نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۹۱۵-۹۰۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 905-915

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد عملکرد پتانسیل و تأثیر شاخص رضایتمندی نیاز آبی بر عملکرد منطقه‌ای گندم دیم (مطالعه موردی: شرق حوضه دریاچه ارومیه)

معین هادی[۱]، ابوالفضل مجنونی هریس[۲*]، سید علی اشرف صدرالدینی[۳]، جلال شیری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰

چکیده

در مطالعه حاضر، برای ارزیابی تأثیر دوره‌های تنش بر شکاف عملکرد گندم در اراضی دیم شهرستان‌های بستان‌آباد، تبریز، سراب، مراغه و هریس واقع در شرق حوضه دریاچه ارومیه، در بازه‌های آماری ۱۱ تا ۲۰ ساله، از شاخص رضایتمندی نیاز آبی استفاده شده است. برای برآورد عملکرد پتانسیل نیز از تابع تولید خطی ارائه شده توسط فائو استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، از نظر درصد تأمین نیاز آبی گندم دیم یا نسبت تبخیر- تعرق در شرایط دیم به استاندارد، منطقه هریس با ۴۲ درصد بهترین و سراب با ۲۳ درصد بدترین وضعیت را دارند. به‌طور متوسط، عملکرد واقعی گندم دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه ۹۷۶ کیلوگرم در هکتار است و عملکرد پتانسیل در شرایط دیم نیز ۴۲۱۶ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید که حاکی از وجود شکاف قابل‌توجه بین عملکرد پتانسیل و واقعی در منطقه مورد مطالعه است. بیشترین ضریب عملکرد منطقه‌ای معادل ۰/۴۱ مربوط به هریس و کمترین مقدار آن نیز معادل ۰/۲۱ مربوط به مراغه محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده از شاخص رضایتمندی نیاز آبی، حاکی از وجود شرایط مناسب برای تولید محصول گندم دیم در منطقه است. با این حال، عملکرد واقعی در شرق حوضه دریاچه ارومیه به‌طور متوسط حدوداً ۲۷/۲ درصد عملکرد پتانسیل است. این امر نشان می‌دهد که شرایط اراضی دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه از نظر توسعه نظام تولید، مطلوب نبوده و لازم است اقدامات لازم در راستای کاهش شکاف عملکرد صورت پذیرد. همچنین ارزیابی نتایج نشان داد که همبستگی شاخص رضایتمندی نیاز آبی با ضریب عملکرد منطقه‌ای در مقایسه با عملکرد واقعی بیشتر بوده و از این شاخص می‌توان در راستای ارزیابی شکاف عملکرد در یک منطقه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، ضریب عملکرد منطقه‌ای، شکاف، گندم دیم

مقدمه

از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تولیدات کشاورزی، تغییرات آب و هوایی در مناطق مختلف جهان است. با توجه به اهمیت بارش به‌عنوان مهم‌ترین متغیر اقلیمی مؤثر در کشاورزی دیم، تغییرات اقلیمی دیمکاری را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به ماهیت کشاورزی دیم، تنش‌های ناشی از نوسان عوامل اقلیمی نقش قابل-توجهی در تغییرات عملکرد محصولات دارند. لذا نوسان عملکرد محصولات دیم به‌شدت تحت تأثیر عوامل اقلیمی قرار می‌گیرد و دامنه تغییرات نسبی عملکرد در کشاورزی دیم به‌مراتب بیشتر از کشاورزی آبی است. همه‌ساله در نقاط مختلف جهان، بخش قابل-توجهی از اراضی کشاورزی به کشت گندم به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک، اختصاص می‌یابد. در این بین با توجه به محدودیت آب در دسترس بخش کشاورزی و نیز سازگاری نسبی گندم در برابر تنش‌ها، بخش عظیمی از این اراضی تحت کشت به-صورت دیم هستند. سطح زیر کشت گندم در ایران نیز در حدود ۷ میلیون هکتار است که در حدود ۴۳ درصد آن مربوط به کشت آبی و ۵۷ درصد مربوط به اراضی دیم می‌باشد؛ این در حالی است که تنها حدود ۳۳ درصد از گندم تولیدی کشور از اراضی دیم تأمین می‌شود (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعات مختلفی در راستای ارزیابی عملکرد و بهره‌وری محصولات دیم به‌ویژه گندم در شرایط مختلف

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: majnooni1979@yahoo.com

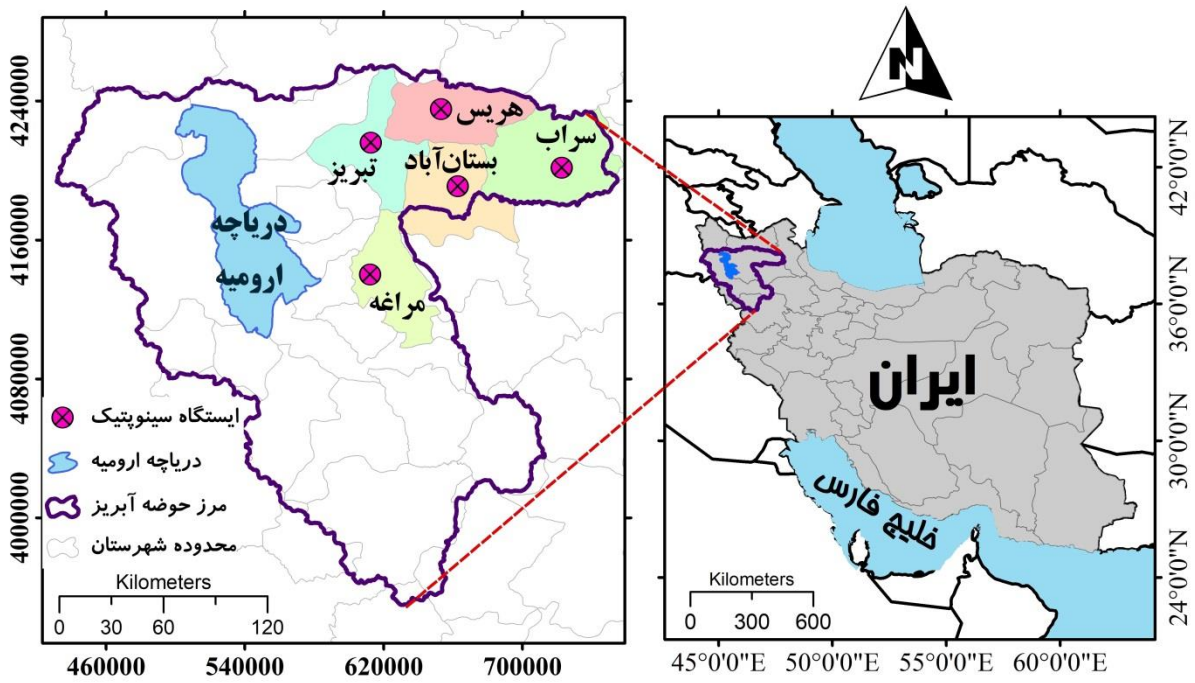
اقلیمی صورت گرفته است و راهکارهای افزایش عملکرد مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است. با این‌حال لازم است مقدار پتانسیل عملکرد نیز در شرایط اقلیمی مختلف برآورد گردد. پتانسیل عملکرد یک محصول در شرایط دیم، عملکرد یک رقم زراعی سازگار با شرایط اقلیمی منطقه مورد نظر است که تحت بهترین شرایط مدیریت مزرعه رشد کرده و فاقد هرگونه عامل محدودکننده محیطی بوده و فقط تحت تأثیر درجه حرارت، تابش خورشیدی، میزان بارش و رطوبت خاک است (Oliver and Robertson, 2013). به‌منظور تعیین پتانسیل عملکرد محصولات دیم، روش‌های مختلفی از جمله استفاده از نرم‌افزارهایی مانند آکواکراپ و یا استفاده از آمار و ارقام عملکرد مزارع محلی وجود دارد. تعیین پتانسیل عملکرد هر منطقه از طریق اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای تحت مدیریت مطلوب و شرایط کنترل-شده امکان‌پذیر است (Lobell et al., 2009). این در حالی است که فراهم نمودن چنین شرایطی با چالش مواجه است. چون از یک‌سو حذف عوامل محدودکننده و کاهش‌دهنده رشد و عملکرد در شرایط مزرعه‌ای بسیار مشکل است و از سوی دیگر، چنین آزمایش‌هایی بایستی برای هر منطقه در دوره‌های آب و هوایی بلندمدت که نشان-دهنده اقلیم منطقه باشد، تکرار شود. لذا انجام چنین مطالعاتی در این سطح وسیع مستلزم صرف هزینه، زمان و نیروی انسانی فراوان است (VanIttersum et al., 2013). یک روش جایگزین و مناسب برای برآورد پتانسیل عملکرد دانه، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی است (نصیری محلاتی و کوچکی، ۱۳۸۸). آبلدو و همکاران با بررسی پتانسیل و شکاف عملکرد گندم در منطقه‌ای مدیترانه‌ای در اسپانیا، مقدار شکاف عملکرد را بین ۴۰ تا ۷۰ درصد برآورد کرده و میزان شکاف عملکرد را تابعی از مصرف نیتروژن و میزان دسترسی زارعین به آب گزارش کردند (Abeldo et al., 2008). هاجرپور و همکاران با استفاده از آنالیز خط مرزی، پتانسیل و شکاف عملکرد را برای گندم در استان گلستان تعیین نمودند (Hajarpour et al., 2017). آن‌ها پتانسیل عملکرد دانه را برای شرایط آبی، دیم پر محصول و دیم کم محصول به ترتیب ۶/۸، ۵/۸ و ۳/۹ تن در هکتار و شکاف عملکرد را برای شرایط آبی، دیم پر محصول و دیم کم محصول به ترتیب ۴۲، ۳۱ و ۵۰ درصد گزارش کردند. مونس‌خواه و مجنونی هریس (۱۳۹۶) با بررسی شاخص رضایتمندی نیاز آبی گندم دیم در دشت تبریز گزارش کردند که بیشترین ریسک اقلیمی در دهه‌های انتهایی فصل رشد رخ می‌دهد که با توجه به مقارن بودن با مرحله حساس به تنش پر شدن دانه‌ها، از طریق کاهش وزن هزار دانه، باعث افت قابل‌توجه عملکرد می-گردد. سان و همکاران با استفاده از دو شاخص درصد شکاف عملکرد و اختلاف تغییرات عملکرد، به بررسی عملکرد نسبی گندم و تغییرات عملکرد آن در چین پرداختند (Sun et al., 2019). نتایج حاکی از روند کاهشی در مقادیر هر دو شاخص مورد بررسی بود که نشان می-دهد سطح عملکرد و ثبات عملکرد گندم بهبود یافته است. ایشان گزارش کردند که این امر می‌تواند به توسعه فن‌آوری کشاورزی و اصلاح نژاد نسبت داده شود. آندیده و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل DSSAT انحراف از عملکرد پتانسیل محصول گندم را در منطقه زرقان استان فارس برآورد کردند. نتایج نشان داد که اصلاح تاریخ کاشت و تراکم، استفاده از آب و کودهای پتاسیم و فسفر بیشتر، نقش قابل‌توجهی در بهبود عملکرد واقعی و کاهش شکاف عملکرد خواهند داشت. اندرزیان (۱۳۹۸) نیز با بررسی پتانسیل عملکرد دانه در مناطق دیم خوزستان، گزارش کردند که میانگین پتانسیل عملکرد دانه از ۴/۲ تن در هکتار (ایذه) تا ۱/۷ تن در هکتار (شوشتر) متغیر است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که پتانسیل عملکرد دانه از جنوب به سمت شمال، شمال شرق و جنوب‌شرق دارای روند افزایشی بوده و پتانسیل عملکرد دانه هریک از پهنه‌ها در سال‌های مختلف نیز متفاوت بود. زاهد و همکاران (۱۳۹۸) نیز با بهره‌گیری از پروتکل جهانی گیگا (GYGA) به مدل‌سازی پتانسیل و شکاف عملکرد گندم آبی در ایران پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که مقدار شکاف عملکرد با نوع اقلیم مناطق تولید گندم آبی در کشور رابطه معنی‌داری نداشت و در همه مناطق کشور مقدار شکاف عملکرد در حدود ۶۲ درصد بود. ایشان گزارش کردند که در صورتی‌که کشاورزان با اعمال مدیریت زراعی مناسب بتوانند به ۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل دست یابند، با احتساب وجود ۲/۲ میلیون هکتار اراضی گندم آبی، مقدار تولید گندم از ۷/۵ میلیون تن به ۱۹/۸ میلیون تن افزایش خواهد داشت. در پژوهشی دیگر، واعظمدنی و همکاران (۱۴۰۱) پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم را در استان آذربایجان‌شرقی بر اساس بارش، فاصله بین رخداد بارش و تبخیر-تعرق ارزیابی نمودند. ایشان با معرفی شاخص پتانسیل دیم گزارش کردند که پتانسیل کشت دیم در مناطق جنوبی استان بالا و در مناطق غربی ضعیف می-باشد. همچنین نتایج نشان داد که رخداد بارش به تنهایی نشان‌دهنده پتانسیل بالا برای دیم نیست و فرکانس بارش‌های کم‌خاصیت نیز نقش مهمی در ارزیابی پتانسیل دیم دارد.

امروزه با توجه به محدودیت روزافزون آب در دسترس بخش کشاورزی، افزایش عملکرد و بهره‌وری در اراضی دیم مورد توجه قرار گرفته است. یکی از گام‌های اولیه در این زمینه، برآورد پتانسیل عملکرد محصولات دیم در شرایط اقلیمی مختلف است. چراکه برآورد پتانسیل عملکرد و شکاف موجود بین عملکرد پتانسیل و واقعی، سبب شناسایی عوامل کاهنده عملکرد در هر منطقه می‌شود و به کمک آن می‌توان تصمیمات فنی و مدیریتی لازم را برای از بین بردن شکاف عملکرد اتخاذ نمود. با توجه به سطح وسیع اراضی دیم در حوضه دریاچه ارومیه و لزوم افزایش بهره‌وری در تولیدات دیم، در مطالعه حاضر ارزیابی تأثیر دوره‌های تنش بر شکاف عملکرد گندم دیم با بهره‌گیری از شاخص رضایتمندی نیاز آبی مدنظر قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در شرق حوضه دریاچه ارومیه، شامل بستان‌آباد، تبریز، سراب، مراغه و هریس انجام گرفت. ملاک انتخاب ایستگاه‌ها، وجود داده‌های پیوسته و بلندمدت هواشناسی بود. بازه آماری مورد مطالعه برای ایستگاه‌های تبریز، سراب و مراغه ۲۰ سال (۱۳۹۸-۱۳۷۹) و با توجه به تاریخ تأسیس ایستگاه‌های سینوپتیک در بستان-آباد ۱۳ سال (۱۳۹۸-۱۳۸۶) و ایستگاه هریس ۱۱ سال (۱۳۹۸-۱۳۸۸) مد نظر قرار گرفت. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه نشان داده شده است. از لحاظ شرایط اقلیمی، حوضه دریاچه ارومیه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل بوده و اغلب مناطق آن بر مبنای طبقه‌بندی دومارتن در محدوده نیمه‌خشک قرار دارد. با توجه به روند کاهشی بارش‌ها و محدودیت آب در دسترس بخش کشاورزی، بخش بزرگی از محصولات الگوی کشت که عمدتاً از غلات و دانه‌های روغنی تشکیل می‌شوند، به-صورت دیم و یا با استفاده از کم‌آبیاری کشت می‌شوند (اسعدی، ۱۴۰۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

جدول ۱- متوسط مشخصات خاک غالب مناطق زراعی در عمق ۱ متری

ایستگاه	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	بافت خاک	نگهداشت رطوبت (متر بر متر)
بستان‌آباد	۱/۵	loam	۰/۰۹۷
تبریز	۱/۵	loam	۰/۰۹۷
سراب	۱/۵	Clay-loam	۰/۱۷۵
مراغه	۱/۴	Clay-loam	۰/۱۷۵
هریس	۱/۵	Clay-loam	۰/۱۷۵

داده‌های هواشناسی مورد استفاده برای انجام پژوهش شامل دمای کمینه، دمای متوسط، دمای بیشینه، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی کمینه، رطوبت نسبی متوسط، رطوبت نسبی بیشینه، سرعت باد و بارش، از سازمان هواشناسی و داده‌های عملکرد گندم دیم نیز از سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی اخذ شد. اطلاعات خاکشناسی مورد نیاز نیز با تلفیق داده‌های محلی، مطالعات و گزارش-

های خاکشناسی موجود و نقشه خاک فائو حاصل گردید. اطلاعات خاکشناسی شامل درصد شن، سیلت و رس در اعماق مختلف با توجه به نقشه کاربری اراضی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ می‌باشد. در جدول ۱، برخی از خصوصیات فیزیکی خاک اراضی کشاورزی در مناطق مورد مطالعه ارائه شده است.

عملکرد پتانسیل

به‌منظور ارزیابی اثر کمبود آب بر عملکرد گندم دیم، از تابع تولید خطی ارائه شده توسط فائو استفاده شد (رابطه ۱) (Doorenbos and Kassam, 1979):

$$YD = \frac{Y_m - Y_a}{Y_m} = k_y\left(1 - \frac{ET_{c\,adj}}{ET_c}\right) \quad (۱)$$

در این رابطه، YD کاهش نسبی عملکرد، Y_m عملکرد پتانسیل، Y_a عملکرد واقعی، k_y ضریب حساسیت گیاه که مقدار آن برای کل دوره رشد گندم معادل ۱ است (Doorenbos and Kassam, 1979)، $ET_{c\,adj}$ تبخیر-تعرق گندم در شرایط دیم و ET_c تبخیر-تعرق گندم در شرایط بدون تنش می‌باشد.

گام نخست برای حل معادله ۱، تعیین طول فصل رشد گندم دیم می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده و تجارب محلی، گندم دیم در حوضه دریاچه ارومیه عمدتاً در مهرماه کشت می‌شود. لذا در این مطالعه روز ۱۱ مهر به‌عنوان تاریخ کاشت تعیین شده و محاسبات بر مبنای آن صورت گرفته است. برای تعیین طول دوره رشد گندم دیم از روش درجه-روزهای رشد (GDD[1]) استفاده شد که از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Hundal et al., 1997):

$$GDD = \sum_a^b \left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b\right] \quad (۲)$$

که در آن، GDD درجه - روزهای رشد (حرارت تجمعی)، T_{min} و T_{max} دماهای کمینه و بیشینه روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد، T_b درجه حرارت پایه بر حسب درجه سانتی‌گراد، a و b زمان‌های شروع و پایان مرحله فنولوژیکی هستند که برای کل فصل رشد گندم به‌ترتیب معادل تاریخ کاشت و برداشت خواهند بود. شایان ذکر است درجه حرارت پایه، پایین‌ترین درجه حرارتی است که فرض می‌شود در دماهای پایین‌تر از آن رشدی صورت نمی‌گیرد که برای گندم $T_b = 4$ می‌باشد. در صورتی که دمای متوسط روزانه برابر یا کمتر از T_b باشد، مقدار $GDD = 0$ در نظر گرفته می‌شود (Sharma et al., 2004). واحدهای حرارتی مورد نیاز از تاریخ کاشت تا دوره پر شدن دانه ۲۲۰۰ درجه – روز می‌باشد (بازگیر، ۱۳۷۹؛ بهنیا، ۱۳۷۶). طول دوره پر شدن دانه‌ها تا زمان برداشت محصول نیز با توجه به شرایط دمایی در حدود ۱۰ تا ۲۰ روز است (هادی و همکاران، ۱۳۹۶).

مقدار تبخیر-تعرق گیاه در شرایط دیم با استفاده از رابطه ۳ مطابق با روش پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ برآورد گردید (Allen et al., 1998):

$$ET_{C\,adj} = K_s \times K_c \times ET_o \quad (۳)$$

در این رابطه، $ET_{C\,adj}$ تبخیر-تعرق گیاه در شرایط دیم (میلی‌متر بر روز)، K_s ضریب تنش آبی (بدون بعد)، K_c ضریب گیاهی (بدون بعد)، ET_o تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز) می‌باشد. محاسبه ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد گندم مطابق با دستورالعمل نشریه فائو ۵۶ و تلفیق آن با داده‌های محلی انجام شد. مقادیر ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. ضریب تنش آبی نیز با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد (Allen et al., 1998):

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1-P)TAW} \quad (۴)$$

که در آن، TAW کل آب در دسترس در ناحیه ریشه (میلی‌متر)، D_r مقدار تخلیه از ناحیه ریشه (میلی‌متر)، RAW مقدار آب سهل-الوصول (میلی‌متر) و P تابع توان تبخیرکنندگی اتمسفر است که وابسته به تبخیر-تعرق می‌باشد. در مواقعی که میزان تخلیه از ناحیه ریشه کمتر یا مساوی آب سهل‌الوصول باشد، ضریب تنش معادل ۱ (بدون تنش) در نظر گرفته می‌شود. برای اصلاح P، رابطه تقریبی که در نشریه فائو ۵۶ ارائه شده به صورت زیر است (Allen et al., 1998):

$$P = P_{table} + 0.04\,(5 - ET_c) \quad (۵)$$

که در آن، P_{table} برای گندم معادل ۰/۵۵ و ET_C بر حسب میلی-متر بر روز می‌باشد.

تبخیر-تعرق گیاه مرجع نیز با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می-گردد:

$$ET_o = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0.34\,u_2)} \quad (۶)$$

که در آن، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر مترمربع بر روز)، G شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)، γ ضریب رطوبتی (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (درجه سانتی‌گراد)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار از حالت اشباع در ارتفاع ۲ متری (کیلوپاسکال) و U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه) می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر ضرایب گیاهی اصلاح شده در مراحل مختلف رشد گندم.

ایستگاه	مرحله اول	مرحله میانی	مرحله پایانی
بستان‌آباد	۰/۳	۱/۰۵	۰/۳۷
تبریز	۰/۳	۱/۰۵	۰/۳۷
سراب	۰/۳	۱/۰۵	۰/۳۷
مراغه	۰/۴	۱/۳	۰/۵۱
هریس	۰/۳۵	۱/۱	۰/۴

1 Growing degree days

در مطالعه حاضر، مقادیر تبخیر–تعرق گندم در شرایط استاندارد و دیم در طول دوره رشد محاسبه گردید و میزان کاهش نسبی عملکرد با استفاده از رابطه ۱ و با توجه به مقادیر عملکرد واقعی برآورد شد. در ادامه نیز با مقایسه میزان کاهش عملکرد ناشی از کمبود آب و عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل در هر سال تعیین گردید. در نهایت، متوسط عملکرد پتانسیل به‌دست آمده در هر ایستگاه، به‌عنوان عملکرد پتانسیل آن ایستگاه تعیین شد.

به‌منظور برآورد شکاف عملکرد گندم، ضریب عملکرد منطقه‌ای (RYF) بر اساس معادله ۷ محاسبه شد (نصیری محلاتی و کوچکی، ۱۳۸۸):

$$RYF = \frac{Y_a}{Y_m} \quad (۷)$$

مقدار ضریب عملکرد منطقه‌ای بین صفر تا یک متغیر است و نشانگر میزان توسعه نظام تولید در یک منطقه است. با مدیریت صحیح عواملی مانند رطوبت خاک، مبارزه با آفات و بیماری‌های گیاهی، عوامل مدیریتی مانند تاریخ کاشت بهینه و سایر عوامل مرتبط، می‌توان مقدار عملکرد واقعی را به میزان پتانسیل آن نزدیک‌تر کرده و بهره‌وری اراضی دیم را افزایش داد.

به‌منظور ارزیابی تأثیر دوره‌های تنش در طول فصل رشد بر شکاف عملکرد، از شاخص رضایتمندی نیاز آبی به‌عنوان یک شاخص عملکرد بر اساس آب در دسترس محصول در شرایط کمبود آب استفاده شد. سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO) شاخص رضایتمندی نیاز آبی (WRSI[1]) را به عنوان یک مدل قابل‌استفاده به‌منظور برآورد تولیدات کشاورزی با بهره‌گیری از بارش در مناطقی از جهان که با محدودیت آب مواجه هستند، توسعه داده است (Frere and Popov, 1986). سیلوا و همکاران، WRSI را در سه دسته طبقه‌بندی کردند؛ مقادیر شاخص رضایتمندی نیاز آبی بالای ۵۰ درصد دارای ریسک اقلیمی پایین، بین ۴۰ تا ۵۰ درصد دارای ریسک اقلیمی متوسط و مقادیر کمتر از ۴۰ درصد معرف ریسک اقلیمی بالا هستند (Silva et al., 2010). محاسبات دهه‌ای رضایتمندی آب زراعی (CWS[2]) به شرح ذیل صورت پذیرفت (Verdin and Klaver, 2002).

$$\Delta W_i = R_i + S_i - ET_{C_i} \quad (۸)$$

که در آن، ΔW_i کمبود رطوبت (علامت منفی) و یا مازاد رطوبت (علامت مثبت) در دهه iام بر حسب میلی‌متر، R_i بارش دهه i ام بر حسب میلی‌متر، S_i رطوبت در دسترس در ابتدای دهه iام بر حسب میلی‌متر و ET_{C_i} تبخیر – تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد در دهه iام بر حسب میلی‌متر است. در صورتی که کمبود آب زراعی وجود داشته باشد، رضایتمندی آب زراعی تجمعی با استفاده از رابطه ۹ و در غیر این صورت با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه خواهد شد.

$$CWS_i = CWS_{i-1} + ET_{C_i} + \Delta W_i \quad (۹)$$

$$CWS_i = CWS_{i-1} + ET_{C_i} \quad (۱۰)$$

آب مازاد نیز از طریق رواناب و یا نفوذ عمقی از دسترس گیاه خارج شده و در نهایت رطوبت در دسترس خاک با استفاده از معادله ۱۱ اصلاح شد:

$$S_{i+1} = S_i + R_i - ET_{C_i} \quad (۱۱)$$

باید در نظر داشت که دامنه تغییرات رطوبت در دسترس خاک بین مقدار کمینه صفر تا مقدار بیشینه ظرفیت آب خاک (با توجه به عمق ریشه) متغیر خواهد بود. شاخص رضایتمندی آب زراعی برای دهه دلخواه nام از رابطه ۱۲ به‌دست آمد:

$$WRIS_n = \frac{CWS_n}{\sum_{i=1}^{n} ET_{C_i}} \quad (۱۲)$$

در نهایت متوسط شاخص رضایتمندی نیاز آبی در طول فصل رشد با استفاده از رابطه ۱۳ حاصل گردید (Verdin and Klaver, 2002):

$$\overline{WRSI} = \sum_{i=1}^{n} \frac{CWS_i}{\sum_{i=1}^{n} ET_{C_i}} \times \frac{1}{n} \quad (۱۳)$$

نتایج و بحث

تبخیر–تعرق

گام نخست در راستای ارزیابی عملکرد و برآورد شکاف آن نسبت به مقدار پتانسیل، بررسی میزان تبخیر–تعرق در شرایط استاندارد و تحت تنش رطوبتی (دیم) است. در جدول ۳، مقادیر تبخیر–تعرق مرجع، استاندارد و دیم در طول فصل رشد گندم در هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. بر این اساس و به‌طور متوسط مراغه با ۶۰۶ میلی‌متر، بیشترین و تبریز با ۵۰۴ میلی‌متر، کمترین نیاز آبی گندم را در شرایط استاندارد دارند. این در حالی است که با توجه به نحوه توزیع زمانی بارش و بافت خاک (نگهداشت رطوبت) به‌طور متوسط تبخیر–تعرق گندم دیم در هریس با ۲۳۲ میلی‌متر، بیشترین و در تبریز با ۱۲۱ میلی‌متر، کمترین مقادیر را دارند (جدول ۳). به‌طور میانگین درصد تأمین نیاز آبی گندم دیم یا نسبت تبخیر–تعرق دیم به استاندارد در بستان‌آباد ۲۸ درصد، تبریز ۲۵ درصد، سراب ۲۳ درصد، مراغه ۲۷ درصد و هریس ۴۲ درصد است.

در جدول ۴ مقادیر عملکردهای واقعی و پتانسیل و نیز ضرایب عملکرد منطقه‌ای گندم دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، به‌طور متوسط، عملکرد واقعی گندم دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه ۹۷۶ کیلوگرم در هکتار و عملکرد پتانسیل ۴۲۱۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

1-Water Requirement Satisfaction Index
2 Crop Water Satisfaction

جدول ۳- مقادیر تبخیر-تعرق در طول فصل رشد گندم دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه

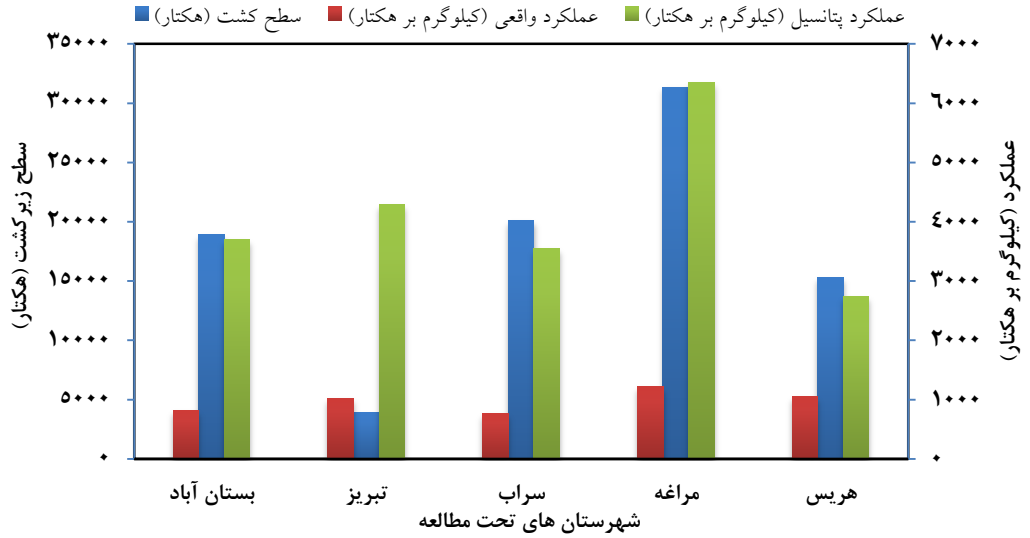
شهرستان	تبخیر-تعرق مرجع (میلی‌متر)			تبخیر-تعرق استاندارد (میلی‌متر)			تبخیر-تعرق دیم (میلی‌متر)		
	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه
بستان‌آباد	۶۸۴	۷۶۸	۸۱۸	۵۱۲	۵۶۳	۶۰۳	۳۷	۱۵۲	۲۷۴
تبریز	۶۲۴	۶۶۸	۷۰۹	۴۶۶	۵۰۴	۵۴۴	۶۳	۱۲۱	۲۰۵
سراب	۶۶۵	۷۴۸	۷۸۳	۴۹۷	۵۵۸	۶۰۵	۶۵	۱۲۶	۲۲۳
مراغه	۵۸۵	۶۸۳	۷۳۹	۴۵۸	۶۰۶	۷۰۸	۵۶	۱۳۲	۲۶۷
هریس	۶۵۵	۷۰۷	۷۳۴	۵۰۹	۵۶۰	۶۰۲	۱۴۲	۲۳۲	۳۷۲

به‌طور متوسط، بیشترین عملکرد پتانسیل محاسباتی معادل ۶۳۴۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به شهرستان مراغه و در نقطه مقابل، کمترین عملکرد پتانسیل نیز به میزان ۲۷۳۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به شهرستان هریس حاصل شد. تفاوت مقادیر عملکرد پتانسیل محاسباتی با عملکرد واقعی نشان می‌دهد که شکاف چشمگیری بین عملکرد پتانسیل و واقعی در اراضی شرق حوضه دریاچه ارومیه وجود دارد. به‌طور متوسط، بیشترین ضریب عملکرد منطقه‌ای معادل ۰/۴۱ مربوط به شهرستان هریس و کمترین مقدار آن نیز معادل ۰/۲۱ مربوط به شهرستان مراغه است (جدول ۴). مقایسه نتایج حاصل از جداول ۲ و ۳ نشان می‌دهد که با توجه به تأمین درصد بیش‌تری از نیاز آبی گندم دیم در شهرستان هریس (بالا بودن نسبت تبخیر-تعرق دیم به تبخیر-تعرق استاندارد)، شکاف عملکرد کمتری نسبت به سایر شهرستان‌های مورد مطالعه وجود دارد. همچنین، مقادیر حاصل از متوسط ضریب عملکرد منطقه‌ای برای شرق حوضه دریاچه ارومیه نشان داد که عملکرد واقعی در شرق حوضه دریاچه ارومیه به‌طور متوسط حدوداً ۲۷/۲ درصد عملکرد پتانسیل است. این امر نشان می‌دهد که شرایط اراضی دیم در این منطقه از نظر توسعه نظام تولید، مطلوب نبوده و لازم است عوامل ایجاد کننده شکاف عملکرد تعیین شده و در راستای کاهش آن اقدامات لازم را انجام داد. هادی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای امکان کشت گندم دیم را در دشت تبریز مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند بارش منطقه کفایت لازم برای تأمین حداقل نیاز گندم را نداشته و انجام آبیاری تکمیلی را برای تثبیت عملکرد ضروری دانستند. نتایج به‌دست آمده از پژوهش ایشان در یک بازه زمانی ۳۰ ساله نشان داد که فصل‌های بهار و پاییز به‌ترتیب با متوسط ۱۰۴ و ۶۷ میلی‌متر (به‌ترتیب معادل حدود ۴۲ و ۲۷ درصد بارش سالانه) دارای بالاترین میزان بارش فصلی در دشت تبریز هستند؛ با این حال متوسط تعداد رویدادهای بارش در فصل بهار ۳۷/۶ رویداد است که بخش عمده‌ای از آن (۳۰/۵ رویداد) دارای مقادیر کمتر از ۵ میلی‌متر هستند و تأثیر آشکاری در فرآیند رشد گیاه ندارند. مونس‌خواه و مجنونی هریس (۱۳۹۶) نیز گزارش کردند علی‌رغم این‌که شرایط اقلیمی دشت تبریز برای کشت گندم دیم مناسب است؛ اما به دلیل تغییرات عوامل اقلیمی از جمله بارش و تبخیر-تعرق در مراحل مختلف رشد، امکان بروز ریسک اقلیمی متوسط و بالا در برخی از مراحل رشد وجود دارد و با توجه به حساسیت هر مرحله نسبت به تنش رطوبتی، این ریسک بر عملکرد محصول تأثیرگذار خواهد بود. مقدار متوسط عملکرد گندم دیم در دشت تبریز (۸۲۰ کیلوگرم در هکتار) با پتانسیل تولید گندم در اراضی دیم اختلاف قابل‌توجهی دارد. ایشان همچنین گزارش کردند که بیشترین ریسک اقلیمی در دهه‌های انتهایی فصل رشد حادث می‌گردد که با توجه به مقارن بودن با مرحله حساس به تنش پر شدن دانه‌ها، از طریق کاهش وزن هزار دانه باعث افت قابل‌توجه عملکرد می‌گردد. نتایج گزارش شده نشان داد که یک نوبت آبیاری قبل از وقوع ریسک اقلیمی بالا (مرحله پر شدن دانه‌ها)، با افزایش ۱۱/۹ درصدی رضایتمندی نیاز آبی در مدت زمان پس از انجام آبیاری، عملکرد گندم دیم و بهره‌وری مصرف آب را به‌ترتیب به میزان ۲۱۷۰ کیلوگرم بر هکتار و ۰/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش داد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، تفاوت زیادی بین مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه ضریب عملکرد منطقه‌ای گندم دیم وجود دارد (جدول ۴). دلیل این امر تأثیرپذیری شدید عملکرد از نوسانات اقلیمی به‌خصوص شاخص‌های توزیع بارش در شرایط دیم است. آبلدو و همکاران نیز گزارش کردند که میزان شکاف عملکرد دانه به شرایط آب و هوایی سالانه بستگی دارد (Abeldo et al., 2008). لذا انتظار می‌رود در شرایط کشاورزی دیم که میزان عملکرد به‌شدت تحت تأثیر نوسان عوامل اقلیمی قرار می‌گیرد، دامنه تغییرات شکاف عملکرد و نیز میزان ضریب عملکرد منطقه‌ای وسیع‌تر باشد.

به‌منظور ارزیابی بهتر میزان شکاف عملکرد و تأثیر آن بر میزان تولید گندم دیم در اراضی شرق حوضه آبریز دریاچه ارومیه، میزان تفاوت تولید محصول به‌ازای عملکرد واقعی و پتانسیل بر اساس آمار سطح زیر کشت در مناطق مورد مطالعه برآورد گردید. در شکل ۲، متوسط مقادیر سطح زیر کشت، عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل گندم دیم ارائه شده است.

جدول ٤- مقادیر عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل و ضریب عملکرد منطقه‌ای گندم دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه

شهرستان	عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)			عملکرد پتانسیل (کیلوگرم در هکتار)			ضریب عملکرد منطقه‌ای		
	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه
بستان‌آباد	۱۵۰	۸۱۴	۱۲۱۴	۹۰۷	۳۶۹۹	۱۳۲۷۹	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۵۲
تبریز	۱۰۳	۱۰۱۳	۱۴۲۰	۸۸۵	۴۲۹۷	۶۷۷۲	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۴۲
سراب	۱۱۵	۷۷۲	۱۲۸۴	۱۰۲۶	۳۵۴۷	۶۹۷۴	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۴۵
مراغه	۱۸۹	۱۲۲۳	۲۴۱۳	۱۹۶۴	۶۳۴۹	۱۱۷۱۰	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۴۳
هریس	۳۶۶	۱۰۵۹	۱۷۷۵	۱۱۰۳	۲۷۳۶	۴۸۷۱	۰/۲۵	۰/۴۱	۰/۶۸

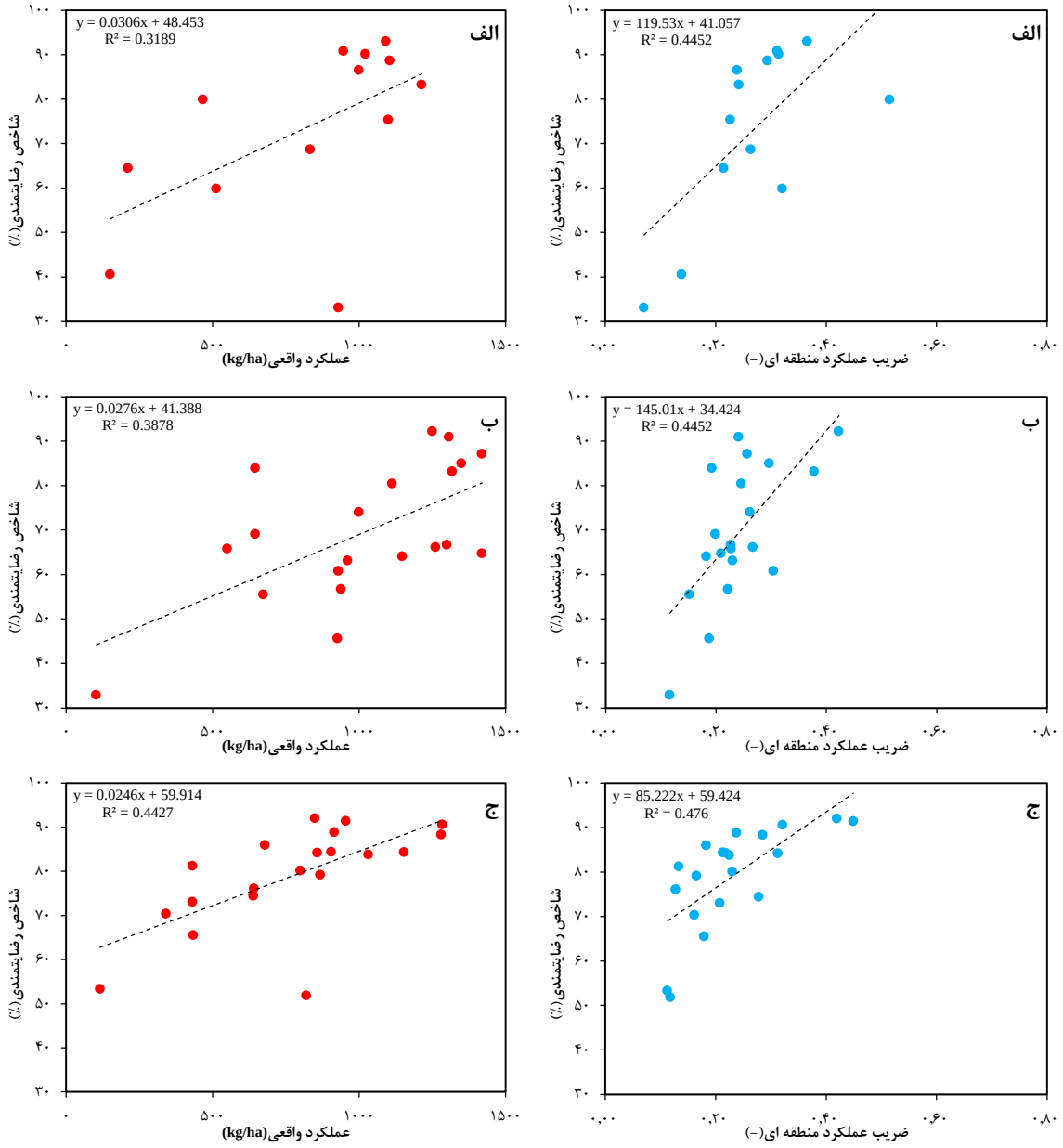


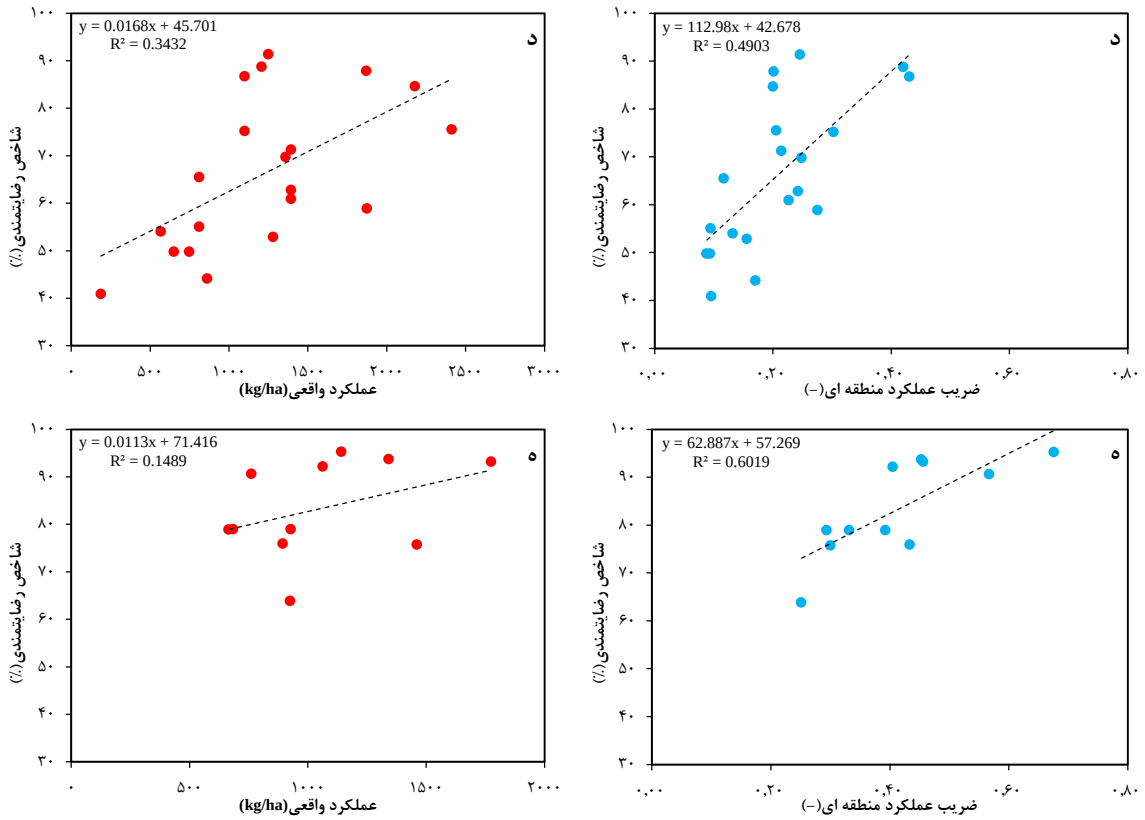
شکل ۲- متوسط سطح زیر کشت و عملکرد گندم دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه.

بر این اساس بیشترین مقدار شکاف عملکرد معادل ۵۱۲۶ کیلوگرم بر هکتار مربوط به شهرستان مراغه و کمترین مقدار شکاف عملکرد معادل ۱۶۷۷ کیلوگرم بر هکتار مربوط به شهرستان هریس می‌باشد. با توجه به متوسط سطح زیر کشت گندم دیم، متوسط کمبود تولید سالانه محصول در حالت واقعی در مقایسه با پتانسیل عملکرد در بستان آباد ۵۴۶۶۵ تن، در تبریز ۱۲۸۸۶ تن، در سراب ۵۵۷۵۳ تن، در مراغه ۱۶۰۸۱۸ تن و در هریس معادل ۲۵۶۹۸ تن محاسبه گردید. نتایج نشان داد که هر یک درصد کاهش شکاف بین عملکرد واقعی و پتاسیل، متوسط میزان تولید سالانه را در بستان آباد به‌میزان ۷۰۱ تن، در تبریز معادل ۱۶۹ تن، در سراب به‌مقدار ۷۱۳ تن، در مراغه ۱۹۹۲ تن و در هریس معادل ۴۱۹ تن افزایش می‌دهد. البته تفاوت چشمگیر اعداد به‌دست آمده تا حدود زیادی به تفاوت متوسط سطح زیر کشت گندم دیم در هر شهرستان مربوط است. در واقع به‌ازای کاهش هر یک درصد از شکاف بین عملکرد پتانسیل و واقعی، متوسط میزان تولید سالانه در واحد سطح (هر هکتار) را در بستان‌آباد به‌میزان ۳۷ کیلوگرم، در تبریز معادل ۴۳ کیلوگرم، در سراب به‌اندازه ۳۵ کیلوگرم، در مراغه ۶۳ کیلوگرم و در هریس معادل ۲۷ کیلوگرم افزایش می‌دهد. ناصری و عباسی (۱۴۰۱) نیز در پژوهشی با هدف برآورد مقدار پتانسیل و شکاف بهره‌وری آب در تولید گندم آبی در ایران گزارش کردند که با شناسایی مؤلفه‌های اصلی ایجادکننده شکاف عملکرد و بهره‌وری آب و مدیریت مناسب زراعی در هر اقلیم می‌توان شکاف‌های موجود را کاهش داده و یا برطرف کرد.

ارزیابی نتایج به‌دست آمده از شاخص رضایتمندی نیاز آبی نشان داد که متوسط شاخص رضایتمندی نیاز آبی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده ریسک اقلیمی پایین قرار دارد و شرایط منطقه برای کشت گندم دیم مساعد است. مقدار متوسط این شاخص برای بستان‌آباد معادل ۷۳/۴ درصد، تبریز معادل ۶۹/۴ درصد، سراب معادل ۷۸/۹ درصد، مراغه ۶۶/۲ درصد و هریس معادل ۸۳/۴ درصد حاصل گردید. مقایسه این نتایج با مقادیر ضریب عملکرد منطقه‌ای نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مقادیر شاخص رضایتمندی نیاز آبی با مقادیر بیشینه و کمینه ضریب عملکرد منطقه‌ای متناظر است. بیشترین و کمترین مقادیر متوسط شاخص رضایتمندی نیاز آبی و

ضریب عملکرد منطقه‌ای به‌ترتیب مربوط به منطقه هـریس و مراغـه می‌باشد. در شکل ۳، ارتباط بـین شـاخص رضـایتمندی نیـاز آبـی بـا عملکرد واقعی و ضریب عملکرد منطقه‌ای گندم دیـم در هـر یـک از ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده اسـت. بـر ایـن اسـاس، در تمـام ایستگاه‌های مورد مطالعه، ضـریب عملکـرد منطقـه‌ای در مقایسـه بـا عملکرد واقعی، همبستگی بالاتری با شاخص رضـایتمندی نیـاز آبـی دارد. مونس‌خواه و مجنونی‌هریس (۱۳۹۶) نیز با ارزیـابی ارتبـاط بـین بارش-عملکرد و شاخص رضایتمندی نیاز آبی-عملکرد برای محصول گندم دیم در دشت تبریز گزارش کردند که شاخص رضـایتمندی نیـاز آبی یک معیار مناسب برای ارزیابی عملکرد منطقه‌ای محصولات دیم می‌باشد.





شکل۳- روابط رگرسیونی شاخص رضایتمندی نیاز آبی با عملکرد واقعی و ضریب عملکرد منطقه‌ای گندم دیم (الف: بستان آباد، ب: تبریز ج: سراب، د: مراغه و ه: هریس).

نتیجه‌گیری

با توجه به لزوم توسعه کشاورزی دیم در مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک و بهبود نظام تولید در این مناطق به‌منظور تثبیت عملکرد، در مطالعه حاضر برآورد پتانسیل عملکرد گندم دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه مد نظر قرار گرفت. نتایج مطالعات پیشین در اغلب مناطق تحت کشت دیم نشان داده است که شکاف قابل‌توجهی بین پتانسیل عملکرد با عملکرد واقعی وجود دارد. نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر نیز نشان داد که شکاف چشمگیری بین عملکرد پتانسیل و واقعی در اراضی شرق حوضه دریاچه ارومیه وجود دارد. عملکرد واقعی در شرق حوضه دریاچه ارومیه به‌طور متوسط حدوداً ۲۷/۲ درصد عملکرد پتانسیل است که این عدد بیانگر عدم توسعه مطلوب نظام تولید در کشاورزی دیم اراضی شرق حوضه دریاچه ارومیه است. همچنین با توجه به سطح زیر کشت گندم دیم در مناطق مورد مطالعه، شهرستان مراغه در اولویت کاهش شکاف عملکرد قرار دارد. در تبریز نیز اگرچه کاهش هر درصد از شکاف عملکرد میزان تولید را در واحد سطح به‌اندازه ۴۳ کیلوگرم افزایش می‌دهد؛ اما با توجه به این‌که کمترین سطح زیر کشت گندم دیم مربوط به تبریز است، اقدامات مدیریتی لازم در راستای کاهش شکاف عملکرد در این شهرستان در اولویت آخر قرار دارد. همچنین با توجه این‌که امکان انجام یک نوبت آبیاری تکمیلی در اغلب اراضی دیم وجود دارد و نتایج مطالعات پیشین حاکی از تأثیر چشمگیر آبیاری تکمیلی در افزایش عملکرد است، لذا انجام یک نوبت آبیاری تکمیلی در زمان وقوع ریسک اقلیمی به‌عنوان یکی از اقدامات مؤثر در راستای کاهش شکاف عملکرد پیشنهاد می‌شود. به‌طور کلی با توجه به محدودیت آب در دسترس بخش کشاورزی و لزوم توسعه کشت دیم، لازم است عوامل مؤثر بر کاهش شکاف عملکرد در اراضی دیم مورد ارزیابی قرار گرفته و با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه، راهکارهای فنی و مدیریتی لازم در راستای افزایش عملکرد واقعی محصولات دیم ارائه گردد. علاوه بر این، اولویت‌بندی مناطق با توجه به میزان سطح زیر کشت به‌منظور کاهش میزان شکاف عملکرد حائز اهمیت خواهد بود.

منابع

اسعدی، ا. ۱۳۹۹. مطالعه شاخص رضایتمندی نیاز آبی گندم دیم در حوضه دریاچه ارومیه و ارائه تقویم آبیاری تکمیلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. ۷۷ صفحه.

اندرزیان، س.ب. ۱۳۹۸. تعیین زمان کاشت، پتانسیل عملکرد دانه، شکاف عملکرد و تجزیه خطر تولید گندم در مناطق دیم خوزستان. مجله به‌زراعی نهال و بذر. ۲ (۳۵-۲): ۱۵۹-۱۸۱.

آنددیده، م.، فرجی، ه.، خوشرو، ع.ر. و معصومی اصل، ا. ۱۳۹۷. ارزیابی پتانسیل عملکرد و انحراف از عملکرد پتانسیل (خلأ عملکرد) گندم با مدل DSSAT در منطقه زرقان فارس. چهارمین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی. شهریورماه، منابع طبیعی و محیط زیست، تهران.

بازگیر، س. ۱۳۷۹. بررسی پتانسیل اقلیمی زراعت گندم دیم (مطالعه موردی استان کردستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد کشاورزی، دانشگاه تهران.

بهنیا، م.ر. ۱۳۷۶. غلات سردسیری. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۱۰ صفحه.

زاهد، م.، سلطانی، ا.، زینلی، ا.، ترابی، ب.، زند، ا.ا. و عالیمقام، س.م. ۱۳۹۸. مدلسازی پتانسیل و خلأ عملکرد گندم آبی در ایران. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۲ (۳): ۳۵-۵۲.

مرتضوی، س.م.، توکلی، ا.، محمدی، م.ح. و افصحی، ک. ۱۳۹۴. تأثیر کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گندم رقم آذر ۲ در شرایط دیم. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۰۶: ۱۱۸-۱۲۵.

مونس‌خواه، و. و مجنونی‌هریس، ا. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری تکمیلی گندم دیم بر شاخص رضایتمندی نیاز آبی در اقلیم نیمه‌خشک دشت تبریز. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱ (۶): ۱۱۴۳-۱۱۵۱.

ناصری، ا. و عباسی، ف. ۱۴۰۱. برآورد مقدار پتانسیل و شکاف بهره-وری آب در تولید گندم آبی در ایران. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. ۸۶ (۲۳): ۸۷-۱۱۰.

نصیری محلاتی، م. و کوچکی، ع.ر. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی گندم در استان خراسان: برآورد پتانسیل و خلأ عملکرد. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۷ (۲): ۶۹۵-۷۰۹.

واعظمدنی، م.، مجنونی‌هریس، ا. و فاخری‌فرد، ا. ۱۴۰۱. تحلیل پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم بر اساس شاخص RPI (مطالعه موردی: استان آذربایجان‌شرقی). نشریه دانش آب و خاک. ۲ (۳۲): ۱-۱۰.

هادی، م.، مجنونی‌هریس، ا. و دلیر حسن‌نیا، ر. ۱۳۹۶. بررسی ریسک کاشت و تعیین زمان مناسب آبیاری تکمیلی گندم دیم در دشت تبریز. نشریه دانش آب و خاک. ۲۷ (۲): ۳۰۷-۳۲۰.

Abeldo, L.G., Savin, R. and Slafer, G.A. 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: analyzing the gap between attainable and potential yield whit a simulation model. European Journal of Agronomy. 28: 541- 550.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, D. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. In: Irrigation and Drainage Paper No. 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

Doorenbos, J. and Kassam, A. 1979. Yield response to water. FAO irrigation and drainage paper 33.

Frere, M. and Popov, G. 1986. Early agrometeorological crop yield assessment. FAO Plant Production and Protection Paper 73. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy; 144 pp.

Hajarpour, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, H., Ayeneband, A. and Nazari, M. 2017. Determination of optimum management ranges in order to increasing wheat yield in Golestan province. Journal of Crops Improvement. 19 (3): 577- 590.

Hundal, S.S., Singh, R. and Dhaliva, L.K. 1997. Agro-climatic indices for predicting phonology of wheat (Triticum aestivum) in Punjab. Journal of Agriculture Science. 67: 265- 268.

Lobell, D.B., Cassman, K.G. and Christopher, B. 2009. Crop yield gap: their importance, magnitudes and causes. Annual Review of Environmental Resources. 34: 179- 204.

Oliver, Y. and Robertson, M. 2013. Quantifying the spatial pattern yield gap within a farm in a low rainfall Mediterranean climate. Field Crops Research. 150: 29- 41.

Sharma, A., Sood, R.K. and Kalubarme, M.H. 2004. Agrometeorological wheat yield forecast in Himachal Pradesh. Journal of Agrometeorology. 6: 153- 160.

Silva V., Campos J., Silva, M.T. and Azevedo, P.V. 2010. Impact of global warming on cowpea bean cultivation in northeastern Brazil. Agricultural Water Management. 97: 1760- 1768.

Sun, S., Yang, X., Lin, X., Zhao, J., Liu, Z., Zhang, T. and Xie, W. 2019. Seasonal variability in potential and actual yields of winter wheat in China. Field Crops Research. 240: 1- 19.

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

Verdin, J. and Klaver, R. 2002. Grid-cell-based crop water accounting for the famine early warning system. Hydrological Processes. 16: 1617- 1630.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 905-915

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۹۱۵-۹۰۵

Estimation of Potential Yield and the Effect of Water Requirement Satisfaction Index on the Regional Yield of Rainfed Wheat (Case Study: East of Lake Urmia Basin)

M.Hadi[1], A.Majnooni Heris[2*], A. Ashraf Sadraddini[3], J.Shiri[2]

Recived: Jan.15, 2023 Accepted: Aug.01, 2023

Abstract

In the present study, in order to evaluate the effect of stress periods on wheat yield gap in rainfed lands of Bostanabad, Tabriz, Sarab, Maragheh and Harris regions located in the east of Urmia Lake basin, in periods of 11 to 20 years, the water requirement satisfaction index has been used. The linear production function, which was provided by FAO, was also implemented to estimate the potential yield. According to the obtained results, in terms of water supply percentage of rainfed wheat or evapotranspiration ratio in rainfed to standard conditions, Harris with 42% has the best situation and Sarab with 23% has the worst situation. On average, the actual yield of rainfed wheat in the east of Urmia Lake basin is 976 kg/ha. The potential yield was estimated at 4216 kg/ha, indicating a significant gap between potential and actual yield in the study area. The highest regional yield coefficient equal to 0.41 was related to Harris and the lowest value was equal to 0.21 related to the Maragheh region, respectively. The results obtained from the water requirement satisfaction index indicate the existence of suitable conditions for the production of rainfed wheat in the region. However, the actual yield in the east of Lake Urmia basin is on average about 27.2% of the potential yield. This shows that the condition of rainfed lands in the east of Lake Urmia basin is not favorable in terms of the development of the production system and it is necessary to reduce the yield gap. Additionally, the evaluation of the results showed that the correlation of the water requirement satisfaction index with the regional yield coefficient is higher compared to the actual yield and this index can be used to evaluate the yield gap.

Keywords: Gap, Production Function, Rainfed Wheat, Regional Yield Factor

1- Ph.D. student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3- Professor, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(*- Corresponding Author Email: majnooni1979@yahoo.com)