

The study of Water Productivity and Yield Gap of Wheat, Barley and Maize in Qazvin Province

MAHNOUSH JENAB¹, BIJAN NAZARI^{2*}

1. MSc Graduate Student, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2. Assistant Professor, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

(Received: March. 4, 2018- Revised: Apr. 29, 2018- Accepted: May. 15, 2018)

ABSTRACT

Determination of water productivity gap is very important for planning and accomplishing water productivity improvement and strategies. This study has been carried out in Qazvin province based on GYGA protocols, which is an international methodology in yield gap analysis. Water and crop data gathering, climate and soil classification with GIS and crop modeling with Aqua Crop model version 5 were used for this purpose. Yield gap of wheat, barley and maize were determined to be 5.4, 5.5 and 6.7 ton/ha, respectively. Also, water productivity gap of wheat, barley and maize was 0.82, 0.47 and 1.22 kg/m³, respectively. The Yield gap and water productivity gap were varied in different climate zones and water productivity was varied in different years. The mean relative water productivity index (the ratio of current to potential water productivity) for wheat, barley and maize were estimated 0.38, 0.54 and 0.39%, respectively. From this viewpoint, barely crop has had better status among the proposed crops. The high water productivity gaps between the current and potential water productivity show that there are considerable weak points in agricultural production and irrigation management. In addition, there are high opportunities for enhancing water productivity and food security and decreasing pressure on water resources.

Keywords: Potential Productivity, Climate Classification, Yield Gap, Irrigation management

مطالعه شکاف عملکرد و شکاف بهره‌وری آب گندم، جو و ذرت در استان قزوین

مهنوش جناب^۱، بیژن نظری^۲

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۲۵)

چکیده

تعیین شکاف بهره‌وری آب برای برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری و اتخاذ راهکارهای افزایش بهره‌وری از اهمیت بالایی برخوردار است. این مطالعه در استان قزوین و بر اساس پروتکل‌های اطلس جهانی شکاف عملکرد انجام شده است. در این راستا، از گردآوری اطلاعات آبی و زراعی، شبیه‌سازی گیاهی با استفاده از نسخه ۵ مدل آکواکراپ و پهنه‌بندی اقلیم و خاک از طریق نرم‌افزار GIS استفاده شد. شکاف عملکرد گندم، جو و ذرت در استان به ترتیب ۵/۵، ۵/۴ و ۶/۷ تن بر هکتار و شکاف بهره‌وری آب گندم، جو و ذرت به ترتیب ۰/۸۲، ۰/۴۷ و ۱/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین گردید. در بین نواحی اقلیمی مختلف، شکاف عملکرد و بهره‌وری آب متفاوت بوده و بهره‌وری آب در سال‌های مختلف، تغییراتی داشته است. متوسط شاخص بهره‌وری نسبی آب (نسبت بهره‌وری فعلی به بهره‌وری پتانسیل) نیز برای گندم، جو و ذرت به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۵۴ و ۰/۳۹ درصد برآورد گردید. از این منظر، در بین محصولات مورد مطالعه، محصول جو وضعیت بهتری داشته است. بالا بودن شکاف بین وضعیت موجود و وضعیت پتانسیل نشان از نقاط ضعف قابل توجه در مدیریت تولید کشاورزی و مدیریت آبیاری دارد. این شکاف همچنین نشان می‌دهد که فرصت‌های بالقوه‌ای برای ارتقای بهره‌وری آب و کاهش فشار به منابع آب و افزایش امنیت غذایی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل بهره‌وری، پهنه‌بندی اقلیمی، شکاف عملکرد، مدیریت آبیاری

مقدمه

منابع آبی برای تأمین نیاز محصولات کشاورزی تحت فشار فزاینده هستند. بهره‌وری آب^۱ شاخصی است که میزان محصول به دست آمده از آب مصرف شده را نشان می‌دهد. این شاخص، یک مبنای کلیدی برای مطالعه میزان تولید محصولات کشاورزی و بازدهی منابع آب می‌باشد (French and Schultz, 2006; Passioura, 2006; Bessembinder et al., 1984). کمبود آب یکی از عوامل مهم بازدارنده اقتصادی و اجتماعی در اکثر کشورهای در حال توسعه به خصوص کشورهای واقع شده در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است (Angus et al., 1991). یکی از راهکارهای توصیه شده از سوی اقتصاددانان و سیاست‌گذاران در رابطه با حل معضل جهانی آب، پیاده‌سازی نظام بهره‌وری آب کشاورزی در ساختار مدیریت آب کشاورزی است (Ehsani & Khaledi, 2002). همچنین آنها عصاره اصلی و ساختار بنیادی مفهوم بهره‌وری آب کشاورزی را در استفاده صحیح از آب به همراه افزایش تولید محصولات

کشاورزی می‌دانند. در این راستا در چندین نمونه موفقیت‌آمیز نشان داده شده است که با اعمال کم‌آبیاری منظم در درختان میوه و انگور نه تنها بهره‌وری آب بلکه سود کشاورزان نیز افزایش می‌یابد (Fereses & Soriano, 2007).

در مطالعه تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور در مناطق کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان دلایل و منابع کاهش کارایی مصرف آب بررسی و تحلیل گردیده است. همچنین با استفاده از آمار سطح زیر کشت محصولات زراعی انتخابی در مناطق مختلف و ارقام متوسط کارایی مصرف آب، متوسط وزنی شاخص کارایی مصرف آب کشور، ۱/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب آب محاسبه شده است. در این تحقیق متوسط شاخص کارایی مصرف آب برای محصول گندم ۰/۷۳ و برای محصول جو ۰/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب گزارش شده است (Heydari, 2011). در مطالعه بهره‌وری آب آبیاری در دشت قزوین در سیستم‌های آبیاری بارانی، بهره‌وری آب آبیاری مربوط به محصول گندم بین ۰/۶۱ تا ۲/۲، محصول جو بین ۰/۷۵ تا ۲/۵ و محصول ذرت بین ۰/۳ تا ۲/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در سیستم‌های سطحی بهره‌وری محصول گندم بین ۰/۴۳ تا ۱/۲۵، بهره‌وری جو بین

* نویسنده مسئول: binazari@ut.ac.ir

1. WP: water productivity

مترمکعب بدست آمد.

عملکرد پتانسیل محصولات از سه طریق؛ شبیه‌سازی عملکرد به‌وسیله مدل‌های گیاهی، اندازه‌گیری مستقیم عملکرد در مزارع آزمایشی کنترل‌شده و بدون عوامل محدودکننده تحت نظارت متخصصان و بیش‌ترین عملکرد ثبت‌شده توسط کشاورزان قابل محاسبه است (Lobell *et al.*, 2009). منظور از شرایط پتانسیل، شرایطی بدون محدودیت آب و مواد غذایی و بروز عوامل بیماری‌زا، آفات، علف‌های هرز و شوری می‌باشد (Lobell *et al.*, 2009; Van Bussel *et al.*, 2015). مورد نظر از مدل‌های شبیه‌سازی محصول نیز برای تعیین شکاف عملکرد از طریق پروتکل شکاف عملکرد جهانی و اطلس بهره‌وری آب توسط Van Ittersum *et al.* (2013) بیان شده است. آکواکراپ یک مدل شبیه‌سازی گیاهی است که توسط سازمان فائو ارائه شده است و توسط محققین زیادی مورد ارزیابی و استفاده قرار گرفته است. مدل مذکور برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه جو در شرایط آب و هوایی مختلف در پنج منطقه (اتیوپی، ایتالیا، سوریه، مونتانا و آمریکا) در سال‌های مختلف استفاده شده و نتایج نشان داده است که مدل برای شرایط محیطی و آب و هوایی مختلف قادر است عملکرد گیاه را به‌خوبی شبیه‌سازی کند (Heng *et al.*, 2009). این مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه و بیوماس محصول گندم، دارای دقت قابل‌قبول می‌باشد (Amiri *et al.*, 2015). این مدل در شبیه‌سازی رشد ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب و نیتروژن دقت بالایی داشته است (Ebrahimi *et al.*, 2015). همچنین استفاده از مدل مذکور در برآورد اجزای بیلان آب و خاک و عملکرد ذرت بوسیله Ziaei *et al.* (2014) توصیه شده است.

تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد با بهینه‌سازی تخصیص منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری، بهینه‌سازی کم‌آبیاری و مدیریت کشت می‌توان بهره‌وری آب را افزایش داد و به این ترتیب فشار وارده به منابع آبی را تسکین بخشید. از طرفی با توجه به این‌که تاکنون مطالعاتی در خصوص شکاف بهره‌وری آب غلات در استان قزوین انجام نشده است، لذا در این تحقیق سعی شده است با استفاده از پروژه گیگا (اطلس جهانی شکاف عملکرد) که یک روش‌شناسی بین‌المللی است، این شکاف در شرایط فعلی محاسبه گردد. از طرفی جهت برآورد شکاف بهره‌وری موجود، نیاز به تعیین شرایط پتانسیل و به‌ویژه عملکرد پتانسیل محصول می‌باشد.

مواد و روش‌ها

استان قزوین در حوزه مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه

۰/۴۳ تا ۱/۴۲ و بهره‌وری ذرت بین ۰/۲۲ تا ۱/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمده است (Gholami *et al.*, 2015). در مطالعه کاربرد الگوریتم SEBAL در تخمین تبخیر و تعرق واقعی و بهره‌وری آب کشاورزی در دشت قزوین و مقایسه نتایج آن با داده‌های لایسیمتر، متوسط بهره‌وری آب بدون توجه به نوع گیاه در بازه ۰/۱۲ تا ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است (Kaviani *et al.*, 2011). همچنین در این تحقیق میزان بهره‌وری آب برای گندم در دشت قزوین با استفاده از تصاویر مودیس به طور متوسط ۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب و از داده‌های لایسیمتر ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است. آنها بیان داشتند دلیل این امر می‌تواند شرایط ایده‌آل لایسیمتر جهت 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. در تحقیقی نیز بهره‌وری آب برای محصولات گندم در کشور هند محاسبه شده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که بهره‌وری آب برای گندم، ۱/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب است (Singh *et al.*, 2006). بهره‌وری آب محصول ذرت در ۱۲۴ کشور مختلف محاسبه و گزارش شده است. طبق نتایج این تحقیق، کشورهای آمریکا و چین با بیش از ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و کشورهای آفریقایی با کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب بیشترین و کمترین بهره‌وری آب را داشتند (Liu *et al.*, 2008). نتایج تحقیق Fan *et al.* (2014) در خصوص مقایسه بهره‌وری آب در محصولات زراعی در شمال غرب چین نشان داد بهره‌وری آب در گندم و ذرت به ترتیب برابر ۱/۶۸-۰/۵۷ و ۲/۱-۰/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. همچنین بهره‌وری اقتصادی برای گندم و ذرت به ترتیب برابر ۰/۱۹ و ۰/۲۳ دلار بر مترمکعب به دست آمده است. در مطالعه تعیین اجزای شاخص بهره‌وری آب تحت مدیریت تک آبیاری در زمان کاشت برای ارقام گندم دیم که توسط Tavakoli (2012) انجام شده، اجزای آبیاری شامل بهره‌وری بارش، بهره‌وری تک آبیاری و بهره‌وری کل آب کاربردی (که شامل تک آبیاری و بارش می‌باشد) برای سه تاریخ کشت متفاوت، سه میزان مختلف در حجم آبیاری و ۵ رقم گندم بررسی گردیده است. حداکثر میزان اجزای شاخص بهره‌وری برای رقم آذر ۲ در تیمارهای ۱۰۰ میلی‌متر تک آبیاری در تاریخ کاشت اول مهر، ۷۵ میلی‌متر تک آبیاری در اواسط مهر و ۵۰ میلی‌متر تک آبیاری در اواخر مهر بدست آمده است. میزان بهره‌وری تک آبیاری نیز بین ۱/۱۳ تا ۲/۱۳ کیلوگرم بر

تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد. این استان با ۴۸۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در کشور محسوب می‌گردد. محصولات زراعی عمده استان، شامل گندم، جو و ذرت دانه‌ای آبی می‌باشد. برای تعیین شکاف بهره‌وری محصولات از روش پیشنهادی در پروژه GYGA به معنی تعیین شکاف عملکرد جهانی و اطلس بهره‌وری آب^۱ (Van Bussel et al., 2015) استفاده شده است. پروژه مذکور، یک پروژه بین‌المللی بوده که با همکاری دانشگاه‌ها و محققین مختلف جهان و با محوریت دانشگاه‌های نبراسکا آمریکا و واخنینگن هلند پایه‌ریزی شده است. این روش دارای شش پروتکل شامل پروتکل انتخاب نواحی آب‌وهوایی و ایستگاه‌های آب و هواشناسی مرجع، پروتکل تعیین اطلاعات اقلیمی، پروتکل تعیین سری‌های خاک، پروتکل واسنجی مدل، پروتکل برآورد متوسط عملکرد واقعی برای محاسبه شکاف عملکرد و پروتکل تعیین بهره‌وری آب می‌باشد که در جدول (۱) به جزئیات آنها اشاره شده است.

۱. GYGA: Global Yield Gap And Water Productivity Atlas

جدول ۱- مراحل گام به گام تعیین شکاف عملکرد جهانی و اطلس بهره‌وری آب

عنوان پروتکل	مراحل گام به گام اجرای پروتکل
انتخاب نواحی آب‌وهوایی و ایستگاه‌های آب و هواشناسی مرجع	۱- انتخاب نواحی آب و هوایی برگزیده ۲- شناسایی و انتخاب ایستگاه‌های آب و هواشناسی مرجع
پروتکل تعیین اطلاعات اقلیمی	۱- بررسی حداقل اطلاعات ۲- بررسی مجدد مختصات ایستگاه‌های انتخابی ۳- کنترل کیفی آمار
پروتکل تعیین سری‌های خاک	۱- انتخاب منبع اطلاعات خاکشناسی ۲- تعیین خاک غالب منطقه ۳- تعیین خصوصیات خاک
پروتکل واسنجی مدل	۱- انتخاب مدل گیاهی مناسب منطقه ۲- واسنجی مدل ۳- شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل در ایستگاه‌های مرجع
پروتکل برآورد متوسط عملکرد واقعی و شکاف عملکرد	۱- تعیین عملکرد واقعی در ایستگاه‌های مرجع ۲- محاسبه شکاف عملکرد هر منطقه و تعمیم به کل سطح مورد مطالعه
تعیین اطلس و شکاف بهره‌وری آب	۱- تعیین بهره‌وری واقعی و پتانسیل آب ۲- تهیه اطلس بهره‌وری واقعی و پتانسیل آب

اقلیم)، لایه‌های اطلاعاتی خاک محدوده‌ها نیز تهیه گردید. طبق پروتکل‌های گیگا نواحی آب و هوایی که سطح کشت محصولات در آنها کم و ناچیز باشد (سطح کشت کمتر از ۱ درصد کل مساحت زیر کشت)، باید از روال مطالعات حذف گردد. لازم به ذکر است که می‌بایست کل درصد سطح کشت محصول انتخابی در کلیه نواحی برگزیده بیشتر از ۵۰ درصد سطح کشت آن محصول در استان باشد (Van Bussel et al., 2015) که این شرایط در استان مورد مطالعه برقرار بوده است.

برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه از نسخه ۵ مدل آکوآکراپ استفاده شد. علی‌رغم تأیید مدل در شبیه‌سازی عملکرد با توجه به این که باید مدل قبل از هر مطالعه در منطقه ارزیابی و واسنجی شود، در این مطالعه نیز بدین منوال عمل شد. به این منظور از اطلاعات پژوهش Golkar (1998) بر روی محصول گندم، Farhadi Bansooleh (1998) بر روی محصول جو و Mirlatifi and Sotoodehnia (2002) بر روی محصول ذرت بعنوان مقادیر مشاهداتی استفاده شد. تیمارهای بکار رفته شامل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ نیاز آبی گیاه (به ترتیب T60، T70، T80، T90، T100، T110، T50، T40، T30، T20 و T10) و تیمار دیم با دو آبیاری (T0) بوده است. از طرفی با توجه به امکان‌پذیر نبودن اندازه‌گیری

مرحله اول، انتخاب صحیح نواحی آب و هوایی و مناطق تحت پوشش و 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 Van Ittersum et al. (2013) و Van Wart et al. (2013a) 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 تحت پوشش نیز شامل منطقه‌ای است که حداکثر در ۱۰۰ کیلومتری موقعیت ایستگاه هواشناسی بوده و دارای کشت مورد نظر باشد. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود و اطلاعات آنها از طریق اداره هواشناسی استان اخذ و بررسی گردیده و ایستگاه‌های مرجع انتخاب گردید.

میزان سطح کشت محصول و عملکرد واقعی در طی ۱۵ سال اخیر به تفکیک بخش‌های استان از سازمان جهاد کشاورزی اخذ گردید. آمار اخذ شده سطح کشت و عملکرد برای مناطق تحت پوشش نواحی آب و هوایی تفکیک و لایه‌های اطلاعاتی لازم در محیط GIS تهیه گردید. بعلاوه بر اساس اطلاعات واحد تحقیقات خاک و آب جهاد کشاورزی و مطالعات خاکشناسی انجام شده در مناطق مختلف استان در قالب ۵۰ مورد گزارش طراحی سیستم‌های آبیاری (شرکت ثمین آب قزوین، ایده نگار

$$NRMSE = 1/Q * \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

- کارایی مدل‌سازی (EF)

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آنها P_i مقادیر پیش‌بینی شده، Q_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به کار رفته، Q مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد. درصد خطای نسبی و ریشه دوم میانگین مجذور خطاهای نرمال شده صفر و حداکثر مقدار کارایی مدل‌سازی برابر با یک می‌باشد. ریشه دوم میانگین مجذور خطاهای نرمال شده کمتر از ۱۰٪ تا ۲۰٪ شرایط مناسب، بین ۲۰ تا ۳۰٪ شرایط متوسط و بیشتر از ۳۰٪ نشان‌دهنده حالت عدم اطمینان است. کارایی مدل‌سازی می‌تواند مقادیری منفی نیز داشته باشد. این شاخص، مقادیر پیش‌بینی شده را با میانگین اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی کارایی مدل‌سازی بیانگر آن است که مقادیر اندازه‌گیری شده، بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده بوده است.

اغلب پارامترهای گیاهی در مطالعات مزرعه‌ای، در این مطالعه سعی شد ابتدا برخی از مهم‌ترین پارامترهای گیاهی در منطقه مورد مطالعه، واسنجی گردد. روش واسنجی هم به صورت استخراج مقادیر بهینه پارامترهای واسنجی شده با هدف حداقل کردن اختلاف نتایج شبیه‌سازی مدل با مقادیر مشاهداتی (عملکرد در تیمارهای آبیاری مختلف) بوده است. در جدول (۲) خلاصه‌ای از اطلاعات گیاهی پس از واسنجی شدن آورده شده است. سپس آمار عملکرد خروجی مدل با آمار عملکرد مشاهده‌ای با هم مقایسه شدند که نتایج در جدول (۳) ارائه شده است. برای بررسی بهتر کارایی مدل در تخمین عملکرد، از شاخص‌های آماری زیر استفاده شد.

- درصد خطای نسبی (RE)

$$RE = \frac{(P_i - Q_i)}{Q_i} * 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

- ریشه دوم میانگین مجذور خطاهای نرمال شده (NRMSE)

جدول ۲- پارامترهای واسنجی شده گیاهی مربوط به غلات مورد مطالعه

گیاه	گندم	جو	ذرت
جوانه‌زنی	۱۷	۱۷	۶
گل‌دهی	۱۷۵	۱۷۵	۶۶
حداکثر پوشش گیاهی	۱۹۱	۱۹۱	۵۴
شروع پیری پوشش گیاهی	۲۰۱	۲۰۱	۱۰۷
رسیدگی فیزیولوژیکی	۲۳۵	۲۳۵	۱۳۲
حداکثر عمق توسعه ریشه	۹۷	۹۷	۱۰۸
طول دوره گلدهی (روز)	۱۳	۱۳	۱۳
ماکزیمم عمق ریشه (cm)	۱۰۰	۱۰۰	۱۳۰
پوشش گیاهی اولیه (درصد)	۳/۳۷	۳/۱۳	۰/۴۹
حداکثر پوشش گیاهی (درصد)	۸۰	۸۰	۹۰
ضریب نرمال شده بهره‌وری آب (ton/ha)	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۳۳۷

جدول ۳- مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای غلات برحسب کیلوگرم بر هکتار

تیمارهای آبیاری	T0	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T70	T80	T90	T100	T110
اندازه‌گیری	۳۰۷۴	۳۱۷۴	۳۶۴۱	۴۲۲۹	۴۸۵۲	۵۱۷۱	۴۸۱۸	۵۳۰۷	۵۶۳۸	۵۶۲۸	۵۸۵۹	۵۵۳۲
شبیه‌سازی	۲۵۹۹	۳۳۲۲	۳۹۶۹	۴۳۰۴	۴۹۳۸	۵۲۱۸	۵۴۴۳	۵۵۹۱	۵۵۹۸	۵۵۹۸	۵۵۸۲	۵۵۹۹
اندازه‌گیری	۳۲۹۶	۳۴۰۵	۴۵۱۵	۴۹۵۸	۵۱۳۲	۵۱۰۸	۵۵۲۶	۵۹۵۷	۵۸۲۸	۶۰۳۲	۶۱۸۴	-
شبیه‌سازی	۴۱۴۰	۴۳۸۵	۴۷۱۷	۴۹۶۰	۵۳۲۱	۵۵۷۶	۵۷۴۲	۵۹۸۷	۶۰۱۸	۶۰۱۳	۶۰۱۳	-
اندازه‌گیری	-	-	-	-	۱۱۳۳۹	۱۰۶۴۸	۵۰۴۶	-	۵۰۸۹	-	-	-
شبیه‌سازی	-	-	-	-	۱۲۳۶۶	۱۰۴۰۹	۶۰۹۹	-	۶۸۱۶	-	-	-
اندازه‌گیری	-	-	-	-	۱۲۶۲۴	۶۱۸۱	۶۳۱۹	-	۲۳۵۹	-	-	-
شبیه‌سازی	-	-	-	-	۱۰۳۶۶	۶۷۴۳	۶۷۴۱	-	۲۳۶۰	-	-	-

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 $Y(\text{RWS buffer zone})_i$ مساحت منطقه تحت پوشش هر ایستگاه مرجع می‌باشد.

(رابطه ۷)

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

که در آن $Y(\text{climate zone})_i$ عملکرد پتانسیل / واقعی سالانه کلیه نواحی آب و هوایی، s تعداد نواحی آب و هوایی و $\text{Area}(\text{climate zone})_i$ مساحت هر ناحیه آب و هوایی و $Y(\text{total})$ عملکرد کل محدوده مطالعه (در اینجا استان) می‌باشد.

بیان آب نیز طبق پروتکل بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I + P + SI - D - Rout - S2 = E \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن I ، آب آبیاری؛ P ، بارش؛ SI ، که 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 - تعرق گیاه می‌باشد.

شاخص بهره‌وری آب آبیاری و بارش که از شاخص‌های رایج بهره‌وری آب است، نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود (Kijne *et al.*, 2003):

$$WP = \frac{Y(\text{kg ha}^{-1})}{[I + P](\text{m}^3 \text{ha}^{-1})} \quad (\text{رابطه ۹})$$

که I و P مقدار آبیاری و بارندگی بر حسب مترمکعب در هکتار در طول فصل زراعی و WP بهره‌وری آب آبیاری و بارش می‌باشد که معمولاً به اختصار بهره‌وری آب و یا بهره‌وری آب کل نیز نامیده می‌شود و بر حسب کیلوگرم در مترمکعب است. این شاخص برای ارزیابی مدیریت آبیاری شاخص مهم‌تری است زیرا راندمان آبیاری در مخرج کسر و میزان حجم آب آبیاری اثرگذار است. در این پژوهش متوسط راندمان کاربرد آبیاری استان بر اساس مطالعات ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی و تحت فشار منطقه (Pandam consulting engineers, 2005; Lar) و (consulting engineers, 2010; Rashtmanloo *et al.*, 2011) درصد سیستم‌های آبیاری مزارع (استعلام از سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین)، ۴۳ درصد برآورد گردید. سپس شاخص بهره‌وری نسبی (رابطه ۱۰) که برای تحلیل بهتر تفاوت وضعیت فعلی با وضعیت پتانسیل است، به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

چنانچه قبلاً نیز اشاره گردید به طور کلی عملکرد پتانسیل محصولات از سه طریق؛ شبیه‌سازی عملکرد به‌وسیله مدل‌های گیاهی، اندازه‌گیری مستقیم عملکرد در مزارع آزمایشی کنترل‌شده و بدون عوامل محدودکننده تحت نظارت متخصصان و بیش‌ترین عملکرد ثبت‌شده توسط کشاورزان قابل محاسبه است (Lobell *et al.*, 2009). منظور از شرایط پتانسیل، شرایطی بدون محدودیت آب و مواد غذایی و بروز عوامل بیماری‌زا، آفات، علف‌های هرز و شوری برای رشد گیاه می‌باشد. در این مطالعه از روش مدل‌سازی گیاهی استفاده شده است. اصول استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی محصول برای تعیین شکاف عملکرد نیز بر اساس پروتکل شکاف عملکرد جهانی و اطلس بهره‌وری آب انجام شده است. روال کار این است که بعد از واسنجی مدل، کلیه شرایط غیر قابل کنترل و قابل کنترل رشد گیاه نظیر اطلاعات اقلیمی (بارندگی، حداقل و حداکثر دما، تبخیر و تعرق گیاه مرجع و میزان CO_2)، اطلاعات گیاه بر اساس مشخصات رقم محصول اعم از تاریخ کشت، دوره کشت شامل مشخصات زمان جوانه‌زنی، گلدهی، شروع پیری و رسیدن محصول، شاخص برداشت، اطلاعات بافت خاک، اطلاعات آبیاری و مدیریت مزرعه و شرایط اولیه رطوبت خاک در شرایط بهینه به مدل معرفی می‌گردد و مدل بر اساس شرایط اقلیمی و نوع خاک منطقه که به آسانی قابل‌تغییر و مدیریت نیست، اجرا می‌شود. نتایج حاصل را به عنوان عملکرد پتانسیل در نظر می‌گیرند. بر اساس مطالعه Saeidi & Abdoli (2015) شاخص برداشت گندم ۴۸، بر اساس مطالعه Hamzei & Seyedi (2013) شاخص برداشت جو ۴۳ و بر اساس مطالعه Izadi & Emam (2010) شاخص برداشت ذرت ۶۰ درصد در نظر گرفته شد. عملکرد واقعی هم که به تفکیک بخش‌های استان موجود بود، با میانگین‌گیری وزنی برای منطقه تحت پوشش ایستگاه‌ها محاسبه گردید. میزان برآورد شده در مناطق تحت پوشش انتخابی مطابق معادلات (۴ تا ۷) به کلیه نواحی آب و هوایی استان بسط داده شد (Van Bussel *et al.*, 2015).

$$Y(\text{year}) = \frac{\sum_{i=1}^n Y(i) \times \text{Area}(i)}{\sum_{i=1}^n \text{Area}(i)} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن $Y(i)$ میزان عملکرد پتانسیل / واقعی سالانه هر بخش، n تعداد بخش‌ها، $\text{Area}(i)$ مساحت هر بخش می‌باشد.

$$Y(\text{station}) = \frac{\sum_{i=1}^k Y(\text{year})_i}{k} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن $Y(\text{year})_i$ عملکرد پتانسیل / واقعی سالانه بخش‌های زیر مجموعه هر ایستگاه و k تعداد سال‌ها می‌باشد.

(رابطه ۶)

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

خیلی سرد تقسیم شدند و برای ناحیه خشک سرد به دلیل وسعت آن سه ایستگاه مرجع در نظر گرفته شد. لذا در کل ۵ ایستگاه هواشناسی مرجع S1, S2, S3, S4, S5 برای محصولات گندم و جو و ۴ ایستگاه مرجع S1, S2, S3, S5 برای محصول ذرت در نظر گرفته شد. ایستگاه‌های آب و هواشناسی مرجع انتخاب شده برای هر ناحیه نیز در (شکل ۱) ارائه شده است.

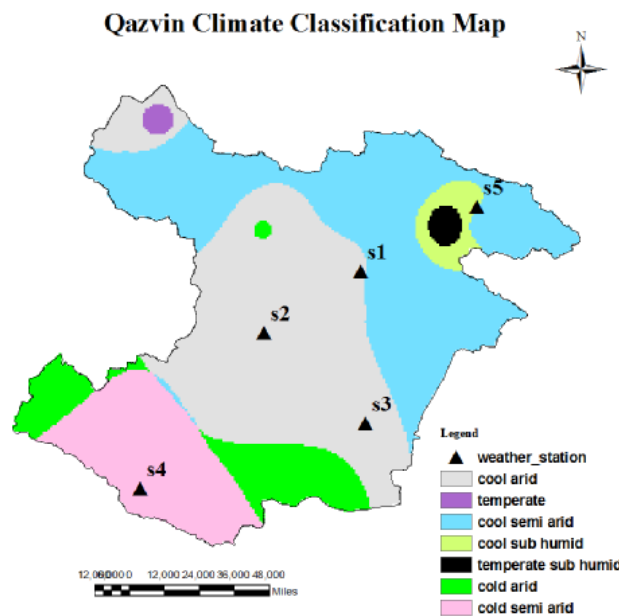
طبق پروتکل و بر اساس رهنمودهای Grassini *et al.* (2015) غالب‌ترین بافت خاک، برای هر منطقه بر اساس اطلاعات اخذ شده از واحد تحقیقات خاک و آب جهاد کشاورزی و گزارش‌های خاکشناسی و شناسنامه‌های طرح‌های آبیاری اجرا شده در استان انتخاب شد (جدول ۴ و ۵).

$$RWP = \frac{WPa}{WPP} \quad (\text{رابطه } 10)$$

که در آن RWP شاخص بهره‌وری نسبی، WPa بهره‌وری در شرایط فعلی و WPP بهره‌وری در شرایط پتانسیل است و در بهترین حالت می‌تواند مقدار ۱ را اختیار کند و به معنای دستیابی به بهره‌وری آب پتانسیل می‌باشد.

نتایج و بحث

بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی انجام شده، استان به ۷ ناحیه اقلیمی خشک سرد، معتدل، نیمه‌خشک سرد، نیمه مرطوب سرد، نیمه مرطوب معتدل، خشک خیلی سرد و نیمه‌خشک خیلی سرد تقسیم‌بندی گردید (شکل ۱). نواحی آب و هوایی برگزیده استان به ۳ بخش خشک سرد، نیمه‌خشک سرد و نیمه‌خشک



شکل ۱- نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مرجع و پهنه‌بندی اقلیمی استان به روش آمبرژه

جدول ۴- بافت خاک غالب مناطق تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی

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

جدول ۵- مشخصات بافت خاک غالب مناطق تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی

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

PWP، درصد رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم، FC، درصد رطوبت حجمی ظرفیت زراعی، SAT، درصد رطوبت حجمی اشباع و Ksat هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌باشد.

مدل آکواکراپ را در شبیه‌سازی گیاه جو مناسب پیش‌بینی نموده است. با توجه به نتایج شاخص‌های آماری ارائه شده در جدول (۶) و شکل (۲) و مطالعات سابق انجام شده ارزیابی مدل قابل قبول به نظر می‌رسد.

نتایج محاسبات عملکرد واقعی در شرایط فعلی و عملکرد پتانسیل استان به صورت جدول (۷) و شکل (۳) می‌باشد. نتایج محاسبات بهره‌وری آب واقعی، پتانسیل و شکاف موجود استان به صورت شکل (۴) بدست آمده است.

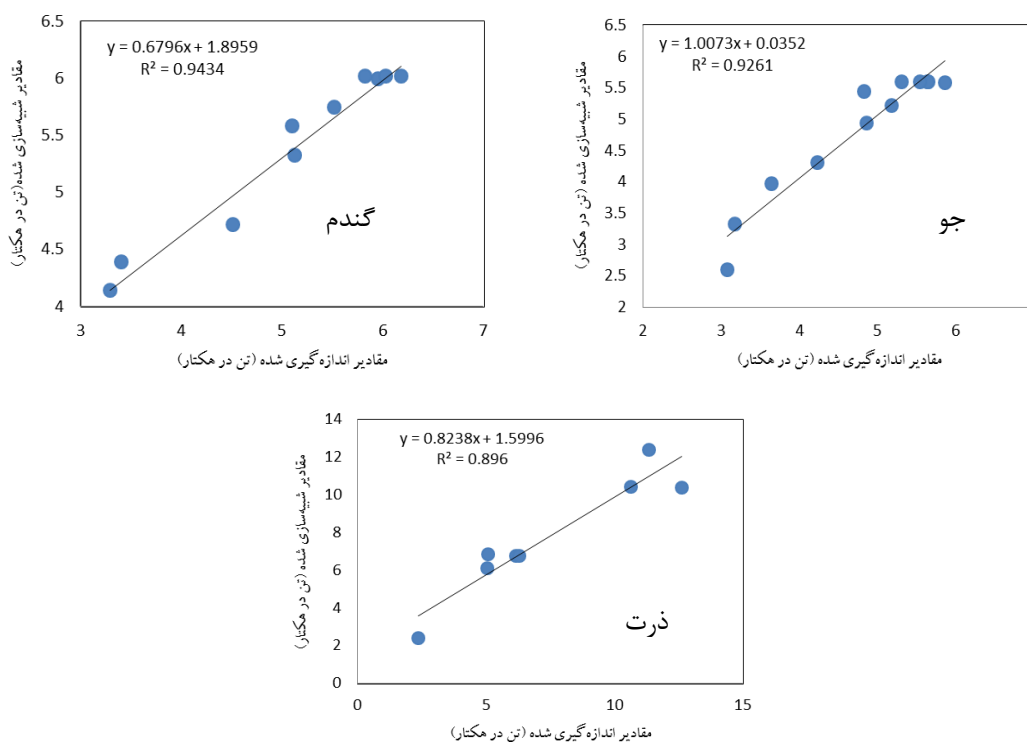
نتایج واسنجی نسخه ۵ مدل آکواکراپ در شکل (۲) و شاخص‌های آماری بررسی شده در جدول (۶) نشان داده شده است.

در تحقیق Amiri et al. (2015) مقدار NRMSE در واسنجی مدل آکواکراپ برای محصول گندم بین ۰/۵ تا ۹ درصد گزارش شده است. در تحقیق Ebrahimi et al. (2015) مقدار NRMSE در واسنجی مدل محصول ذرت دانه‌ای ۱۸/۷ و ۲۰/۹ درصد محاسبه شده است. Heng et al. (2009) نیز عملکرد

جدول ۶- مقایسه مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده

تیمارها	گندم	جو	ذرت ۱۳۷۹	ذرت ۱۳۸۰
میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی (٪)	۴/۸	۷/۵	۱۶/۵	۸/۴
(NRMSE) برحسب درصد	۵/۸	۸/۲	۱۴/۲	۱۷/۲
کارایی مدل‌سازی (EF)	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۸۷	۰/۹۷

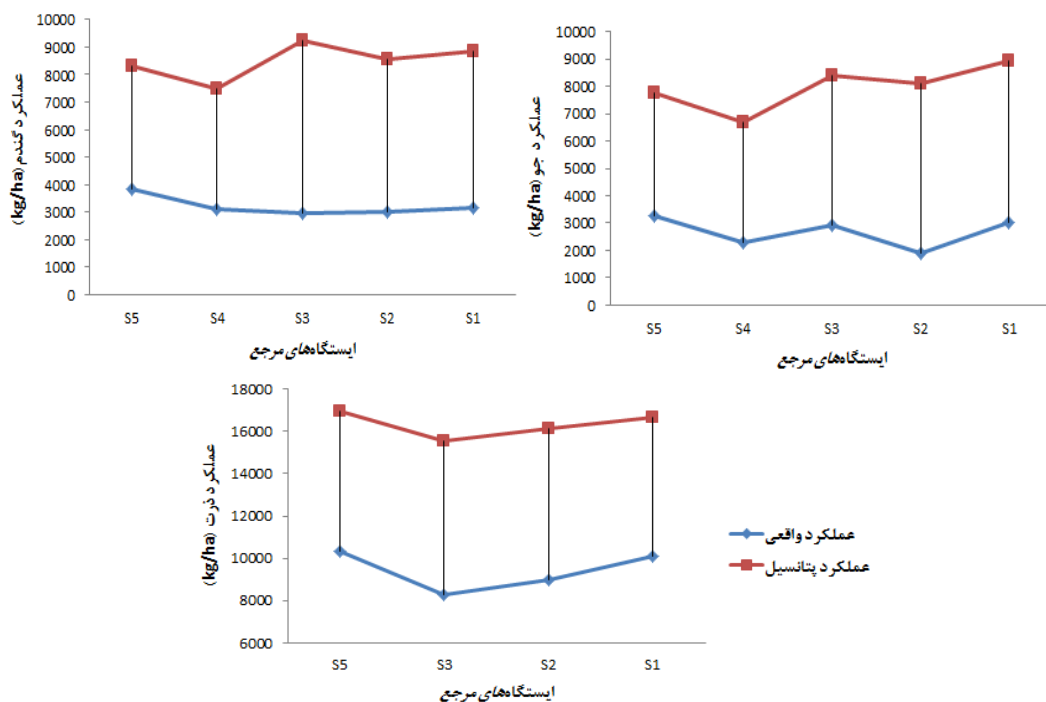
منظور از ذرت ۱۳۷۹، تحقیقی است که در سال ۱۳۷۹ بر روی ذرت انجام شده و ذرت ۱۳۸۰، تحقیقی است که در سال ۱۳۸۰ بر روی ذرت انجام شده است.



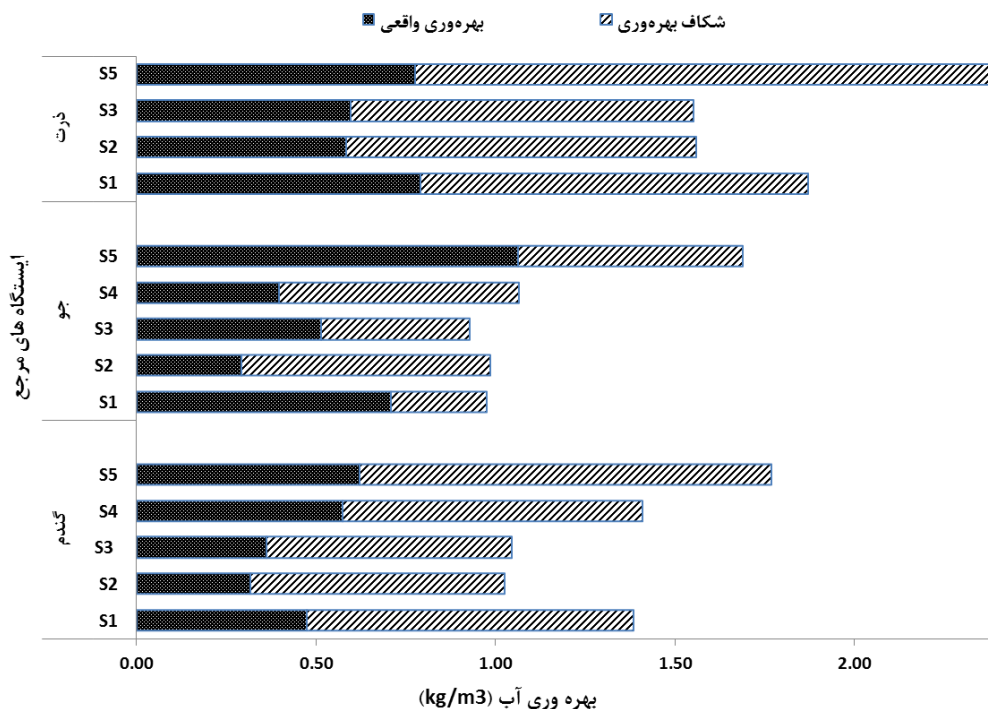
شکل ۲- نمودار مقایسه عملکردهای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده

جدول ۷- عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل غلات

محصول	شاخص	سال					
		متوسط	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵
گندم	عملکرد واقعی (kg/ha)	۳۲۸۷	۳۱۹۳	۳۰۹۰	۲۸۵۴	۳۶۴۱	۳۶۵۹
	عملکرد پتانسیل (kg/ha)	۸۷۶۷	۸۲۸۰	۷۹۰۴	۹۵۱۷	۸۸۷۴	۹۲۵۹
جو	عملکرد واقعی (kg/ha)	۲۸۷۳	۳۲۵۳	۲۸۷۵	۲۷۴۶	۲۶۶۵	۲۸۲۵
	عملکرد پتانسیل (kg/ha)	۸۲۳۳	۸۰۴۱	۷۳۴۲	۸۸۰۱	۸۲۰۰	۸۷۸۳
ذرت	عملکرد واقعی (kg/ha)	۹۹۸۴	۱۰۴۳۷	۹۴۰۷	۸۸۸۸	۱۱۲۷۹	۹۹۰۷
	عملکرد پتانسیل (kg/ha)	۱۶۶۶۸	۱۶۸۵۸	۱۶۹۳۴	۱۶۸۱۷	۱۶۴۸۹	۱۶۲۴۳



شکل ۳- نمودار عملکرد واقعی و پتانسیل و شکاف عملکرد



شکل ۴- نمودار بهره‌وری آب در شرایط فعلی (واقعی) و پتانسیل

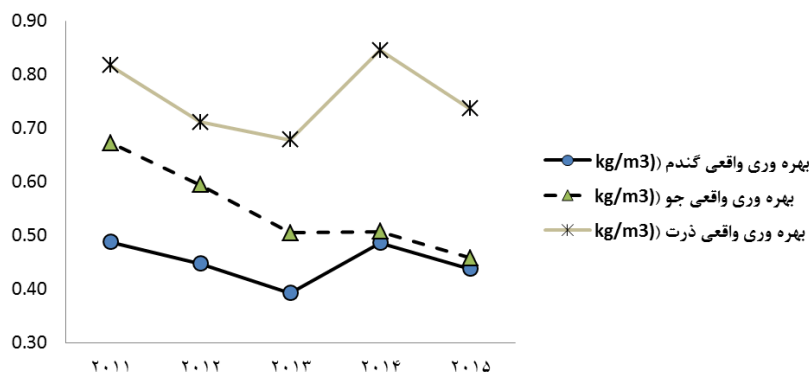
مترمکعب به‌دست آمد. شکاف بهره‌وری آب استان برای محصولات مورد مطالعه در این حالت به ترتیب برابر ۰/۸۲، ۰/۴۷ و ۱/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. از طرفی با توجه به شکل (۴) عملکرد پتانسیل و واقعی نواحی تحت پوشش ایستگاه‌های S5 و S1 نسبت به مابقی ایستگاه‌ها بالاتر است. بر اساس پهنه‌بندی انجام شده عمده اراضی تحت پوشش ایستگاه

نتایج نشان می‌دهد که متوسط عملکرد گندم، جو و ذرت در شرایط فعلی به ترتیب در حدود ۳۲۸۷، ۲۸۷۳ و ۹۹۸۴ و عملکرد پتانسیل آنها ۸۷۶۷، ۸۲۳۳ و ۱۶۶۶۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. میزان بهره‌وری آب محصولات نامبرده در شرایط فعلی در سطح استان نیز به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۵۵ و ۰/۷۶ و میزان پتانسیل بهره‌وری آب آنها ۱/۲۷، ۱/۰۱ و ۱/۹۸ کیلوگرم بر

S5 شامل اراضی کشاورزی شهرستان‌های آبیک و البرز می‌باشد که از لحاظ اقلیمی در شرایط مساعدتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها قرار دارد. از تحقیق حاضر و مقایسه با شرایط تجربی منطقه نتیجه گرفته می‌شود که شرایط اقلیمی که حاصل تلفیقی از میزان بارش، نحوه توزیع زمانی و مکانی بارش و وضعیت دمای هوای منطقه می‌باشد، تأثیر بسزایی در میزان عملکرد و تولید محصولات کشاورزی دارد. اراضی تحت پوشش ایستگاه S1 نیز که بخش عمده آن مربوط به اراضی کشاورزی شهرستان قزوین می‌باشد، از نظر موقعیت نزدیک‌ترین منطقه به اراضی ناحیه تحت پوشش ایستگاه S5 است. با این حال به دلیل قرار گرفتن در یک طبقه‌بندی اقلیمی دیگر، دارای عملکردی پایین‌تر از نواحی تحت پوشش ایستگاه S5 و بالاتر از مابقی

نواحی می‌باشد.

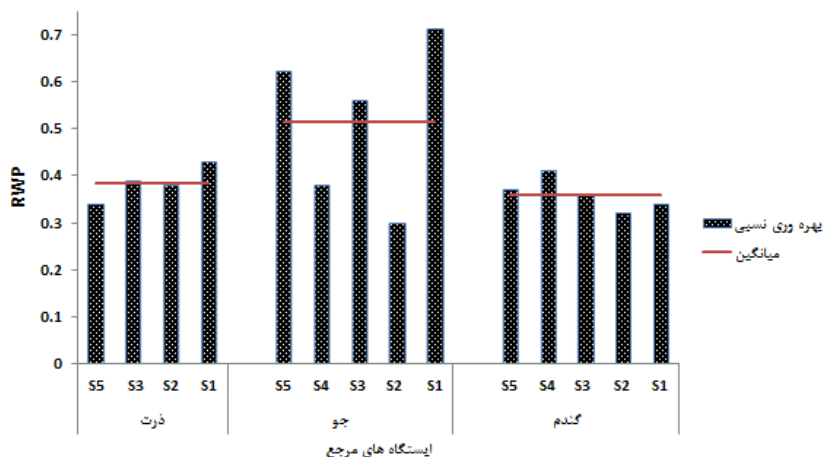
نمودار تغییرات زمانی بهره‌وری آب استان در طی ۵ سال اخیر به صورت شکل (۵) می‌باشد. حداقل بهره‌وری گندم و ذرت در سال ۲۰۱۳ و به ترتیب برابر ۰/۳۹ و ۰/۶۸ و حداقل بهره‌وری جو در سال ۲۰۱۵ و به میزان ۰/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. حداکثر میزان آن نیز برای گندم و ذرت در سال ۲۰۱۴ و به ترتیب برابر ۰/۴۹ و ۰/۸۵ و برای جو در سال ۲۰۱۱ برابر ۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد گردید. در سال‌های اخیر بهره‌وری آب هر سه محصول روند نزولی داشته است که دلیل اصلی آن کاهش نزولات جوی می‌باشد (جدول ۸). در سال ۲۰۱۳ نیز به دلیل کاهش عملکرد گندم و ذرت نسبت به مابقی سال‌های بررسی شده، میزان بهره‌وری به حداقل رسیده است.



شکل ۵- نمودار تغییرات زمانی بهره‌وری آب واقعی گندم، جو، و ذرت در سال‌های اخیر (kg/m³)

دارد. از طرفی مناطق مختلف استان رفتار متفاوتی نسبت به بهره‌وری آب محصولات مختلف نشان دادند. به طوری که محصول ذرت و جو در مناطق تحت پوشش ایستگاه هواشناسی S1 و محصول گندم در مناطق تحت پوشش ایستگاه هواشناسی S4 بهترین وضعیت را نشان می‌دهد.

شاخص بهره‌وری نسبی آب محصولات مورد بررسی در مناطق مختلف استان در شکل (۶) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد متوسط بهره‌وری نسبی آب استان برای محصول ذرت برای گندم ۰/۳۷ و برای جو ۰/۵۴ بدست آمد. نتایج حاکی از آن است شرایط فعلی محصول جو در استان از نظر بهره‌وری آب در وضعیت بهتری نسبت به دو محصول دیگر قرار



شکل ۶- شاخص بهره‌وری نسبی آب به تفکیک ایستگاه‌های مرجع

جدول ۸- آمار بارندگی در طی دوره رشد برای محصولات مورد مطالعه (میلی‌متر)

محصول	سال				
	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵
گندم	۲۸۴/۵	۲۵۷/۳	۲۳۰/۹	۲۱۳/۶	۱۴۷/۵
جو	۲۴۰/۷	۲۳۳/۶	۱۹۴/۱	۲۰۶/۶	۱۳۹/۷
ذرت	۷۸/۷	۴۰/۱	۵۱/۶	۳۰/۷	۲۱/۴

آبیاری را تا سقف ۸۵ درصد افزایش داد در حدود ۲۱/۷ درصد از شکاف بهره‌وری گندم، ۳۳/۱ درصد از شکاف بهره‌وری جو و ۲۷/۶ درصد از شکاف بهره‌وری ذرت قابل جبران خواهد بود. با افزایش سطح تحت پوشش سیستم‌های آبیاری تحت فشار نیز میزان جبران شکاف بهره‌وری محصولات گندم، جو و ذرت به ترتیب ۲۰/۶، ۳۷ و ۲۸ درصد خواهد بود.

با توجه به این‌که عملکرد پتانسیل در شرایط وجود نداشتن تنش‌های کودی، آبی و شوری شبیه‌سازی شده است؛ جهت بررسی مدیریت آبیاری نسبت به شبیه‌سازی عملکرد در شرایط ۳۰ درصد کم‌آبیاری اقدام گردید که نتایج به صورت جدول (۹) ارائه شده است. از طرفی طی بررسی‌های بعمل آمده، چنانچه بتوان با اعمال مدیریت‌های لازم میزان راندمان کاربرد

جدول ۹- عملکرد و بهره‌وری آب در شرایط اعمال کم‌آبیاری و میزان آب مصرفی در شرایط فعلی و پتانسیل

محصول	شاخص	سال					
		متوسط	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵
گندم	عملکرد در شرایط کم‌آبیاری (kg/ha)	۴۳۷۴	۵۰۷۱	۵۳۰۶	۶۷۴۵	۶۷۱۶	۵۶۴۳
	میزان آب مصرفی در شرایط فعلی (m ³)	۱۱۰۰۸	۱۰۶۷۶	۱۰۵۹۰	۱۰۴۵۷	۱۰۳۱۹	۱۰۶۱۰
	میزان آب مصرفی در شرایط پتانسیل (m ³)	۱۰۸۷۲	۱۰۳۵۰	۹۲۶۰	۸۲۵۸	۸۲۸۶	۹۴۰۵
	بهره‌وری در شرایط کم‌آبیاری (kg/m ³)	۰/۵۲	۰/۶۸	۰/۷۳	۰/۹۸	۱/۰۳	۰/۷۷
جو	عملکرد در شرایط کم‌آبیاری (kg/ha)	۴۸۵۱	۴۸۷۹	۶۰۷۷	۶۲۷۱	۶۸۳۳	۵۷۸۲
	میزان آب مصرفی در شرایط فعلی (m ³)	۸۳۶۹	۷۹۹۶	۸۰۷۶	۷۸۳۱	۷۸۳۹	۸۰۲۲
	میزان آب مصرفی در شرایط پتانسیل (m ³)	۱۲۰۱۱	۱۱۴۱۵	۱۰۳۸۷	۸۷۲۱	۹۰۲۶	۱۰۳۱۲
	بهره‌وری در شرایط کم‌آبیاری (kg/m ³)	۰/۷۹	۰/۹۳	۱/۱۲	۱/۳۰	۱/۴۱	۱/۱۱
ذرت	عملکرد در شرایط کم‌آبیاری (kg/ha)	۱۰۹۵۲	۱۰۷۰۶	۱۴۸۳۶	۱۴۵۸۰	۱۴۵۱۰	۱۳۱۱۷
	میزان آب مصرفی در شرایط فعلی (m ³)	۱۵۵۸۰	۱۵۵۴۸	۱۵۴۷۴	۱۵۵۱۴	۱۵۳۷۵	۱۵۴۹۸
	میزان آب مصرفی در شرایط پتانسیل (m ³)	۹۸۹۰	۱۰۰۹۳	۸۳۳۰	۸۱۸۷	۸۴۰۳	۸۹۸۰
	بهره‌وری در شرایط کم‌آبیاری (kg/m ³)	۰/۸۱	۰/۸	۱/۱۳	۱/۱	۱/۱۴	۱/۰۰

جهان، ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل را عملکرد قابل‌دستیابی و نقطه هدف برای برنامه‌ریزی معرفی کرده‌اند. بر این مبنا با افزایش عملکرد محصولات در استان قزوین به این نقطه هدف، می‌توان بهره‌وری آب گندم را به ۷۶ درصد، بهره‌وری آب جو را به ۱۰۰ درصد و بهره‌وری آب ذرت را به ۵۱ درصد پتانسیل بهره‌وری آب رساند. مابقی شکاف بهره‌وری آب را باید با ارتقای راندمان آبیاری بهبود بخشید. بر اساس نتایج مدل‌سازی گیاهی، استعمال به‌عمل‌آمده از کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی و همچنین بازدیدهای میدانی از شرایط منطقه، عمده‌ترین تنش‌های حاکم بر منطقه تنش‌های اقلیمی و آبی (خشکی، سرما) و تغذیه‌ای (به دلیل عدم رعایت آیش و تناوب زراعی و

با مقایسه اختلاف وضعیت بهره‌وری آب در شرایط کم‌آبیاری اعمال‌شده و شرایط پتانسیل می‌توان نتیجه گرفت در حدود ۳۹ درصد از شکاف بهره‌وری گندم، ۵۰ درصد شکاف بهره‌وری جو و ۲۰ درصد شکاف بهره‌وری ذرت با مدیریت آبیاری در شرایط ۳۰ درصد اعمال کم‌آبیاری قابل جبران است.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی تحقیق نشان می‌دهد که شکاف بهره‌وری آب گندم ۶۴ درصد، شکاف بهره‌وری آب جو ۴۶ درصد و شکاف بهره‌وری آب ذرت ۶۲ درصد پتانسیل بهره‌وری آب آنها می‌باشد. Van . Ittersum et al (2013) با بررسی مطالعات مختلف در سراسر

میزان شکاف بهره‌وری در مطالعه حاضر نشان داد که حدود ۳۹ درصد از شکاف بهره‌وری گندم، ۵۰ درصد شکاف بهره‌وری جو و ۲۰ درصد شکاف بهره‌وری ذرت مربوط به مدیریت آبیاری می‌باشد. بررسی شاخص بهره‌وری نسبی محصولات نیز نشان می‌دهد محصول جو نسبت به محصولات گندم و ذرت در وضعیت بهتری نسبت به شرایط پتانسیل قرار دارد. 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 می‌گردد جهت مدیریت افزایش بهره‌وری آب محصولات کلیه عوامل تأثیرگذار به‌صورت مجزا مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و راهکارهای لازم در هر زمینه ارائه گردد.

کوددهی ناکافی و نامتناسب با نیاز خاک) می‌باشند. جهت کاهش تأثیر تنش اقلیمی در هر منطقه انتخاب بذور مقاوم به سرما، مدیریت تاریخ کشت و دوره کشت مناسب اهمیت بالا دارد. جهت کاهش تنش آبی نیز انتخاب بذور مقاوم به خشکی و روی‌آوری به سامانه‌های آبیاری دقیق، اهمیت دارد. شکاف بهره‌وری فعلی حاکی از این است که نقاط ضعف قابل‌توجهی 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، زهکشی، عدم رعایت آیش، مسائل مربوط به آبشویی، نوع سیستم آبیاری، زمان آبیاری و میزان آب قابل استفاده وجود دارد. تحلیل اثر عوامل مختلف در

REFERENCES

- Amiri, E., Bohrani, A., Khorsand, E. and Hagh joo, M. (2015). Evaluating AquaCrop Model Performance to Predict Grain Yield and Wheat, Biomass, Under Water Stress. *soil and water knowledge journal*, 25(4/2), 217-229.
- Angus, J. F., Herwaarden, A., Howe, G. N., and H. A. Van. (1991). Productivity and break crop effects of winter-growing oilseeds. *Animal Production Science*, 31(5), 669-677.
- Bessembinder, J.J.E., Leffelaar, P.A., Dhindwal, A.S., Ponsioen, T.C. (2005). Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. *Agric. Water Manage.* 73,113-130.
- Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V. and Majnooni Haris, A. (2015). Simulation of maize growth under different managements of water and Nitrogen with Aqua Crop model. *Journal of water and soil research of Iran*, 46(2), 207-220.
- Ehsani, M. and Khaledi, H. (2002). Recognition and increasing agricultural water productivity for supplying water and food security of country. In: *Proceedings of 11th Congress on Iran irrigation and drainage national committee*, 24-25 Dec, 656-674.
- Fan, Y., Wang, C., and Z. Nan. (2014). Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. *Agricultural Water Management*, 146, 335-345.
- Farhadi Bansooleh, B. (1998). Studying effect of water limitation on yield of barley in Karaj region and determination of production function. thesis of M.A.. flourish and irrigation group of agricultural Pardis in Tehran university, p: 120.
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit Irrigation For Reducing Agricultural Water Use. *Journal Of Experimental Botany*, 58(2), 147-159.
- French, R.J., Schultz, J.E. (1984). Water use efficiency of wheat in a Mediterranean type environment. I. The relation between yield, water use and climate. *Aust. J. Agric. Res.* 35, 743-764.
- Gholami, z., Ebrahimian, H. and Noory, H. (2015). Investigation of Irrigation Water Productivity in Sprinkler and Surface Irrigation Systems (Case study: Qazvin Plain). *Irrigation science and engineering journal*, 39(3), 135-146.
- Golkar, H. R. (1998). Determination of wheat production function and studying effect of water tension on yield in Karaj region. thesis of M.A., flourish and irrigation group of agricultural Pardis in Tehran university, p: 122.
- 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.
- Hamzei, j. and Seyedi, m. (2013). Response of Yield and Yield Components of Barley Cultivars to Supplementary Irrigation under Rainfed Condition. *agricultural knowledge and stable production journal*, 23(4), 159-168.
- Heng L.K., Hsiao T.C., Evett S., Howell T., and Steduto P. (2009). Validating the FAO Aqua Crop Model for Irrigated and Water Deficient *Field Maize Agron, J.* 101, 488-498.
- Heydari, N. (2011). Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. *Journal of Water and Irrigation Management*, 1(2), 43-57.
- Izadi, M. H. and Imam, Y. (2010). Effect of planting pattern, plant density and nitrogen levels on grain yield and yield components of maize cv. SC704. *Iran agricultural scientific journal*, 12(3): 239-251.
- Kaviani, A., Sohrabi, T. and Arassteh, P. (2011). Evapotranspiration and Water Productivity Estimation Using SEBAL Algorithm and Comparison With Lysimeter Data. *Iranian Journal of Irrigation and drainage*, 2(5), 165-175.

- 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.
- Lar consulting engineers, (2010). studying of updating and implement of national document of agricultural water optimized consumption pattern for Qazvin and Foomanat plain project.
- Liu, J., Zehnder, A. J. B. and H. Yang, (2008). Drops for crops: modelling crop water productivity on a global scale. *Global NEST Journal*, 10(3), 295-300.
- Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. (2009). Crop yield gaps: Their importance, magnitudes and causes, *Annual Rev. Environ. Res.* 34, 179-204.
- Mirlatifi, S. M. and Sotoodehnia, A. (2002). The simulation of effect of irrigation limitation on maize yield. Financial report of applying researches project. research assistant of Iran water management department of power ministry, p: 221.
- Pandam consulting engineers, (2005). reports of review studying of Qazvin plain irrigation and drainage network.
- Passioura, J. (2006). Increasing crop productivity when water is scarce—from breeding to field management. *Agric. Water Management* 80, 176–196.
- Rashtmanloo, M., Sohrabi, T., Ababaei, B., Verdinejad, W. (2011). Evaluation for operation of different types of rainy irrigation systems (case study: Qazvin plain agricultural farms), In: *Proceedings of 3th Congress on Iran irrigation and drainage national committee*, Ahvaz Chamran university, 20-21Jan.
- 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. *J. Agr. Sci. Tech*, 17, 885-898.
- Seckler, D., Baker, R. and U. A. Amarasinghe, (1999). Water scarcity in the twenty-first century. *International Journal of Water Resources Development*, 15(1-2), 29–42.
- Singh, R., van Dam, J. C. and R. A. Feddes, (2006). Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa District, India. *Agricultural Water Management*, 82, 253-278.
- Tavakoli, A. (2012). Determining the Water Productivity Components under Planting Single Irrigation Management for Rainfed Wheat Varieties. *Journal of Water and Soil*, 26(3), 690-699.
- 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.
- 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.
- 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., Cassman, K.G. (2013a). Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*. 143, 44-55.
- Ziaei, Gh., Babazadeh, H., Abbasi, F. and Kaveh, F. (2014). Investigating the performance of Aqua crop and Cerec-maize midels in estimating soil water content and maize yield components. *Journal of water and soil research of Iran*, 45(4), 435-445.