱۹۷۸	۱۱۱۱
کنجد آبی	۲۸۱۰	۹۷۸	۱۱۳۰
گندم دیم	۲۳۴۴	۹۴۱	۸۱۷
جو دیم	۲۷۳۶	۱۰۰۶	۱۰۴۶
نخود دیم	۱۰۴۱	۴۳۰	۳۵۱
عدس دیم	۱۷۲۹	۴۹۸	۷۹۹
کلزا دیم	۳۶۰۴	۱۳۸۸	۱۳۱۵
یونجه آبی	۲۸۵۹۸	۹۵۹۲	۱۱۸۵۷
ذرت سیلویی	۹۱۳۲۵	۵۱۶۰۳	۱۶۸۹۱
چغندرقند آبی	۱۰۱۹۰۷	۴۶۵۳۱	۲۹۸۹۹
سیب‌زمینی آبی	۶۷۳۵۵	۳۰۰۴۶	۲۰۴۷۰



شکل ۱-۷- عملکرد واقعی و برآورد متوسط کشوری خلا قابل مدیریت و خلأ غیر قابل مدیریت برای گیاهان زراعی مهم کشور (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷).

در شکل ۱-۸ نسبت عملکرد واقعی به پتانسیل عملکرد برای گیاهان مختلف در شرایط کشت آبی و دیم کشور نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است برای برنج و ذرت سیلویی بین ۵۵ تا ۶۰ درصد، برای سویا، آفتابگردان آبی، چغندرقند آبی و سیب‌زمینی آبی ۴۵ تا ۴۷ درصد،

برای جو آبی، ذرت دانه‌ای آبی، پنبه آبی و گندم آبی حدوداً ۴۰ درصد و برای لوبیا آبی، کنجد آبی، یونجه آبی و کلزا آبی نیز در حدود ۳۵ درصد است. اما عملکرد نسبی در شرایط دیم نسبت به آبی پایین‌تر می‌باشد یعنی خلأ بزرگ‌تری در شرایط دیم وجود دارد. مشاهده می‌گردد که در گیاهانی که سودآورتر هستند خلأ کمتری وجود دارد یا به‌عبارت‌دیگر متوسط عملکرد نسبی بالاتری دارند. به‌طورکلی متوسط خلأ عملکرد برای کلیه گیاهان تولیدی در شرایط دیم و آبی کشور در حدود ۶۰ درصد است به این معنی که عملکردهای فعلی ۴۰ درصد پتانسیل عملکردها هستند و ۶۰ درصد خلأ عملکرد وجود دارد. این امر حاکی از این است که در این بخش جای کار زیاد و ظرفیت بالا وجود دارد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ۱-۸- عملکرد نسبی گیاهان مختلف کشور در کشت الف: آبی ب: دیم (درصد) (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷).

۱-۳- تحلیل دلایل خلأ عملکرد

پس از آن که متوجه شدیم در یک شهر، ناحیه، استان و یا کشور برای گیاه یا گیاهان مختلف خلأ عملکرد وجود دارد، دلایل آن را چگونه پیدا کنیم؟ برای این منظور روش‌های مختلفی وجود دارد که عبارتند از:

۱- ارزیابی خلأ مرتبط با یک یا چند عامل با آزمایش واقعی یا مجازی (شبیه‌سازی): در این روش

آزمایش انجام می‌دهیم. تقریباً در همه‌ی آزمایشاتی که در ایستگاه‌های تحقیقاتی و دانشگاه‌ها انجام می‌گیرد، اگرچه ذکر نمی‌شود ولی هدف همگی آن‌ها رفع خلاء و افزایش عملکرد است. این آزمایش‌ها می‌توانند تک و یا چندعاملی باشند. روش تک عاملی یعنی تنها یک عامل (مثل تاریخ کاشت) در آزمایش مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش چندعاملی یعنی در آزمایش بیش از یک عامل مورد بررسی قرار می‌گیرد مثلاً تأثیر تراکم و تاریخ کاشت همزمان مطالعه می‌شوند و یا تأثیر کود و آب با هم مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر در یک منطقه آزمایش‌های متعددی صورت گرفته باشد، می‌توان تمامی آن آزمایش‌ها را با روش متاآنالیز تحلیل کرد (سلطانی و سلطانی، ۱۳۹۳). آزمایش‌های مجازی با کمک مدل‌های شبیه‌سازی انجام می‌شوند، یعنی به‌جای رفتن به مزرعه، از طریق مدل‌های شبیه‌ساز، در کامپیوتر آزمایش انجام می‌گیرد، ولی شرط انجام این گونه آزمایش‌ها این است که مدلی مناسب و پارامتریابی و ارزیابی شده وجود داشته باشد (که خود متکی به آزمایش‌های واقعی است).

۲- ارزیابی خلأ عملکرد چندعاملی در مزارع کشاورزان با روش تحلیل مقایسه‌ی کارکرد (CPA[1]) و روش تابع خط مرزی (BLA[2]): در این روش به مزارع کشاورزان مراجعه و اطلاعات جمع‌آوری کرده و سپس این اطلاعات را تجزیه‌وتحلیل می‌کنند و دلایل خلأ عملکرد را شناسایی می‌کنند. در این گونه ارزیابی‌ها هیچ‌گونه دخالتی در کار کشاورز صورت نمی‌گیرد و فقط اقدامات کشاورز ثبت می‌گردد.

۳- روش ترکیبی یا تلفیقی: این روش ترکیبی از دو یا سه روش بالاست.

در ادامه برای روش‌های بالا مثال‌هایی ارائه می‌شود.

۱-۳-۱- آزمایش واقعی در مزرعه

برای نمونه تحقیق یوسفی‌داز و همکاران (۱۳۹۳) ارائه می‌شود که در آن طی دو سال بهینه‌سازی مدیریت نیتروژن کودی (مقدار و زمان مصرف کود نیتروژن) گندم در گرگان ارزیابی

[1] Comparative Performance Analysis: CPA
[2] Boundary Layer Analysis: BLA

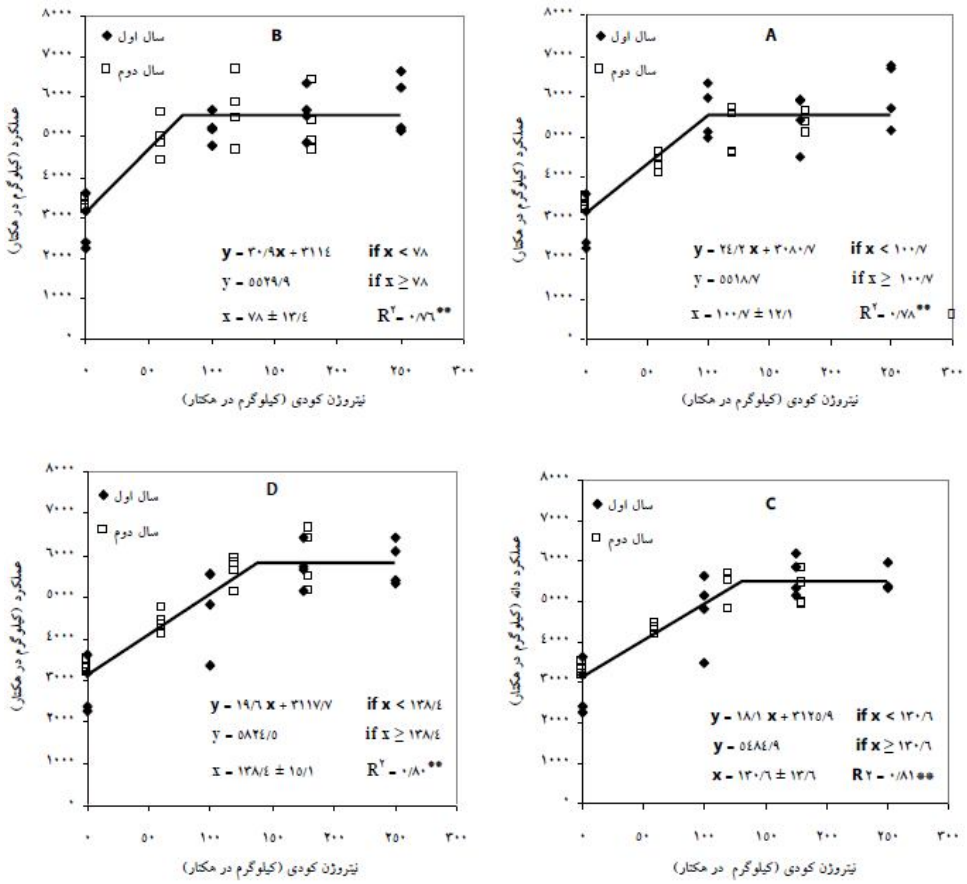
شده است. در مطالعه یاد شده مقادیر متفاوتی از کود نیتروژن با چهار الگوی مصرف کود نیتروژن (A، B، C و D) بر روی عملکرد گیاه گندم مورد بررسی قرار گرفت. در الگوی A، چهار نوبت برابر، در الگوی B، چهار نوبت نابرابر، در الگوی C، سه نوبت برابر و در الگوی D، سه نوبت نابرابر کود نیتروژن استفاده شد (جدول ۱-۲).

جدول ۱-۲- مقادیر کود نیتروژن مصرفی بر حسب درصد در مراحل مختلف رشد گیاه گندم (یوسفی‌داز و همکاران، ۱۳۹۳).

الگوی مصرف	کاشت	پنجه‌زنی (GS-21)*	ساقه‌رفتن (GS-31)**	آبستنی (GS-47)*
A (چهار نوبت برابر)	۲۵ درصد	۲۵ درصد	۲۵ درصد	۲۵ درصد
B (چهار نوبت نابرابر)	۱۲/۵ درصد	۳۷/۵ درصد	۳۷/۵ درصد	۱۲/۵درصد
C (سه نوبت برابر)	۳۳ درصد	۳۳ درصد	۳۴ درصد	-
D (سه نوبت نابرابر)	۲۵ درصد	۳۷/۵ درصد	۳۷/۵ درصد	-

* در هر دو سال، کوددهی در پنجه‌زنی در مرحله GS-21 (ساقه اصلی و یک پنجه دیده می‌شود) و در آبستنی، در مرحله GS-47 (غلاف برگ پرچم باز شده) صورت گرفت. ** کوددهی در ساقه‌رفتن در سال اول در مرحله‌ی قابل رؤیت‌شدن اولین گره (GS-31) و در سال دوم در مرحله‌ی تشکیل ساقه‌ی کاذب (GS-30) صورت گرفت. در سال دوم فاصله‌ی بین مرحله‌ی تشکیل ساقه‌ی کاذب (GS-30) و قابل رؤیت‌شدن اولین گره (GS-31) در حدود دو هفته بود.

در شکل ۱-۹ رابطه بین عملکرد با مقدار کود نیتروژن مصرفی در تیمارهای مختلف این مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۱-۹- رابطه عملکرد با مقدار کود نیتروژن مصرفی در تیمارهای مختلف (یوسفی‌داز و همکاران، ۱۳۹۳).

از شکل ۱-۹ نکات مهمی برای رفع خلأ و افزایش عملکرد، قابل بهره‌برداری است. اولین نکته این است که بالاترین عملکردها می‌توانند برآوردی از پتانسیل عملکرد باشند (نقاط بالایی در هر الگو) که حدود ۶ تن در هکتار است. نکته دوم این‌که اگر ۴ نوبت به مقدار نابرابر به مزرعه کود داده شود، برای دست‌یابی به بالاترین عملکردها، به حدود ۸۰ کیلوگرم کود نیاز است ولی اگر در هر نوبت از مقدار مساوی کود استفاده شود باید کود بیشتر مصرف گردد تا بالاترین عملکردها به دست آید (حدوداً ۱۰۰ کیلوگرم). در الگوی ۳ نوبته، برای دستیابی به بالاترین

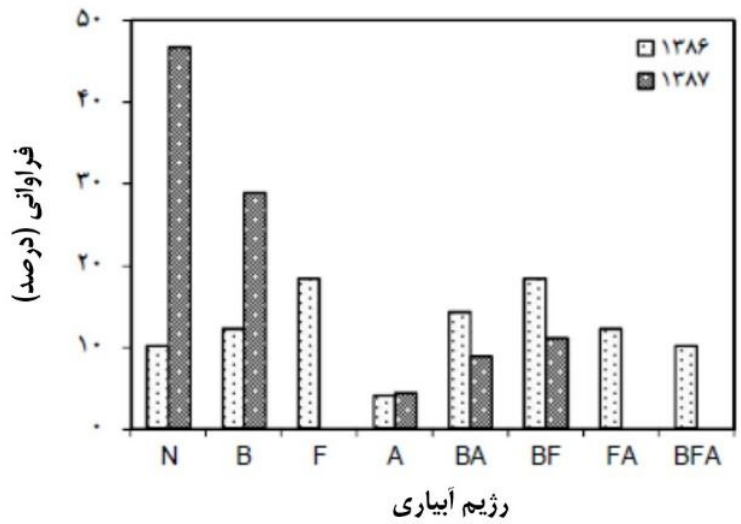
عملکردها باید بیش از ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار کود استفاده شود که طبیعتاً نسبت به الگوی ۴ نوبته برتری ندارد.

با انجام دادن این گونه آزمایش‌ها می‌توان فهمید که چه عملیات و مدیریتی مناسب‌تر است و هرچه رفتار کشاورزان به تیمار یا تیمارهای مناسب نزدیکتر باشد انتظار ایجاد خلأ از ناحیه عامل مورد بررسی کمتر است و برعکس. شایان توجه است که در آزمایش‌ها برای بررسی یک یا چند عامل معمولاً تأثیر سایر عوامل با بهینه‌سازی آن‌ها (مثل مدیریت آفات) یا انتخاب سطح مشخصی از آن‌ها (مثل تراکم بوته) حذف می‌شود.

۱-۳-۲- آزمایش مجازی با مدل‌های شبیه‌سازی

برای یک نمونه به مطالعه‌ی ترابی و همکاران (۱۳۹۲) اشاره می‌شود. در این مطالعه نقش رژیم آبیاری در ایجاد خلأ عملکرد گندم در گرگان بررسی شده است. بر اساس مشاهدات از منطقه (شکل ۱-۱۰) تیمارهای آبیاری زیر در مدل تعریف شده‌اند: عدم آبیاری (N)، یک بار آبیاری در مرحله‌ی قبل از گلدهی (B)، یک بار آبیاری در مرحله‌ی گلدهی (F)، یک بار آبیاری در مرحله پس از گلدهی (A)، دو بار آبیاری در مراحل قبل و پس از گلدهی (BA)، دو بار آبیاری در مراحل قبل از گلدهی و در مرحله گلدهی (BF)، دو بار آبیاری در مراحل گلدهی و بعد از گلدهی (FA)، سه بار آبیاری در مراحل قبل از گلدهی، در مرحله‌ی گلدهی و پس از گلدهی (BFA). شبیه‌سازی با مدل برای ۴۰ سال انجام شده و حداقل، متوسط و حداکثر خلأ عملکرد گندم ناشی از آبیاری محاسبه شده است (جدول ۱-۳). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که آبیاری نامناسب می‌تواند تا حدود ۲ تن در هکتار باعث ایجاد خلأ عملکرد شود. با سه نوبت آبیاری، کمبود آب در ایجاد خلأ بی‌تأثیر می‌شود و در صورت امکان فقط دو نوبت آبیاری یعنی آبیاری در مراحل قبل از گلدهی و گلدهی کمترین خلأ را ایجاد می‌کند.

امکان انجام بسیاری از ارزیابی‌ها با کمک مدل‌ها شبیه‌سازی وجود دارد. اما، باید توجه داشت که استفاده از مدل‌ها مستلزم وجود مدلی پارامتریابی و ارزیابی شده است (برای مثال، ترابی و همکاران (۲۰۱۱).



شکل ۱-۱۰- درصد فراوانی رژیم‌های آبیاری در مزارع مختلف گندم در دو سال ۱۳۸٦ و ۱۳۸۷. (رژیم‌های آبیاری شامل عدم آبیاری (N)، آبیاری قبل از گلدهی (B)، آبیاری در گلدهی (F)، آبیاری بعد از گلدهی (A)، آبیاری قبل و بعد از گلدهی (BA)، آبیاری قبل از گلدهی و در مرحله‌ی گلدهی (BF)، آبیاری در مرحله‌ی گلدهی و بعد از گلدهی (FA)، آبیاری در قبل از گلدهی، در مرحله‌ی گلدهی و پس از گلدهی (BFA) هستند) (ترابی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۱-۳- حداقل، متوسط و حداکثر خلأ عملکرد گندم (تن در هکتار) در طول ٤۰ سال شبیه‌سازی در رژیم‌های مختلف آبیاری (ترابی و همکاران، ۱۳۹۲).

برنامه آبیاری	حداقل	متوسط	حداکثر
N	۰/۱۴	۰/۸۹	۱/۷۳
A	۰/۱۱	۰/۷۰	۱/۶۳
B	۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۷۵
F	۰/۰۱	۰/۴۱	۱/۰۳
FA	-۰/۰۲	۰/۳۰	۰/۹۳
BA	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۵۳
BF	۰/۰	۰/۱۱	۰/۲۲
BFA	۰	۰	۰

عدم آبیاری (N)، آبیاری قبل از گلدهی (B)، آبیاری در گلدهی (F)، آبیاری بعد از گلدهی (A)، آبیاری قبل و بعد از گلدهی (BA)، آبیاری قبل از گلدهی و در مرحله‌گلدهی (BF)، آبیاری در مرحله‌ی گلدهی و بعد از گلدهی (FA)، آبیاری در قبل از گلدهی، در مرحله گلدهی و پس از گلدهی (BFA).

۱-۳-۳- ارزیابی ساده در مزارع کشاورزان

در این بخش روش برآورد پتانسیل عملکرد، خلأ عملکرد و ارزیابی دلایل خلأ عملکرد از طریق ارزیابی مزارع کشاورزان توضیح داده می‌شود. در این روش ابتدا باید محدوده مطالعاتی مشخص شود (مثلاً محدوده‌ی یک مرکز خدمات کشاورزی یا بخشی از یک شهرستان، یا بخشی از یک استان و نظیر این‌ها). سپس تعدادی از مزارع کشاورزان انتخاب می‌گردد که این مزارع باید از نظر عملکرد برداشتی و سایر خصوصیات مثل مساحت مزرعه، روش‌های کشت و کار متفاوت باشند. به‌عبارت‌دیگر باید طیفی از مزارع خوب تا ضعیف انتخاب شوند؛ وجود تفاوت بین مزارع و عملکردهای آن‌ها شرط موفقیت در این روش است. سپس تمامی اقدامات کشاورزان در طی فصل رشد از کاشت تا برداشت رصد شده و ثبت می‌گردد. برای این منظور سرکشی و ثبت اطلاعات در فواصل ۱ تا ۲ هفته‌ای توصیه می‌شود. در این روش چون بررسی در مزارع کشاورزان انجام می‌شود، همه خصوصیات متغیر هستند، یعنی مثل آزمایش‌ها نیست که فقط یک یا دو عامل متغیر باشد (مثلاً کود یا تاریخ کاشت) و سایر عوامل تحت شرایط بهینه یا ثابت قرار داشته باشند. برای نمونه‌هایی از این گونه ارزیابی‌ها به سلطانی و همکاران (۱۳۸۹)، ترابی و همکاران (۱۳۹۲)، حجارپور و همکاران (۱۳۹۶)، نه‌بندانی و همکاران (۱۳۹۶ الف و ب)، شکرگزار دارابی و همکاران (۱۳۹۷) و یوسفیان و همکاران (۱۳۹۷) مراجعه شود.

داده‌های ثبت‌شده از مزارع کشاورزان به روش‌های مختلف قابل تحلیل هستند. ساده‌ترین روش، ارزیابی کیفی و مقایسه روش‌های کشاورزان برتر با سایر کشاورزان است. برای نمونه، در جدول ۱-۴ تعدادی روش‌ها و عملیاتی که کشاورزان برتر برای تولید گندم انجام داده‌اند از یک مطالعه که در آن حدود ۱۰۰ مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفته است، آورده شده است (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹). مشخصات مهمترین عملیات به‌کار رفته توسط کشاورزانی که عملکردهای بالاتر از ۵، ۵/۵ و ۶ تن در هکتار داشته‌اند استخراج شده است. کشاورزانی که بیشتر از ۵ تن در هکتار عملکرد برداشت کرده‌اند ۳۴/۷ درصد کشاورزان نمونه را شامل می‌شده‌اند. به همین ترتیب کشاورزانی که بیشتر از ۵/۵ و ۶ تن در هکتار عملکرد داشته‌اند به ترتیب ۱۲/۶ و ۴/۲ درصد کشاورزان را شامل می‌شده‌اند. عملکرد، تاریخ کاشت، تراکم بوته، کل کود نیتروژن مصرفی،

کود نیتروژن مصرفی پس از کاشت، کود فسفر مصرفی، کود پتاسیم مصرفی، تعداد آبیاری و تعداد تقسیط کود نیتروژن در جدول ۱-۴ گزارش شده است. مشاهده می‌گردد که در مزارع با عملکرد بیشتر از ۶ تن تاریخ کاشت ۱۲ آذرماه، تراکم بوته ۲۹۳ بوته، میزان کل کود نیتروژن کاربردی ۱۲۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کود نیتروژن مصرفی پس از کاشت ۹۵ کیلوگرم در هکتار، کود فسفر (برحسب P_2O_5) ۴۰ کیلوگرم در هکتار، کود پتاسیم (برحسب K_2O) ۵۶ کیلوگرم در هکتار، تعداد آبیاری معادل ۱/۷۵ و تعداد تقسیط کود نیتروژن در آن‌ها ۲/۵ بار بوده است. مقایسه نحوه انجام همین اقدامات در مزارع سایر کشاورزان دلایل خلأ عملکرد را مشخص می‌سازد و انتظار می‌رود اصلاح آن‌ها باعث رفع حداقل بخشی از خلأ عملکرد گردد.

جدول ۱-٤- نمونه‌ای از روش ارزیابی کشاورزان

	بیشتر از ۵ تن در هکتار	بیشتر از ۵/۵ تن در هکتار	بیشتر از ۶ تن در هکتار
درصد مزارع	۳۴/۷	۱۲/۶	۴/۲
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۵۳۳۸	۵۷۸۰	۶۰۷۵
تاریخ کاشت	*۳۴۳	**۳۴۱	***۳۳۵
تراکم بوته	۲۷۴	۲۸۶	۲۹۳
کود نیتروژن (کیلوگرم N در هکتار)	۱۱۴	۱۲۶	۱۲۳
کود نیتروژن پس از کاشت (کیلوگرم N در هکتار)	۹۶	۱۰۷	۹۵
کود فسفر (کیلوگرم P2O5 در هکتار)	۵۴	۳۹	۴۰
کود پتاسیم (کیلوگرم K2O در هکتار)	۴۸	۵۶	۵۶
تعداد آبیاری	۱/۳۶	۱/۸۳	۱/۷۵
تعداد تقسیط کود نیتروژن	۲/۶۴	۲/۷۵	۲/۵۰

*۱۹ آذرماه، ** ۱۷ آذرماه، *** ۱۲ آذرماه

۱-۳-٤- ارزیابی دلایل خلأ در مزارع کشاورزان با روش تحلیل مقایسه‌ی کارکرد (CPA)

در این روش در واقع کارکرد کشاورزان مختلف با یکدیگر مقایسه شده و دلایل خلأ عملکرد استخراج می‌شود (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹). برای نمونه، به مطالعه‌ای اشاره می‌شود که در آن خلأ عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی در گندم در شهرستان بندر گز استان گلستان بررسی شده

است (نکاحی و همکاران، ۱۳۹۳). در این مطالعه ۴۵ مزرعه گندم کشاورزان انتخاب و تمام عملیات تولید از کاشت تا برداشت ثبت شده و با روش CPA تحلیل شده است.

روش CPA مبتنی بر روش رگرسیون گام‌به‌گام می‌باشد که در آن عملکردهای مشاهده‌شده در مزارع کشاورزان y هستند و هر یک از اقداماتی که کشاورزان انجام داده‌اند یک x در نظر گرفته می‌شود: مثلاً تاریخ کاشت (x_1)، تراکم (x_2)، میزان کود مصرفی (x_3)، میزان کودی که در زمان کاشت مصرف‌شده (x_4)، میزان کود مصرفی به‌صورت سرک (x_5)، سم‌پاشی برای مبارزه برای علف‌های هرز (x_6) و الی آخر. بدین ترتیب تعداد زیادی متغیر x وجود دارد که عملکرد یا y تابع آن‌ها می‌باشد. روش رگرسیون گام‌به‌گام کمک می‌کند تا مهمترین x ها یا متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد دانه از بین تعداد زیادی از آن‌ها شناسایی شوند. به‌بیان‌دیگر، این روش وقتی تعداد زیادی متغیر مؤثر x داشته باشیم (مثلاً ۵۰ متغیر) نشان می‌دهد که در تعیین y کدام x ها مهم‌تر هستند.

در مطالعه نکاحی و همکاران (۱۳۹۳) کاربرد رگرسیون گام‌به‌گام منجر به شناسایی ۶ متغیر در قالب مدل رگرسیونی زیر گردید (معادله‌ی ۱-۳):

معادله ۱-۳

$$Y(Kg/h)=۲/۵۷۵۱۶\times PDEN-۱۶/۲۷۸۲۲\times FEXP-۴۴/۳۷۷۷\times PDOY-۹۰۲/۴۴۳۱۹ \times(N۸۰۱۹)+۲/۹۵۳۶\times SRATE+۶۶۳/۷۱۸۶۹\times Topicg+۵۹۲۹/۶۱$$

در معادله فوق، Y عملکرد، PDEN تراکم بوته گندم در مترمربع، FEXP سابقه کشاورز (سال)، PDOY تاریخ کاشت (از اول مهر)، N80-19 استفاده از رقم N80-19، SRATE مقدار بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار) و Topicg مصرف یا عدم مصرف علف‌کش تاپیک - گرانستار می‌باشند. Topicg متغیری است که مقدار آن در مزارعی که تاپیک - گرانستار استفاده کرده‌اند برابر یک و در مزارعی که استفاده نکرده‌اند برابر با صفر می‌باشد. به همین ترتیب، متغیر N8019 استفاده یا عدم استفاده از رقم N8019، می‌باشد و مقدار آن در مزارعی که رقم N8019 بوده یک و در سایر مزارع صفر می‌باشد.

در جدول ۱-۵ با توجه به مدل رگرسیونی عملکرد، سهم هر یک از صفات یا مشخصات انتخاب‌شده در ایجاد خلأ عملکرد محاسبه شده است. برای این منظور، یک بار متوسط مقادیر x ها

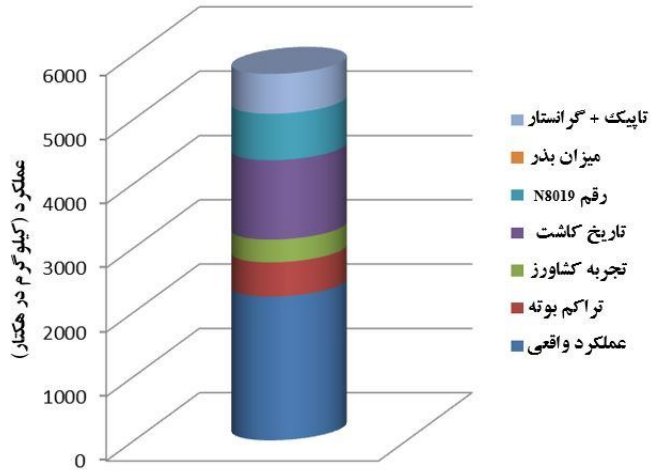
در مزارع بررسی شده و در معادله قرار داده می‌شود و یک بار مقادیر برگزیده x ها در معادله قرار می‌گیرد که در حالت اول متوسط عملکرد کشاورزان بررسی‌شده، به‌دست می‌آید و در حالت دوم عملکرد در شرایطی به دست می‌آید که x ها یا متغیرهای برگزیده، اصلاح شده باشند. متوسط تراکم بوته، تجربه کشاورزان، تاریخ کاشت، استفاده از رقم N8019، میزان بذر و کاربرد تاپیک- گرانستار در مزارع بررسی شده کشاورزان به ترتیب برابر با ۱۴۳، ۳۶، ۷۸، ۰/۸۰، ۲۲۰ و ۰/۰۷ بوده که وقتی در معادله قرار داده می‌شوند متوسط عملکرد کشاورزان (۲۲۳۶ کیلوگرم در هکتار) به دست می‌آید. مقدار ۰/۸ برای رقم N8019 بدین معنی است که در ۸۰ درصد مزارع از این رقم استفاده شده است و هچنین ۰/۰۷ برای تاپیک گرانستار بدین معنی است که در ۷ درصد مزارع از ترکیب این دو علف‌کش استفاده شده است. مقادیر برگزیده این متغیرها به ترتیب عبارتند از ۳۵۰، ۱۴، ۵۰، ۰، ۲۲۰ و ۱ که وقتی در معادله ۱-۳ قرار می‌گیرند. عملکرد ۵۶۹۸ کیلوگرم در هکتار به دست می‌آید که خود برآوردی از پتانسیل عملکرد می‌باشد (همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد با جمع‌آوری داده‌های کشاورزان می‌توان از طریق روش‌های آماری پتانسیل عملکرد را برآورد کرد). شایان ذکر است که مقدار انتخاب شده برای متغیرهای مدل عملکرد باید در محدوده دامنه‌ای باشد که در مزارع کشاورزان مشاهده شده است. تفاضل هر جمله مدل عملکرد برای حالت اول و دوم، خلأ عملکرد ناشی از متغیر مربوطه را نشان می‌دهد و تفاضل عملکرد حاصله در حالت اول و دوم خلأ عملکرد را مشخص می‌سازد.

بر اساس معادله عملکرد (معادله ۱-۳) و محاسبات جدول ۱-۵ تأثیر تجربه کشاورز بر عملکرد منفی بوده است احتمالاً به این دلیل که کشاورزان قدیمی‌تر، سنتی عمل کرده و از تجربیات جدید استفاده نکرده‌اند. اثر تاریخ کاشت هم منفی بوده یعنی کشاورزانی که دیرتر کشت کرده‌اند، عملکردشان کاهش یافته است. تأثیر استفاده از رقم N8019 نیز منفی بوده است یعنی کشاورزانی که رقم N8019 استفاده نموده‌اند، عملکرد پایین‌تری داشته‌اند. اما میزان بذر، کاربرد تاپیک به همراه گرانستار و تراکم بوته اثر مثبتی روی عملکرد داشته‌اند. چنان‌چه مشاهده می‌شود ۳۶ درصد خلأ ناشی از تاریخ کاشت نامناسب، ۲۱ درصد خلأ ناشی از استفاده از رقم N8019، ۱۸ درصد خلأ ناشی از عدم استفاده از تاپیک - گرانستار، ۱۵ درصد خلأ به دلیل پایین‌بودن تراکم بوته و ۱۰

درصد خلأ ناشی از عدم استفاده کشاورزی از تجربیات جدید بوده است. انتظار می‌رود با اصلاح این موارد خلأ عملکرد ناشی از آن‌ها مرتفع شود و عملکرد افزایش یابد (شکل ۱-۱۱).

جدول ۱-۵- نتایج رگرسیون تأثیر متغیرهای مختلف بر خلأ عملکرد گندم در شرایط بندر گز (نکاحی و همکاران، ۱۳۹۳).

متغیر	ضریب	مقدار متغیر در مدل		عملکرد حاصله با مدل		خلأ	
		میانگین	مقدار انتخاب شده	میانگین	مقدار انتخاب شده	مقدار (Kg/ha)	درصد
عرض از مبدأ	۵۹۲۹/۶۱	۱	۱	۵۹۲۹/۶	۵۹۲۹/۶	*	*
تراکم بوته	۲/۵۸	۱۴۳	۳۵۰	۳۶۹	۹۰۱	۵۳۲	۱۵
تجربه کشاورز	-۱۶/۲۸	۳۶	۱۴	-۵۸۲	-۲۲۸	۳۵۴	۱۰
تاریخ کاشت	-۴۴/۳۸	۷۸	۵۰	-۳۴۵۴	-۲۲۱۹	۱۲۳۵	۳۶
استفاده از رقم N8019	-۹۰۲/۴۴	۰/۸۰	۰	-۷۲۲	۰	۷۲۲	۲۱
میزان بذر	۲/۹۵	۲۲۰	۲۲۰	۵۶۰	۶۵۰	۰	۰
تاپیک+گرانستار	۶۶۳/۷۲	۰/۰۷	۱	۴۴	۶۶۴	۶۱۹	۱۸
میانگین عملکرد	-	-	-	۲۲۳۶	۵۶۹۸	۳۴۶۲	۱۰۰



شکل ۱-۱۱- تأثیر مهمترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گندم در شرایط بندر گز (نکاحی و همکاران، ۱۳۹۳).

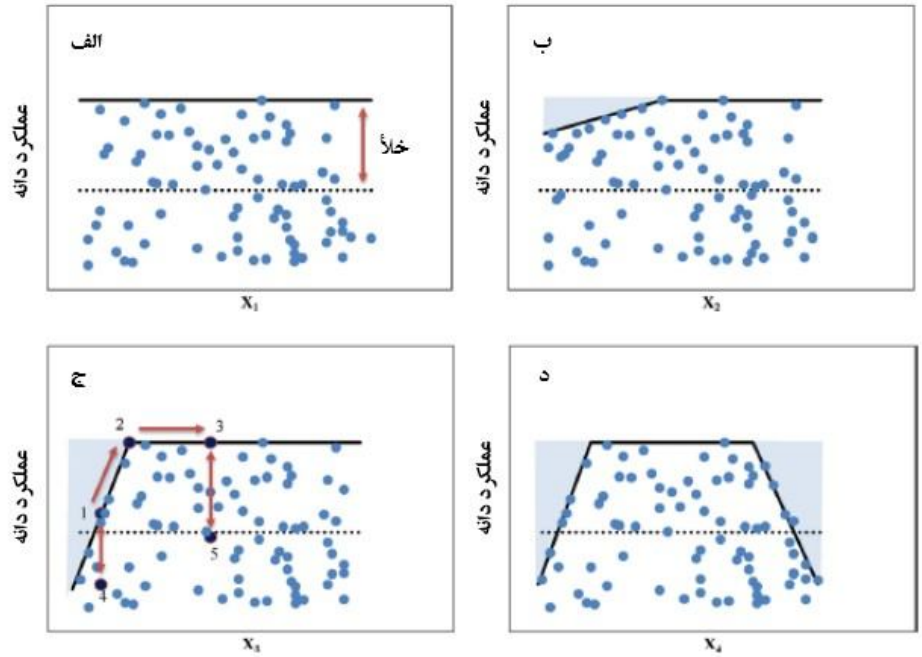
۱-۳-٤-۱- ارزیابی دلایل خلأ در مزارع کشاورزان با روش تحلیل خط مرزی (BLA)

روش دیگر برای برآورد خلأ عملکرد بر اساس ارزیابی مزارع کشاورزان، تحلیل خط مرزی (BLA) است. با کمک شکل ۱-۱۲ مفهوم این روش توضیح داده می‌شود (حجارپور و همکاران، ۲۰۱۸). این روش فقط برای متغیرهای کمّی مثل میزان کود، تاریخ کاشت، تراکم و نظیر این‌ها قابل استفاده است و در هر بار تأثیر یک عامل تحلیل می‌گردد. اما، وقتی برای تعداد زیادی متغیر انجام می‌شود، دیدگاهی از وضعیت دست جمعی متغیرها را فراهم می‌آورد. بررسی تأثیر متغیرهای کیفی مثل رقم با این روش قابل بررسی نیست. در این روش هر بار نمودار پراکنش عملکرد دانه در مزارع در محور y در مقابل هر یک از متغیرهای کمّی به عنوان محور x تهیه و تحلیل می‌گردد. تحلیل مبتنی بر برازش یک خط رگرسیونی به لبه بالایی ابر نقاط است. برای برخی متغیرها ممکن است حالت الف در شکل ۱-۱۲ مشاهده شود، بدین معنی که برای هر مقدار از متغیر x دستیابی به بالاترین عملکرد ممکن بوده و الگوی خاصی برای توصیف تغییرات عملکرد در برابر x وجود ندارد و بنابراین متغیر مورد نظر در ایجاد خلأ نقش ندارد. در این حالت، میزان خلأ عملکرد به صورت اختلاف بین خط برازش داده شده به لبه بالایی داده‌ها که نشانگر پتانسیل عملکرد است و متوسط عملکرد کشاورزان (خط نقطه چین) قابل برآورد است. در سایر حالت‌های شکل ۱-۱۲ مشاهده می‌شود که خط برازش داده شده به لبه بالایی ابر نقاط دارای الگو می‌باشد و با یک خط افقی قابل توصیف نیست، بلکه به دو یا چند خط نیاز می‌باشد تا تغییرات بالاترین عملکردها (نقاط قرار گرفته در لبه بالایی ابر نقاط) در مقابل x توصیف شود. بنابراین، با روش خط مرزی می‌توان متغیرهای کمّی را به دو گروه مؤثر و غیر مؤثر از نظر ایجاد خلأ عملکرد تقسیم کرد. گروه غیر مؤثر آن‌هایی هستند که الگویی نشان نمی‌دهند مثل $x1$ (شکل ۱-۱۲ الف) و گروه مؤثر آن‌هایی که دارای الگو هستند مثل $x2$، $x3$ و $x4$ (شکل ۱-۱۲ ب، ج، د). در حالت‌های $x2$ (ب)، $x3$ (د) و $x4$ (ج) نیز خط افقی که به بالای ابر نقاط برازش داده می‌شود، پتانسیل عملکرد را نشان می‌دهد.

نقش همه متغیرهای مؤثر در ایجاد خلأ یکسان نیست و اهمیت یکسانی ندارند.از تندی شیب خط یا خطوط شیب‌دار در حالت‌های $x2$، $x3$ و $x4$ و نیز درصد نقاطی که در خارج از محدوده خط افقی قرار می‌گیرند می‌توان به اهمیت متغیر در ایجاد خلأ پی برد و مقادیری از متغیر که باعث

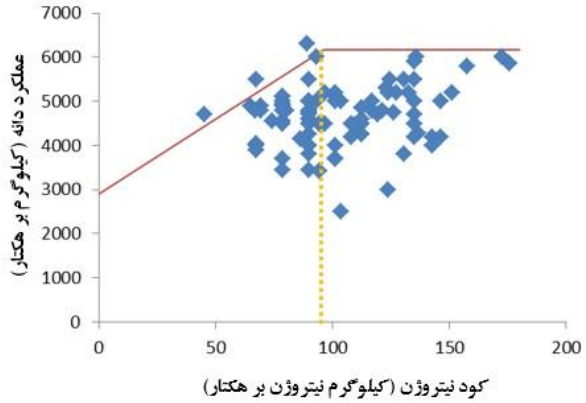
ایجاد خلأ نمی‌شوند را شناسایی کرد. به همین ترتیب، در حالت‌های ب، ج و د در شکل ۱-۱۲ اهمیت متغیر در ایجاد خلأ با استفاده از بزرگی و کوچکی مساحت بخش رنگی شده در شکل (ناحیه کاهش عملکرد) قابل ارزیابی است. برای مثال، در شکل ۱-۱۲ متغیر $x3$ (د) در ایجاد خلأ مهمتر از متغیر $x2$ (ب) بوده است. در شکل ۱-۱۲ نقاطی که "زیر" خطوط برازش یافته قرار دارند، مزارعی هستند که در آن‌ها عملکرد در اثر سایر عوامل (متغیرها) غیر از متغیر مورد بررسی محدود شده است. برای مثال، در حالت ج شکل ۱-۱۲ اختلاف عملکرد مزارع ۱ و ۲ در وهله اول ناشی از استفاده کمتر از حد مطلوب از متغیر $x3$ در مزرعه ۱ است. اما اختلاف عملکرد در مزرعه ۴ و ۱ ناشی از مطلوب نبودن سایر عوامل در مزرعه ۴ است چون هر دو مزرعه ۱ و ۴ مقدار یکسانی از $x3$ دریافت داشته‌اند. همین منطق برای مقایسه مزرعه ۳ و ۵ نیز صادق است. تحلیل خط مرزی برای $x3$ نمی‌تواند بگوید که کدام متغیرهای مدیریتی باعث کاهش عملکرد مزرعه ۴ در مقایسه با ۱ یا ۵ در مقایسه با ۳ بوده‌اند. اما، وقتی تحلیل خط مرزی برای مجموعه‌ای از متغیرها به کار گرفته می‌شود، متغیرهایی که دارای الگو هستند (مثل $x2$، $x3$ و $x4$ در مثال شکل ۱-۱۲) مهمترین متغیرهای مسئول کاهش عملکرد به عنوان سایر متغیرها می‌باشند.

برای درک بهتر تحلیل خط مرزی یک مثال واقعی مربوط به گندم در گرگان ارائه می‌شود (شکل ۱-۱۳) (حجارپور و همکاران، ۱۳۹۴). در این شکل رابطه میزان مصرف کود نیتروژن و عملکرد گندم در مزارع مختلف نشان داده شده است. در روش BLA برای این مثال ابتدا نقاط قرار گرفته در لبه بالایی ابر نقاط با چشم انتخاب می‌شوند (روش‌های آماری هم برای انتخاب این نقاط وجود دارد؛ حجارپور و همکاران، ۲۰۱۸). سپس دو خط به لبه‌ی بالایی ابر نقاط برازش داده می‌شود (خطوط قرمزرنگ). خط افقی بیانگر بالاترین عملکردها یعنی پتانسیل عملکرد است که ۶۱۶۴ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است. محل تقاطع دو خط "شیب‌دار" و "افقی" حداقل میزان کود نیتروژن برای دستیابی به پتانسیل عملکرد را نشان می‌دهد که برابر ۹۶ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است. (خط نقطه‌چین عمودی).

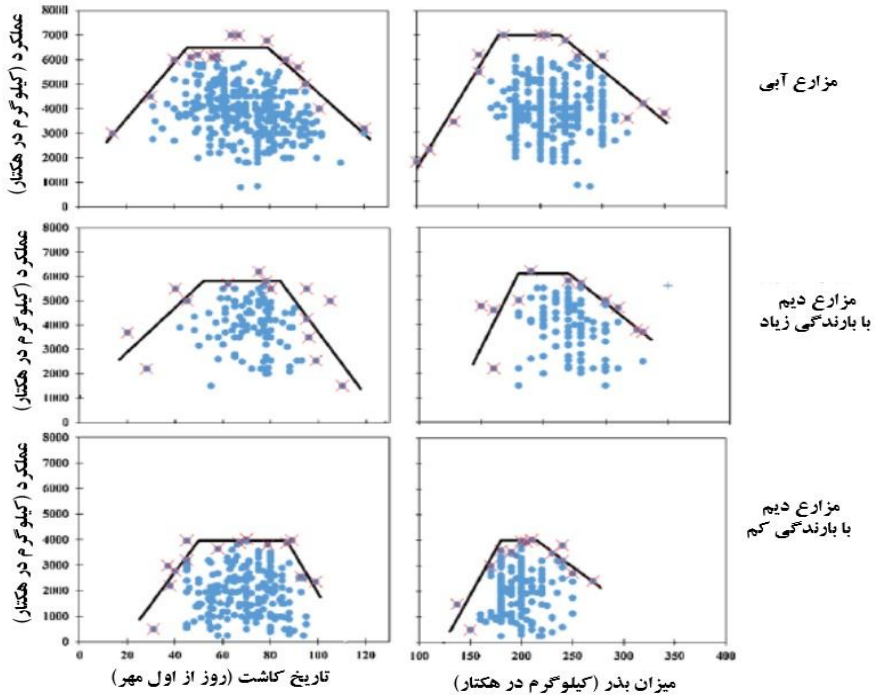


شکل ۱-۱۲- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل متغیرهای مدیریتی. خط پررنگ (حاصل برازش نقاط مرزی) حداکثر عملکرد برای هر سطح متغیر و خط‌چین متوسط عملکرد کشاورزان را نشان می‌دهد. خط افقی پتانسیل عملکرد است. خلأ عملکرد اختلاف بین عملکرد واقعی و پتانسیل عملکرد می‌باشد (حجارپور و همکاران، ۲۰۱۸).

شمارش نقاط (مزارع) در سمت چپ این خط نشان می‌دهد که ۴۸ درصد کشاورزان در ناحیه مورد بررسی کمتر از حداقل مطلوب کود مصرف کرده‌اند. حال ممکن است این پرسش مطرح شود که چرا تعداد زیادی از کشاورزان که بیش از حداقل مطلوب کود مصرف کرده‌اند به عملکرد پتانسیل دست نیافته‌اند (نقاط زیر خط افقی)؟ پاسخ این سؤال به مدیریت سایر عملیات بازمی‌گردد. ممکن است کشاورزی کود نیتروژن را به میزان مناسب (مثلاً ۱۰۰ کیلوگرم) مصرف کرده ولی در مدیریت آبیاری یا آفات و بیماری‌ها ضعیف عمل کرده باشد یا ممکن است کود لازم را در تعداد تقسیط مناسب در زمان‌های مناسب به کار نبرده باشد. انجام تحلیل BLA فهرستی از متغیرهای مؤثر را مشخص خواهد ساخت.



شکل ۱-۱۳- تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد دانه گندم در مزارع کشاورزان در گرگان. توضیحات در متن آمده است (حجارپور و همکاران، ۱۳۹٤).



شکل ۱-۱٤- تأثیر میزان بذر (کیلوگرم بر هکتار) و تاریخ کاشت (روز از اول مهر) بر عملکرد دانه گندم در سه سیستم مزارع آبی، مزارع دیم با بارندگی زیاد و مزارع دیم با بارندگی کم (کیلوگرم بر هکتار) در استان گلستان (حجارپور، ۲۰۱۸).

حجارپور و همکاران (۲۰۱۸) با روش BLA تأثیر عوامل مختلف در خلأ عملکرد گندم در استان گلستان را بررسی نمودند که برای نمونه نتایج حاصله برای تاریخ کاشت و میزان بذر در شکل ۱-۱۴ نشان داده شده است. ایشان تحلیل را برای سه شرایط مزارع آبی، مزارع دیم در مناطق با بارندگی زیاد و مزارع دیم در مناطق با بارندگی کم جداگانه انجام دادند. در جدول ۱-۶ نیز خلاصه نتایج ایشان برای متغیرهای مختلف ارائه شده است.

جدول ۱-٦- نتایج تحلیل خط مرزی به همراه برآورد پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد گندم در استان گلستان (حجارپور و همکاران، ۲۰۱۸).

مدیریت یا نهاده ورودی	حداقل	حداکثر	بهینه	مزارع خارج از حد مطلوب	عملکرد پتانسیل	خلأ عملکرد	خلأ عملکرد*
				درصد	تن در هکتار		درصد
گندم آبی با میانگین عملکرد ۳/۹ تن در هکتار از ۳۴۹ مزرعه							
تاریخ کاشت (روز از اول مهر)	۱۴	۱۲۰	۷۹-۴۵	۳۴	۶/۵±۰/۱	۲/۶±۰/۲	۳۹
میزان بذر (کیلوگرم در هکتار)	۱۰۰	۳۰۰	۲۱۶-۱۶۶	۴۰	۷/۰±۰/۱	۳/۱±۰/۱	۴۴
کود نیتروژن (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۰	۲۲۵	۹۵ <	۵۰	۶/۹±۰/۱	۳/۰±۰/۱	۴۳
کود نیتروژن پس از کاشت (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۰	۱۹۳/۲	۹۴ <	۶۲	۷/۰±۰/۰	۳/۱±۰/۱	۴۴
تعداد تقسیط کود نیتروژن	۰	۶	۲ <	۸	۷/۰±۰/۱	۳/۱±۰/۱	۴۴
کود فسفر (کیلوگرم در هکتار P2O5)	۰	۱۱۵	۵۰ <	۸۹	۷/۰±۰/۱	۳/۱±۰/۱	۴۳
کود پتاسیم (کیلوگرم در هکتار K2O)	۰	۹۰	۳۳ <	۹۳	۷/۰±۰/۰	۳/۱±۰/۱	۴۴
تعداد آبیاری	۰	۶	۲ <	۷۴	۶/۷±۰/۳	۲/۸±۰/۳	۴۱
میانگین					۶/۹±۰/۲	۲/۹±۰/۲	۴۳
گندم دیم عملکرد بالا با میانگین عملکرد ۴/۰ تن در هکتار از ۱۱۹ مزرعه							
تاریخ کاشت (روز از اول مهر)	۲۰	۱۱۰	۸۴-۵۲	۲۲	۵/۸±۰/۱	۱/۸±۰/۱	۳۱
میزان بذر (کیلوگرم در هکتار)	۱۵۰	۳۰۰	۲۲۰-۱۸۰	۴۵	۶/۰±۰/۱	۲/۰±۰/۲	۳۳

مدیریت یا نهاده ورودی	حداقل	حداکثر	بهینه	مزارع خارج از حد مطلوب	عملکرد پتانسیل	خلأ عملکرد	خلأ عملکرد*
				درصد	تن در هکتار		درصد
کود نیتروژن (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۲۸	۱۵۶	< ۹۳/۲	۶۱	۵/۷±۰/۱	۱/۷±۰/۱	۳۰
کود نیتروژن پس از کاشت (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۲۵/۳	۱۴۴/۵	< ۹۱/۴	۵۰	۵/۸±۰/۲	۱/۸±۰/۲	۳۲
تعداد تقسیط کود نیتروژن	۱	۴	< ۲	۶	۵/۹±۰/۲	۱/۹±۰/۲	۳۲
کود فسفر (کیلوگرم در هکتار P_2O_5)	۰	۹۲	< ۱۹/۲	۱۶	۵/۹±۰/۲	۱/۹±۰/۲	۳۲
کود پتاسیم (کیلوگرم در هکتار K_2O)	۰	۴۵	< ۳۰	۹۶	۵/۵±۰/۲	۱/۵±۰/۲	۲۸
میانگین					۵/۸±۰/۱	۱/۸±۰/۱	۳۱
گندم دیم عملکرد پایین با میانگین عملکرد ۰/۲ تن در هکتار از ۲۱۶ مزرعه							
تاریخ کاشت (روز از اول مهر)	۳۱	۹۹	۵۰/۸	۱۷	۴/۰±۰/۰	۲/۰±۰/۱	۵۰
میزان بذر (کیلوگرم در هکتار)	۱۳۷	۲۵۰	۱۸۰– ۲۱۵	۲۲	۴/۰±۰/۰	۲/۰±۰/۱	۵۱
کود نیتروژن (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۰	۱۰۱/۲	۲۳–۶۹	۱۳	۳/۹±۰/۰	۲/۰±۰/۱	۵۰
کود نیتروژن پس از کاشت (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۰	۹۲	۱۱/۵– ۵۱	۲۹	۴/۰±۰/۰	۲/۰±۰/۱	۵۱
تعداد تقسیط کود نیتروژن	۰	۴	< ۱	۴	۳/۸±۰/۱	۱/۹±۰/۱	۴۹
کود فسفر (کیلوگرم در هکتار P_2O_5)	۰	۸۳	< ۲۰/۴	۴۰	۳/۹±۰/۱	۱/۹±۰/۱	۴۹
کود پتاسیم (کیلوگرم در هکتار K_2O)	۰	۴۸	–	–	–	–	–
میانگین					۳/۹±۰/۰	۲/۰±۰/۱	۵۰

* درصد نشان‌دهنده شاخص خلأ عملکرد هر متغیر در مدیریت یا نهاده‌های ورودی نیست اما نشان‌دهنده‌ی خلأ عملکرد در شرایط تولیدی است.

۱-۳-۵- سایر نکات

این‌که بین عملکرد واقعی کشاورزان و پتانسیل عملکرد خلأ وجود دارد ناشی از انجام مدیریت تولید به‌صورت غیر مطلوب در مزارع کشاورزان است، مثل تاریخ کاشت نامناسب، مدیریت کود

و آب غیر مطلوب، مدیریت ناکارآمد آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و نظیر این‌ها. این مدیریت غیر مطلوب خود ممکن است به دلایل زیر اتفاق افتاده باشد (فن دیجکت و همکاران، ۲۰۱۷؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۲۱):

- *ناشی از قیمت، وام، بهره، ریسک:* اگر قیمت محصول کم باشد، برای کشاورز صرفه اقتصادی ندارد تا کود و یا سم به‌اندازه کافی و با مدیریت صحیح مصرف کند و یا ممکن است چون پول نداشته باشد و نتواند از بانک نیز وام اخذ کند، از انجام مدیریت مطلوب ناتوان باشد. در بسیاری از مواقع عامل اصلی بسیاری از مشکلات مدیریتی در مزرعه قیمت محصول است، اگر قیمت محصول افزایش پیدا کند، این مشکلات خودبه‌خود توسط کشاورز رفع می‌شوند.
- *ناشی از دسترسی به نهاده‌ها و ماشین‌آلات:* برخی مواقع عدم دسترسی به نهاده‌ها و ماشین‌آلات باعث عدم مدیریت مطلوب می‌شود، مثلاً ممکن است کشاورز بداند که عامل کاهش عملکرد در مزرعه‌اش وجود لایه سخت زیرین در خاک است، اما تراکتور و ادوات مناسب برای رفع آن را نداشته باشد. یا ممکن است کشاورز بداند که باید ۱۰۰ کیلوگرم کود استفاده کند ولی کود در بازار موجود نباشد. مشابه این ممکن برای سایر ادوات نیز پیش بیایید.
- *ناشی از زیرساخت‌ها (جاده، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی):* گاهی عدم وجود زیرساخت مناسب مثل جاده، وسایل حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی باعث می‌گردد که مدیریت و عملکرد کشاورز تحت تأثیر قرار گیرد. مثلاً کشاورزی انگور تولید می‌کند، اما برای ذخیره‌سازی آن و ارسال آن به بازار مشکل دارد و هر سال بخشی قابل‌توجهی از محصول او تلف می‌شود. در این صورت دیگر انگیزه‌ای برای افزایش عملکرد نخواهد داشت.

بنابراین، عامل اصلی خلأ عملکرد، اقداماتی است که کشاورز در مزرعه انجام می‌دهد ولی ممکن است این اقدامات خود معلول عوامل دیگری در پشت‌صحنه باشند که بایستی این عوامل را اصلاح کنیم تا سایر مدیریت تولید در مزارع درست گردد. با این حال، بخشی از خلأ عملکرد مدیریت نامناسب مزرعه توسط کشاورز است بدون آن‌که عوامل ذکر شده در بالا دخالت داشته باشند. این بخش از خلأ عملکرد با بهبود ترویج و انتقال دانش از کشاورزان پیشرو و مراکز تحقیقاتی به سایر کشاورزان قابل رفع است. برای رفع دیگر بخش‌های خلأ عملکرد اقدامات

دیگری نیاز است که عبارتند از(فن دیجک و همکاران، ۲۰۱۷):

۱- اعتبار، بیمه، شبکه‌ی فروش، توزیع و صادرات و شبکه اطلاعات بازار توسعه یابد. یارانه‌دهی به نهاده‌ها هوشمند گردد و سیستم زمین‌داری و قوانین وراثت زمین اصلاح شود.

۲- در جاده‌های روستایی و تولید داخلی ماشین‌آلات و کودها سرمایه‌گذاری بیشتری صورت پذیرد.

۳- تکنولوژی، سیاست‌ها و روش‌های تحول‌ساز گسترش یابد.

در ارزیابی‌هایی که در مزارع کشاورزان صورت می‌گیرد باید به نکات زیر توجه شود:

۱- جایگزینی متغیرها: به‌عنوان‌مثال گاهی کود نیتروژن به‌اندازه یا به مقدار مناسب مصرف می‌شود ولی عملکرد کم شده است، در این حالت ممکن است نیتروژنی که مصرف شده، باعث افزایش بیماری شده باشد و علیه آن بیماری، سم‌پاشی انجام نگرفته باشد و به این طریق عملکرد کاهش یافته است. در چنین شرایطی افراد کم تجربه ممکن است نتیجه بگیرند مصرف نیتروژن باعث کاهش عملکرد شده است. یا در مثالی که در این‌جا ارائه شد ملاحظه شد که بین تجربه کشاورز و عملکرد رابطه منفی وجود دارد درحالی‌که علت واقعی و تفسیر مناسب این است که کشاورزان قدیمی و مسن به یافته‌های جدید کمتر توجه دارند.

۲- نبود مزارع خوب: گاهی ممکن است در ارزیابی‌ها، مزارع خوب وجود نداشته باشد، در این حالت محقق نمی‌تواند عملیات مناسب شناسایی کند.

۳- وقتی‌که محقق دلایل خلأ عملکرد در یک منطقه را ارزیابی می‌کند باید توجه داشته باشد که این دلایل برای همان اقلیم، همان سیستم زراعی و همان مدیریت زراعی منطقه مورد مطالعه صادق است. بنابراین، اگر سیستم زراعی تغییر کند، دلایل خلأ عملکرد نیز ممکن است تغییر کنند. به‌عنوان‌مثال، ممکن است روش‌های خاک‌ورزی رایج مورد استفاده کشاورزان به خاک‌ورزی حفاظتی تغییر یابد. در این حالت چون سیستم زراعی تغییر کرده است، ممکن است دلایل خلأ عملکرد نیز متفاوت باشند و لازم است دوباره مورد ارزیابی قرار گیرند. به همین ترتیب، اگر شرایط اقلیمی منطقه تغییر کند، ضروری است که دوباره ارزیابی خلأ

صورت گیرد.

۴- باید توجه داشت که وقتی دلایل خلأ عملکرد ارزیابی، شناسایی و برطرف می‌شوند، یک سری از عواملی که درجه دو بوده‌اند و اهمیت کمتری داشته‌اند، اهمیت پیدا می‌کنند. بنابراین، برای این‌که بتوان همه‌ی عوامل را شناسایی نمود بایستی پایش و ارزیابی‌های خلأ عملکرد مستمر و پیوسته باشد یعنی هر ۴ یا ۵ سال یک بار ارزیابی جدیدی از مزرعه یا منطقه انجام گیرد تا دلایل خلأ عملکرد شناسایی و برطرف شوند.

۱-٤- اهمیت و کاربرد

تأمین امنیت غذایی همراه با حفظ محیط‌زیست از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی بشر است، به‌ویژه این که پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۰ میلیارد نفر برسد (کسمن، ۲۰۱۲). از سوی دیگر، اغلب برنامه‌های افزایش تولید و بهبود امنیت‌غذایی دارای نگرانی‌های جدی زیست‌محیطی هستند. حال باید دید رفع و یا کاهش خلأ عملکرد چه نسبتی با امنیت غذایی و حفظ محیط‌زیست دارد؟

بدون تردید رفع خلأ عملکرد باعث افزایش تولیدات کشاورزی می‌شود (حداقل در کوتاه مدت و احتمالا میان مدت) و از این طریق به امنیت غذایی کمک می‌کند. اما، آیا رفع خلأ عملکرد که معمولاً مستلزم مصرف بیشتر نهاده‌های بیرونی است (مثل آب، کود، سم و غیره)، برای محیط‌زیست مضر نیست؟ برای این‌که خلأ عملکرد رفع گردد بایستی مدیریت مزرعه فشرده شود و در بسیاری منابع گفته شده مدیریت فشرده[1] در مقایسه با مدیریت کم نهاده[2] برای محیط‌زیست ضرر بیشتری دارد (آرنون، ۱۳۷۷).

برای بررسی این موضوع باید توجه داشت که در تولیدات کشاورزی باید بین تولید و نیاز (تقاضا) تعادل برقرار گردد، یعنی جمعیتی از بشر وجود دارد که باید برای آن‌ها به مقدار کافی غذا (مثل گندم) تهیه شود. یک راه برای حفظ این تعادل این است که نیاز کاهش یابد و برای این

[1] Intenssive
[2] Low input

منظور دو روش مهم وجود دارد: (۱) کاهش تلفات - ضایعات محصولات کشاورزی و مواد غذایی، و (۲) تغییر رژیم غذایی به سوی استفاده بیشتر از محصولات گیاهی (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸ ب؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۲۰c). بحث بیشتر در مورد روش‌های کاهش نیاز به محصولات کشاورزی خارج از حوزه این فصل است. اما، بسیاری اوقات با وجود کاهش تقاضا باز هم نیازمندی به محصولات بیشتر وجود دارد که باید با افزایش تولید تأمین گردد. افزایش تولیدات کشاورزی به دو طریق قابل انجام است:

(۱) افزایش سطح زیر کشت، و

(۲) افزایش تولیدات در واحد سطح.

اگر بخواهیم سطح زیر کشت را افزایش دهیم، در بسیاری نقاط کره‌ی زمین، از جمله کشورمان، دیگر زمین مناسب وجود ندارد و یا اگر زمین باشد، آب نیست. مهمتر این‌که خسارت زیست محیطی (مثل زوال و نابودی تنوع زیستی یا انتشار گازهای گلخانه‌ای) ناشی از افزایش تولید از طریق افزایش سطح زیر کشت به مراتب بیشتر از آن است که از طریق فشرده‌سازی، تولیدات کشاورزی را افزایش دهیم (سلطانی و میرزایی، ۱۴۰۰). به‌عنوان‌مثال، فرض کنید که ۱۵ تن گندم برای آذوقه‌ی چند خانواده برای یک سال نیاز است. این ۱۵ تن را می‌توان در ۵ هکتار زمین تولید کرد، یعنی هر هکتار ۳ تن، در حالتی دیگر، این ۱۵ تن را می‌شود در ۳ هکتار زمین تولید گردد، یعنی هر هکتار ۵ تن و ۲ هکتار زمین کمتر. در حالت اخیر که مبتنی بر فشرده‌سازی است به جای ۵ هکتار، ۳ هکتار زمین‌های جنگلی یا مرتعی به کشاورزی تبدیل می‌شود، به جای ۵ هکتار در ۳ هکتار زمین تأسیسات آبیاری ایجاد و استفاده می‌شود و نیز ماشین‌آلات و ادوات و سوخت و کود و سم و نظیر این‌ها در ۳ هکتار زمین استفاده می‌شود که خسارات آن برای محیط‌زیست کمتر است (سلطانی و میرزایی، ۱۴۰۰). بنابراین، در مجموع و صرف نظر از استثنائات، رفع خلأ عملکرد برای محیط‌زیست نیز بهتر است. فشرده‌سازی و رفع خلأ در واقع به این معناست که از هر واحد منابع (زمین، آب و غیره) و نهاده (کود، سم و غیره)، تولید بیشتری کسب کنیم که برای این منظور باید بهره‌وری یا کارایی افزایش یابد و مدیریت علمی در تولید پیاده‌سازی شود.

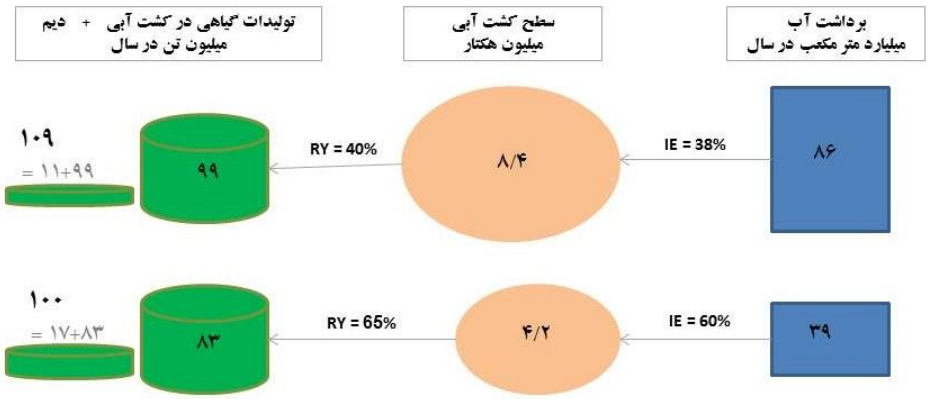
در کشور ما نیز توجه به خلأ عملکرد و رفع آن مزایای زیادی به دنبال دارد. بیان شد که عملکردهای فعلی در ایران حدود ۴۰ درصد عملکردهای پتانسیل هستند یعنی از ۴۰ درصد ظرفیت عملکرد ارقامی که در حال حاضر وجود دارند، استفاده می‌کنیم. بنابراین، انتظار می‌رود در آینده بیشترین افزایش در عملکرد از سرمایه‌گذاری بیشتر برای بهبود مدیریت در مزارع حاصل گردد. در دهه‌های گذشته، تاکید زیادی بر بهبود ژنتیکی شده است و از توجه به به‌زراعی برای رفع خلأ عملکرد تا حدود زیادی غفلت شده است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷).

از طرف دیگر، در کشور ما برداشت آب برای مصارف کشاورزی بیش از حد صورت می‌گیرد، به‌طوری‌که از سهم طبیعت بر می‌داریم و در کشاورزی مصرف می‌کنیم یعنی آبی که باید به دریاچه ارومیه یا تالاب‌های کشور بریزد یا در رودخانه‌ها مثل زاینده رود و کارون جاری باشد را به زمین‌های کشاورزی انتقال داده و با بهره‌وری پایین مصرف می‌کنیم. در نتیجه، بسیاری از تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌های خود را از دست داده و می‌دهیم. خسارت این پیامدها به سیستم‌های کشاورزی باز خواهد گشت، برای مثال، این‌طور نیست که رودخانه‌ای خشک شود و هیچ مشکلی برای بخش کشاورزی به دنبال نداشته باشد. صدمات این پیامدها از طریق افزایش فرونشست زمین، تشدید فرسایش خاک، تضعیف پوشش‌های گیاهی و زیست‌گاه‌های طبیعی، توفان‌های گرد و غبار، بیابانی شدن، زوال و نابودی تنوع زیستی با تاخیر به سیستم‌های کشاورزی باز می‌گردد و تولیدات کشاورزی کاهش پیدا می‌کند (سلطانی و میرزایی، ۱۴۰۰). بنابراین، کاهش برداشت آب برای کشاورزی یک ضرورت است ولی کاهش سطح زیر کشت و تولیدات کشاورزی را به دنبال خواهد داشت که رفع خلا عملکرد می‌تواند این کاهش را جبران کند (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ۱۳۹۸ ب؛ ۲۰۲۰c) در حالی که محیط‌زیست و طبیعت با نشاطی هم داشته باشیم. بر اساس اعلام وزارت نیرو حدود ۳۰ درصد برداشت فعلی آب برای کشاورزی اضافه برداشت است و مطابق مصوبات هیئت وزیران این اضافه برداشت باید اصلاح شود. سلطانی و همکاران (۱۳۹۸ب) نیز نشان دادند که اگر شرایط پایدار را مدنظر قرار دهیم بیش از ۵۰ درصد برداشت فعلی آب برای کشاورزی اضافه برداشت می‌باشد.

در حال حاضر در کشور ما سالیانه ۸۶ میلیارد مترمکعب آب از رودخانه‌ها و چاه‌ها برداشت

می‌شود و در ۸/۴ میلیون هکتار زمین (سطح کشت آبی) به تولید محصولات کشاورزی اختصاص می‌یابد. اما، آب مصرفی در مزارع (در تبخیرتعرق) ۳۸ درصد مقدار آب برداشت شده است، بدین معنی که بیش از ۶۰ درصد آب برداشت‌شده برای کشاورزی در فرآیند انتقال و کاربرد آب در مزارع هدر می‌رود[1]. در اراضی آبی کشور نیز با ۴۰ درصد پتانسیل (ظرفیت)، تولید صورت می‌گیرد و کل تولیدات گیاهی (آبی) برابر ۹۹ میلیون تن در سال است. در اراضی دیم نیز ۱۱ میلیون تن در سال تولیدات انجام می‌شود که روی هم کل تولیدات گیاهی کشور (دیم و آبی) برابر با ۱۰۹ میلیون تن در سال می‌باشد (شکل ۱-۱۵). حال اگر ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال را به نصف کاهش دهیم (از ۸۶ به ۳۹ میلیارد مترمکعب در سال) یعنی سهم طبیعت را کنار بگذاریم تا جلوی مشکلات زیست‌محیطی گسترده گرفته شود، شادابی به طبیعت کشور بازگردد و برای نسل آینده هم باقی بماند، سطح زیر کشت از ۸/۴ به ۴/۲ میلیون هکتار کاهش پیدا می‌کند؛ یعنی اراضی که می‌توانیم آبیاری کنیم نصف می‌شود. حال اگر به جای ۳۸ درصد، ۶۰ درصد آب برداشت شده را در مزارع به مصرف برسانیم و اگر خلأ عملکرد را از ۶۰ درصد کنونی به ۳۵ درصد کاهش دهیم (فشرده‌سازی: افزایش عملکرد نسبی از ۴۰ درصد کنونی به ۶۵ درصد)، میزان تولیدات کشاورزی در اراضی آبی به ۸۳ میلیون تن خواهد رسید. اگر این رفع خلأ در اراضی دیم نیز انجام گیرد، در آن‌جا هم تولیدات از ۱۱ به ۱۷ میلیون تن افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه کل تولیدات کشاورزی (دیم و آبی) به ۱۰۰ میلیون تن می‌رسد. مشاهده می‌گردد که با کاهش ۵۰ درصدی برداشت آب در کشور، تولیدات کشاورزی کشور نصف نشده بلکه حدود ۸ درصد کاهش یافته است که قابل تحمل است.

[1] گفته شده حدود ۵۰ درصد از این آب هدررفته مجددا به اکوسیستم‌های طبیعی بازمی‌گردد



شکل ۱-۱۵- نقش کاهش خلأ عملکرد و بهبود مدیریت انتقال و کاربرد آب در افزایش تولیدات کشاورزی در شرایطی که برداشت منابع آب برای کشاورزی به کمتر از نصف مقدار کنونی کاهش یابد (تهیه شده براساس یافته های سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸ ب).

پرداختن به جزییات بیشتر خارج از حوصله این فصل است (برای جزییات به سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸ب مراجعه شود)، اما به چند نکته اشاره می‌شود:

- بخش قابل توجهی از زمین‌های کنونی کشاورزی از کیفیت خوبی برای کشاورزی برخوردار نیستند (حدود ۵۰ درصد؛ مسگران و همکاران، ۲۰۱۶) و کشاورزی با راندمان پایین در آن‌ها باعث اتلاف منابع و نهاده‌ها است. استفاده از تناوب‌های پیچیده‌تر، گسترش اگروفارستری، ایجاد و توسعه مرزها و لکه‌های گیاهان طبیعی درون و بین مزارع، عدم کشت در این زمین‌ها و برگرداندن آن‌ها به حالت طبیعی اولیه به ویژه زمین‌های شیب‌دار، کم کیفیت و حاشیه احجام آبی منافع زیست‌محیطی زیادی دارد مثل ارتقا تنوع زیستی، کمک به سازگاری با تغییر اقلیم، کمک به مدیریت پایدار منابع خاک (کاهش فرسایش، بیابانی شدن و توفان‌های گردو غبار)، افزایش پایداری و تاب‌آوری اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی، به دنبال خواهد داشت.
- برای فشرده سازی و رفع خلأ عملکرد، سرمایه‌گذاری، آموزش و گذر زمان نیاز است. کوچک بودن مزارع در کشور عاملی است که جذب سرمایه‌گذاری و آموزش را دشوار ساخته و اقدامات مرتبط را بی اثر می‌گذارد. در این راه یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی و

شاید تغییر قوانین وراثت اجتناب ناپذیر باشد.

- در کنار فشرده سازی، تغییر الگوی تولید (کشت) شرایط بهتری را ایجاد خواهد کرد و باید مورد توجه قرار گیرد.
- فشرده سازی هزینه‌های زیادی لازم دارد و باید خسارات وارده به کشاورزانی که سطح زیرکشت و تعداد دام‌های خود را کاهش می‌دهند، جبران گردد. اما، این هزینه در برابر فواید آن و نیز هزینه‌ای که باید در آینده برای مشکلات زیست‌محیطی صرف شود و در کنار بازگرداندن شادابی و پایداری به طبیعت و کشاورزی کشور، ناچیز است.

فهرست منابع

آرنون، ای. ۱۹۷۲. اصول و عملیات کشاورزی در مناطق خشک. ۱۳۷۷. ترجمه کوچکی، ع و سلطانی، ا. ۱۳۷۷. نشر آموزش کشاورزی. ۹۸۴ صفحه.

احمدی علیپور، ح.، ا. سلطانی، ح. کاظمی، ع. نه بندانی. ۱۳۹۷. پهنه بندی استان گلستان از نظر توان و خلا تولید گندم با استفاده از مدل شبیه سازی SSM-Wheat. به زراعی کشاورزی. دوره ۲۰، شماره ۱، صفحه ۱۲۹ تا ۱۴۴.

حجارپور، ا.، سلطانی، ا.، ترابی، ب. ۱۳۹۴. استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلا عملکرد: مطالعه موردی گندم در گرگان. نشریه تولید گیاهان زراعی. جلد ۸، شماره ۴، ص. ۱۸۳ تا ۲۰۱.

حجارپور، امیر، افشین سلطانی، ابراهیم زینلی، حبیب الله کشیری، امیر آینه بند، محمد ناظری، ۱۳۹۶. ارزیابی خلا عملکرد گندم با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد () در استان گلستان. مجله علوم زراعی ایران (انجمن). جلد ۱۹، شماره ۲، تابستان ۹۶، صفحه ۸۶ تا ۱۰۱.

ترابی، ب.، ا. سلطانی، س. گالشی، ا. زینلی. ۱۳۹۲. بررسی اثر رژیم آبیاری در ایجاد خلا عملکرد گندم در منطقه گرگان. مجله پژوهش های تولید گیاهی، جلد ۲۰، شماره ۲، ص. ۷۳ تا ۹۳.

سلطانی، ا.، **ا.** سلطانی. ۱۳۹۳. لزوم استفاده از فرا تحلیل (متا آنالیز) در پژوهش های علوم زراعی. نشریه تولید گیاهان زراعی. جلد ۷، شماره ۳، ص. ۲۰۳ تا ۲۱۶.

سلطانی، ا.، ترابی، ب.، گالشی، س. و زینلی، ا. ۱۳۸۹. تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد گندم در شرایط گرگان با روش CPA. گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

سلطانی، ا. نه بندانی، ع.، زینلی، ا.، ترابی، ب.، زند، ا.، قاسمی، ث.، الستی، ا.، دادرسی، ا.، حسینی، ر.، عالیمقام، س.م.، زاهد، م.، فیاضی، ح.، کمری، ح.، عرب عامری، ر.، محمدزاده، ز.، رهبان، س.، پورشیرازی، ش.،

محمدی، س.، کرامت، ص. ۱۳۹۷. اطلس خلا عملکرد و توان تولید گیاهان زراعی مهم در کشور در شرایط اقلیمی فعلی و آینده. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

سلطانی، ا.، ع، نه‌بندانی.، س، م، عالیمقام.، ا، دادرسی.، ب، ترابی.، ا، زینلی.، ا، زند.، ث، قاسمی.، ح، بارانی.، ا، الستی.، ر، حسینی.، م، زاهد.، ح، فیاضی.، ح، کمری.، ر، عرب عامری.، ز، محمدزاده.، س، رهبان.، ش، پورشیرازی.، س، محمدی.، ص، کرامت.، ن، سوسرایی.، م، آشناور و م، احمدی. ۱۳۹۸ الف. مدل‌سازی رشد و تولید پوشش‌های گیاهی در سطح وسیع با SSM-iCrop2: گیاهان زراعی، سبزیجات، باغات میوه و مراتع. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

سلطانی، ا.، ا، زند.، س، م، عالیمقام.، ع، نه‌بندانی.، ح، بارانی.، ا، سلطانی.، ب، ترابی.، ا، زینلی.، ش، میرکریمی.، ر، جولایی.، ت، خسرویان.، ا، حبیب‌پور کاشفی.، ص، جافرنوده.، ا، دادرسی.، ث، قاسمی.، س، رهبان.، ش، پورشیرازی.، ع، بهره‌مند.، ا، دهقانی.، ف، اشراقی.، م، بهمنی.، د، فتاح طالقانی.، ک، احمدی.، م، محمدرضایی.، ش، گلی.، ا، الستی.، ر، حسینی.، م، زاهد.، ح، فیاضی.، ح، کمری.، ر، عرب عامری.، ز، محمدزاده.، س، محمدی.، ص، کرامت.، ن، سوسرایی، م، آشناور.، م، احمدی و ر، تقدیسی نقاب. ۱۳۹۸ ب. تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ با مدل سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط‌زیست: چشم انداز و سیاست‌های لازم. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

سلطانی، ا.، ع. میرزایی. ۱۴۰۰. کشاورزی پایدار. انتشارات سیرنگ، گرگان.

شکرگزار دارابی، م.، ا. سلطانی، ا. زینلی. ۱۳۹۷. بررسی خلا عملکرد پنبه به روش آنالیز خط مرزی در شهرستان های آق قلا و علی آباد کتول در استان گلستان. نشریه تولید گیاهان زراعی. جلد ۱۱، شماره ۳، صفحه ۱۵ تا ۲۸.

نکاحی، م.ز.، ا. سلطانی، آ. سیاهمرگویی، ن. باقرانی. ۱۳۹۳. خلا عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی در گندم: مطالعه موردی استان گلستان–بندر گز. نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد ۷، شماره ۲، ص ۱۳۵ تا ۱۵۶.

نه بندانی، ع.، ا. سلطانی، ا. زینلی، ف. حسینی، ع. شاه حسینی، م. مهماندویی. ۱۳۹۶ الف. خلا عملکرد سویا در منطقه گرگان و علی آباد کتول با استفاده از آنالیز خط مرزی. نشریه بوم شناسی کشاورزی. جلد ۹، شماره ۳، صفحه ۷۶۰ تا ۷۷۶.

نه بندانی، ع.، ا. سلطانی، ا. زینلی، ف. حسینی. ۱۳۹۶ ب. تحلیل عوامل محدود کننده عملکرد سویا در شرایط گرگان و علی آباد کتول با استفاده از روش CPA. مجله کشاورزی بوم شناختی. جلد ۷، شماره ۱، صفحه ۱۹۰ تا ۱۲۳.

یوسفیان، م.، س. دستان، ا. سلطانی، ح. عجم نوروزی. ۱۳۹۷. تخمین خلا عملکرد ارقام بومی برنج با استفاده از دو

روش تحلیل مقایسه کارکرد و تابع خط مرزی (مطالعه موردی: استان مازندران-منطقه ساری). مجله پژوهش‌های به زراعی. جلد ۱۰، شماره ۳، صفحه ۲۶۵ تا ۲۸۸.

یوسفی داز، م.، ا. سلطانی، س. گالشی، ا. زینلی. ۱۳۹۳. بهینه سازی مدیریت نیتروژن کودی گندم در گرگان: مقدار و زمان مصرف کود نیتروژن. نشریه تولید گیاهان زراعی. جلد ۷، شماره ۴، ص. ۸۱ تا ۱۰۲.

Alberda, T. 1962. Actual and potential production of agricultural crops. Neth. J.Agric. Sci. 10: 325–332.

Cassman, K.G. 2012. What do we need to know about global food security? Global Food Security. 1:81-82.

FAO and DWFI. 2015. Yield gap analysis of field crops – Methods and case studies, by Sadras, V.O., Cassman, K.G.G., Grassini, P., Hall, A.J., Bastiaanssen, W.G.M., Laborte, A.G., Milne, A.E., Sileshi , G.,Steduto, P. FAO Water Reports No. 41, Rome, Italy.

Hajjarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, H., Aynehband, A., Vadez, V., 2018. Using boundary line analysis to assess the on-farm crop yield gap of wheat. Field Crops Res., 225, 64-73.

Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., Van Rees, H., Marinoni, O., Garcia, J.N., and Horan, H. 2012. Quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: a case study of wheat in Australia. Field Crops Res. 136, 85–96.

Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. Annu Rev Environ Resour. 34:179-204.

Mesgaran, M., Madani, K., Hashemi, H., and Azadi, P. 2016. Evaluation of Land and Precipitation for Agriculture in Iran, Working Paper 2, Stanford Iran 2040 Project, Stanford University, December 2016.

O'Neill, B.C., Dalton, M., Fuchs, R., Jiang, L., Pachauri, S., and Zigova, K. 2010. Globaldemographic trends and future carbon emissions. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.107 (41), 17521–17526.

Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C., Foley, J.A., 2013. Yield trends are insufficient todouble global crop production by 2050. PLoS One 8, e66428.

Silva, J.V., Reidsma, P., Baudron, F., Jaleta, M., Tesfaye, K., Van Ittersum, M.V., 2021. Wheat yield gaps across smallholder farming systems in Ethiopia Agronomy for Sustainable Development 41:12, https://doi.org/10.1007/s13593-020-00654-z

Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012a. Identifying plant traits to increase chickpea yield in water-limited environments. Field Crops Research. 133: 186–196.

Soltani, A., and T.R. Sinclair. 2012b. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. Eur. J. Agron. 38: 22-31.

Soltani, A., Hajjarpour, A., and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. Field Crops. Res. 185:21-30.

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E., Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., Hosseini, R.S., Zahed, M., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Kamari, H., Fayazi, H., Mohammadi, S., Keramat, S.,Vadez, V., Van Ittersum, M.K., and Sinclair, T.R. 2020a. SSM-iCrop 2: A simple model for diverse crop species over large areas. Agric. Syst. 182, 102855.

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Ghassemi, S., Vadez, V., Sinclair, T.R., and Van Ittersum, M.K. 2020b. Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. Agric. Syst. 183: 102859.

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Vadez, V., Van Loon, M.P., and Van Ittersum, M.K. 2020c. Future food self-sufficiency in Iran: A model-based analysis. Global Food Secur. 24: 100351.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., and Befort, B.L. 2011. Global food demand and thesustainable intensification of agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 108,20260–20264.

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E. 2011. Assessment of yield gap due to nitrogen management in wheat. Australian Journal of Crop Science. 5(7):879-884.

Van Dijk, M., Morley, T., Jongeneel, R., Van Ittersum, M.V., Reidsma, P., and Ruben, R. 2017. Disentangling agronomic and economic yield gaps: An integrated framework and application. Field Crop Res., 145: 90-99.

Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., and Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. Field Crops. Res. 143:4-17.

Analysis of Potential Yield and Yield Gap in Plant Production Systems

Afshin Soltani
Abdolrahman Mirzaei

9786226595179

2022