

## برآورد تفاوت عملکرد و بهره‌وری آب گندم بین وضعیت موجود و مطلوب در استان

### قزوین با استفاده از پروتکل GYGA

مهنوش جناب و بیژن نظری<sup>۱</sup>\*

دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره).

mahn.je@gmail.com

استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره).

binazari@ut.ac.ir

#### چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب، افزایش بهره‌وری آب برای دستیابی به امنیت آبی و امنیت غذایی اهمیت بالایی دارد. یکی از اقدامات اساسی در این حوزه، تعیین تفاوت عملکرد محصولات و بهره‌وری آب، بین وضع موجود و وضعیت مطلوب (پتانسیل) است. در این زمینه، این بررسی برای محصول گندم در استان قزوین و بر اساس پروتکل‌های GYGA که یک روش بین‌المللی است انجام شد. در ابتدا، نقشه پهنه‌بندی نواحی آب و هوایی استان به روش آمبرژه ترسیم شد. سپس عملکرد مطلوب (پتانسیل) گندم بر اساس نسخه پنج مدل Aquacrop برآورد شد. متوسط تفاوت عملکرد در سال‌های مورد مطالعه در مناطق مختلف آب و هوایی استان از ۴۵۰۲ تا ۶۲۷۱ کیلوگرم در هکتار بود و تفاوت بهره‌وری تبخیر و تعرق گندم از ۰/۵۶ تا ۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب و تفاوت بهره‌وری آب (آبیاری و بارش مؤثر) گندم از ۰/۵۷ تا ۰/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. نتایج اندازه‌گیری شده نشان داد در استان قزوین میانگین عملکرد گندم در شرایط موجود، برابر با ۳۷ درصد عملکرد مطلوب (پتانسیل) گندم است. همچنین، بهره‌وری نسبی تبخیر و تعرق ۰/۴۷ و شاخص بهره‌وری نسبی آب ۰/۳۱ است. این دو شاخص هر یک نشان از نسبت بین بهره‌وری در وضعیت موجود و بهره‌وری در وضعیت پتانسیل و مطلوب را دارند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تفاوت بین وضعیت مطلوب و موجود عملکرد و بهره‌وری آب بالاست. تفاوت عملکرد ۶۳ درصد عملکرد مطلوب و تفاوت بهره‌وری آب ۶۹ درصد بهره‌وری در وضعیت مطلوب است. لذا نقاط ضعف قابل توجهی در مدیریت تولید کشاورزی و مدیریت آبیاری وجود دارد و نشان از این دارد که فرصت‌های بالقوه‌ای برای تقویت این بخش‌ها و ارتقای بهره‌وری آب و کاهش فشار به منابع آب و افزایش امنیت غذایی وجود دارد.

واژگان کلیدی: بهره‌وری آب، تبخیر و تعرق، مدیریت آبیاری، Aquacrop

۱ - آدرس نویسنده مسئول: قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده فنی و مهندسی، گروه علوم و مهندسی آب.

\* - دریافت: تیر ۱۳۹۶ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۶

## مقدمه

امروزه اهمیت پژوهش و سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی به دلیل تأمین امنیت غذایی، برای جوامع بشری محرز شده است. لذا، اولویت‌بندی صحیح منابع مالی آبی محدود برای افزایش و بهبود تولید مواد غذایی ضرورت می‌یابد. بسمبندر و همکاران (۲۰۰۵) و پاسیورا (۲۰۰۶) معتقدند منابع آبی، برای تأمین مواد غذایی تحت فشار فزاینده هستند، بنابراین پرداختن به بهره‌وری آب که به معنای استفاده کارآمد از هر واحد آب است، از نظر تولید مواد غذایی و راندمان منابع آبی ضروری است. احسانی و خالدی (۱۳۸۱) عصاره اصلی و ساختار بنیادی مفهوم بهره‌وری آب کشاورزی را در استفاده صحیح از آب به همراه افزایش تولید محصولات کشاورزی می‌دانند.

گندم هم به دلیل استراتژیک بودن و هم به دلیل این‌که بیشترین سطح کشت را در بین محصولات کشاورزی در کشور به خود اختصاص داده، از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو، بررسی‌های مختلفی بر روی بهره‌وری آب در گندم انجام شده است. غلامی و همکاران (۱۳۹۴) میزان بهره‌وری آب آبیاری گندم را در دشت قزوین در سامانه‌های آبیاری بارانی بین ۰٫۶۱ تا ۲٫۲ کیلوگرم بر مترمکعب و در سامانه‌های سطحی بین ۰٫۴۳ تا ۱٫۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین نمودند. توکلی (۱۳۹۱) انواع مختلف بهره‌وری آب را که شامل بهره‌وری بارش، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری کل آب کاربردی (تک آبیاری و بارش) است را برای محصول گندم دیم محاسبه کرده و اعلام نموده طی مطلوب‌ترین برنامه تک آبیاری میزان بهره‌وری تک آبیاری بین ۱۱/۳ تا ۲۱/۳ کیلوگرم بر میلی‌متر است. کاویانی و همکاران (۱۳۹۰) میزان بهره‌وری آب را برای گندم با استفاده از تصاویر MODIS به‌طور متوسط ۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب و از داده‌های لایسیمتر ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آوردند. آن‌ها گزارش کردند که یک دلیل این امر می‌تواند شرایط ایده‌آل لایسیمتر برای تبخیر و تعرق باشد که این امکان برای مناطق همجوار آن وجود ندارد، بنابراین با توجه به این‌که اندازه پیکسل‌ها

بزرگتر از لایسیمتر است و زمان و مقدار آبیاری در مزارع مجاور با آبیاری در لایسیمتر هماهنگ نیست برآورد کمتر توسط مدل می‌تواند قابل توجیه باشد.

یکی از اجزای مهم در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و در سطح جهانی، تعیین فاصله بین عملکرد واقعی و عملکرد قابل‌دستیابی محصولات است که شکاف یا تفاوت عملکرد نامیده می‌شود (ون‌وارت و همکاران، b ۲۰۱۳). آنالیز شکاف عملکرد، برآورد استعداد یک منطقه برای تولید یک محصول خاص است که باعث جهت دادن به پژوهش‌ها شده و به برنامه‌ریزی و طراحی الگوهای کشت کمک موثری می‌کند (مقدادی و همکاران؛ ۱۳۹۳).

در سال‌های اخیر، آنالیز تفاوت عملکرد گیاهان زراعی در شرایط فعلی و مطلوب به‌صورت گسترده‌ای در جهان و در سطوح مختلف مورد بررسی قرار گرفته که از نظر وسعت می‌توان آن‌ها را در چهار سطح جهانی (نومان و همکاران، ۲۰۱۰؛ مولر و همکاران، ۲۰۱۲)، قاره‌ای (یوگارد و همکاران، ۲۰۱۳)، ملی (باتیا و همکاران، ۲۰۰۶؛ منگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ هاچمن و همکاران، ۲۰۱۳) و منطقه‌ای (لو و فان، ۲۰۱۳) قرار داد. با توجه به ضرورت تأمین امنیت غذایی در جهان، بیش‌تر این پژوهش‌ها بر روی غلات و به‌ویژه سه غله اصلی یعنی گندم، ذرت و برنج که تأمین‌کننده بخش زیادی از غذای بشر هستند، متمرکز بوده است.

ون ایتروسوم و همکاران (۲۰۱۳) به تحلیل تفاوت عملکرد محلی با جهانی بین شرایط فعلی و مطلوب پرداختند و تفاوت عملکرد را با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی محصول در غرب کنیا، نبراسکا (آمریکا) و ویکتوریا (استرالیا) محاسبه نمودند. این پژوهشگران گزارش کردند که عملکرد محصولات به‌مرور زمان در دهه‌های آینده باید همگام با تقاضای افزایش غذا به دلیل رشد روزافزون جمعیت افزایش یابد. هاچمن و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش نموده‌اند از بین بردن شکاف عملکرد،

برده، در خراسان شمالی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که این مدل با دقت بالایی قابلیت مدل سازی عملکرد محصول را دارا است.

با توجه به سوابق مطالعات، تعیین تفاوت و شکاف عملکرد و بهره‌وری آب در شرایط فعلی و مطلوب در برنامه‌ریزی راهبردی و مدیریت الگوی کشت و منابع آب اهمیت بالایی دارد. همچنین، مطالعه بر روی ارتقای تولید محصول استراتژیک گندم که بیشترین مساحت تحت کشت را در کشور در بین محصولات کشاورزی به خود اختصاص داده، ضرورت بالایی دارد. لذا، این پژوهش با هدف تعیین تفاوت عملکرد و بهره‌وری آب فعلی و مطلوب این محصول در استان قزوین طراحی و انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

استان قزوین با مساحتی بالغ بر ۱۵۸۲۰ کیلومتر مربع، دارای ۴۸۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی و حدود ۸۰ هزار بهره‌بردار بخش کشاورزی بوده و از نظر کشاورزی قطب مهمی در کشور محسوب می‌شود. محصول زراعی عمده استان، گندم است. برای تعیین تفاوت عملکرد و بهره‌وری فعلی و مطلوب گندم از روش پیشنهادی در پروژه تعیین اطلس شکاف عملکرد جهانی (وان بوسل و همکاران، ۲۰۱۵) استفاده شد. پروژه یادشده، یک پروژه بین‌المللی و با همکاری دانشگاه‌ها و پژوهشگران مختلف جهان و با محوریت دانشگاه‌های نبراسکا آمریکا و واخنینگن هلند است. این روش دارای شش پروتکل شامل پروتکل انتخاب نواحی آب و هوایی و ایستگاه‌های آب و هواشناسی مرجع، پروتکل تعیین اطلاعات اقلیمی، پروتکل تعیین سری‌های خاک، پروتکل کالیبراسیون مدل، پروتکل برآورد متوسط عملکرد واقعی برای محاسبه شکاف عملکرد و پروتکل تعیین بهره‌وری آب است که در شکل (۱) به جزئیات آن‌ها اشاره شده است.

راهکاری کلیدی برای غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت در حال رشد جهان است.

امیری ده‌احمدی (۱۳۹۵) پتانسیل و شکاف عملکرد نخود (ژنوتیپ ILC 482) را تحت سناریوهای مختلف تاریخ‌های کاشت با استفاده از رهیافت مدل‌سازی تحلیل نموده و تاریخ کاشت بهینه را برای کاهش شکاف عملکرد و به‌عنوان راهکاری مفید در مناطق تحت کشت دیم که با کمبود بارندگی و رطوبت روبه‌رو هستند، تعیین نمود. سنجان‌ی (۱۳۹۱) طی پژوهشی که بر روی محصولات گندم، ذرت و چغندر قند در استان‌های خراسان شمالی، جنوبی و رضوی انجام داده گزارش نمود که در مناطق دارای پتانسیل عملکرد بالاتر، شکاف عملکرد نیز بالاتر است.

عملکرد پتانسیل محصولات از سه طریق شبیه‌سازی عملکرد به‌وسیله مدل‌های گیاهی، اندازه‌گیری مستقیم عملکرد حاصل شده در مزارع آزمایشی کنترل شده و بدون عوامل محدودکننده تحت نظارت متخصصان و بیش‌ترین عملکرد ثبت شده توسط کشاورزان قابل محاسبه است (لوبل و همکاران، ۲۰۰۹). خصوصیات مورد نظر از مدل‌های شبیه‌سازی محصول نیز برای تعیین تفاوت عملکرد فعلی و مطلوب از طریق پروتکل اطلس شکاف عملکرد جهانی توسط ون‌ایترسوم و همکاران (۲۰۱۳) بیان شده است. Aquacrop یک مدل شبیه‌سازی گیاهی است که به‌وسیله سازمان فائو ارائه شده و توسط پژوهشگران زیادی مورد ارزیابی و استفاده قرار گرفته است. بررسی امیری و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که این مدل در برآورد عملکرد دانه و بیوماس محصول گندم، دارای دقت قابل قبول است. محمدی و همکاران (۱۳۹۴) نیز به اعتبارسنجی مدل Aquacrop به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم زمستانه تحت شرایط هم‌زمان تنش شوری و خشکی پرداختند. همچنین، خلیلی و همکاران (۱۳۹۳) به شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل گیاهی نام



شکل ۱- مراحل گام به گام تعیین اتلس تفاوت وضعیت مطلوب و فعلی عملکرد جهانی و بهره‌وری

میزان سطح کشت محصول و عملکرد واقعی در طی ۱۵ سال اخیر به تفکیک بخش‌های استان از سازمان جهاد کشاورزی اخذ شد. آمار اخذ شده سطح کشت و عملکرد برای نواحی حائل آب و هوایی تفکیک و لایه‌های اطلاعاتی لازم در محیط GIS تهیه شد. بعلاوه بر اساس مطالعات خاکشناسی انجام شده در مناطق مختلف استان در قالب گزارش‌ها طراحی سامانه‌های آبیاری (شرکت ثمین آب قزوین، ایده نگار اقلیم) و اطلاعات اخذ شده از بخش تحقیقات خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی قزوین، لایه‌های اطلاعاتی خاک محدوده‌ها نیز تهیه شد. طبق پروتکل‌های GYGA نواحی آب و هوایی که سطح کشت محصولات در آن‌ها کم و ناچیز باشد (سطح کشت کمتر از یک درصد کل مساحت زیرکشت)، باید از روال مطالعات حذف شود. باید کل درصد سطح کشت محصول

گام اول این روش، انتخاب صحیح نواحی آب و هوایی و مناطق حائل مرتبط با آن‌ها است که به بهترین شکل نحوه تولید یک محصول را از نظر شرایط آب و هوایی، خاک و سیستم کشت نشان دهد. این رویکرد در پژوهش‌های ون ایترسوم و همکاران (۲۰۱۳) و ون وارت و همکاران (۲۰۱۳a) تشریح شده است. بر مبنای اصول پیشنهادی، نواحی آب و هوایی استان قزوین به روش آمبرژه تعیین و با استفاده از نرم‌افزار GIS، نقشه اقلیمی استان تهیه شد. منطقه حائل نیز شامل منطقه‌ای است که حداکثر در ۱۰۰ کیلومتری موقعیت ایستگاه هواشناسی بوده و دارای کشت مورد نظر که در اینجا گندم است، باشد. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود و اطلاعات آن‌ها از طریق اداره هواشناسی استان اخذ و بررسی و ایستگاه‌های مرجع انتخاب شد.

خروجی مدل با آمار عملکرد میدانی با هم مقایسه شد. برای بررسی بهتر کارایی مدل در تخمین عملکرد، از شاخص‌های آماری زیر استفاده شد.

- درصد خطای نسبی (RE)

$$RE = \frac{(P_i - Q_i)}{Q_i} * 100 \quad (1)$$

- میانگین قدر مطلق انحراف (MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - Q_i|}{n} \quad (2)$$

- ریشه دوم میانگین مجذور خطاها (RMSE)

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (3)$$

- کارایی مدل‌سازی (EF)

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (4)$$

که در آن‌ها:

Pi مقادیر برآورد شده، Qi مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به کار رفته،  $\bar{Q}$  مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. حداقل مقدار RE و RMSE صفر و حداکثر مقدار EF برابر با یک است. EF می‌تواند مقادیری منفی داشته باشد. شاخص EF، مقادیر برآورد شده را با میانگین اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که مقادیر اندازه‌گیری شده، بیشتر از مقادیر برآورد شده بوده است.

انتخابی در کلیه نواحی برگزیده بیشتر از ۵۰ درصد سطح کشت آن محصول در استان باشد که این شرایط در استان مورد مطالعه برقرار بوده است (وان بوسل و همکاران، ۲۰۱۵).

برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه از نسخه ۵ مدل Aquacrop استفاده شد. علی‌رغم تأیید مدل در شبیه‌سازی عملکرد گندم با توجه به این‌که باید مدل قبل از هر مطالعه در منطقه ارزیابی و واسنجی شود، در این بررسی نیز بدین منوال عمل شد. به این منظور از اطلاعات پژوهش گلگار (۱۳۷۷) که بر روی محصول گندم و شامل ۱۲ تیمار با سه تکرار و در قالب ۳۶ کرت آزمایشی هریک به مساحت (۳×۳) مترمربع بوده، به‌عنوان مقادیر میدانی استفاده شد. تیمارهای استفاده شده شامل ۱۱۰، ۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ درصد نیاز آبی (به ترتیب تیمارهای T100، T110، T10، T20، T30، T40، T50، T60، T70، T80، T90) و تیمار دیم با دو آبیاری در زمان کاشت (۱۵ آبان) و اولین آبیاری بهاره (۲۰ فروردین) قبل از اعمال تنش (T0) بوده است. از سویی، با توجه به امکان‌پذیر نبودن اندازه‌گیری اغلب پارامترهای گیاهی در مطالعات مزرعه‌ای، در این مطالعه سعی شد ابتدا برخی از مهم‌ترین پارامترهای گیاهی در منطقه مورد مطالعه، واسنجی شود. روش واسنجی هم به‌صورت استخراج مقادیر بهینه پارامترهای واسنجی شده با هدف حداقل کردن اختلاف نتایج شبیه‌سازی مدل با مقادیر میدانی بود. در جدول (۱) خلاصه‌ای از اطلاعات گیاهی پس از واسنجی شدن ارائه شده است. سپس آمار عملکرد

جدول ۱- پارامترهای گیاهی مربوط به گندم

حداکثر پوشش گیاهی	پوشش گیاهی اولیه	ماکزیمم عمق ریشه (cm)	طول دوره گلدهی	حداکثر عمق توسعه ریشه	رسیدگی فیزیولوژیکی	شروع پیری پوشش گیاهی	حداکثر پوشش گیاهی	گل-دهی	جوانه-زنی
(درصد)	(درصد)	(cm)	روز			روز پس از کاشت			
۸۰	۳/۳۷	۱۰۰	۱۳	۹۷	۲۳۵	۲۰۱	۱۹۱	۱۷۵	۱۷

حدودی ۱۵ آبان و دوره کشت ۲۳۵ روزه بود، شبیه‌سازی شد. بر اساس مطالعه سعیدی و عبدلی (۲۰۱۵) شاخص برداشت رقم یادشده ۴۸ درصد در نظر گرفته شد. از سویی، با توجه به اینکه این رقم از ارقام مقاوم به سرما است، میزان

پس از تأیید کارایی مدل که در قسمت نتایج نیز مستندات آن ارائه شده است، عملکرد مطلوب برای ایستگاه‌های مرجع، با در نظر گرفتن خصوصیات مربوط به رقم غالب گندم در منطقه که رقم پیشگام با تاریخ کشت

$Y(\text{climate zone})$  عملکرد پتانسیل/واقعی سالانه کلیه نواحی آب و هوایی،  $S$  تعداد نواحی آب و هوایی و  $Area(\text{climate zone})$  مساحت هر ناحیه آب و هوایی است.

$$Yg = Yp - Ya \quad (9)$$

که در آن:

$Yg$  شکاف عملکرد؛  $Yp$  عملکرد پتانسیل و  $Ya$  عملکرد واقعی است.

بیلان آب نیز طبق پروتکل بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد:

$$I + P + S1 - D - Rout - S2 = ET \quad (10)$$

که در آن:

$I$ ، آب آبیاری؛  $P$ ، بارش؛  $S1$ ، آب موجود در خاک در مرحله کاشت؛  $D$ ، تلفات ناشی از زهکشی عمیق؛  $Rout$ ، تلفات ناشی از رواناب سطحی خروجی؛  $S2$ ، رطوبت باقیمانده در پروفیل خاک در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی محصول و  $ET$ ، تبخیر و تعرق گیاه است.

برای تعیین بهره‌وری پتانسیل و واقعی تبخیر و تعرق نیز از روابط (۱۰) و (۱۱) استفاده شد (فرنچ و چولدز؛ ۱۹۸۴، بسمیندر و همکاران؛ ۲۰۰۵، پاسیورا؛ ۲۰۰۶):

$$WP\text{-potential} (\text{kg/m}^3) = Yp / CWA_p \quad (11)$$

$$WP\text{-actual} (\text{kg/m}^3) = Ya / CWA_a \quad (12)$$

که در آن:

$WP\text{-potential}$ ، بهره‌وری پتانسیل برحسب کیلوگرم بر مترمکعب آب تبخیر و تعرق شده؛  $WP\text{-actual}$ ، بهره‌وری واقعی برحسب کیلوگرم بر مترمکعب آب تبخیر و تعرق شده؛  $Yp$ ، مقدار پتانسیل محصول شبیه‌سازی شده برحسب کیلوگرم در هکتار؛  $Ya$ ، مقدار واقعی محصول برحسب کیلوگرم در هکتار؛  $CWA_p$ ، مقدار آب در دسترس گیاه برای تبخیر و تعرق برحسب مترمکعب که از شبیه‌سازی تبخیر و تعرق تخمین زده می‌شود و  $CWA_a$ ، مقدار آب در دسترس گیاه برای تبخیر و تعرق در شرایط واقعی که از طریق مطالعات ارزیابی میدانی و یا سنجش‌ازدور برآورد

تحمل به سرمای آن بر اساس اطلاعات فائو در حدود ۶- درجه سانتی‌گراد منظور شد. وزن هزار دانه نیز بر اساس اطلاعات انجمن تولیدکنندگان بذر اصلاح‌شده ۶۶ گرم در نظر گرفته شد. عملکرد واقعی هم که به تفکیک بخش‌های استان موجود بود، با میانگین‌گیری وزنی برای منطقه تحت پوشش ایستگاه‌ها محاسبه شد. میزان برآورد شده در مناطق حائل انتخابی، به کلیه نواحی آب و هوایی استان بسط داده شد.

در ادامه، طبق پروتکل، شکاف و تفاوت عملکرد با مقایسه عملکرد واقعی و مطلوب (پتانسیل) در محدوده‌های مختلف محاسبه شد (وان بوسل و همکاران، ۲۰۱۵):

$$Y(\text{year}) = \frac{\sum_{i=1}^n Y(i) \times Area(i)}{\sum_{i=1}^n Area(i)} \quad (5)$$

که در آن:

$Y(i)$  میزان عملکرد پتانسیل/واقعی سالانه هر بخش،  $n$  تعداد بخش‌ها،  $Area(i)$  مساحت هر بخش است.

$$Y(\text{station}) = \frac{\sum_{i=1}^k Y(\text{year})_i}{k} \quad (6)$$

که در آن:

$Y(\text{year})_i$  عملکرد پتانسیل/واقعی سالانه بخش‌های زیرمجموعه هر ایستگاه و  $k$  تعداد سال‌ها است.

$$Y(\text{climate zone}) = \frac{\sum_{i=1}^q Y(\text{station})_i \times Area(\text{RWS buffer zone})_i}{\sum_{i=1}^q Area(\text{RWS buffer zone})_i} \quad (7)$$

که در آن:

$Y(\text{station})_i$  عملکرد پتانسیل/واقعی سالانه ایستگاه‌های زیرمجموعه هر ناحیه آب و هوایی،  $q$  تعداد ایستگاه‌های مرجع واقع در هر منطقه و  $Area(\text{RWS buffer zone})_i$  مساحت منطقه حائل هر ایستگاه مرجع است.

$$Y(\text{total}) = \frac{\sum_{i=1}^s Y(\text{climate zone})_i \times Area(\text{climate zone})_i}{\sum_{i=1}^s Area(\text{climate zone})_i} \quad (8)$$

که در آن:

<sup>3</sup> Crop Water Available- actual

<sup>1</sup> - Water Productivity

<sup>2</sup> Crop Water Available- potential

که برای تحلیل بهتر تفاوت وضعیت فعلی با وضعیت مطلوب است، به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$RY = \frac{Ya (kg ha^{-1})}{Yp (kg ha^{-1})} \quad (14)$$

$$RWP = \frac{WPa}{WPP} \quad (15)$$

که در آن:

**RY**، نسبت عملکرد واقعی به عملکرد مطلوب است و در بهترین حالت می تواند مقدار یک اختیار کند که به معنای رسیدن عملکرد محصول در شرایط واقعی به عملکرد محصول در شرایط مطلوب است. **RWP** شاخص بهره‌وری نسبی است و در بهترین حالت می تواند مقدار یک را اختیار کند که به معنای دستیابی به بهره‌وری آب مطلوب است.

### نتایج و بحث

براساس پهنه‌بندی اقلیمی انجام شده، استان به هفت ناحیه اقلیمی تقسیم‌بندی شد (شکل ۲). این نواحی شامل نواحی خشک سرد، معتدل، نیمه‌خشک سرد، نیمه-مرطوب سرد، نیمه‌مرطوب معتدل، خشک خیلی سرد و نیمه‌خشک خیلی سرد است. نواحی آب و هوایی برگزیده استان به سه بخش خشک سرد، نیمه‌خشک سرد و نیمه‌خشک خیلی سرد تقسیم شد و برای ناحیه خشک سرد به دلیل وسعت آن سه ایستگاه مرجع در نظر گرفته شد. لذا در کل پنج ایستگاه هواشناسی مرجع برای کل استان در نظر گرفته شد. ایستگاه‌های آب و هواشناسی مرجع انتخاب شده برای هر ناحیه نیز در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مرجع

می‌شود. در این تحقیق تبخیر و تعرق واقعی از مطالعات به هنگام رسانی سند ملی آب (لار، ۱۳۸۹) که با سنجش از راه دور تبخیر و تعرق واقعی را برآورد کرده است، استخراج شده است.

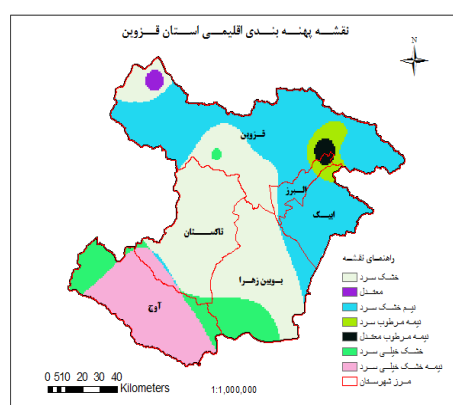
شاخص بهره‌وری آب آبیاری و بارش که از شاخص‌های رایج بهره‌وری آب است، نیز به صورت زیر محاسبه شد (کیجن و همکاران، ۲۰۰۳):

$$WP_{I+P} = \frac{Y (kg ha^{-1})}{[I + P](m^3 ha^{-1})} \quad (13)$$

که در آن:

**I** و **P** مقدار آبیاری و بارندگی برحسب مترمکعب در هکتار در طول فصل زراعی و  $WP_{I+P}$  بهره‌وری آب آبیاری و بارش است که معمولاً به اختصار بهره‌وری آب و یا بهره‌وری آب کل نیز نامیده می‌شود و برحسب کیلوگرم در مترمکعب است. این شاخص برای ارزیابی مدیریت آبیاری شاخص مهم‌تری بوده زیرا راندمان آبیاری در مخرج کسر و میزان حجم آب آبیاری اثرگذار است. در این پژوهش متوسط راندمان آبیاری گندم در استان بر اساس مطالعات ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی و تحت فشار منطقه (پندام، ۱۳۸۵؛ لار، ۱۳۸۹؛ رشمالو و همکاران، ۱۳۸۹) و آمار نوع سامانه‌های آبیاری مزارع گندم (استعلام از سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین)، ۴۲/۹۵ درصد برآورد شد.

در نهایت، نسبت عملکرد واقعی به عملکرد مطلوب (رابطه ۱۳) و شاخص بهره‌وری نسبی (رابطه ۱۴)



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی اقلیمی استان به روش آمبرژه

جدول ۲- بافت خاک غالب مناطق حائل ایستگاه‌های هواشناسی

Ksat (mm/day)	SAT (درصد حجمی)	FC (درصد حجمی)	PWP (درصد حجمی)	عمق خاک (m)	متوسط آب قابل استفاده در خاک (mm/m)	بافت خاک غالب	ایستگاه هواشناسی مرجع
۲۵۰	۵۰	۳۲	۱۶	۱/۲	۱۶۰	لوم	S1
۵۰۰	۴۶	۳۱	۱۵	۱/۵	۱۶۵	لوم	S2
۱۲۵	۵۰	۳۹	۲۳	۱/۵	۱۶۰	لوم رسی	S3
۵۷۵	۴۶	۳۳	۱۳	۱	۲۰۰	لوم سیلتی	S4
۱۲۰۰	۴۱	۲۲	۱۰	۱	۱۲۰	لوم شنی	S5

(جدول ۲ و ۳). نتایج واسنجی نسخه ۵ مدل Aquacrop در شکل (۴) و شاخص‌های آماری بررسی شده در جدول (۴) نشان داده شده است.

طبق پروتکل و بر اساس رهنمودهای گراسینی و همکاران (۲۰۱۵)، غالب‌ترین بافت خاک، برای هر منطقه بر اساس اطلاعات اخذ شده از واحد تحقیقات خاک و آب جهاد کشاورزی و گزارش‌های خاکشناسی انتخاب شد

جدول ۳- مشخصات بافت خاک غالب مناطق حائل ایستگاه‌های هواشناسی

S5	S4	S3	S2	S1	ایستگاه هواشناسی مرجع
لوم رسی	لوم سیلتی	لوم رسی	لوم شنی	لوم	
لوم سیلتی	لوم رس سیلتی	رس	لوم	رس	
لوم	رس سیلتی	لوم	لوم رسی	لوم رسی	بافت خاک
رس	لوم رسی	رس سیلتی	رس	لوم سیلتی	
لوم شنی		لوم رس سیلتی	رس سیلتی		
لوم شنی	لوم سیلتی	لوم رسی	لوم	لوم	بافت خاک غالب

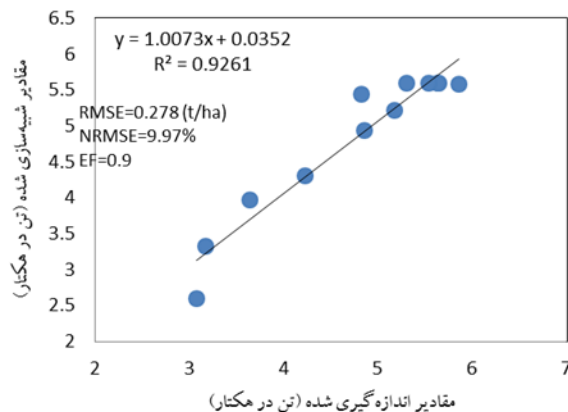
جدول ۴- شاخص‌های آماری محاسبه شده در ارزیابی مدل گیاهی

T0	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T70	T80	T90	T100	T110	تیمار آبیاری
۲/۶	۳/۳۲	۳/۹۷	۴/۳	۴/۹۴	۵/۲۲	۵/۴۴	۵/۵۹	۵/۶	۵/۶	۵/۵۸	۵/۶	شبییه‌سازی شده (تن در هکتار)
۳/۰۷	۳/۱۷	۳/۶۴	۴/۲۳	۴/۸۵	۵/۱۷	۴/۸۲	۵/۳۱	۵/۶۴	۵/۶۳	۵/۸۶	۵/۵۳	اندازه‌گیری شده (تن در هکتار)
-۱۵	۴/۷	۹	۱/۸	۱/۸	۰/۹	۱۳	۵/۳	-۰/۷	-۰/۵	-۴/۷	۱/۲	خطای نسبی (RE%)
											۰/۲۷۸	RMSE (تن در هکتار)
											۰/۹۱	EF
											۰/۲	MAE (تن در هکتار)



جوانه‌زنی، گلدهی، شروع پیری و رسیدن محصول، شاخص برداشت، اطلاعات بافت خاک، اطلاعات آبیاری و مدیریت مزرعه و شرایط اولیه رطوبت خاک است که کلیه موارد در مدل بارگذاری شده و نتایج حاصل شده است.

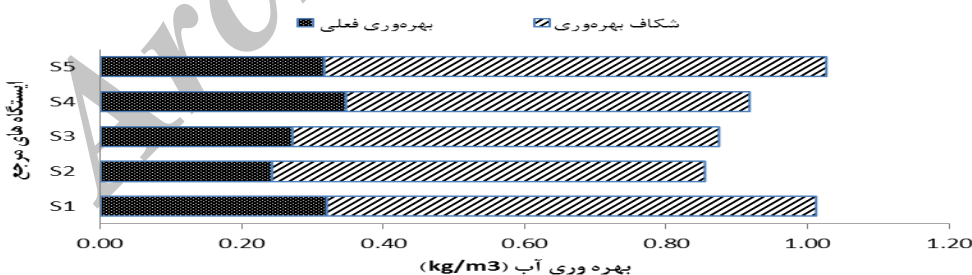
اجزای مدل شامل اطلاعات اقلیمی (بارندگی، حداقل و حداکثر دما، تبخیر و تعرق گیاه مرجع و میزان CO<sub>2</sub>)، اطلاعات گیاه بر اساس مشخصات رقم محصول اعم از تاریخ کشت، دوره کشت شامل مشخصات زمان



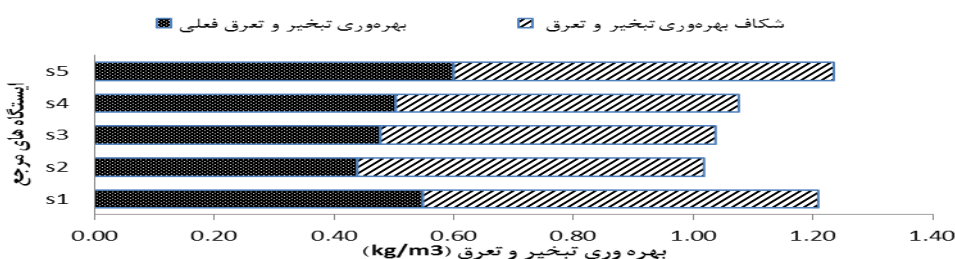
شکل ۴- نمودار مقایسه عملکردهای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده

محدودیت آب و مواد غذایی و بروز عوامل بیماری‌زا، آفات، علف‌های هرز و شوری است. ولی با توجه به اینکه مقابله با تنش‌های اقلیمی به راحتی توسط بشر قابل کنترل نیست؛ شبیه‌سازی شرایط مطلوب در صورت وجود تنش یادشده انجام شده است. این مهم در پژوهش‌های پیشین (لوبل و همکاران، ۲۰۰۹؛ وان بوسل و همکاران، ۲۰۱۵) نیز اشاره شده است.

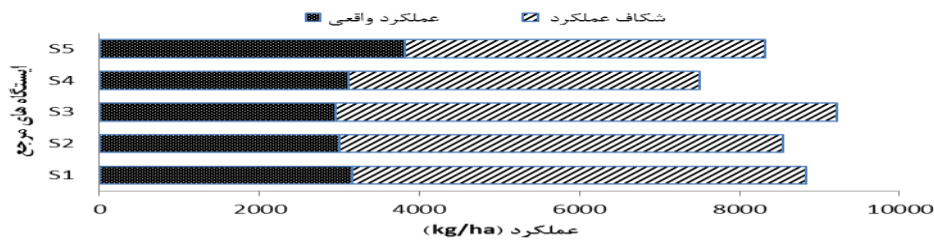
حداقل و حداکثر قدر مطلق خطای نسبی به ترتیب ۰/۵ و ۱۵ درصد به ترتیب در تیمارهای T0 و T90 است. به‌طور میانگین میزان خطای نسبی مدل در تخمین عملکرد حدود ۴/۸ درصد است. همچنین کارایی مدل‌سازی برابر ۰/۹ است که قابل قبول به نظر می‌رسد. پس از محاسبه عملکرد و بهره‌وری موجود و مطلوب، تفاوت عملکرد و بهره‌وری در این دو وضعیت به صورت جدول (۵) و اشکال (۵) تا (۷) تعیین شد. منظور از شرایط مطلوب، شرایطی بدون



شکل ۵- نمودار شکاف و تفاوت وضعیت فعلی و مطلوب بهره‌وری آب



شکل ۶- نمودار شکاف و تفاوت وضعیت فعلی و مطلوب بهره‌وری تبخیر و تعرق



شکل ۷- نمودار شکاف و تفاوت وضعیت فعلی و مطلوب عملکرد

۰/۲۹ مترمکعب در کیلوگرم و میزان متوسط مطلوب بهره‌وری آب به ترتیب ۱/۰۳، ۰/۹۲، ۰/۸۸، ۰/۸۵، ۱/۰۱ و در سطح استان ۰/۹۵ مترمکعب در کیلوگرم به‌دست آمد. تفاوت وضعیت فعلی و مطلوب بهره‌وری آب استان در این حالت ۰/۶۶ مترمکعب در کیلوگرم است.

میزان متوسط بهره‌وری فعلی تبخیر و تعرق نیز در نواحی انتخابی به ترتیب ۰/۶، ۰/۵، ۰/۴۸، ۰/۴۴، ۰/۵۵ و در سطح استان ۰/۵۳ مترمکعب در کیلوگرم و میزان متوسط مطلوب بهره‌وری تبخیر و تعرق به ترتیب ۱/۲۳، ۱/۰۷، ۱/۰۴، ۱/۰۲، ۱/۲۱ و در سطح استان ۱/۱۳ مترمکعب در کیلوگرم به‌دست آمد. تفاوت وضعیت فعلی و مطلوب بهره‌وری تبخیر و تعرق استان در این حالت ۰/۶ مترمکعب در کیلوگرم است.

#### نتیجه‌گیری

در این پژوهش شکاف بهره‌وری آب (به معنی تفاوت وضع موجود با وضع مطلوب) با میزان ۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب برابر ۶۹ درصد پتانسیل بهره‌وری آب برآورد شد. به سخن دیگر می‌توان گفت در شرایط فعلی، بهره‌وری آب ۳۱ درصد شرایط مطلوب است. ون ایتروسوم و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی مطالعات مختلف در سراسر جهان، ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل را عملکرد قابل‌دستیابی و نقطه هدف برای برنامه‌ریزی معرفی کرده‌اند. بر این مبنا با افزایش عملکرد گندم در استان قزوین به این نقطه هدف، می‌توان بهره‌وری آب را به ۶۵ درصد پتانسیل بهره‌وری آب رساند. مابقی شکاف بهره‌وری آب را باید با ارتقای راندمان آبیاری جبران نمود.

نتایج نشان داد که عملکرد متوسط پنج سال آخر نواحی آب و هوایی حائل ایستگاه‌های مرجع به ترتیب ۳۸۱۲، ۳۱۰۹، ۲۹۶۶، ۳۰۰۴، ۳۱۵۵ و در سطح استان ۳۲۸۷ کیلوگرم در هکتار است. عملکرد مطلوب این مناطق طی شبیه‌سازی انجام شده در نواحی آب و هوایی حائل ایستگاه‌های مرجع به ترتیب ۸۵۶۶، ۷۴۹۶، ۹۲۱۷، ۸۵۴۷، ۸۸۳۳ و در سطح استان ۸۷۶۷ کیلوگرم در هکتار است. تفاوت وضعیت فعلی و مطلوب عملکرد مشاهده شده نیز در سطح استان ۵۴۸۰ کیلوگرم در هکتار است. مطالعه نکاحی و همکاران (۱۳۹۳) در منطقه بندرگز گلستان تفاوت عملکرد گندم را در شرایط مطلوب و فعلی در حدود ۳۴۶۲ کیلوگرم در هکتار گزارش کرده است. تفاوت‌های اقلیمی و مدیریتی در مناطق مختلف موجب تفاوت شکاف عملکرد می‌شود. لازم به توضیح است به‌منظور تعیین تأثیر بافت خاک در میزان عملکرد مطلوب، در ناحیه اقلیمی S1 به‌عنوان نمونه برای چهار بافت غالب به‌صورت جداگانه شبیه‌سازی انجام شد. عملکرد مطلوب در این حالت ۸۷۷۶ کیلوگرم در هکتار و بر اساس یک نوع بافت غالب ۸۸۳۳ به دست آمد. میزان اختلاف عملکرد در دو حالت کم و ناچیز در حدود ۰/۶ درصد است که دلیل آن می‌تواند لحاظ شرایط ایده‌آل برای برآورد عملکرد مطلوب باشد. تهویه، رطوبت، موادآلی و سایر پارامترهای خاک را مدل AquaCrop در حد بهینه شبیه‌سازی می‌کند و اعمال مدیریت آبیاری را متناسب با نیاز هر بافت خاک تعیین می‌کند. از این رو اثر بافت‌های مختلف در عملکرد، کمتر می‌شود.

میزان متوسط بهره‌وری فعلی آب در نواحی انتخابی به ترتیب ۰/۳۲، ۰/۳۵، ۰/۲۷، ۰/۲۴، ۰/۳۲ و در سطح استان

جدول ۵- عملکرد و بهره‌وری در وضع موجود و مطلوب و تفاوت‌های محاسبه شده

سال ۲۰۱۱	سال ۲۰۱۲	سال ۲۰۱۳	سال ۲۰۱۴	سال ۲۰۱۵	موضوع	ایستگاه مرجع
۳۷۸۶	۲۸۶۵	۲۶۴۶	۳۳۴۹	۳۲۲۹	عملکرد موجود (kg/ha)	S1
۷۸۴۳	۷۹۲۲	۹۶۶۲	۹۱۰۴	۹۶۳۴	عملکرد مطلوب (kg/ha)	
۴۰۵۷	۵۰۵۷	۷۰۱۶	۵۸۵۵	۶۴۰۵	شکاف عملکرد (kg/ha)	
-/۰۶۶	-/۰۵	-/۰۴۶	-/۰۵۶	-/۰۵۶	بهره‌وری فعلی تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۶۲	-/۰۶۸	-/۰۸۳	-/۰۶۱	-/۰۵۶	شکاف بهره‌وری تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۴	-/۰۲۹	-/۰۲۷	-/۰۳۲	-/۰۳۲	بهره‌وری فعلی آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۶۶	-/۰۶۹	-/۰۸۱	-/۰۶۷	-/۰۶۳	شکاف بهره‌وری آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
۲۵۲۸	۲۶۳۵	۲۴۳۳	۳۷۰۴	۳۷۱۹	عملکرد موجود (kg/ha)	S2
۷۴۲۸	۷۷۹۴	۹۵۳۲	۹۰۱۳	۸۹۶۶	عملکرد مطلوب (kg/ha)	
۴۹۰۰	۵۱۵۹	۷۰۹۹	۵۳۰۹	۵۲۴۷	شکاف عملکرد (kg/ha)	
-/۰۳۷	-/۰۳۹	-/۰۳۶	-/۰۵۴	-/۰۵۴	بهره‌وری فعلی تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۶۱	-/۰۶۹	-/۰۸	-/۰۳۹	-/۰۴۱	شکاف بهره‌وری تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۲۱	-/۰۲۱	-/۰۲	-/۰۳	-/۰۲۹	بهره‌وری فعلی آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۶۱	-/۰۶۹	-/۰۷۸	-/۰۴۹	-/۰۵۱	شکاف بهره‌وری آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
۳۴۹۱	۲۷۷۴	۲۵۶۲	۳۳۶۷	۳۵۴۰	عملکرد موجود (kg/ha)	S3
۹۱۱۲	۸۲۵۲	۹۷۰۵	۹۲۱۶	۹۸۰۲	عملکرد مطلوب (kg/ha)	
۶۶۲۱	۵۴۷۸	۷۱۴۳	۵۸۴۹	۶۲۶۲	شکاف عملکرد (kg/ha)	
-/۰۴	-/۰۴۵	-/۰۴۲	-/۰۵۵	-/۰۵۷	بهره‌وری فعلی تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۷۷	-/۰۶۸	-/۰۶۳	-/۰۳۵	-/۰۳۷	شکاف بهره‌وری تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۲۳	-/۰۲۶	-/۰۲۴	-/۰۳۱	-/۰۳۲	بهره‌وری فعلی آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۷۶	-/۰۶۹	-/۰۶۴	-/۰۴۵	-/۰۴۹	شکاف بهره‌وری آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
۲۹۸۱	۳۱۵۷	۲۹۱۶	۳۵۸۸	۲۹۰۰	عملکرد موجود (kg/ha)	S4
۷۳۳۸	۶۵۰۹	۸۳۲۰	۷۳۷۵	۸۰۳۹	عملکرد مطلوب (kg/ha)	
۴۲۵۷	۳۳۵۲	۵۴۰۴	۳۷۸۷	۵۱۳۹	شکاف عملکرد (kg/ha)	
-/۰۴۸	-/۰۵۱	-/۰۴۷	-/۰۵۸	-/۰۴۷	بهره‌وری فعلی تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۶۴	-/۰۵	-/۰۷۱	-/۰۵۱	-/۰۴۹	شکاف بهره‌وری تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۳۴	-/۰۳۵	-/۰۳۳	-/۰۴	-/۰۳۲	بهره‌وری فعلی آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۶۲	-/۰۵۱	-/۰۶۸	-/۰۵۳	-/۰۵۲	شکاف بهره‌وری آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
۳۸۸۹	۳۶۷۳	۳۳۹۲	۴۰۶۲	۴۰۴۴	عملکرد موجود (kg/ha)	S5
۷۹۳۸	۷۵۶۹	۹۱۴۹	۸۳۳۴	۸۵۸۰	عملکرد مطلوب (kg/ha)	
۴۰۴۹	۳۸۹۶	۵۷۵۷	۴۲۷۲	۴۵۳۶	شکاف عملکرد (kg/ha)	
-/۰۶۱	-/۰۵۸	-/۰۵۳	-/۰۶۴	-/۰۶۴	بهره‌وری فعلی تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۶۹	-/۰۶۱	-/۰۹۵	-/۰۵	-/۰۴۲	شکاف بهره‌وری تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۳۴	-/۰۳۱	-/۰۲۸	-/۰۳۳	-/۰۳۱	بهره‌وری فعلی آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۷۳	-/۰۶۷	-/۰۹۵	-/۰۶۲	-/۰۵۸	شکاف بهره‌وری آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
۳۱۹۳	۳۰۹۰	۲۸۵۴	۳۶۴۱	۳۶۵۹	عملکرد موجود (kg/ha)	استان
۸۲۸۰	۷۹۰۴	۹۵۱۷	۸۸۷۴	۹۲۵۹	عملکرد مطلوب (kg/ha)	
۵۰۸۷	۴۸۱۴	۶۶۶۳	۵۲۳۳	۵۶۰۰	شکاف عملکرد (kg/ha)	
-/۰۵۱	-/۰۴۹	-/۰۴۶	-/۰۵۸	-/۰۵۸	بهره‌وری فعلی تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۶۹	-/۰۶۵	-/۰۸	-/۰۴۵	-/۰۴۳	شکاف بهره‌وری تبخیر و تعرق ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۳	-/۰۲۸	-/۰۲۶	-/۰۳۲	-/۰۳۱	بهره‌وری فعلی آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۷۱	-/۰۶۸	-/۰۷۹	-/۰۵۵	-/۰۵۴	شکاف بهره‌وری آب ( $\text{kg/m}^3$ )	
-/۰۳۹	-/۰۳۹	-/۰۳	-/۰۴۱	-/۰۴	شاخص عملکرد نسبی	
-/۰۴۲	-/۰۴۳	-/۰۳۶	-/۰۵۶	-/۰۵۷	شاخص بهره‌وری نسبی تبخیر و تعرق	
-/۰۳	-/۰۲۹	-/۰۲۵	-/۰۳۷	-/۰۳۶	شاخص بهره‌وری نسبی آب	

زهکشی، مسائل مربوط به آبشویی، نوع سامانه آبیاری، زمان آبیاری و میزان آب قابل استفاده وجود دارد. بر اساس پژوهش نکاحی و همکاران (۱۳۹۳) در منطقه بندرگز گلستان تفاوت عملکرد موجود ناشی از تراکم بوته پایین (۱۵٪)؛ عدم استقبال کشاورزان از یافته‌های جدید (۱۰٪)؛ تاریخ کاشت دیرهنگام (۳۶٪)؛ رقم نامناسب (۲۱٪) و عدم استفاده از علف‌کش تایپک و گرانستار (۱۸٪) است. تحلیل اثر عوامل مختلف در میزان تفاوت وضع فعلی و مطلوب بهره‌وری در مطالعه حاضر نشان داد که حدود ۵۶ درصد از تفاوت عملکرد و ۵۳ درصد از تفاوت بهره‌وری مربوط به مدیریت آبیاری است. نتایج نشان از این دارد که فرصت‌های بالقوه‌ای برای تقویت این بخش‌ها و ارتقای بهره‌وری آب و کاهش فشار به منابع آب و افزایش امنیت غذایی وجود دارد. در نهایت پیشنهاد می‌شود شکاف عملکرد و بهره‌وری محصولات مهم و استراتژیک در سطح استان و همچنین در سطح کشور با استفاده از پروتکل‌های GYGA تعیین شود و از سویی پیشنهاد می‌شود با توجه به عدم در نظر گرفتن تأثیر بافت خاک در میزان عملکرد مطلوب به دلیل شرایط ایده‌آل منظور شده در پروژه GYGA، اصلاحاتی در این زمینه در پروتکل مربوطه صورت گیرد.

متوسط شاخص عملکرد نسبی گندم در استان ۰/۳۸؛ متوسط شاخص بهره‌وری نسبی آب استان، ۰/۳۱ و متوسط شاخص بهره‌وری نسبی تبخیر و تعرق استان، ۰/۴۷ به دست آمد. طی استعلام به عمل آمده از کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی و همچنین شرایط منطقه تنش‌های اقلیمی و آبی عمده‌ترین تنش‌های حاکم بر منطقه می‌باشند. برای کاهش تأثیر تنش اقلیمی در هر منطقه انتخاب بذور مقاوم به سرما و یا گرما، مدیریت تاریخ کشت و دوره کشت مناسب اهمیت بالا دارد. برای کاهش تنش آبی نیز انتخاب بذور مقاوم به خشکی اهمیت دارد.

تفاوت عملکرد وضع موجود و مطلوب در استان قزوین با میزان ۵۴۸۰ کیلوگرم در هکتار، ۶۳ درصد عملکرد مطلوب به دست آمد. طبق مطالعات لوبل و همکاران (۲۰۰۹) این تفاوت در مناطق مختلف جهان از ۲۰ تا ۸۰ درصد متغیر است. لذا وضعیت استان قزوین از نظر این شاخص قابل قبول نیست و اختلاف زیاد بین شرایط فعلی و شرایط مطلوب حاکی از این است که نقاط ضعف قابل توجهی در مدیریت تولید کشاورزی و مدیریت آبیاری از قبیل تاریخ کاشت، رقم مناسب، آماده‌سازی زمین، نوع و میزان کود مورد استفاده، مبارزه با آفات و بیماری‌ها، در نظر گرفتن وضعیت خاک و منبع آب مورد استفاده از لحاظ شوری،

## فهرست منابع

۱. احسانی، م. و خالدی، ه. ۱۳۸۱. شناخت و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به منظور تأمین امنیت آبی و غذایی کشور. یازدهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران. کمیته ملی آبیاری و زهکشی.
۲. امیری ده احمدی، س. ر.، ۱۳۹۵. آنالیز پتانسیل و خلاء عملکرد نخود (ژنوتیپ ILC 482) تحت سناریوهای مختلف تاریخ‌های کاشت با استفاده از رهیافت مدل‌سازی. فصلنامه اکوفیزیولوژی گیاهی. دوره ۸. شماره ۲۵: ۱۳۸-۱۵۱.
۳. امیری، ا.، بحرانی، ع.، خورسند، ا. و حق جو، م. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد دانه و بیوماس گندم. تحت تنش کم‌آبی. نشریه دانش آب‌وخاک. جلد ۲۵ شماره ۴/۲: ۲۱۷-۲۲۹.
۴. توکلی، ع. ر. ۱۳۹۱. تعیین اجزای شاخص بهره‌وری آب تحت مدیریت تک آبیاری زمان کاشت برای ارقام گندم دیم. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶. شماره ۳: ۶۹۰-۶۹۹.

۵. خلیلی، ن. داوری، ک. علیزاده، ا. کافی، م. انصاری، ح. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل گیاهی AquaCrop. مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سیسب. خراسان شمالی. نشریه آب‌وخاک. ۲۸(۵): ۹۳۰-۹۳۹.
۶. رشماتلو، م. سهرابی، ت. آبابایی، ب. وردی نژاد، و. ۱۳۸۹. ارزیابی عملکرد انواع سامانه‌های آبیاری بارانی (مطالعه موردی اراضی کشاورزی دشت قزوین). سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز.
۷. سنجانی، س. ۱۳۹۱، پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی و بررسی خلاء عملکرد سه محصول گندم. چغندرقد و ذرت در استان خراسان. رساله دکتری رشته زراعت. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد.
۸. غلامی، ز. ابراهیمیان، ح. و نوری، ح. ۱۳۹۴. بررسی بهره‌وری آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی (مطالعه موردی: دشت قزوین). علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی-پژوهشی). جلد ۳۹. شماره ۳: ۱۳۵-۱۴۶.
۹. کاویانی، ع.، سهرابی، ت. و دانش کار آراسته، پ. ۱۳۹۰. کاربرد الگوریتم SEBAL در تخمین تبخیر و تعرق واقعی و بهره‌وری آب کشاورزی در دشت قزوین و مقایسه نتایج آن با داده‌های لایسیمتر. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲. جلد ۵: ۱۶۵-۱۷۵.
۱۰. گلکار، ح. ر. ۱۳۷۷. تعیین تابع تولید محصول گندم و مطالعه اثر تنش آبی بر عملکرد در منطقه کرج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران. ص ۱۲۲.
۱۱. محمدی، م.، کریمی زاده، ر.، غفاری، ع. و روستایی، م. ۱۳۹۴. امکان افزایش تولید محصول گندم در دیمزارهای گرمسیری ایران. نشریه یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی. سال چهارم. شماره ۱: ۶۳-۷۸.
۱۲. مقدادی، ن.، سلطانی، ا.، کامکار، ب. و حجارپور، ا. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی زراعی-بوم‌شناختی استان زنجان برای برآورد پتانسیل عملکرد و خلاء عملکرد نخود دیم. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. جلد ۲۱. شماره ۳: ۲۷-۴۹.
۱۳. مهندسین مشاور پندام. ۱۳۸۴. گزارش‌های مطالعات بازنگری شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین.
۱۴. مهندسین مشاور لار، ۱۳۸۹. مطالعات طرح بهنگام سازی و اجرایی نمودن سند ملی الگوی مصرف بهینه آب کشاورزی در سطح دو دشت قزوین و فومنات.
۱۵. نکاحی، م. ز.، سلطانی، ا.، سیاهمرگویی، آ. و باقرانی، ن. ۱۳۹۳. خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی در گندم (مطالعه موردی: استان گلستان- بندرگز). نشریه تولید گیاهان زراعی. جلد هفتم. شماره دوم: ۱۳۵-۱۵۶.
16. Bessembinder, J.J.E., Leffelaar, P.A., Dhindwal, A.S. and Ponsioen, T.C., 2005. Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. *Agricultural Water Management*. 73: 113-130.
17. Bhatia, V., Singh, P., Wani, S., Rao, A.K., and Srinivas, K. 2006. Yield Gap Analysis of Soybean, Groundnut, Pigeonpea and Chickpea in India Using Simulation Modeling: Global Theme on Agroecosystems Report. 31.
18. Boogaard, H., Wolf, J., Supit, I., Niemeyer, S., and van Ittersum, M. 2013. A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn sown wheat across the European Union. *Field Crops Research*. 143: 130-142.
19. French, R.J. and Schultz, J.E.,. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean type environment. I. The relation between yield, water use and climate. *Australian Journal of Agricultural Research*. 35: 743-764.
20. Grassini, P., van Bussel, L.G., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., van Ittersum, M.K. and Cassman, K.G., 2015. How good is good enough?

- Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Research*. 177:49-63.
21. Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., van Rees, H., Marinoni, O., Garcia, J.N., and Horan, H. 2013. Reprint of Quantifying yieldgaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia. *Field Crops Research*. 143: 65-75.
  22. Kijne, J.W., Tuong, T.P., Bennett, J., Bouman, B., and Oweis, T. 2003. Ensuring food security via improvement in crop water productivity. In Challenge Program on Water and Food: Background Papers to the full proposal. The Challenge Program on Water and Food Consortium, Sri Lanka.
  23. Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes and causes. *Annual Review of Environment and Resources*. 34: 179-204.10.
  24. Lu, C., and Fan, L. 2013. Winter wheat yield potentials and yield gaps in the North China Plain. *Field Crops Research*. 143: 98-105.
  25. Meng, Q., Hou, P., Wu, L., Chen, X., Cui, Z., and Zhang, F. 2013. Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. *Field Crops Research*. 143: 91-97.
  26. Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N., and Foley, J.A. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*. 490: 254-257.
  27. Neumann, K., Verburg, P.H., Stehfest, E., and Müller, C. 2010. The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Journal of Agricultural Systems*. 103: 316-326.
  28. Passioura, J., 2006. Increasing crop productivity when water is scarce—from breeding to field management. *Agricultural Water Management*. 80: 176–196.
  29. Saeidi, M. and Abdoli, M. 2015. Effect of Drought Stress during Grain Filling on Yield and Its Components, Gas Exchange Variables, and Some Physiological Traits of Wheat Cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 17: 885-898.
  30. Van Bussel, L.G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G. and van Ittersum, M.K., 2015. From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Research*. 177: 98-108.
  31. Van Ittersum, M., Cassman K.G., Grassini, P., Wolf, J. Tiftonell, P. and Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A Review. *Field Crops Research*. 143: 4-17.
  32. Van Wart, J., van Bussel, L.G.J., Wolf, J., Licker R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J, Mueller, N.D., Claessens, L., van Ittersum, M.K. and K.G. Cassman. 2013a. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*. 143: 44-55.
  33. Van Wart, J., Kersebaum, C.K., Peng, S., Milner, M. and Cassman, K.G. 2013b. Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*. 143: 34-43.

## Estimating Of Wheat Yield and Water Productivity Gap Using GYGA Protocol in Qazvin Province

**M. Jenab and B. Nazari**<sup>1\*</sup>

MSc in Irrigation and Drainage Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

[mahn.je@gmail.com](mailto:mahn.je@gmail.com)

Assistant Professor of Water Engineering Department, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

[binazari@ut.ac.ir](mailto:binazari@ut.ac.ir)

### Abstract

Improvement of water productivity is very essential for achieving water and food security. One of the basic strategies in this field is determination of crop yield gap and water productivity gap, which is the difference between the present actual situation and the potential situation. This research was carried out for wheat in Qazvin province according to GYGA protocols, which is an international methodology. At first, the map of climatic zones of the province was prepared based on Emberger method by using GIS. Then potential yield gap of wheat was estimated according to calibration and simulation of version 5 of Aqua crop model. Results showed that yield gap in various climate zones of the province was between 4502-6271 kg/ha, evapotranspiration water productivity gap was between 0.56-0.66 kg/m<sup>3</sup> and water (irrigation and effective rain) productivity gap was between 0.57-0.71 kg/m<sup>3</sup>. Results showed that actual wheat yield in Qazvin province is 37 percent of the potential yield. Also, relative evapotranspiration water productivity index was 0.47 and relative water productivity index was 0.31. These indices show the ratio of the actual to potential productivities. Based on this research results, the extent of gap between optimum and current condition of yield and water productivity is very wide. Yield gap is 63% of potential yield and water productivity gap is 69% of potential water productivity. This issue represents the considerable weakness existing in management of agricultural production and irrigation and reflects the potential opportunities for strengthening these operation, improving water productivity, decreasing the pressure on water resources, and increasing food security.

**Keywords:** Aqua crop, Water Productivity, Irrigation Management, Evapotranspiration.

---

1- Corresponding author: Assistant Professor of Water Engineering Department, Faculty of Technical & Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

\*- Received: July 2017 and Accepted: March 2018