تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۲۳/ شماره ۸۶/ بهار ۱۴۰۱/ص ۱۱۰-۸۷

نوع مقاله: علمی- پژوهشی

برآورد مقدار پتانسیل و شکاف بهره‌وری آب در تولید گندم‌آبی در ایران

ابوالفضل ناصری[1*] و فریبرز عباسی[2]

۱ -دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

۲ - استاد پژوهش، بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۸

چکیده

با توجه به ضرورت بهبود بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، هدف این پژوهش برآورد مقدار پتانسیل و شکاف بهره‌وری آب در تولید گندم آبی در ایران است. برای تعیین پتانسیل تولید گندم از روش توصیه‌شدهٔ فائو در نشریهٔ ۳۳ و برای تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل از نشریهٔ ٥٦ فائو و برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی از رابطهٔ عملکرد و تبخیر-تعرق استفاده شد. عملکرد واقعی از آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی استخراج گردید. شکاف عملکرد (و بهره‌وری آب) از تفاوت مقدار واقعی و پتانسیل به دست آمد. تفاوت شاخص عملکرد و بهره‌وری پتانسیل و واقعی به‌عنوان شکاف شاخص به دست آمد. عملکرد قابل حصول به‌عنوان بخشی از عملکرد پتانسیل در نظر گرفته شد که برای تولیدکنندگان قابل‌دستیابی است. نتایج تحقیق نشان داد برای دورهٔ زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹٤ میانگین عملکرد قابل‌حصول و واقعی گندم در کشور به‌ترتیب ٥٧٤٤ و ۲۹۸٦ کیلوگرم در هکتار و شکاف عملکردی ۲۷۵۸ کیلوگرم بر هکتار است. میانگین بهره‌وری پتانسیل و شکاف بهره‌وری به ترتیب ۱/۰۲ و ۰/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب است. با شناسایی مؤلفه‌های اصلی ایجادکنندهٔ شکاف عملکرد و بهره‌وری آب و مدیریت مناسب زراعی در هر اقلیم یا استان می‌توان شکاف‌های موجود را کاهش داده یا برطرف کرد.

واژه‌های کلیدی

بهره‌وری پتانسیل، پتانسیل تولید، بهره‌وری واقعی، مدیریت آبیاری

مقدمه

گندم، اصلی‌ترین مادّهٔ غذایی و عمده‌ترین منبع تأمین کالری (حدود ۴۵ درصد انرژی لازم برای هر فرد) و پروتئین (حدود ۵۰ درصد پروتئین لازم برای هر فرد)، اهمیت و جایگاه ویژه‌ای دارد (Ebadi & Saeednia, 2009).

* نگارنده مسئول: Email:Nasseri_ab@yahoo.com

http://doi: 10.22092/idser.2022.357070.1496

تولید سالانهٔ گندم در ایران ۱۳/۷ میلیون تن از ۵/۹ میلیون هکتار از زمین کشاورزی است که حدود ۶۰ درصد از تولید آن از زمین‌های فاریاب و ۴۰ درصد آن از زمین‌های دیم حاصل می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2020). مطالعات در خصوص برآورد پتانسیل عملکرد گندم در کشور اندک است، با این همه خلاصهٔ یافته‌ها در ادامه ارائه می‌گردد. اندرزیان و همکاران (Andarzian *et al.*, 2008) در پژوهشی، پتانسیل عملکرد گندم بر مبنای مدل CERES-Wheat را در شرایط اقلیمی اهواز ۶۳۲۴ کیلوگرم بر هکتار برآورد کرده‌اند. ترابی (Torabi, 2011) پتانسیل عملکرد گندم آبی در گرگان را با کاربرد مدل CropSyst در حدود ۶ و شکاف عملکردی را بین ۱ تا ۴ تن بر هکتار به دست آورده‌اند. کمبود نیتروژن یکی از عوامل مهم ایجادکنندهٔ شکاف عملکرد در مزارع گندم گزارش شده است. در پژوهشی دیگر، ترابی و همکاران (Torabi *et al.*, 2012) عملکرد پتانسیل گندم آبی در گرگان را با روش تحلیل مقایسه کارکرد[1] (CPA) معادل ۷ تن بر هکتار و شکاف عملکرد را ۲ تن بر هکتار گزارش کرده‌اند. از عوامل مؤثر در شکاف عملکرد، مهم‌ترین آنها مدیریت مصرف پتاسیم به اندازهٔ ۲۰ درصد، مدیریت تغذیهٔ نیتروژن به اندازهٔ ۶۱ درصد و تاریخ کاشت به اندازه ۱۹ درصد بوده است. ترابی و همکاران (Torabi *et al.*, 2013a) در پژوهشی دیگر، با ارزیابی پتانسیل عملکرد گندم در گرگان، شکاف عملکردی را بین ۱ تا ۲ تن گزارش کرده‌اند و شکاف عملکردی تا ۱/۷ تن بر هکتار را به برنامه نامناسب آبیاری در مزارع مرتبط دانسته‌اند. قرینه و همکاران (Gharineh *et al.*, 2012) با استفاده از مدل WOFOST، بیشترین و کمترین عملکرد پتانسیل دانهٔ گندم در شرایط اقلیمی استان خوزستان را ۹۲۴۷ و ۷۵۳۸ کیلوگرم بر هکتار گزارش کرده‌اند. با کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و روش آنتروپی، ترابی و همکاران (Torabi *et al.*, 2013b) مهم‌ترین عوامل مؤثر در شکاف عملکرد گندم در گرگان را مدیریت آبیاری، انتخاب ارقام گیاهی، استفاده از کودها (پایه، سرک و کم‌مصرف) اعلام کرده‌اند. افزون بر آنها، عمق کاشت و میزان ریزش بذر در هنگام برداشت گندم، از عوامل مؤثر در شکاف عملکردی گفته شده است. حجارپور و همکاران (Hajjarpoor *et al.*, 2015) با استفاده از تحلیل خط‌مرزی، عملکرد پتانسیل گندم در گرگان را ۶ تن بر هکتار و شکاف عملکرد را ۲ تن بر هکتار گزارش کرده‌اند. مدیریت مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم و تعداد دفعات آبیاری، تراکم بوته و تاریخ کاشت از عوامل مدیریتی مؤثر در شکاف عملکرد گزارش شده است. حجارپور (Hajjarpoor, 2016) پس از ارزیابی نتایج بررسی‌ها در بیش از ۶۸۰ مزرعه در استان گلستان، عملکرد قابل‌حصول گندم را ۶ تن بر هکتار گزارش داده است. حجارپور و همکاران (Hajjarpoor *et al.*, 2017) با کاربرد روش CPA، عملکرد پتانسیل گندم در استان گلستان را بین ۵ تا ۸ تن بر هکتار و شکاف عملکردی را بین ۳ تا ۴ تن بر هکتار گزارش داده‌اند. در این گزارش، مدیریت آبیاری (۲۷ درصد)، مدیریت مصرف کود نیتروژن (۲۵ درصد)، تاریخ کاشت (۲۰ درصد)، رقم مناسب گندم (۱۰ درصد)، کاربرد زیرشکن (۹ درصد)، استفاده از فاروئر (۸ درصد) به‌عنوان عوامل مؤثر در شکاف عملکرد گندم گفته شده است. نکاحی (Nekahi *et al.*, 2014) عملکرد پتانسیل گندم آبی در بندر گز با روش CPA را ۶ تن بر هکتار و شکاف عملکردی را ۴ تن بر هکتار گزارش داده‌اند. سهم عوامل مختلف در شکاف عملکردی به‌صورت

1- Comparative performance analysis (CPA)

تراکم پایین بوته ۱۵ درصد، استقبال‌نکردن یا استفاده نکردن کشاورزان از یافته‌های جدید ۱۰ درصد، تاریخ کاشت دیرهنگام ۳۶ درصد، انتخاب رقم نامناسب ۲۱ درصد و استفاده نکردن از علف‌کش مناسب ۱۸ درصد گزارش شده است. احمدی (Ahmadi, 2017) با استفاده از مدل شبیه‌سازی ساده[1] (SSM) عملکرد پتانسیل گندم در استان گلستان را بین ۵ تا ۸ و شکاف عملکرد را بین ۳ تا ۴ تن بر هکتار اعلام کرده است. بادسر (Badsar *et al.*, 2017) با تلفیق مدل SSM و GIS و سنجش‌ازدور، عملکرد پتانسیل گندم در گرگان را بین ۵ تا ۸ تن بر هکتار و شکاف عملکردی را بین ۲ تا ۵ تن بر هکتار گفته‌اند. در گزارش این محققان، مدیریت زراعی یکی از عوامل مهم و مؤثر شکاف عملکرد گندم گفته شده است. سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2018) پتانسیل عملکرد گندم آبی در سطح کشور را بین ۶۴۲۷ تا ۱۱۸۹۸ کیلوگرم بر هکتار و میانگین آن را ۸۸۱۹ کیلوگرم بر هکتار گزارش داده‌اند. پایین‌ترین عملکرد در استان خوزستان و شهر زابل گزارش شده است. بالاترین عملکرد پتانسیل در جنوب دریاچهٔ ارومیه، استان‌های کرمانشاه، همدان و شمال فارس گزارش شده است. شکاف بین عملکرد واقعی و قابل حصول را ۳۶۷۷ کیلوگرم بر هکتار و دامنهٔ تغییرات پتانسیل بهره‌وری آب را از ۱/۳۶ تا ۲/۲۳ و میانگین این شاخص را ۱/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش داده‌اند. زاهد و همکاران (Zahed *et al.*, 2019) تغییرات عملکرد پتانسیل گندم در کشور را از ۶۴۰۰ تا ۱۲۰۰۰ و میانگین آن را ۸۸۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش کرده‌اند. دلیل تفاوت عملکرد پتانسیل را زمان حرارتی تجمعی (به درجه-روز) گفته‌اند. نظری (Nazari, 2019) از کل شکاف عملکردی گندم، ۴۷ درصد را به برنامه‌ریزی آبیاری، ۳۱ درصد را به مدیریت تغذیه، ۹ درصد را به مدیریت گیاه‌پزشکی و ۸ درصد را به بذر گندم نسبت داده است.

شاخص بهره‌وری آب یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کارآیی استفاده از آب آبیاری در تولید محصولات کشاورزی است. بهره‌وری آب نسبت تولید محصول (کیلوگرم) به تبخیر و تعرق گیاه است و شاخص بهره‌وری آب آبیاری نسبت تولید محصول (کیلوگرم) به آب مصرف‌شده (مترمکعب) در نظر گرفته می‌شود (Zheng *et al.*, 2021). از دیگر عوامل مستقیم یا غیرمستقیم مؤثر در این شاخص، می‌توان به مدیریت آبیاری، ویژگی‌های اقلیمی، خاک‌شناختی و فیزیولوژیک و عملیات بهزراعی اشاره کرد. در سطح جهانی، مقدار این شاخص از ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب در بنرپوتای بنگلادش تا ۲/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب در وانگتون چین متغیر است (جدول ۱). در سطح ملی نیز حیدری (Heydari, 2011) تغییرات این شاخص را در تولید گندم در بردسیر کرمان با سامانهٔ آبیاری عقربه‌ای از ۰/۱۱ تا ۰/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب و منتجب و وزیری (Montajabi & Vaziri, 2004) دامنهٔ تغییرات این شاخص را در گلپایگان از ۱/۷۲ تا ۲/۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش داده‌اند (جدول ۱).

1- Simple Simulation Model (SSM)

جدول ۱- مقادیر بهره‌وری آب گندم در سطح جهانی و ملی

ردیف	کشور یا منطقه اجرای پژوهش	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)			سطح بررسی	مبنای برآورد بهره‌وری آب	منابع
		کمترین	بیشترین	میانگین			
۱	چین	۰/۸۴	۱/۶۳	۱/۲۴	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Zwart and Bastiaanssen (2004)
۲	هندوستان	۰/۶۴	۱/۱۹	۰/۹۲	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Zwart and Bastiaanssen (2004)
۳	ترکیه	۱/۳۳	۱/۴۵	۱/۳۹	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Zwart and Bastiaanssen (2004)
۴	پارانا (آرژانتین)	۰/۵۵	۱/۴۹	۱/۰۴	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Caviglia and Sadras, (2001)
۵	استرالیا	۰/۵۶	۱/۱۴	۰/۹۵	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Siddique *et al*. (1990)
۶	مردین و مولوا (استرالیا)	۰/۵۵	۱/۶۵	۰/۸۸	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Regan *et al*. (1997)
۷	بنرپوتای بنگلادش	۰/۵۲	۱/۳۴	۰/۹۱	شرایط واقعی تولید	آب مصرفی	Rahman *et al*. (1995)
۸	مناطق مختلف چین	۰/۵۸	۲/۶۸	۱/۶۳	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Zhang et al. (1999)
۹	گوژو (چین)	۱/۳۸	۱/۹۵	۱/۵۸	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Deju and Jingwen, (1993)
۱۰	زیفنگ (چین)	۰/۶۵	۱/۲۱	۰/۸۴	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Fengrui *et al*. (2000)
۱۱	وانگتون (چین)	۱/۴۹	۲/۶۷	۲/۲۳	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Jin *et al*. (1999)
۱۲	گانسو (چین)	۰/۵۸	۱/۴۵	۱/۰۰	شرایط واقعی تولید	آب مصرفی	Li *et al*. (2001)
۱۳	لانچنگ (چین)	۱/۰۷	۱/۲۹	۱/۲۶	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Wang *et al*. (2001)
۱۴	یوچنگ (چین)	۰/۸۸	۱/۱۶	۱/۰۴	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Xianqun, (1996)
۱۵	پکن (چین)	۰/۹۲	۱/۵۵	۱/۱۹	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Zhang *et al*. (1998)
۱۶	بنگال‌غربی (هندوستان)	۱/۱۱	۱/۲۹	۱/۱۹	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Bandyopadhyay and Mallick (2003)
۱۷	پانتنگار (هندوستان)	۰/۸۶	۱/۳۱	۱/۱۱	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Mishra *et al*. (1995)
۱۸	اوتار پرادش (هندوستان)	۰/۴۸	۰/۷۱	۰/۶۴	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Sharma *et al*. (2001)
۱۹	کارنال (هندوستان)	۰/۲۷	۰/۸۲	۰/۶۷	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Sharma *et al*. (1990)
۲۰	پانتنگار (هندوستان)	۱/۰۶	۱/۲۳	۱/۱۰	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Singh and Chauhan, (1996)
۲۱	مراکش	۰/۱۱	۱/۱۵	۰/۵۸	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Corbeels *et al*. (1998)
۲۲	نیجریه	۰/۴۲	۰/۹۳	۰/۶۱	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Pandey *et al*. (2001)
۲۳	پاکستان	۰/۷۰	۲/۱۹	۱/۲۸	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Waheed *et al*. (1999)
۲۴	سوریه	۰/۴۸	۱/۱۰	۰/۷۸	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Oweis et al. (2000)
۲۵	ترکیه	۱/۳۳	۱/۴۵	۱/۳۹	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Sezen and Yazar1(1996)
۲۶	ایالات متحده آمریکا	۰/۴۷	۲/۴۲	۱/۷۲	پلات آزمایشی	تبخیر ـ تعرق	Kruse *et al*. (1991)
۲۷	ازبکستان	۰/۴۴	۱/۰۲	۰/۷۳	پلات آزمایشی	آب مصرفی	Kamilov *et al*. (2002)
۲۸	چین	۰/۵۲	۱/۶۵	۱/۰۹	پلات آزمایشی	آب مصرفی	Zhao *et al*. (2020)
۲۹	هند	۰/۹۹	۱/۲۶	۱/۱۳	پلات آزمایشی	آب مصرفی	Chouhan *et al*. (2015)
۳۰	مصر	۱/۸۴	۱/۸۴	۱/۸۴	پلات آزمایشی	آب مصرفی	Ding *et al*. (2021)

ادامه جدول ۱- مقدار بهره‌وری آب گندم در مناطق مختلف کشور

ردیف	منطقه اجرای پژوهش در ایران	میانگین بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	سطح بررسی	مبنای برآورد بهره‌وری آب	منابع
۳۱	مغان (اردبیل)	۱/۳۰	پلات آزمایشی	آب مصرفی	Nasseri and Fallahi (2007)
۳۲	اصفهان	۰/۴۹	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Vazifedoust *et al*. (2008)
۳۳	کهریز (ارومیه)	۱/۶	پلات آزمایشی	آب مصرفی	Razavi (2008)
۳۴	خسروشهر (آذربایجان‌شرقی)	۱/۶	پلات آزمایشی	آب مصرفی	Onabi Milani (2006)
۳۵	بردسیر (کرمان)	۰/۴۷	شرایط واقعی تولید	آب مصرفی	Heydari (2011)
۳۶	گلستان	۰/۷۳	شرایط واقعی تولید	آب مصرفی	Heydari (2011)
۳۷	گلپایگان	۱/۹۶	پلات آزمایشی	آب مصرفی	Montajabi and Vaziri (2004)
۳۸	خوزستان	۰/۷۳	شرایط واقعی تولید	آب مصرفی	Heydari (2011)
۳۹	دشت تبریز (آذربایجان‌شرقی)	۰/۶۸	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Nasseri and Abbasi (2019)
۴۰	برخی از استان‌های کشور	۰/۷۹	شرایط واقعی تولید	آب مصرفی	Taheri *et al*. (2020)
۴۱	دشت قزوین	۰/۵۲	شرایط واقعی تولید	تبخیر ـ تعرق	Nazari (2019)

توضیح: مبنای برآورد بهره‌وری آب در مطالعات پیشین یکسان نیست. در برخی موارد از مقدار آب مصرفی و مواردی از تبخیر ـ تعرق گیاه موردنظر استفاده شده است.

نظری (Nazari, 2019) در بررسی شکاف بهره‌وری آب در تولید برخی محصولات زراعی دشت قزوین، تغییرات این شاخص را از ۱/۱۷ تا ۱/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش داده است. بهره‌وری واقعی در تولید گندم ۴۰ درصد بهره‌وری پتانسیل در تولید این محصول گفته شده است. اخیراً طاهری (Taheri *et al*., 2020) بهره‌وری آب در تولید گندم در برخی از استان‌های کشور را بررسی و مقدار ۰/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب را به‌عنوان میانگین این شاخص در استان‌های موردبررسی گزارش کرده است. به‌رغم ضرورت بهبود بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی و اهمیت فراوان مقادیر کمی پتانسیل بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، شکاف بهره‌وری آب در تولیدات کشاورزی تاکنون به طور جامع بررسی نشده است. از بین محصولات مختلف، گندم اصلی‌ترین مادۀ غذایی و عمده‌ترین منبع تأمین کالری و پروتئین با بیش از دو میلیون هکتار سطح زیر کشت‌آبی، اهمیت و جایگاه ویژه‌ای در کشور دارد. هدف این پژوهش، بررسی شکاف عملکرد گندم و برآورد پتانسیل و شکاف بهره‌وری آب در تولید گندم آبی در ایران است.

مواد و روش‌ها

دیاگرام جریان برآورد شکاف عملکرد و بهره‌وری آب در تولید گندم در شکل ۱ ارائه شده است، و در اینجا نحوۀ برآورد مؤلفه‌ها و شاخص‌های لازم برای برآورد شکاف عملکرد و شکاف بهره‌وری آب در تولید گندم تشریح می‌شود.

برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل

برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی گندم و نیز برآورد پتانسیل بهره‌وری آب لازم است تبخیر و تعرق پتانسیل در تولید گندم در سطح کشور برآورد گردد. در این پژوهش، برآوردها برای مراکز استان‌های کشور و برای دورۀ زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ صورت

گرفت (جدول ۲). داده‌های هواشناسی روزانه برای ایستگاه‌های نزدیک مراکز استان‌ها از آمار سازمان هواشناسی کشور استفاده شد. داده‌های هواشناسی شامل دمای هوا (حداقل و حداکثر)، رطوبت نسبی (حداقل و میانگین)، سرعت باد و ساعات آفتابی بود که برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETo) استفاده گردید. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با روش فائو پنمن مانتیث برآورد شدکه جزئیات آن به‌طور کامل در نشریهٔ ۵۶ فائو تشریح شده است (Allen *et al.*, 1998). با اعمال ضریب گیاهی گندم (kc)، تبخیر و تعرق پتانسیل گندم (ETc) به تفکیک دوره‌های فنولوژیک رشد برای تمام ایستگاه‌ها برآورد گردید (Seyyed Jalali *et al.*, 2019; Farshi *et al.*, 1998; Doorenbos & Pruitt, 1977). برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گندم از رابطهٔ زیر استفاده شد (Allen *et al.*, 1998).

$$ETo = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n - G)\gamma\left[\frac{890}{T+273}\right]U_2\,(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0.34\,U_2)} \qquad (۱)$$

$$ETc = kc \times ETo \qquad (۲)$$

که در آن،

ETo= تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm\ \ d^{-1}$)، Δ = شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما در نقطه‌ای که دمای آن T باشد ($kpa\ ^oC^{-1}$)، R_n = تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ\ \ m^{-2}d^{-1}$)، G = شار گرما به داخل خاک مزرعه ($MJ\ \ m^{-2}d^{-1}$)، γ = ضریب سایکرومتری ($kpa\ \ ^oC^{-1}$)، T = دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین (^oC)، U_2 = سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($m\ s^{-1}$)، $e_a - e_d$ = کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری از سطح زمین (kpa)، k_C = ضریب گیاهی گندم در منطقه و ET_C = تبخیر و تعرق گندم ($mm\ \ d^{-1}$).

برآورد عملکرد پتانسیل گندم

برای برآورد عملکرد پتانسیل گندم (Ymp) از روش واگنینگن (Wageningen Method) استفاده شد که جزییات آن در نشریهٔ ۳۳ فائو به‌طور کامل توضیح داده شده است (Doorenbos & Kassam, 1979). رابطهٔ برآورد عملکرد پتانسیل گندم به صورت زیر است (Doorenbos & Kassam, 1979):

$$Ymp = CL \times CN \times CH \times G \times Yo \qquad (۳)$$

که در آن،

Ymp= عملکرد پتانسیل گندم (کیلوگرم در هکتار)، CL = ضریب تصحیح توسعه گیاه و سطح برگ، CN = ضریب تولید مادهٔ خشک، CH = ضریب شاخص برداشت، G= دورهٔ رشد محصول (روز) و Yo = تولید ناخالص مادهٔ خشک گیاه استاندارد.

در این روش، ابتدا مادهٔ خشک ناخالص گیاه مبنا بر اساس میزان تشعشع فعال رسیده به سطح زمین با طول‌موج کوتاه برای شرایط استاندارد برآورد می‌شود. پس از آن تصحیحات و تبدیلات لازم برای برآورد عملکرد پتانسیل گندم بر مبنای مادهٔ خشک ناخالص گیاه مبنا صورت می‌گیرد. این تصحیحات شامل اعمال اثر گونهٔ گیاه، میانگین دمای هوا در فصل رشد، طول دورهٔ رشد، و نسبت تبخیر و تعرق حداکثر به میانگین کمبود فشار بخار روزانه است. در این روش، اثر شوری آب‌وخاک، سرمازدگی و آفات و بیماری‌های گیاهی در نظر گرفته نمی‌شود.

با توجه به‌احتمال وجود یا وقوع انواع تنش‌های محیطی در تولید محصول، دستیابی به مقدار عملکرد پتانسیل مشکل است. بنابراین، عملکرد قابل حصول به‌عنوان عملکرد قابل‌دستیابی توسط تولیدکنندگان گندم تعریف و مقدار آن ۷۵ درصد

عملکرد پتانسیل در نظر گرفته شد (Zahed *et al.*, 2019; Fisher, 2014).

عملکرد واقعی گندم

عملکرد واقعی گندم (Ya) در استان‌های کشور از آمارنامه رسمی وزارت جهاد کشاورزی برای سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۹۴-۱۳۹۳ اخذ شده است. شکاف عملکرد از تفاوت عملکرد قابل‌حصول و عملکرد واقعی و کاهش نسبی عملکرد از نسبت عملکرد واقعی به عملکرد قابل‌حصول به‌دست آمد.

برآورد تبخیر و تعرق واقعی گندم

پس از مشخص‌شدن تبخیر و تعرق پتانسیل (از روش فائو پنمن مانتیث و ضرایب گیاهی)، عملکرد پتانسیل گیاه (از روش واگنینگن) و عملکرد واقعی گیاه (از آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی)، با استفاده از رابطهٔ (Doorenbos & Kassam, 1979) و اعمال ضریب واکنش عملکرد به آب (Ky) به‌طور میانگین برابر ۱/۰۵، مقدار تبخیر- تعرق واقعی گیاه (ETa) برآورد گردید (Doorenbos & Kassam, 1979; Allen *et al.*, 1998). رابطهٔ (Doorenbos & Kassam, 1979) در واقع رابطهٔ نسبی بین کاهش عملکرد و کمبود نسبی تبخیر و تعرق گیاه است و در نشریهٔ ۳۳ فائو به‌صورت زیر معرفی شده است.

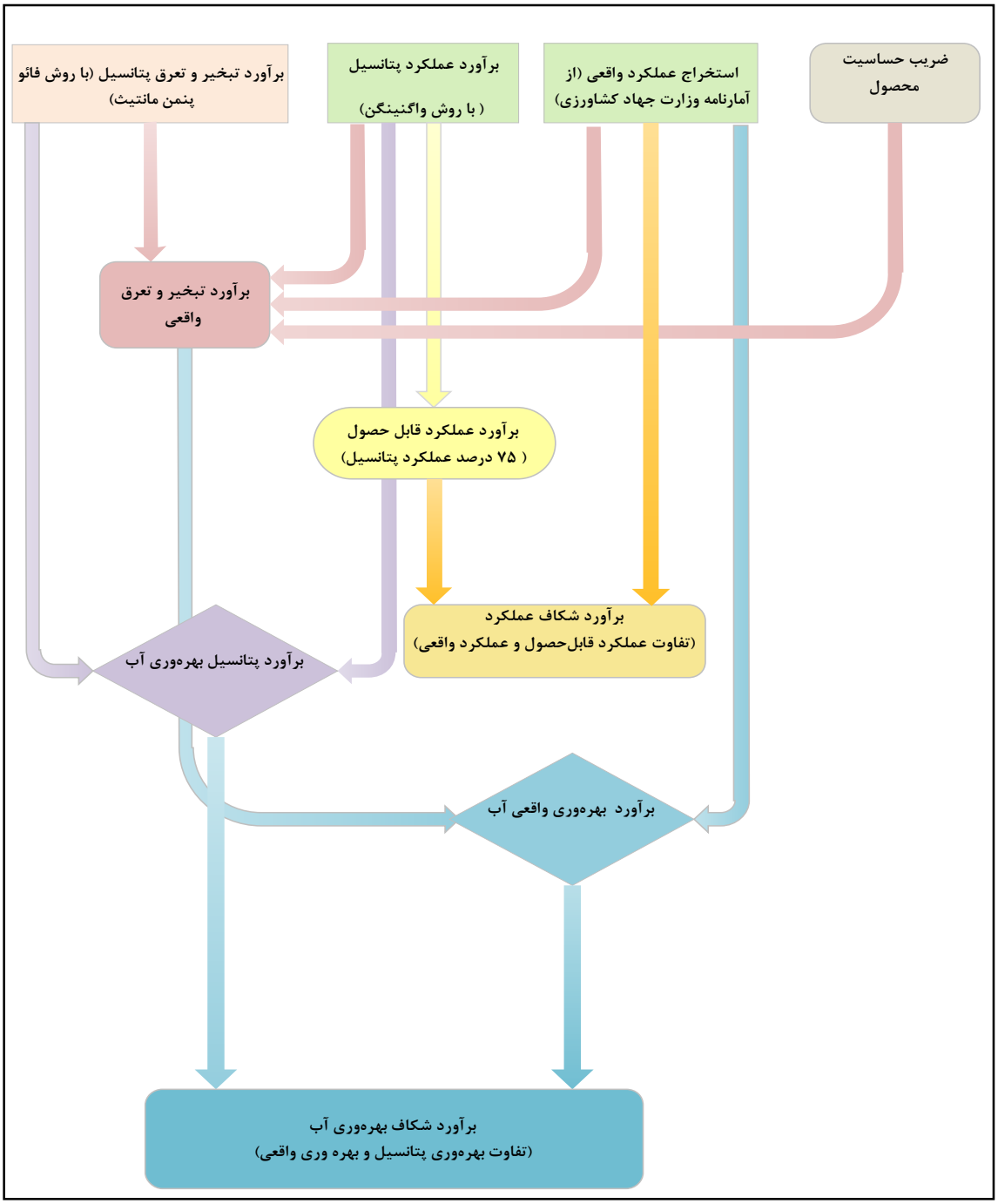
$$(\frac{Ymp - Ya}{Ymp}) = Ky(\frac{ETm - ETa}{ETm}) \qquad (۴)$$

که در آن،

Ymp و Ya = به ترتیب عملکرد پتانسیل و واقعی گندم (کیلوگرم در هکتار)؛ و ETm و ETa = به ترتیب تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی گندم (میلی‌متر بر فصل رشد).

برآورد بهره‌وری آب پتانسیل و شکاف بهره‌وری

بهره‌وری پتانسیل (WPp) از نسبت عملکرد پتانسیل و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه به دست آمد (Zheng *et al.*, 2021). به روش مشابه، از نسبت عملکرد واقعی به تبخیر و تعرق واقعی، بهره‌وری واقعی (WPa) برآورد گردید. شکاف بهره‌وری از تفاوت بهره‌وری پتانسیل و بهره‌وری واقعی و کاهش نسبی بهره‌وری از نسبت این دو شاخص به دست آمد.



شکل ۱- دیاگرام جریان برآورد شکاف عملکرد و بهره‌وری آب در تولید گندم در کشور

جدول ۲- طول دورهٔ رشد، میانگین ضریب گیاهی در فصل رشد و میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل گندم در شرایط اقلیمی به همراه موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای مناطق مورد مطالعه

ردیف	استان	ایستگاه هواشناسی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	اقلیم	طول دوره رشد [1]	میانگین ضریب گیاهی در فصل رشد [2]	میانگین تبخیر- تعرق مرجع [3]*	میانگین تبخیر- تعرق پتانسیل [3]*	میانگین تبخیر- تعرق واقعی [3]*
					(متر)		(روز)		(میلی متر بر روز)		
۱	آذربایجان شرقی	تبریز	۳۸/۰۸	۴۶/۳۰	۱۴۰۲	نیمه خشک	۲۵۵	۰/۵۵	۶/۱	۳/۳	۰/۹
۲	آذربایجان‌غربی	ارومیه	۳۷/۵۵	۴۵/۰۸	۱۳۴۸	نیمه خشک	۲۵۰	۰/۷۴	۴/۲	۳/۱	۱/۰
۳	اردبیل	مغان	۳۹/۶۴	۴۷/۹۱	۴۸	نیمه خشک	۲۳۸	۰/۷۷	۳/۰	۲/۳	۰/۷
۴	اصفهان	اصفهان	۳۲/۶۷	۵۱/۶۷	۱۵۷۵	خشک	۱۸۰	۰/۷۷	۵/۱	۳/۹	۱/۸
۵	البرز	کرج	۳۵/۸۳	۵۰/۹۷	۱۳۱۲	نیمه خشک	۲۴۰	۰/۷۷	۵/۰	۳/۸	۱/۵
۶	ایلام	ایلام	۳۳/۶۳	۴۶/۴۱	۱۳۶۹	نیمه خشک	۲۳۵	۰/۸۰	۴/۷	۳/۷	۱/۴
۷	بوشهر	بوشهر	۲۸/۹۶	۵۰/۸۴	۱۱	خشک	۱۶۰	۰/۸۳	۴/۹	۴/۱	۳/۱
۸	تهران	تهران	۳۵/۷۰	۵۱/۳۸	۱۲۱۴	خشک	۲۳۵	۰/۷۷	۵/۶	۴/۳	۲/۰
۹	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	۳۲/۳۲	۵۰/۸۶	۲۰۶۱	خشک	۲۹۰	۰/۵۵	۵/۱	۲/۸	۱/۰
۱۰	خراسان جنوبی	بیرجند	۳۲/۸۷	۵۹/۲۱	۱۴۵۴	خشک	۲۲۰	۰/۸۰	۵/۸	۴/۶	۲/۳
۱۱	خراسان رضوی	مشهد	۳۶/۳۳	۵۹/۵۴	۱۰۲۷	خشک	۱۸۵	۰/۷۴	۵/۵	۴/۰	۱/۲
۱۲	خراسان شمالی	بجنورد	۳۷/۴۷	۵۷/۳۳	۱۰۷۱	خشک	۲۷۰	۰/۷۳	۴/۶	۳/۳	۰/۹
۱۳	خوزستان	اهواز	۳۱/۳۴	۴۸/۷۲	۲۰	خشک	۱۴۵	۰/۷۳	۸/۷	۶/۴	۲/۷
۱۴	زنجان	زنجان	۳۶/۶۸	۴۸/۴۹	۱۶۷۸	نیمه‌خشک	۲۵۰	۰/۵۵	۵/۰	۲/۸	۰/۷
۱۵	سمنان	سمنان	۳۵/۵۸	۵۳/۳۹	۱۱۶۴	خشک	۲۳۵	۰/۸۰	۴/۸	۳/۸	۱/۴
۱۶	سیستان و بلوچستان	زاهدان	۲۹/۵۰	۶۰/۸۶	۱۳۸۶	خشک	۱۸۰	۰/۸۰	۳/۶	۲/۹	۲/۶
۱۷	فارس	شیراز	۲۹/۶۰	۵۲/۵۳	۱۵۱۹	خشک	۱۷۰	۰/۷۵	۵/۳	۴/۰	۱/۷
۱۸	قزوین	قزوین	۳۶/۲۸	۵۰/۰۰	۱۳۱۰	نیمه‌خشک	۲۴۵	۰/۷۷	۴/۲	۳/۲	۱/۵
۱۹	قم	قم	۳۴/۶۴	۵۰/۸۷	۹۳۶	خشک	۲۲۰	۰/۷۷	۶/۰	۴/۶	۱/۶
۲۰	کردستان	سنندج	۳۵/۳۱	۴۶/۹۹	۱۵۰۰	نیمه‌خشک	۲۷۰	۰/۵۵	۵/۲	۲/۸	۲/۲

ادامه جدول ۲- طول دورهٔ رشد، میانگین ضریب گیاهی در فصل رشد و میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل گندم در شرایط اقلیمی به همراه موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای مناطق مورد مطالعه

ردیف	استان	ایستگاه هواشناسی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	اقلیم	طول دوره رشد [1]	میانگین ضریب گیاهی در فصل رشد [2]	میانگین تبخیر- تعرق مرجع [3]*	میانگین تبخیر- تعرق پتانسیل [3]*	میانگین تبخیر- تعرق واقعی [3]*
					(متر)		(روز)			(میلی متر بر روز)	
۲۱	کرمان	کرمان	۳۰/۲۸	۵۷/۰۷	۱۷۶۴	خشک	۱۸۵	۰/۶۲	۶/۶	۴/۱	۱/۹
۲۲	کرمانشاه	کرمانشاه	۳۴/۳۲	۴۷/۰۷	۱۳۵۱	نیمه‌خشک	۱۷۰	۰/۷۷	۵/۱	۴/۰	۱/۵
۲۳	کهگیلویه و بویر احمد	یاسوج	۳۰/۶۷	۵۱/۵۸	۱۸۱۵	خشک	۲۶۰	۰/۷۳	۴/۰	۲/۹	۱/۱
۲۴	گلستان	گرگان	۳۶/۸۴	۵۴/۴۳	۱۳۳	نیمه‌خشک	۱۷۰	۰/۸۲	۵/۷	۴/۷	۱/۵
۲۵	گیلان	رشت	۳۷/۲۸	۴۹/۵۹	۳	مرطوب	۲۱۰	۰/۸۳	۲/۷	۲/۳	۰/۵
۲۶	لرستان	خرم آباد	۳۳/۴۹	۴۸/۳۶	۱۱۸۸	نیمه‌خشک	۲۰۵	۰/۷۵	۵/۰	۳/۷	۱/۲
۲۷	مازندران	ساری	۳۶/۵۷	۵۳/۰۶	۴۲	مرطوب	۲۰۰	۰/۸۳	۲/۹	۲/۴	۰/۶
۲۸	مرکزی	اراک	۳۴/۰۹	۴۹/۷۰	۱۷۳۷	نیمه‌خشک	۲۵۵	۰/۷۷	۴/۶	۳/۶	۱/۴
۲۹	هرمزگان	بندرعباس	۲۷/۱۹	۵۶/۳۱	۱۷	خشک	۲۰۵	۰/۸۶	۴/۹	۴/۲	۲/۴
۳۰	همدان	همدان	۳۴/۷۹	۴۸/۵۲	۱۸۱۸	نیمه‌خشک	۲۵۵	۰/۷۱	۴/۶	۳/۳	۱/۳
۳۱	یزد	یزد	۳۱/۸۹	۵۴/۳۶	۱۲۲۲	خشک	۲۳۵	۰/۸۳	۶/۰	۴/۳	۲/۳
۳۲	جنوب کرمان	جیرفت	۲۸/۶۸	۵۷/۷۴	۶۸۰	خشک	۱۸۵	۰/۶۲	۷/۶	۴/۷	۱/۶

*- منبع: میانگین زمانی از سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۹۴-۱۳۹۳ است. منابع: ۱- Seyyed Jalali *et al.* (2019) ۲- Farshi *et al.* (1998); Doorenbos and Pruitt (1977)

یافته‌ها و بحث

یافته‌ها نشان داد تفاوت عملکرد واقعی در اقلیم‌های مختلف از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست (جدول۳). میانگین چندساله وزنی و حسابی عملکرد واقعی گندم آبی در کشور از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ به ترتیب برابر ۲۹۸۶ و ۲۹۸۲ کیلوگرم بر هکتار است (شکل۲) (Ahmadi *et al.*, 2020). زاهد و همکاران (Zahed *et al.*, 2019) میانگین عملکرد واقعی گندم در کشور از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ را بر اساس پروتکل گیگا برابر ۳۳۷۸ کیلوگرم بر هکتار گزارش داده‌اند.

جدول ۳ - خلاصهٔ تجزیهٔ واریانس اثر اقلیم بر عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل، عملکرد قابل حصول، بهره‌وری واقعی و پتانسیل بهره‌وری آب در تولید گندم در ایران

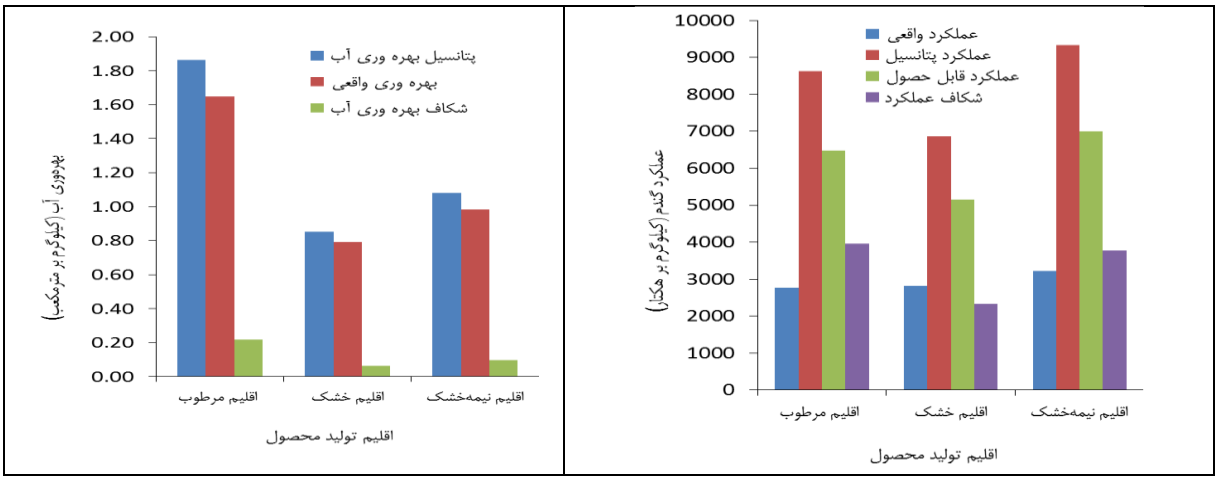
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد واقعی	عملکرد پتانسیل	عملکرد قابل حصول	شکاف عملکرد	پتانسیل بهره‌وری آب	بهره‌وری واقعی آب
بین اقلیم‌ها	۲	$۸/۳\times۱۰^{۵ns}$	$۲/۳\times۱۰^{۷}$*	$۱/۳\times۱۰^{۷}$*	$۸/۶\times۱۰^{۶}$*	۰/۹۶*	۰/۶۹*
درون اقلیم‌ها	۲۹	$۳/۳\times۱۰^{۵}$	$۲/۴\times۱۰^{۶}$	$۱/۴\times۱۰^{۶}$	$۱/۳\times۱۰^{۶}$	۰/۰۶	۰/۰۵
کل	۳۱						

توضیح: ns و * به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال کمتر از ۱۰ و ۱ درصد است.

نتایج نشان داد عملکرد پتانسیل تحت تاثیر اقلیم مناطق بوده است (جدول ۳). میانگین (وزنی) عملکرد پتانسیل گندم در کشور از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ برابر ۷۶۵۹ کیلوگرم بر هکتار است. تغییرات میانگین عملکرد پتانسیل در اقلیم‌های مختلف از ۶۸۶۸ کیلوگرم بر هکتار (اقلیم خشک) تا ۹۳۲۶ کیلوگرم بر هکتار (اقلیم نیمه‌خشک) است (شکل۲). تفاوت عملکرد پتانسیل در اقلیم‌های نیمه خشک و مرطوب معنی‌دار نبود. در مطالعهٔ حاضر، در اقلیم نیمه‌خشک، بیشترین عملکرد پتانسیل در مزارع گندم استان اردبیل (دشت مغان) دیده شده است. به نظر می‌رسد عوامل اقلیمی، تبخیر- تعرق گیاه و دورهٔ رشد محصول از دلایل اصلی تفاوت عملکرد گندم در اقلیم‌های مختلف باشد. زاهد و همکاران (Zahed *et al.*, 2019) تغییرات عملکرد پتانسیل گندم در کشور را از ۶۴۰۰ تا ۱۲۰۰۰ و میانگین آن را ۸۸۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش کرده‌اند. اندرزیان و همکاران (Andarzian *et al.*, 2008 a, b) در پژوهش‌های خود پتانسیل عملکرد گندم بر مبنای مدل CERES-Wheat در شرایط اقلیمی استان خوزستان را ۶۳۲۴ کیلوگرم بر هکتار برآورد کرده‌اند. در مطالعهٔ حاضر، عملکرد پتانسیل برای استان خوزستان ۶۶۲۷ کیلوگرم بر هکتار به دست آمده‌است. تفاوت بین دو یافته کمتر از ۵ درصد است. همچنین قرینه و همکاران (Gharineh *et al.*, 2012) با استفاده از مدل WOFOST، بیشترین و کمترین عملکرد پتانسیل دانهٔ گندم در شرایط

اقلیمی استان خوزستان را ۹۲۴۷ و ۷۵۳۸ کیلوگرم بر هکتار گزارش داده‌اند.

ترابی (Torabi, 2011) عملکرد پتانسیل گندم آبی در گرگان را با کاربرد مدل CropSyst حدود ۶۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار و در پژوهش دیگری (Torabi *et al.*, 2012) با روش CPA برابر ۷۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار به دست آورده است. حجارپور و سلطانی (Hajarpoor & Soltani, 2015) با استفاده از تحلیل خط‌مرزی، عملکرد پتانسیل گندم در گرگان را ۶۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش داده‌اند. (Hajarpoor *et al.*, 2017) با کاربرد روش تحلیل مقایسهٔ کارکرد، احمدی (Ahmadi, 2017) با استفاده از مدل SSM و بادسر و همکاران (Badsar *et al.*, 2017) با تلفیق مدل SSM و GIS و سنجش‌ازدور، عملکرد پتانسیل گندم در استان گلستان را بین ۵ تا ۸ تن بر هکتار گزارش داده‌اند. در مطالعهٔ حاضر، مقدار عملکرد پتانسیل در گرگان، مرکز استان گلستان، ۸۱۶۷ کیلوگرم بر هکتار به دست آمده‌است. بنابراین، یافتهٔ این مطالعه با یافته برخی از گزارش‌ها همخوانی و سازگاری دارد.



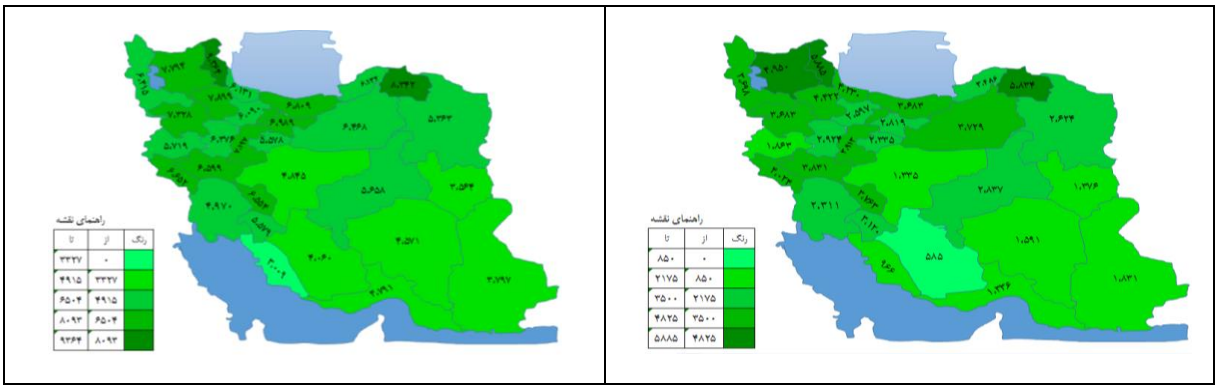
شکل۲ – میانگین مولفه‌های عملکرد و بهره‌وری آب گندم در شرایط مختلف اقلیمی ایران

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد تاثیر اقلیم روی عملکرد قابل‌حصول گندم در سطح احتمال کمتر از یک درصد معنی‌دار است. میانگین (وزنی) عملکرد قابل‌حصول گندم آبی برای کل کشور از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ برابر ۵۷۴۴ کیلوگرم بر هکتار است. مقایسهٔ میانگین نشان می‌دهد در سطح اقلیم‌ها، بیشترین (۶۹۹۴ کیلوگرم بر هکتار) و کمترین (۵۱۵۱ کیلوگرم بر هکتار) عملکرد قابل‌حصول به ترتیب به اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک اختصاص دارد (شکل۲). عملکرد قابل حصول در اقلیم‌های نیمه‌خشک و مرطوب معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد عوامل اقلیمی، تبخیر و تعرق گیاه و دورهٔ رشد محصول از دلایل اصلی تفاوت عملکرد گندم در اقلیم‌های مختلف باشد. در اقلیم نیمه‌خشک، در سطح استان‌ها، بیشترین عملکرد به مزارع گندم استان زنجان تعلق دارد. حجارپور Hajarpoor (2016) پس از ارزیابی نتایج بیش از ۶۸۰ مزرعه در استان گلستان، عملکرد قابل‌حصول گندم را ۶۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش داده است. در مطالعهٔ حاضر، مقدار عملکرد قابل‌حصول در استان گلستان،

۶۱۳۲ کیلوگرم بر هکتار به دست آمده‌است. بنابراین، یافتهٔ این مطالعه با یافته حجارپور (Hajarpoor, 2016) همخوانی و سازگاری دارد. افزون بر شرایط اقلیمی، دورهٔ رشد و میزان تبخیر و تعرق گندم، عامل‌هایی مانند مدیریت تغذیه (Nazari, 2019; Torabi, 2011)، تاریخ کاشت (Nekahi *et al*., 2014)، ارقام گیاهی (Nekahi *et al*., 2014)، مدیریت آبیاری (Nazari, 2019)، تراکم بوته (Nekahi *et al*., 2014)، مدیریت گیاه‌پزشکی (Nazari, 2019; Nekahi *et al*., 2014)، کاربرد زیرشکن و استفاده از فاروئر در مزرعه (Hajarpoor *et al*., 2017) و مدیریت بذر (Nazari, 2019) در عملکرد گندم آبی مؤثر گزارش شده است. بنابراین، عملکرد محصول حتی در استان‌های واقع در یک اقلیم می‌تواند متفاوت باشد. براین اساس، استان‌ها از نظر مقدار عددی عملکرد قابل حصول که نمایانگر تمام ظرفیت و شرایط تولیدی است خوشه‌بندی و از نظر عملکرد قابل‌حصول گندم به چندین خوشه تقسیم شدند (شکل ۳). میانگین عملکرد قابل‌حصول در خوشهٔ اول ۳۰۰۹ کیلوگرم بر هکتار است. این خوشه شامل مزارع گندم در استان بوشهر است (شکل ۳). خوشهٔ دوم شامل استان‌های خراسان‌جنوبی، سیستان و بلوچستان، فارس، کرمان، هرمزگان و اصفهان بوده و دامنهٔ تغییرات در این خوشه از ۳۵۶۴ تا ۴۸۴۵ کیلوگرم بر هکتار با میانگین ۴۲۷۱ کیلوگرم بر هکتار است. در خوشهٔ سوم، میانگین عملکرد قابل‌حصول ۵۸۷۳ کیلوگرم بر هکتار با تغییرات از ۴۹۷۰ تا ۶۴۶۸ کیلوگرم بر هکتار و شامل استان‌های خوزستان، خراسان‌رضوی، قم، کهگیلویه و بویراحمد، یزد، کرمانشاه، قزوین، گیلان، گلستان، همدان، آذربایجان‌غربی و سمنان است (شکل ۳). در خوشهٔ چهارم استان‌های چهارمحال و بختیاری، لرستان، ایلام، مازندران، تهران، مرکزی، کردستان، آذربایجان‌شرقی، البرز و زنجان و قرار دارند (شکل ۳). دامنهٔ عملکرد قابل‌حصول بین ۶۵۵۴ و ۷۸۹۹ کیلوگرم بر هکتار است. میانگین عملکرد در این خوشه ۷۱۶۲ کیلوگرم بر هکتار محاسبه شده است. در خوشه پنجم، استان‌های خراسان‌شمالی و اردبیل (مغان) قرار دارند. میانگین عملکرد در این خوشه ۸۸۵۳ کیلوگرم بر هکتار و تغییرات آن از ۸۳۴۲ تا ۹۳۶۴ کیلوگرم بر هکتار است (شکل ۳).

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد تاثیر اقلیم روی شکاف عملکرد (واقعی و قابل حصول) گندم در سطح احتمال کمتر از یک درصد معنی‌دار است. شکاف عملکرد در اقلیم‌های نیمه‌خشک و مرطوب معنی‌دار نبود. مقایسهٔ میانگین در سطح اقلیم‌ها نشان می‌دهد شکاف عملکرد در اقلیم‌های مرطوب، نیمه‌خشک و خشک به ترتیب ۳۹۵۶، ۳۷۶۷ و ۲۳۲۵ کیلوگرم بر هکتار اختصاص دارد (شکل۲). میانگین وزنی و حسابی شکاف عملکرد گندم آبی برای کل کشور از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ به ترتیب برابر۲۷۵۸ و ۳۰۵۸ کیلوگرم بر هکتار است.

به نظر می‌رسد عوامل اقلیمی، تبخیر و تعرق گیاه و دورهٔ رشد محصول از دلایل اصلی تفاوت عملکرد گندم در اقلیم‌های مختلف باشد. میانگین نسبت عملکرد واقعی به پتانسیل ۳۹ درصد و نسبت عملکرد واقعی به قابل‌حصول ۵۱ درصد به دست آمده‌است.



شکل ۳- عملکرد قابل‌حصول (سمت چپ) و شکاف عملکرد گندم (سمت راست، هردو به کیلوگرم بر هکتار) در استان‌های کشور

شکاف عملکرد گندم در استان‌های کشور به چندین خوشهٔ مستقل تقسیم شد (شکل ۳). خوشهٔ اول شامل استان فارس با میانگین شکاف عملکرد برابر با ۵۸۵ کیلوگرم بر هکتار است (شکل ۳). میانگین شکاف عملکرد در خوشهٔ دوم ۱۴۷۱ کیلوگرم بر هکتار و تغییرات آن از ۹۶۶ تا ۱۸۶۳ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمده است. این خوشه شامل استان‌های بوشهر، اصفهان، هرمزگان، خراسان‌جنوبی، کرمان، سیستان و بلوچستان و کرمانشاه است (شکل ۳). خوشهٔ سوم شامل استان‌های خوزستان، قم، قزوین، خراسان‌رضوی، تهران، یزد، همدان، کهگیلویه و بویراحمد و گلستان است (شکل ۳). دامنهٔ تغییرات شکاف عملکرد در این خوشه از ۲۳۱۱ تا ۳۴۸۶ کیلوگرم بر هکتار و میانگین آن ۲۷۸۴ کیلوگرم بر هکتار است. خوشهٔ چهارم شامل استان‌های کردستان، مازندران، آذربایجان‌غربی، البرز، سمنان، چهارمحال و بختیاری، لرستان، مرکزی، ایلام، گیلان و زنجان و میانگین شکاف عملکرد در این خوشه ۳۸۸۱ و تغییرات آن از ۳۶۸۳ تا ۴۴۲۲ کیلوگرم بر هکتار است. خوشهٔ پنجم شامل استان‌های آذربایجان‌شرقی، خراسان‌شمالی و اردبیل (مغان) و دامنهٔ تغییرات شاخص در این خوشه از ۴۹۵۰ تا ۵۸۸۵ کیلوگرم بر هکتار و میانگین آن ۵۵۵۶ کیلوگرم بر هکتار است (شکل ۳). ترابی (2011) Torabi شکاف عملکردی گندم آبی در گرگان را بین ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار به دست آورده است. در پژوهشی دیگر، ترابی و همکاران (Torabi. *et al.*, 2012) و حجارپور و سلطانی (Hajarpoor & Soltani, 2015) شکاف عملکرد گندم آبی در استان گلستان را ۲۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش کرده‌اند. حجارپور و همکاران (Hajarpoor *et al.*, 2017) و احمدی (Ahmadi, 2017) شکاف عملکردی در استان گلستان را بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار و بادسر (Badsar *et al.*, 2017) شکاف عملکردی را بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش داده‌اند. در این مطالعه، شکاف عملکرد واقعی از قابل‌حصول در گرگان ۳۴۸۶ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. این یافته با نتایج برخی از پژوهش‌گران سازگاری دارد.

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد میانگین وزنی و حسابی شکاف عملکرد در کشور به ترتیب ۲۷۵۸ و ۳۰۵۸ کیلوگرم بر هکتار است. بنابراین، شکاف تولید گندم آبی در سطح کشور ۶/۲ میلیون تن به‌دست می‌آید و با عملکرد قابل‌حصول می‌توان حدود ۱۲/۹ میلیون تن گندم‌آبی در سطح کشور به دست آورد.

روشن است این مقدار تولید مستلزم استفادهٔ مناسب از نهاده‌های تولید و مدیریت بهینهٔ عوامل مؤثر در شکاف تولید گندم‌آبی است. عوامل متعددی موجب شکاف تولید می‌شود. کمبود حاصلخیزی خاک، آبیاری نامناسب، شیوع و گسترش آفات و علف‌های هرز در مزرعه، تاریخ نامناسب کاشت گندم از آن جمله است. نقش مدیریت تغذیه در شکاف عملکرد بیش از ۳۰ درصد (Nazari, 2019; Torabi, 2011)، سهم تاریخ کاشت تا ۳۶ درصد (Nekahi *et al.*, 2014)، نقش ارقام گیاهی تا ۲۱ درصد (Nekahi *et al.*, 2014)، سهم مدیریت آبیاری تا ۴۷ درصد (Nazari, 2019)، نقش تراکم بوته تا ۱۵ درصد (Nekahi *et al.*, 2014)، سهم مدیریت گیاه‌پزشکی تا ۹ درصد (Nazari, 2019; Nekahi *et al.*, 2014)، نقش کاربرد زیرشکن تا ۹ درصد و استفاده از فاروئر در مزرعه تا ۸ درصد (Hajarpoor *et al.*, 2017) و سهم مدیریت بذر تا ۸ درصد (Nazari, 2019) در شکاف عملکردی گندم آبی گزارش شده است.

نسبت عملکرد پتانسیل گندم آبی (کیلوگرم بر هکتار) به تبخیر و تعرق پتانسیل (مترمکعب بر هکتار) به‌عنوان پتانسیل بهره‌وری آب لحاظ شده است (شکل۲). تاثیر اقلیم بر مقدار این شاخص در سطح کمتر از یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین نشان می‌دهد پتانسیل بهره‌وری آب در اقلیم نیمه‌مرطوب برابر ۱/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب، در اقلیم نیمه‌خشک برابر ۱/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در اقلیم خشک برابر ۰/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده‌است (شکل۲). میانگین پتانسیل بهره‌وری آب در تولید گندم آبی در کشور ۱/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است.

نسبت عملکرد واقعی گندم (کیلوگرم بر هکتار) به تبخیر و تعرق واقعی (مترمکعب بر هکتار) به‌عنوان بهره‌وری واقعی آب لحاظ شده است. تاثیر اقلیم بر بهره‌وری واقعی آب معنی‌دار است. در جدول ۳ میانگین مربعات تحلیل واریانس بهره‌وری واقعی آب ارائه شده است. بهره‌وری واقعی آب در اقلیم نیمه‌مرطوب برابر ۱/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب، در اقلیم نیمه‌خشک برابر ۰/۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در اقلیم خشک برابر ۰/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده‌است (شکل۲). میانگین بهره‌وری واقعی آب در تولید گندم آبی در کشور ۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است.

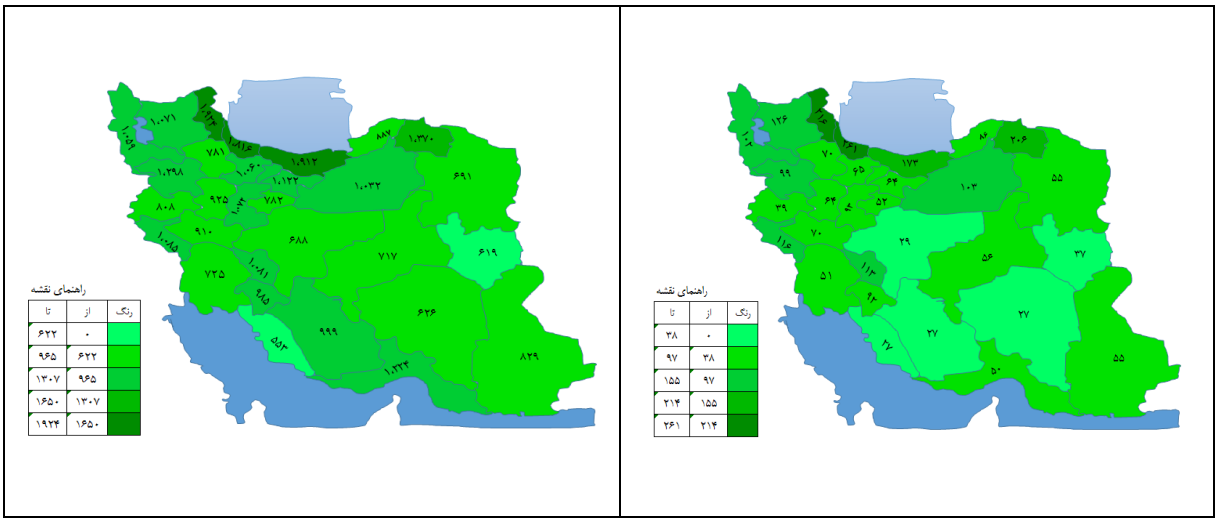
پتانسیل بهره‌وری آب در تولید گندم در استان‌های کشور به چندین خوشه تقسیم گردید (شکل ۴). تغییرات پتانسیل بهره‌وری آب در خوشهٔ اول از ۰/۵۵ تا ۰/۶۲ و میانگین آن ۰/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب است. این خوشه شامل مزارع گندم در استان‌های بوشهر، و خراسان‌جنوبی است (شکل ۴). خوشهٔ دوم شامل استان‌های کرمان، اصفهان، خراسان‌رضوی، یزد، خوزستان، زنجان، قم، کرمانشاه، سیستان و بلوچستان، گلستان، لرستان و همدان و دامنهٔ تغییرات در این خوشه از ۰/۶۳ تا ۰/۹۲ با میانگین ۰/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب است. استان‌های متعددی در خوشهٔ سوم با میانگین ۱/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب و با تغییرات از ۰/۹۸ تا ۱/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب قرار دارند. این استان‌ها عبارت‌اند از کهگیلویه و بویراحمد، فارس، سمنان، آذربایجان‌غربی، قزوین، آذربایجان‌شرقی، مرکزی، چهارمحال و بختیاری، ایلام، تهران، البرز، هرمزگان و کردستان (شکل ۴). میانگین پتانسیل بهره‌وری آب در خوشهٔ چهارم از ۱/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب است و استان خراسان‌شمالی در این خوشه قرار دارد. در خوشهٔ پنجم، استان‌های اردبیل، گیلان و مازندران قرار دارند. میانگین بهره‌وری در این خوشه

۱/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب و تغییرات آن از ۱/۸۲ تا ۱/۹۲ کیلوگرم برمترمکعب برآورد شده است (شکل ۴). شکاف بهره‌وری آب در تولید گندم نیز در استان‌های کشور به چندین خوشهٔ مستقل تقسیم می‌شود (شکل ۴). خوشهٔ اول شامل استان‌های کرمان، بوشهر، فارس، اصفهان و خراسان‌جنوبی با میانگین شکاف بهره‌وری برابر با ۲۹ گرم بر مترمکعب و تغییرات شکاف بهره‌وری آب در این خوشه از ۲۷ تا ۳۷ گرم بر مترمکعب است (شکل ۴). دامنهٔ تغییرات این شاخص در خوشهٔ دوم از ۳۹ تا ۹۳ با میانگین ۶۵ گرم بر مترمکعب است. این خوشه شامل استان‌های کرمانشاه، هرمزگان، خوزستان، قم، خراسان‌رضوی، سیستان و بلوچستان، یزد، تهران، همدان، قزوین، لرستان، زنجان، البرز، گلستان، کهگیلویه و بویراحمد و مرکزی است (شکل ۴).

تغییرات شکاف بهره‌وری آب در خوشهٔ سوم از ۹۹ تا ۱۲۶ با میانگین ۱۱۰ گرم بر مترمکعب است. این خوشه شامل استان‌های کردستان، آذربایجان‌غربی، سمنان، چهارمحال و بختیاری، ایلام و آذربایجان‌شرقی است (شکل ۴).

خوشهٔ‌چهارم شامل استان‌های مازندران و خراسان‌شمالی با میانگین شکاف بهره‌وری برابر با ۱۸۹ گرم بر مترمکعب و تغییرات شکاف بهره‌وری آب در این خوشه از ۱۷۳ تا ۲۰۶ گرم بر مترمکعب است (شکل ۴).

میانگین شکاف بهره‌وری آب در خوشهٔ پنجم ۲۳۸ گرم بر مترمکعب و تغییرات آن از ۲۱۶ تا ۲۶۱ گرم بر مترمکعب به‌دست آمده است. در این خوشه استان‌های اردبیل و گیلان قرار دارند (شکل ۴).



شکل ٤- پتانسیل (سمت چپ) و شکاف (سمت راست) بهره‌وری آب (گرم بر مترمکعب) در تولید گندم در استان‌های کشور

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف اصلی برآورد پتانسیل و شکاف بهره‌وری آب در تولید گندم در ایران به‌اجرا در آمد. نتایج بررسی‌ها نشان داد برای دورهٔ زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ میانگین (وزنی) عملکرد قابل‌حصول و واقعی گندم آبی در کشور به ترتیب ۵۷۴۴ و ۲۹۸۶ کیلوگرم در هکتار و در شرایط آرمانی از لحاظ تامین نهاده‌ها و مدیریت مزرعه، شکاف عملکردی ۲۷۵۸ کیلوگرم بر هکتار است. میانگین پتانسیل بهره‌وری آب در تولید گندم در سطح کشور به ترتیب ۱/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. ظرفیت مناسبی برای بهبود عملکرد محصول و بالابردن بهره‌وری آب در مزارع گندم استان‌های اردبیل، خراسان‌شمالی، آذربایجان‌شرقی، ایلام، آذربایجان‌غربی، مرکزی، مازندران، کردستان، سمنان، کردستان، مازندران و چهارمحال و بختیاری وجود دارد. بنابراین، بهبود شاخص‌های یاد شده، اثربخشی قابل توجهی در تولید این محصول استراتژیک موجب خواهد شد. از محدودیت‌های این بررسی می‌توان به استفاده از میانگین برخی ضریب‌ها مانند ضریب گیاهی و ضریب حساسیت محصول به کمبود آب و نیز نحوهٔ برآورد عملکرد قابل حصول از عملکرد پتانسیل و نیز واسنجی‌نشدن تبخیر و تعرق واقعی با داده‌های مزرعه‌ای اشاره کرد. واسنجی تبخیر و تعرق واقعی گندم بر مبنای داده‌های لایسیمتری یا تصویرهای ماهواره‌ای و نیز تحلیل یا فراتحلیل عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب در تولید گندم می‌تواند یافته‌های این بررسی را تکمیل کند. یافته‌های پیشین نشان می‌دهند شکاف عملکرد و بهره‌وری آب در تولید گندم همبستگی شدیدی با نحوهٔ مدیریت زراعی در مزرعه دارد. با شناسایی مؤلفه‌های اصلی ایجادکنندهٔ شکاف عملکرد و بهره‌وری آب و مدیریت مناسب زراعی در هر اقلیم یا استان می‌توان شکاف‌های موجود را برطرف کرد. مدیریت مناسب آبیاری، مدیریت مناسب مصرف کود نیتروژنی و تاریخ مناسب کاشت از مؤلفه‌های اصلی برای کاهش شکاف عملکرد و بهره‌وری آب در تولید گندم به شمارمی‌روند.

مراجع

Ahmadi, H. (2017). *Modeling wheat production and yield gap in Golestan province*. Ph.D. thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Farsi)

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Abdshah, H. and Kazemian, A. (2020). *Agricultural Statistics of the Crop in Year 2018-2019. Volume I: Crop Products*. Ministry of Jahad e Agriculture, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. 97 p.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage paper NO. 56.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56(9). P.e.156.

Andarzian, B., Bakhshandeh, A., Bannayan, M. and Emam, Y. (2008). Evaluation of CERES-Wheat simulation model in Ahvaz climatic conditions. *Iranian Agricultural Research*, 6 (1), 11-22.

Andarzian, B., Bakhshandeh, A.M., Bannayan, M. and Emam, Y. (2008). Evaluation of the CERES-wheat model in Ahvaz condition. *J. Field Crops Res*, 6: 1, 11-22. (In Farsi)

Badsar, M., Kamkar, B., Soltani, A. and Abdi, O. (2017). Yield gap estimation in wheat-grown fields using GIS and RS approach and SSM model (A case study: Qaresso basin, Gorgan, Iran). *Cereal Research*, 7(2), 195-215.

Bandyopadhyay, P.K. and Mallick, S. (2003). Actual evapotranspiration and crop coefficients of wheat (*Triticum aestivum*) under varying moisture levels of humid tropical canal command area. *Agric. Water Manage*, 59, 33–47.

Caviglia, O.P. and Sadras, V.O. (2001). Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Res*, 69, 259–266.

Chouhan, S. S., Awasthi, M. K., & Nema, R. K. (2015). Studies on water productivity and yields responses of wheat based on drip irrigation systems in clay loam soil. Indian *Journal of science and Technology*, 8(7), 650.

Corbeels, M., Hofman, G. and van Cleemput, O. (1998). Analysis of water use by wheat grown on a cracking clay soil in a semi-arid Mediterranean environment: weather and nitrogen effects. *Agric. Water Manage*, 38, 147–167.

Deju, Z. and Jingwen, L. (1993). The water-use efficiency of winter wheat and maize on a salt-affected soil in the Huang Huai Hai river plain of China. *Agric. Water Manage*, 23: 67–82.

Ding, Z., Ali, E. F., Elmahdy, A. M., Ragab, K. E., Seleiman, M. F., & Kheir, A. M. (2021). Modeling the combined impacts of deficit irrigation, rising temperature and compost application on wheat yield and water productivity. Agricultural Water Management, 244, 106626.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H. (1979). *Yield response to water FAO Irrigation and Drainage paper NO. 33*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ebadi, F. and Saeednia, A. (2009). *Food balance sheet (2002-2006) for Islamic Republic of Iran*. Agricultural Planning and Economic Research Institute. 142 p.

Ebrahimi, M., Najafi, Kh. and Ghazi, A. (2016). Evaluation of agricultural water demand in Qazvin plain. *6th National Conference on Water Resources Management of Iran*. University of Kordestan. Kordestan

Fengrui, L., Songling, Z. and Geballe, G.T. (2000). Water use patterns and agronomic performance for some cropping systems with and without fallow crops in a semi-arid environment of northwest China. *Agric. Ecosyst. Environ*, 79, 129–142.

Fisher, R.A. (2014). Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. *Field Crops Res*, 6359, 1-10.

Gharineh, M., Bakhshandeh, A., Andarzian, B. and Faizizadeh, N. (2012). Agro-climatic zonation of Khuzestan province based on potential yield of irrigated wheat using WOFOST model. *Agroecology*, 4, 264-255.

Hajarpoor, A. (2016). *Evaluation of wheat yield gap in Golestan province*. PhD Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Hajarpoor, A. and Soltani, A. (2015). Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 8(4), 183-201.

Hajarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, A., Kashiri, H., Aynehband, A. and Nazeri, M. (2017). Evaluation of wheat yield gap using comparative performance analysis method in Golestan province. *Iranian Agricultural Sciences*, 19, 86-101.

Hajjarpoor, A. (2016). *Analysis of the yield limitations in Golestan province*. Ph.D. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Farsi)

Hajjarpoor, A., Soltani, A. and Torabi, B. (2015). Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *J. Crop Prod*, 8, 183-201. (In Farsi).

Heydari, N. (2011). Determining and evaluating the water productivity index of crops under the management of farmers in the country. *Journal of Water and Irrigation Management*, 1 (2), 57-43.

Jin, M., Zhang, R., Sun, L. and Gao, Y. (1999). Temporal and spatial soil water management: a case study in the Heilonggang region, PR China. *Agric. Water Manage*, 42, 173–187

Kamilov, B., Ibragimov, N., Evett, S. and Heng, L. (2002). Use of neutron probe for investigations of winter wheat irrigation scheduling in automorphic and semi-hydromorphic soils of Uzbekistan. In: *Proceedings of the International Workshop on Conservation Agriculture for Sustainable Wheat Production in Rotation with Cotton in Limited Water Resource Areas*, Tashkent, Uzbekistan, October 13–18, 2002.

Kruse, E.G., Champion, D.F. and Yoder, R.E. (1991). High saline water-table effect on wheat irrigation. In: Allen, R.A., Howell, T.A., Pruitt, W.O., Walter, I.A., Jensen, M.E. (Eds.), *Proceedings of the international symposium on Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements*, Honolulu, Hawaii, July 23–25, 1991, pp. 335–343.

Lashanizand, M., Payamani, K., Ahmadi, S., & Veyskarami, I. (2014). Ecological climate zonation of Iran. *Watershed Engineering and Management*, 6(2), 175-189.

Li, F-M., Song, Q-H., Liu, H-S., Li, F-R. and Liu, X-L. (2001). Effects of pre-sowing irrigation and phosphorus application on water use and yield of spring wheat under semi-arid conditions. *Agric. Water Manage*, 49, 173–183.

Mishra, H.S., Rathore, T.R. and Tomar, V.S. (1995). Water use efficiency of irrigated wheat in the Tarai Region of India. *Irrig. Sci*, 16, 75–80.

Montajabi, N. and Vaziri, Zh. (2004). The effect of irrigation scheduling on yield and water productivity of wheat in Gholpayeghan. *Journal of Soil and Water Sciences*, 18 (1), 62-56.

Nasseri, A. and Abbasi, F. (2019). Analysis and Future Study of 60-Year Temporal Variations of Water Use Efficiency of Irrigated Wheat in Tabriz Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(4), 894-908.

Nasseri, A. and Fallahi, H. (2007). Water use efficiency of winter wheat under deficit irrigation. *Journal of Biological Sciences*, 7(1),19-26.

Nazari, B. (2019). *Final report of the research plan to study and analyze the productivity gap and prepare a guide to improve agricultural water productivity with the approach of empowering farmers and sustainability in aquifers (Case study: Qazvin plain*). National Center for Strategic Studies in Agriculture and Water. Chamber of Commerce. 310 p

Nekahi, M., Soltani, A., Siahmarghoueei, A. and Bagherani, N. (2014). Yield gap of crop and weed management in wheat: case study, Golestan province, Bandar Gaz. *Journal of Crop Production*, 7(2), 135-156.

Onabi Milani, A. (2006). Interaction between Irrigation Regimes and Different Nitrogen Sources on Water Productivity of Wheat. *Journal of Modern Agricultural Sciences*, 2 (5), 56-44.

Oweis, S., Zhang, H. and Pala, M. (2000). Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agron. J.*, 92, 231–238.

Pandey, R.K., Maranville, J.W. and Admou, A. (2001). Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *Eur. J. Agron*, 15, 93–105.

Rahman, S.M., Khalil, M.I. and Ahmed, M.F. (1995). Yield-water relations and nitrogen utilization by wheat in salt-affected soils in Bangladesh. *Agric. Water Manage*, 28, 49–65.

Razavi, R. (2008). Effect of Irrigation elimination in wheat growth stages on water productivity and yield quantitative and qualitative. *Journal of Soil and Water Sciences*, 22 (1), 145-137.

Regan, K.L., Siddique, K.H.M., Tennant, D. and Abrecht, D.G. (1997). Grain yield and water use efficiency of early maturing wheat in low rainfall Mediterranean environments. *Aus. J. Agric. Res.*, 48, 595–603.

Seyyed Jalali, S.A., Navidi, M.N., Zinaddini, A. and Mohammad Ismail, Z. (2019). *Crop phenology for use in land suitability assessment*. Soil and Water Research Institute. 506 p.

Sezen, S.M. and Yazar, A. (1996). Determination of water–yield relationship of wheat under Cukurova conditions. *Tr. J. Agric. For*, 20, 41–48 (in Turkish, with English abstract).

Sharma, K.D., Kumar, A. and Singh, K.N. (1990). Effect of irrigation scheduling on growth, yield and evapotranspiration of wheat in sodic soils. *Agric. Water Manage*, 18, 267–276.

Sharma, K.S., Samra, J.S. and Singh, H.P. (2001). Influence of boundary plantation of poplar (*Populus deltoides* M.) on soil-water use and water use efficiency of wheat. *Agric. Water Manage*, 51, 173–185.

Siddique, K.H.M., Tennant, D., Perry, M.W. and Belford, R.K. (1990). Water use and water use efficiency of old and modern cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aus. J. Agric. Res*, 41, 431–447.

Singh, R.V. and Chauhan, H.S. (1996). Irrigation scheduling in wheat under shallow groundwater table conditions. In: Cramp, C.R., Sadler, E.J., Yoder, R.E. (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, San Antonio Convention Center, San Antonio, Texas, November 3–6, 1996, pp. 103–108.

Soltani, A. (2009). *Mathematical modeling in crops*. Publications of Jahade Daneshghahi Mashhad. Mashhad. Iran.175p.

Soltani, A., Galeshi, Y. and Zinali, A. (1990). *Analysis of restrictions on wheat production in Golestan province*. Research Report. Management and Planning Organization of Golestan Province. Gorgan.

Soltani, A., Nahbandani, A.R., Zeinali, A. Torabi, B., and Zand, A. (2018). *Preparation of yield gap atlas and production capacity of important crops in the Iran in current and future climatic conditions*. Report of AREEO and Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. P 336 .

Taheri, M., Rezaverdinejad, W., Behmanesh, J., Abbasi, F. and baghani, J. (2020). Spatial analysis of water productivity index in wheat production regions. *Water Research in Agriculture*, 34 (2), 228-217.

Torabi, B. (2011). *Analysis of the yield limitations in Gorgan using simulation model and hierarchical process (AHP)*. Ph.D. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S. and Zeinali, E. (2012). Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *J. Crop Prod*, 4, 1-17. (In Farsi)

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S. and Zeinali, E. (2013). Documenting the process of wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, 19(4), 19-42.

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Kazemi Korgehei, M. (2013). Ranking factors causing the wheat yield gap in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 6(1), 171-189.

Vazifedoust, M., Van Dam, J.C. and Feddes, R.A. (2008). Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management*, 95(2), 89-102.

Waheed, R.A., Naqvi, M.H., Tahir, G.R. and Naqvi, S.H.M. (1999). Some studies on pre-planned controlled soil moisture irrigation scheduling of field crops. In: Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C., Nielsen, D.R. (Eds.), *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Developments in Plant and Soil Sciences, vol. 84. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 180–195.

Wang, H., Zhang, L., Dawes, W.R. and Lu, C. (2001). Improving water use efficiency of irrigated crops in the North China Plain: measurements and modeling. *Agric. Water Manage*, 48, 151–167.

Xianqun, X. (1996). The combined field experiment for determining evapotranspiration in north China Plain. In: Cramp, C.R., Sadler, E.J., Yoder, R.E. (Eds.), *Proceedings of the International Conference Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, San Antonio Convention Center, San Antonio, Texas, November 3–6, 1996, pp. 69–74.

Yang, Q., Wang, Y., Zhang, J. and Delgado, J. (2017). A comparative study of shallow groundwater level simulation with three-time series models in a coastal aquifer of South China. *Applied Water Science*, 7(2), 689-698.

Zahed, M., soltani, A., Zeinali, E., Torabi, B., Zand, E. and Alimagham, S. (2019). Modeling of irrigated wheat yield potential and gap in Iran. *Journal of Crop Production*, 12(3), 35-52.

Zhang, H., Wang, X., You, M. and Liu, C. (1999). Water-yield relations and water-use efficiency of winter wheat in the North China Plain. *Irrig. Sci*, 19, 37–45.

Zhang, J., Sui, X., Li, B., Su, B., Li, J. and Zhou, D. (1998). An improved water-use efficiency for winter wheat grown under reduced irrigation. *Field Crops Res*. 59, 91–98.

Zhao, J., Han, T., Wang, C., Jia, H., Worqlul, A.W., Norelli, N., Zeng, Z. and Chu, Q., 2020. Optimizing irrigation strategies to synchronously improve the yield and water productivity of winter wheat under interannual precipitation variability in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 240, p.106298.

Zheng, J., Fan, J., Zhang, F., Guo, J., Yan, S., Zhuang, Q., and Guo, L. (2021). Interactive effects of mulching practice and nitrogen rate on grain yield, water productivity, fertilizer use efficiency and greenhouse gas emissions of rainfed summer maize in northwest China. *Agricultural Water Management*, 248, 106778.

Zwart, S.J. and Bastiaansen W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2), 115-133.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.23/No.86/ Spring 2020/P:87-110

Potential and Gap of Water Productivity in Wheat Production in Iran

A. Nasseri* and F. Abbasi

* Corresponding Author: Associated professor, Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. Email: abbaspour@uma.ac.ir
Received: 23 December 2021, Accepted: 18 May 2022

Extended Abstract

Introduction

Wheat has a specific importance and position as the main food and the source of calories (about 45% of the required energy) and protein (about 50% of the required protein). The gap of water productivity in agricultural production has not yet been investigated despite the need to improve water productivity in agricultural productions and the importance of potential of water productivity in the agricultural sector in Iran. Wheat is the main nutritional material and the main source of calorie and protein which has important and special status in the country among the various products. Water productivity is one of the important indices in evaluating the irrigation water use efficiency in the agricultural production. Globally, the value of this index has varied from 0.52 kg m^{-3} to 2.67 kg m^{-3}. In spite of the need to improve water productivity in agricultural production; and the importance of amounts of this index in the agricultural sector, the gap in water productivity for agricultural production has not yet been studied. Therefore, the objective of this study was to investigate the wheat-yield gap and to estimate the potential and gap of water productivity in wheat production in Iran.

Methodology

The recommended methods of FAO-33 and FAO-56 were respectively applied to determine the potential of wheat production and potential evapotranspiration in the country. Measured (actual) yields were acquired from documents of Agricultural Ministry. The gap of yield (and water productivity) was obtained from the difference between actual and potential (or reliable) values. The potential (and actual) of water productivity was achieved from the ratio of yield to the evapotranspiration. The reliable yield was defined as a part of the potential yield that could be achieved by producers.

Results and Discussion

With investigating the wheat-yield gap and to estimate the potential and gap of water productivity in wheat production in Iran, the results showed that the reliable and actual yields respectively averaged 5744 and 2986 kg ha^{-1} with a gap of 2758 kg ha^{-1} for the period of 1385 to 1394 (2006-2015). The potential and reliable yields; and water productivity in wheat production is influenced by climatic conditions. The potential productivity and its gap were 1.02 and 0.09 kg m^{-3}.

Conclusions

This study was conducted with the aim of investigating the wheat-yield gap and to estimate the potential and gap of water productivity in wheat production in Iran. Findings revealed that wheat farms in the arid and semi-arid climates in the country have a considerable capacity to save irrigation water by improving water application efficiency. The gap in yield and water productivity in wheat production is significantly correlated with the field management. Affecting

factors on the water productivity gap include irrigation management, tillage practices, sowing time, nutrition and pest management.
One of the limitations of this study is the application of the average of several coefficients such as crop coefficient and crop response to water deficit and need to calibration of actual evapotranspiration with field data. Therefore, Calibration of actual wheat evapotranspiration based on lysimetric data or satellite images as well as analysis or meta-analysis of factors affecting water productivity in wheat production can complement the findings of this study. By identifying the main components affecting the yield gap and water productivity and with appropriate agronomic management in each climate (or province) could reduce the existing gaps.

Keywords: Actual productivity, Irrigation management, Potential Production, Potential productivity.