مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲/ ۱۴۰۲. ص۱۷۱- ۱۹۱
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.360798.963

بررسی احتمال وقوع مقادیر مختلف تبخیر و تعرق در اقلیم‌ها و تاریخ‌های مختلف کشت برنج در مناطقی غیر از شمال کشور

محمدرضا یزدانی، حدیث صادقی، ابراهیم اسعدی‌اسکویی*، سعیده کوزه‌گران و بهاره دلسوزخاکی

استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی رشت، ایران.
smryazdany@yahoo.ca
دکتری اقلیم شناسی،گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
hadis.sadeghi@ut.ac.ir
استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد، ایران.
e.asadi.o@gmail.com
دکترای هواشناسی کشاورزی، گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی مشهد، ایران.
saeedeh.kouzegaran@mail.um.ac.ir
محقق، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
b_delsooz@yahoo.com

دریافت: آذر ۱۴۰۱ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

چکیده

در این پژوهش، تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج در مناطقی غیر از شمال کشور در سه تاریخ کشت متفاوت (زود، به موقع و دیر کاشت) و با چهار احتمال وقوع متفاوت ۷۵٪، ۵۰٪، ۲۵٪ و ۱۰٪ (به ترتیب معرف سال‌های کم تبخیر و تعرق، متوسط، پرتبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق)، با استفاده از معادله پنمن-مانتیث و داده‌های هواشناسی ۱۵ ایستگاه با دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۰) بررسی شد. برای احتساب ضریب گیاهی برنج در مراحل مختلف رشد، دوره‌های ۱۰ روزه به صورت میانگین بر اساس مدل احتمالات ویبول برآورد و محاسبه شد. نتایج نشان داد که در تمام این مناطق اقلیمی اتخاذ رویکرد زودکاشت موجب کاهش نیاز آبی در تمام سناریوهای تبخیر و تعرق می‌شود. اتخاذ رویکرد زودکاشت در سال‌های بسیار پر تبخیر و تعرق موجب کاهش نیاز آبی برنج مناطق گرم، سرد و معتدل به ترتیب به میزان ۱۲۵/۹، ۱۱۳/۵ و ۱۱۵ میلیمتر در طول فصل رشد (به طور متوسط ۰/۷ تا ۰/۹ میلی‌متر در روز) نسبت به وضعیت دیرکاشت می‌شود. با این وجود در اقلیم‌های سرد و معتدل تفاوت زیادی بین زود کشت و کشت به موقع و حتی دیر کشت مشاهده نشد. ازاین‌رو، در این مناطق برای فرار از احتمال سرمازدگی دیررس بهتر است از تقویم‌های دیر کشت استفاده شود. مقایسه نتایج میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در تمام تاریخ‌های کاشت و سطوح احتمالاتی مختلف در مناطق اقلیمی سرد، معتدل، گرم و بسیار گرم، نشان داد که بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به منطقه گرم به میزان ۱۰۲۱/۳ میلی-متر بوده و مناطق معتدل و سرد به ترتیب با میزان تبخیر ۷۸۴/۸ و ۷۲۹ میلی‌متر به مراتب میزان تبخیر و تعرق کمتری را نسبت به مناطق گرم دارا می‌باشند. ازاین‌رو به علت کمبود منابع آبی و اثرات منفی تغییرات آب و هوایی در مناطق خشک یا نیمه خشک ایران بهتر است از کشت برنج در مناطق گرم به ویژه در سال‌های پر تبخیر و تعرق اجتناب شود. همچنین بهتر است که در مناطق سرد و معتدل نیز نوع مدیریت آبیاری و طراحی سازه‌ها و سامانه‌های آبی با محاسبات سال‌های پر تبخیر و تعرق متناسب شود.

واژه‌های کلیدی: مدل احتمالات ویبول، ضریب گیاهی برنج ، نیاز خالص آبی

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: e.asadi.o@gmail.com

CC BY

مقدمه

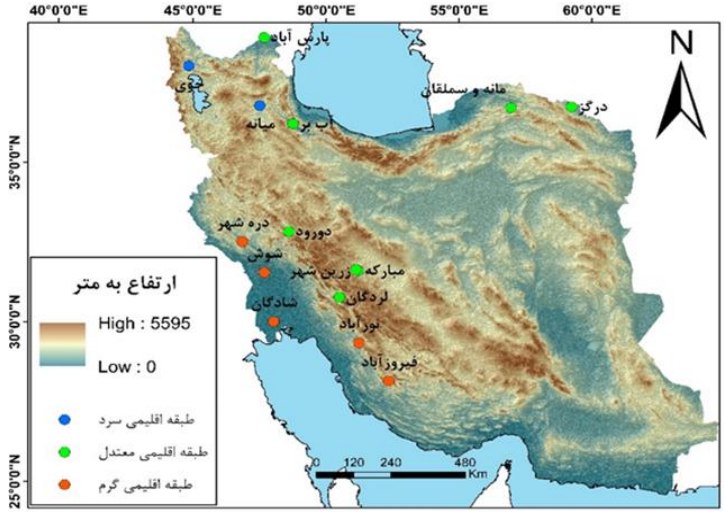
نوسانات اقلیمی تأثیرات قابل‌توجهی بر عملکرد محصولات کشاورزی دارد و در این میان بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، مشخص شده است که با افزایش جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر، بشر با چالش تأمین مواد غذایی مواجه می‌شود، به‌طوری‌که به ۷۰ تا ۱۰۰ درصد غذای بیشتر نیاز پیدا خواهد کرد (لیلیو و همکاران ۲۰۱۷ و گیدون و همکاران ۲۰۱۷). نظر به اینکه ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع‌شده و در سال‌های اخیر تقاضای آب برای مصارف مختلف به‌ویژه در بخش کشاورزی موجب ایجاد چالش‌های اساسی در تخصیص منابع آبی در این مناطق شده است؛ برآورد نیاز آبی محصولات زراعی می‌تواند نقش اساسی در اجرای پروژه‌های آبی و معرفی مناطق مستعد کشت داشته باشد. برنج (Oryza sativa L.) پس از گندم دومین محصول مهم غذایی جهان و منبع اصلی غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان است که به‌طور گسترده‌ای از عرض ۵۳ درجه شمالی تا ۳۵ درجه جنوبی و از نظر ارتفاع تا ۲۶۰۰ متری از سطح دریا در شرایط متنوع خاک، عمق آب و رژیم‌های دمایی تولید می‌شود (آرونا و همکاران، ۲۰۲۱. امینی و همکاران، ۱۳۹۴). آب برای تولید برنج ضروری است و به‌طور میانگین، برنج دو یا سه برابر بیشتر از هر محصول دیگری به آب نیاز دارد (شرستا و همکاران، ۲۰۱۷). نیاز خالص آبی گیاهان نقشی مهم و اساسی در برنامه‌ریزی مصرف آب در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده دارد (کاراندیش و همکاران، ۱۳۹۵). نیاز خالص آبی مقدار آبی است که علاوه بر باران مؤثر برای جبران تبخیر-تعرق گیاه نیاز است (ژائو همکاران، ۲۰۱۳). مقدار آب مورد نیاز برنج به‌طور مستقیم به میزان رطوبت تبخیر-تعرق شده از طریق برگ‌ها و خاک وابسته بوده و بر اساس دوره فنولوژیکی و رقم مورد استفاده تغییر می‌کند (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۴۰۰). گیاه برنج در مساحتی حدود ۶۰۰۰۰۰ هکتار در استان‌های مختلف واقع در شمال، جنوب و غرب ایران در شرایط آب و هوایی، خاکی و ارتفاعی متفاوت کشت می‌شود (مدیری و همکاران، ۱۳۹۷. قمرنیا و همکاران، ۱۴۰۰). موقعیت منطقه کشت نقش زیادی بر عملکرد نهایی دارد، به‌طوری‌که بر اساس پژوهش فاطمی و همکاران (۱۴۰۰) مناسب‌ترین ارتفاع برای کشت برنج ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ متر است، چرا که در این سطوح ارتفاعی خطر خسارت ناشی از سرمازدگی و سرعت باد کمتر است. از سوی دیگر، نگاهی به شاخص میانگین سرانه آب تجدیدپذیر نشان می‌دهد که کشور ایران در سال ۲۰۲۵ از کشورهای با بحران آب خواهد بود، ازاین‌رو تعیین مقدار دقیق تبخیر و تعرق از عوامل اساسی در تعیین زمان و مقدار آب آبیاری برای رسیدن به محصول پایدار است (خالدیان و همکاران، ۱۴۰۰). مطالعات مختلفی در مورد نیاز خالص آبی برنج در سطح محلی و جهانی انجام شده است. احمد و چویی (۲۰۱۸) اثر تغییرات اقلیمی را بر نیاز خالص آبی گندم و برنج را در استان پنجاب پاکستان بررسی نمودند و نشان دادند که افزایش احتمالی دما باعث افزایش نیاز خالص آبی هر دو محصول می‌شود. مدیری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که میزان تبخیر و تعرق برنج در تمام مراحل رشد از شرق سواحل جنوبی دریای خزر (ایستگاه مراوه‌تپه) به سمت غرب آن (ایستگاه آستارا) به استثنای ایستگاه منجیل کاهش می‌یابد. اگرچه کشت برنج به نمادی از استان‌های شمالی به‌ویژه گیلان، مازندران و گلستان تبدیل شده است؛ اما این محصول در ۱۵ استان دیگر نیز کشت می‌شود. در این میان کشت برنج در استان‌های خوزستان، اصفهان و فارس که به قطب جنوبی کشت برنج شهرت دارند، نسبت به استان‌های دیگر بیشتر است. کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، ایلام، زنجان، کرمانشاه، کردستان، اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی هم از استان‌هایی هستند که ارقام مختلف برنج در آنجا کشت می‌شود. استان‌های خراسان شمالی و رضوی هم از تولیدکنندگان محدود این محصول هستند (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۶). آستانه بارشی

مطلوب برای کشت برنج به‌طور متوسط ۱۲۰۰ میلی‌متر است و در مناطقی که میزان بارش کمتر از ۷۰۰ میلی‌متر باشد و آب از دیگر منابع تأمین شود، کشت برنج دچار تنش آبی خواهد شد. نیاز زیاد آبی برنج نسبت به دیگر غلات، باعث شده کشت آن در استان‌های غیر از مناطق شمالی ایران (سواحل جنوبی دریای خزر) موضوع بحث نهادهای مجری و سیاست‌گذار باشد. نکته مهم علاقه روزافزون کشاورزان به کشت برنج در استان‌های غیر شمالی به دلیل درآمد بهتر نسبت به محصولات دیگر، امکان فروش زودتر و همچنین و طول دوره کشت کوتاه آن است که در صورت توسعه بیشتر می‌تواند موجب افزایش فشار به منابع آبی محدود این مناطق شود. ازاین‌رو تعیین میزان نیاز خالص آبی گیاه برنج در مناطق مختلف اقلیمی کشت برنج از نظر برنامه‌ریزی مدیریت آبیاری و کشت برنج دارای اهمیت است. در این پژوهش سعی شده است تا مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج در سطوح احتمالات و تاریخ‌های مختلف کشت در مناطق غیرشمالی ایران برآورد شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران در منطقه جنوب غرب آسیا با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع بین عرض‌های ۲۵ تا ۴۵ درجه شمالی و طول ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی قرار دارد. ایران، سرزمینی نسبتاً مرتفع و از کوهستان‌های متعدد برخوردار است. ویژگی‌های نسبتاً ثابتی که در آب‌وهوای نواحی مختلف ایران دیده می‌شوند به سبب عرض جغرافیایی، ناهمواری و همسایگی با توده‌های بزرگ آب شکل گرفته‌اند و ویژگی‌های متغیر و بی‌ثبات آن بیشتر ناشی از چگونگی عملکرد سامانه‌های جوی است. نقش ناهمواری‌ها در آرایش نواحی مختلف اقلیمی ایران بسیار اهمیت دارد. میانگین سالانه بارش در ایران ۲۴۵ میلی‌متر است. کمینه و بیشینه بارش دریافتی به ترتیب در مناطق کویری و منطقه بندرانزلی به مقادیر ۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال است. در ایران دمای سالانه به‌طور متوسط ۱۸ درجه سلسیوس است و از شرق به غرب و از جنوب به شمال از دمای هوا کاسته می‌شود. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش شامل ۱۵ منطقه با شرایط اقلیمی مختلف است که ارقام مختلف برنج در حال حاضر در آنجا کشت می‌شود (جدول ۱). مجموع عوامل مختلف محلی مانند موقعیت جغرافیایی و توزیع ناهمواری‌ها و همچنین عوامل بیرونی موجب شکل‌گیری تنوع آب و هوایی در این مناطق شده است (شکل ۱). نظر به نقش قابل توجه آب‌وهوا، ایستگاه‌های منتخب در این پژوهش بر اساس نقشه خرد اقلیم کشاورزی ایران (اسعدی اسکویی و همکاران، ۲۰۲۲) در چهار طبقه اقلیمی سرد، معتدل و گرم و بسیار گرم به ترتیب با دمای میانگین سالانه ۱۰ تا ۱۵، ۱۵ تا ۱۸/۵، ۱۸/۵ تا ۲۲ و بیشتر از ۲۲ درجه سانتی‌گراد) واقع شده‌اند (جدول ۱). در هر یک از این مناطق برنج در تاریخ‌های متفاوتی کشت می‌شود و از این‌رو تبخیر و تعرق متفاوتی دارند که در بهره‌برداری از منابع آب شرایط متفاوتی خواهند داشت. داده‌های هواشناسی استفاده شده شامل متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی برای دوره آماری ۲۰۲۰- ۱۹۹۰ در مقیاس زمانی روزانه از سازمان هواشناسی تهیه شد. تاریخ‌های زود، به موقع و دیرکاشت برنج در هریک از ایستگاه‌های مطالعه شده که از موسسه تحقیقات برنج کشور دریافت شد (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مطالعه شده

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طبقه اقلیمی	زودکشت		کشت به موقع		دیر کشت	
						تاریخ شروع	تاریخ پایان	تاریخ شروع	تاریخ پایان	تاریخ شروع	تاریخ پایان
۱	آب بر	۴۸/۹۴	۳۶/۹۳	۶۲۴/۷	معتدل نیمه خشک	۲۵	۲۶	۲۵	۶	۲۳ خرداد	۱۱ مهر
۲	درگز	۵۹/۰۶	۳۷/۴۶	۵۱۴	معتدل خشک	۲۵	۲۶	۲۵	۲۱	۲۳ خرداد	۱۱ مهر
۳	دره شهر	۴۷/۴۰	۳/۱۳	۶۷۰	بسیار گرم نیمه مرطوب	۲۶	۲۳	۲۶	۱۸	۲۴ خرداد	۸ مهر
۴	درود	۴۹/۰	۳۳/۵۲	۱۵۲۲/۳	معتدل نیمه مرطوب	۲۸	۳۱	۲۸	۲۶	۲۶ خرداد	۱۶ مهر
۵	فیروز آباد	۵۲/۵۵	۲۸/۸۸	۱۱۷۵/۷	گرم نیمه مرطوب	۲۵	۲۴	۲۵	۱۹	۲۳ خرداد	۹ مهر
۶	خوی	۴۴/۹۹	۳۸/۵۵	۱۱۰۳/۴	سرد خشک	۲۹	۶	۲۹	۱ مهر	۲۷ خرداد	۲۲ مهر
۷	لردگان	۵۰/۸۳	۳۱/۵۰	۱۶۱۱	معتدل نیمه مرطوب	۳۰	۷	۳۰	۲ مهر	۲۸ خرداد	۲۳ مهر
۸	مانه و	۵۶/۸۶	۳۷/۵۰	۸۹۰	معتدل نیمه خشک	۳۰	۳۰	۳۰	۲۵	۲۸ خرداد	۱۵ مهر
۹	میانه	۴۷/۷۰	۳۷/۴۵	۱۱۱۰	سرد نیمه خشک	۲۷	۲۸	۲۷	۲۳	۲۵ خرداد	۱۳ مهر
۱۰	مبارکه	۵۱/۴۵	۳۲/۳۵	۱۶۸۰	معتدل خشک	۲۹	۲۸	۲۹	۲۳	۲۷ خرداد	۱۳ مهر
۱۱	نورآباد	۵۱/۵۳	۳۰/۰۷	۹۷۲	گرم نیمه مرطوب	۲۵	۲۶	۲۵	۲۱	۲۳ خرداد	۱۱ مهر
۱۲	پارس‌آباد	۴۷/۷۷	۳۹/۶۰	۷۲/۶	معتدل نیمه خشک	۲۵	۲۸	۲۵	۲۳	۲۳ خرداد	۱۳ مهر
۱۳	شادگان	۴۸/۶۴	۳۰/۶۵	۳	بسیار گرم خشک	۲۷	۲۶	۲۷	۲۱	۲۵ خرداد	۱۱ مهر
۱۴	شوش	۴۸/۲۳	۳۲/۱۹	۶۵	بسیار گرم نیمه خشک	۲۷	۲۶	۲۷	۲۱	۲۵ خرداد	۱۱ مهر
۱۵	زرین شهر	۵۱/۳۷	۳۲/۳۹	۱۷۱۳/۸	معتدل خشک	۳۰ فروردین	۲ شهریور	۳۰ اردیبهشت	۲۸ شهریور	۲۸ خرداد	۱۸ مهر

نیاز آبی خالص گیاه برنج

تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روابط پنمن-مانتیث فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) تعیین شد (رابطه ۱). این روش نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و در بخش وسیعی از مناطق و اقلیم‌های مختلف برآورد دقیقی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه می‌کند.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۱)$$

که در آن: ETo تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن(mm.d-1)، Rn تابش خالص در سطح تبخیر و تعرق (MJ.d-1m-2)، G شار حرارتی خاک(MJ.d-1m-2)، Tمیانگین دمای هوا(°C)، es فشار بخار اشباع (kPa)، ea فشار بخار واقعی(kPa)، (es-ea) کمبود فشار بخار اشباع، Δشیب منحنی فشار بخار در مقابل درجه حرارت (kPa°C-1)، γ ثابت سایکرومتری (kPa°C-1)، U2 سرعت باد در ارتفاع دو متری(m.s-1) و kc ضریب گیاهی است.

تبخیر و تعرق گیاه برنج (ETc) با استفاده از رابطه یک جزئی ضریب گیاهی آلن و همکاران (۱۹۹۸) محاسبه شد:

$$ET_{crop} = \sum_{i=1}^{n} kc_i \times ET_{0i} \quad (۲)$$

که در آن: ET_{oi} و Kc_i به ترتیب تبخیر و تعرق مرجع و ضریب گیاهی برای i مین مرحله از مراحل چهارگانه رشد گیاه برنج است. برآورد مراحل فنولوژیکی برنج برحسب تعداد روزهای مراحل چهارگانه شامل مراحل استقرار، توسعه، میانی و پایانی رشد با کمک کارشناسان مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد (جدول ۲). پس از دریافت داده‌های هواشناسی مورد نیاز و استخراج ضرایب گیاهی از نشریه شماره ۵۶ فائو (با اصلاح ضریب مرحله پایانی) در مراحل مختلف رشد، تبخیر و تعرق گیاه برنج در هر ایستگاه در سه تاریخ کشت شامل زودکشت، کشت به‌موقع و دیر کشت در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) برآورد شد.

شایان توجه است که تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج در سه تاریخ کشت متفاوت و با چهار احتمال وقوع متفاوت ۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۱۰ درصد، با استفاده از فرمول احتمال وقوع ویبول (رابطه ۳) در دوره‌های ۱۰ روزه به‌صورت میانگین محاسبه و برآورد شد. این احتمالات معرف سال‌های کم تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق است، به‌عبارت‌دیگر اعداد برآورد شده در این پژوهش نشان-دهنده حدود احتمالی مقادیر مورد انتظار تبخیر و تعرق در سناریوهای مختلف از کم تا بسیار پر تبخیر و تعرق هستند.

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (۳)$$

که در آن: P احتمال وقوع، m شماره ردیف و n تعداد داده‌ها (ردیف) است. توزیع ویبول یکی از توزیع‌های احتمالاتی است که به‌خوبی می‌توان برای مدل کردن احتمال رخداد پدیده‌هایی با زمان وقوع متفاوت، مانند سال‌های پر تبخیر و تعرق و کم تبخیر و تعرق استفاده نمود. این فرمول نشان می‌دهد که احتمال وقوع برای هر شماره ردیف m تابعی از پارامتر (تبخیر و تعرق) و تعداد داده‌هاست با داشتن پارامترها و تعداد داده‌ها می‌توان احتمال وقوع برای هر شماره ردیف m را محاسبه نمود. P احتمال وقوع رویداد در هر سال و n نشان‌دهنده‌ی تعداد سال‌های بررسی شده است.

محاسبه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. آزمون چند دامنه‌ای دانکن یکی از متداول‌ترین آزمون‌ها برای مقایسه‌ی تمام جفت میانگین‌ها بوده و برخلاف LSD و دانت که تنها پس از معنی‌دار بودن F قابل استفاده هستند، آزمون دانکن را همیشه حتی زمانی که F معنی‌دار نیست می‌توان به‌کار برد. در حالتی که میانگین‌های تیماری به هم نزدیک هستند و در طرفین میانگین کل طوری قرار می‌گیرند که اختلاف‌های آن‌ها نسبت به میانگین کل کم باشد، ممکن است این اختلاف‌ها یکدیگر را خنثی کرده و F معنی‌دار نشود، اما در واقع بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشته باشد. در آزمون دانکن تیمارها دو به دو باهم مقایسه می‌شوند و نیازی به وجود شاهد نیست. در این آزمون همچنین نیازی به تکرارهای یکسان نبوده، اما فرض نرمالیتی برقرار باشد (سیلوا و آزودو، ۲۰۱۶؛ ساویل، ۱۹۹۰؛ سوالو، ۱۹۸۴). محاسبات مربوط به مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در نرم‌افزار R انجام و نتایج این آزمون به‌صورت نمودار ارائه شد. در این نمودارها ET1، ET2، ET3 و ET4 به ترتیب نشان‌دهنده سال کم تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق، D1، D2 و D3 به ترتیب نشان‌دهنده زود کاشت، به‌موقع و دیر کاشت و A1، A2 و A3 به ترتیب نشان‌دهنده مناطق گرم نیمه مرطوب تا خشک و نیمه‌خشک، معتدل نیمه‌خشک تا خشک و سرد نیمه‌خشک تا خشک است.

جدول ۲- ضرایب گیاهی و طول دوره رشد (روز) گیاه برنج با روش نشایی (رقم میان‌رس)

ایستگاه	مرحله استقرار بعد از نشاء (ضریب گیاهی: ۰٫۸۵) Kc:0.85			مرحله توسعه گیاه (ضریب گیاهی: ۱٫۱) Kc:1.1			مرحله میانی رشد (ضریب گیاهی: ۱٫۲) Kc:1.2			مرحله پایانی رشد (ضریب گیاهی: ۱٫۱) Kc:1.1			کل فصل رشد (با احتساب دوره خزانه)		
	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت
آب بر	۹	۷	۶	۳۷	۳۳	۳۳	۴۴	۴۳	۴۲	۱۱	۱۱	۹	۱۲۶	۱۲۱	۱۱۳
درگز	۹	۷	۶	۳۵	۳۳	۴۳	۴۵	۴۴	۴۳	۱۲	۱۲	۱۰	۱۲۶	۱۲۱	۱۱۳
دره شهر	۹	۷	۶	۳۵	۳۳	۳۱	۴۲	۴۱	۴۰	۱۰	۱۰	۸	۱۲۲	۱۱۷	۱۰۹
درود	۱۱	۹	۸	۳۳	۳۱	۲۹	۴۶	۴۵	۴۴	۱۰	۱۰	۸	۱۲۸	۱۲۳	۱۱۵
فیروزآباد	۹	۷	۶	۳۴	۳۲	۳۰	۴۶	۴۵	۴۴	۱۰	۱۰	۸	۱۲۴	۱۱۹	۱۱۱
خوی	۱۱	۹	۸	۳۶	۳۴	۳۲	۴۶	۴۵	۴۴	۱۱	۱۱	۹	۱۳۳	۱۲۸	۱۲۰
لردگان	۱۰	۸	۷	۳۷	۳۵	۳۳	۴۵	۴۴	۴۳	۱۱	۱۱	۹	۱۳۳	۱۲۸	۱۲۰
مانه و سملقان	۹	۷	۶	۲۷	۲۵	۲۳	۴۸	۴۷	۴۶	۱۱	۱۱	۹	۱۲۵	۱۲۰	۱۱۲
میانه	۹	۷	۶	۳۵	۳۳	۳۱	۴۴	۴۳	۴۲	۱۱	۱۱	۹	۱۲۶	۱۲۱	۱۱۳
مبارکه	۹	۷	۶	۳۳	۳۱	۲۹	۴۳	۴۲	۴۱	۱۰	۱۰	۸	۱۲۴	۱۱۹	۱۱۱
نورآباد	۹	۷	۶	۳۷	۳۵	۳۳	۴۵	۴۴	۴۳	۱۰	۱۰	۸	۱۲۶	۱۲۱	۱۱۳
پارس‌آباد	۱۰	۸	۷	۳۵	۳۳	۳۱	۴۶	۴۵	۴۴	۱۲	۱۲	۱۰	۱۲۸	۱۲۳	۱۱۵
شادگان	۹	۷	۶	۳۴	۳۲	۳۰	۴۵	۴۴	۴۳	۹	۹	۷	۱۲۴	۱۱۹	۱۱۱
شوش	۹	۷	۶	۳۴	۳۲	۳۰	۴۵	۴۴	۴۳	۹	۹	۷	۱۲۴	۱۱۹	۱۱۱
زرین	۹	۷	۶	۳۴	۳۲	۳۰	۴۵	۴۴	۴۳	۱۰	۱۰	۸	۱۲۸	۱۲۳	۱۱۵

نتایج

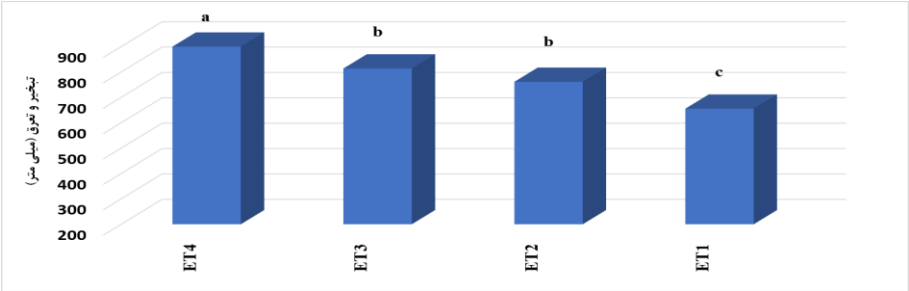
تبخیر و تعرق گیاه برنج در مناطق اقلیمی سرد

نیاز خالص آبی محصول برنج در ایستگاه‌های خوی و میانه واقع در طبقه اقلیمی سرد در سناریوها و تاریخ‌های مختلف کشت در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج تمام احتمالات وقوع تبخیر و تعرق گیاه برنج در سه تاریخ مختلف کشت (زود، به‌موقع و دیر کشت) نشان داد که نیاز آبی برنج در ایستگاه خوی کمتر است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سناریوهای تبخیر-تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند ($MS=176591^{**}$). مقایسه میانگین سناریوهای تبخیر و تعرق به روش دانکن نشان داد که در منطقه سرد، سناریوها در سه گروه قرار دارد و سال بسیار پرتبخیر-تعرق بالاترین و سال کم تبخیر و تعرق کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا بودند (شکل ۲). همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و سناریوهای تبخیر بر میزان تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($MS=109824^{**}$). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و سناریوهای تبخیر و تعرق به روش دانکن نشان داد که در منطقه سرد، اتخاذ رویکرد زودکاشت موجب کاهش قابل توجهی در میزان تبخیر و تعرق برنج در تمام سناریوها (کم، متوسط، پر و بسیار پر تبخیر و تعرق) می‌شود (شکل ۳). اندازه تبخیر و تعرق برنج در شرایط دیر کاشت، در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر-تعرق نسبت به سال‌های نرمال افزایش می‌یابد. میزان تبخیر و تعرق برنج در شرایط دیر کاشت در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق در ایستگاه خوی به ترتیب ۷۰۱/۶ و ۸۰۱/۹ میلی‌متر و در ایستگاه میانه به ترتیب به میزان ۹۴۱/۷ و ۱۰۶۲/۶ میلی‌متر بود که در ایستگاه خوی به ترتیب به میزان ۷۰/۷ و ۱۷۱ میلی‌متر و در ایستگاه میانه به ترتیب به میزان ۸۲/۷ و ۲۰۳/۶ میلی‌متر بالاتر از سال نرمال بود. این یافته نشان می‌دهد که در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق و پرتبخیر و تعرق رویکرد دیر کاشت موجب افزایش قابل‌توجه در تبخیر و تعرق برنج در اقلیم سرد می‌شود. همچنین مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق در سناریوها و تاریخ‌های مختلف کشت در مقیاس کل فصل رشد نشان داد که در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق، اتخاذ رویکرد زود کاشت در

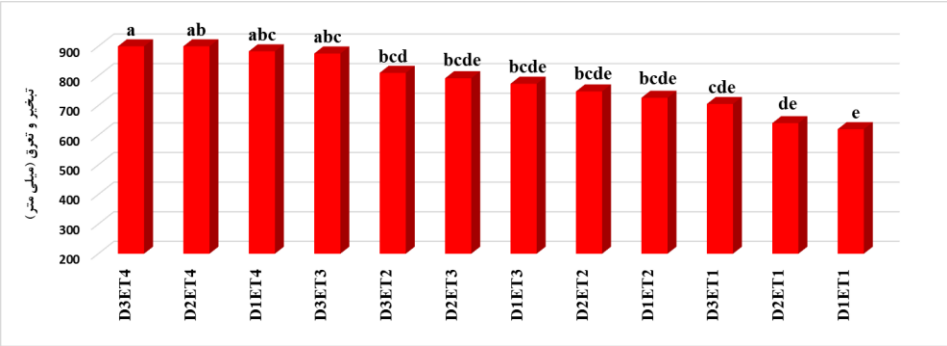
ایستگاه‌های خوی و میانه موجب صرفه‌جویی در مصرف آب به ترتیب به میزان ۷۱/۵ و ۱۵۵/۵ میلی‌متر نسبت به رویکرد دیر کاشت و همچنین ۸ و ۴۳/۹ میلی‌متر نسبت به اتخاذ رویکرد به کاشت به‌موقع می‌شود. تغییر تاریخ کاشت از زود به دیر کاشت باعث افزایش نیاز آبی در دوره ابتدایی و کاهش مصرف آن در دوره انتهایی می‌شود (شکل ۴). همچنین مشاهده می‌شود در این ایستگاه‌ها در شرایط دیر کاشت اوج تبخیر و تعرق در وسط فصل رشد قرار گرفته و درحالی‌که اوج تبخیر و تعرق در شرایط زود کاشت طولانی‌تر و به مراحل وسط تا پایانی دوره شیفت پیدا کرده است. در دیر کاشت اختلاف بین سناریوها بیشتر است؛ همچنین در شرایط دیر کاشت مشاهده شد که در سناریوی پر تبخیر و تعرق، میزان تبخیر و تعرق از این سناریو از شرایط زود کاشت بیشتر است (شکل ۴).

جدول ۳- برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج (میلی‌متر) در فصل رشد در تاریخ‌های کشت و احتمال وقوع متفاوت در ایستگاه‌های واقع در مناطق سرد

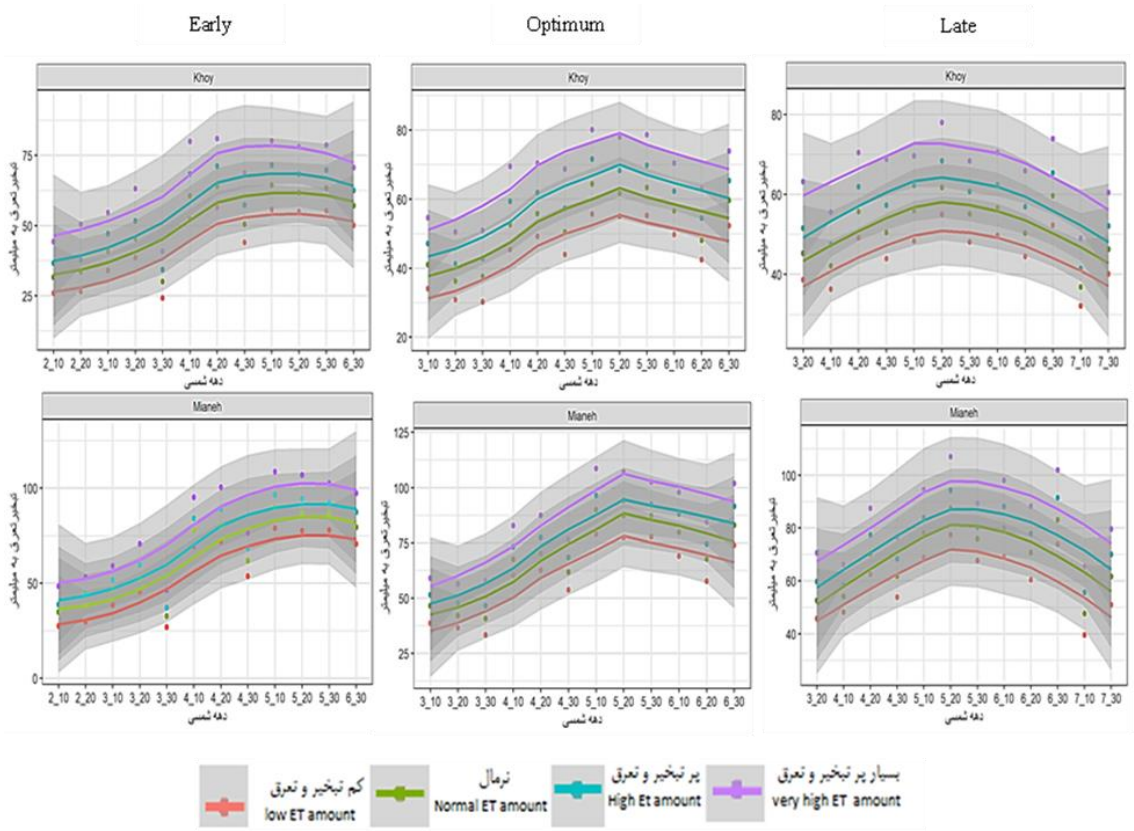
سناریوهای تبخیر-تعرق	زود کشت		کشت به‌موقع		دیر کشت	
	خوی	میانه	خوی	میانه	خوی	میانه
کم تبخیر و تعرق	۴۸۹	۶۴۲/۱	۵۰۴	۶۸۱	۵۵۲/۵	۷۵۰/۳
نرمال	۵۶۵	۷۳۱/۱	۵۷۶/۵	۷۷۳/۹	۶۳۰/۹	۸۵۹
پر تبخیر و تعرق	۶۳۲/۱	۷۹۸/۷	۶۴۲/۳	۸۴۴	۷۰۱/۶	۹۴۱/۷
بسیار پر تبخیر و تعرق	۷۳۰/۴	۹۰۷	۷۳۸/۴	۹۵۰/۹	۸۰۱/۹	۱۰۶۲/۶



شکل ۲- اثر سناریوهای تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق در منطقه سرد. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



شکل ۳- اثر متقابل سناریوی تبخیر و تعرق و تاریخ کاشت بر میزان تبخیر و تعرق در منطقه سرد. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



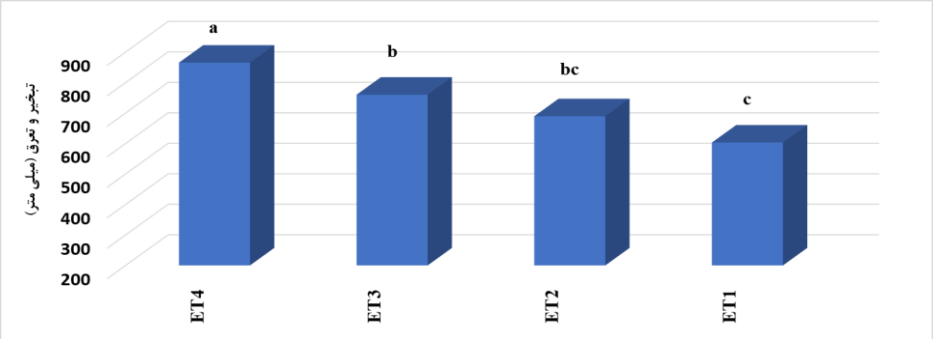
شکل ۴- مقادیر تبخیر و تعرق ۱۰ روزه گیاه برنج در سطوح احتمالات مختلف در سه تاریخ کشت متفاوت در مناطق سرد

تبخیر و تعرق گیاه برنج در مناطق اقلیمی معتدل

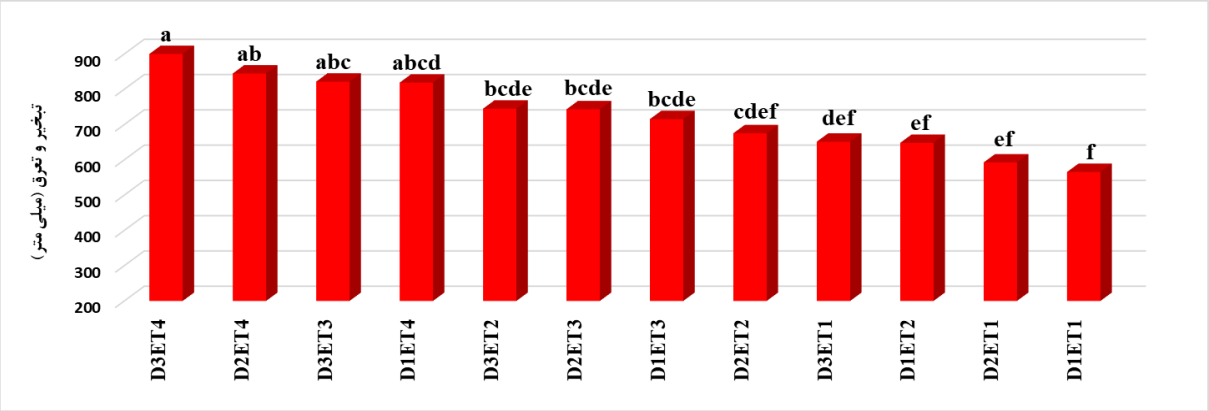
ایستگاه‌های آب‌بر، پارس‌آباد، درگز، دورود، زرین‌شهر، لردگان، مانه و سلقمان و مبارکه در منطقه اقلیمی معتدل (خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب) واقع شده‌اند که در جدول ۴ نتایج نیاز خالص آبی برنج نشان داده شده است. نتایج تمام احتمالات وقوع تبخیر و تعرق گیاه برنج در سه تاریخ مختلف کشت (زودکشت، به‌موقع و دیر کشت) نشان داد که ایستگاه دورود (معتدل نیمه مرطوب) بیشترین و ایستگاه پارس‌آباد (معتدل نیمه-خشک) کمترین میزان نیاز آبی را در بین ایستگاه‌های منطقه معتدل دارا هستند. در ایستگاه‌های دورود و پارس‌آباد بیشترین میزان نیاز خالص آبی برنج در شرایط دیر کاشت و در سال بسیار پر تبخیر و تعرق به‌ترتیب به میزان ۱۱۷۰ و ۸۷۳/۶ میلی‌متر و کمترین میزان آن در شرایط زود کاشت و در سال کم تبخیر و تعرق به‌ترتیب به میزان ۷۰۴/۴ و ۵۱۲/۱ میلی‌متر مشاهده شد. نتایج آزمون دانکن نشان داد که در تمام ایستگاه‌های منطقه معتدل نیز سال بسیار پرتبخیر و تعرق بیشترین و سال کم تبخیر و تعرق کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا هستند. در همین راستا مقایسه میانگین سناریوهای تبخیر به روش دانکن نشان داد که در اقلیم معتدل سناریوهای تبخیر در سه گروه قرار دارد و سال بسیار پرتبخیر و تعرق بیشترین و سال کم تبخیر و تعرق کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا بودند (شکل ۵). بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و سناریوهای تبخیر بر میزان تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($MS=109387^{**}$). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و سناریوهای تبخیر به روش دانکن نشان داد که در منطقه معتدل نیز، کمترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به شرایط زود کاشت و در سال کم تبخیر و تعرق و بیشترین میزان آن مربوط به شرایط دیر کاشت و در سال بسیار پرتبخیر و تعرق است. ازاین‌رو در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق اتخاذ رویکرد مناسب موجب صرفه‌جویی قابل‌توجهی در میزان نیاز خالص آبی

برنج می‌شود (شکل ۶). در همین راستا بررسی مقایسه میزان تبخیر و تعرق در سناریوهای مختلف تبخیر و تعرق نشان داد که در سال‌های بسیار پر تبخیر و تعرق، اتخاذ رویکرد زود کاشت موجب صرفه‌جویی در میزان نیاز خالص آبی برنج در ایستگاه‌های آب‌بر، پارس‌آباد، درگز، دورود، زرین‌شهر، لردگان، مانه و سلقمان و مبارکه به ترتیب به میزان ۱۲۶/۴، ۹۴/۵، ۱۳۹/۵، ۱۵۳/۷، ۷۳/۵، ۱۴۲، ۱۱۸/۹ و ۷۴/۹ میلی‌متر نسبت به رویکرد دیر کاشت و اتخاذ رویکرد کاشت به‌موقع نیز موجب صرفه‌جویی در میزان نیاز خالص آبی برنج به ترتیب به میزان ۹۴/۸، ۷۹/۲، ۱۰۵، ۱۲۷/۴، ۸۰/۱، ۱۱۰/۲، ۹۵/۴ و ۷۸ میلی‌متر نسبت به رویکرد دیر کاشت می‌شود. ازاین‌رو در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق و همچنین پر تبخیر و تعرق بهتر است کشت برنج در تاریخ ۲۰–۳۱ فروردین (زود کاشت) و ۱۵–۲۵ اردیبهشت (کاشت به‌موقع) انجام شود.

همچنین نتایج احتمالات وقوع تبخیر و تعرق گیاه برنج در سه تاریخ مختلف زود کشت، به‌موقع و دیر کشت نشان داد که نیاز آبی خالص برنج در سال کم تبخیر و تعرق نسبت به سال‌های متوسط، پر تبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر–تعرق دارای اختلاف بسیار قابل‌توجهی است. این اختلاف به‌تدریج از سال نرمال به پرتبخیر و تعرق افزایش می‌یابد. با توجه به جدول ۴ در شرایط کاشت به‌موقع، میزان نیاز خالص آبی برنج در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق در ایستگاه‌های آب بر، پارس‌آباد، درگز، دورود، زرین‌شهر، لردگان، مانه و مبارکه به ترتیب به میزان ۲۲۰/۷، ۲۵۹/۷، ۳۲۹، ۳۱۳/۷، ۲۲۰/۷، ۲۷۹/۵، ۲۶۶/۲ و ۲۰۳/۱ میلی‌متر بیش از سال‌های کم‌تبخیر است. ازاین‌رو توصیه می‌شود از سطح احتمال ۷۵ درصد (سال کم تبخیر و تعرق) در برآورد نیاز آبی گیاه، طراحی سامانه‌های آبرسانی و برنامه‌ریزی درازمدت خودداری شود، به‌عنوان نمونه طراحی سیستم آبرسانی با این سطح احتمال موجب کاهش ظرفیت آبرسانی می‌شود. با توجه به شکل ۷ در تمام ایستگاه‌های مطالعه شده کمترین میزان نیاز خالص آبی برنج در تاریخ‌های کاشت زود کاشت و کاشت به‌موقع مربوط به مرحله ابتدایی رشد و در دیر کاشت مربوط به مرحله پایانی رشد بود. دراین‌صورت کشت برنج در تاریخ دیر کاشت باعث افزایش مصرف در دوره ابتدایی و کاهش مصرف در دوره انتهایی می‌شود. در تمام ایستگاه‌های مطالعه شده اختلاف یکسانی در سطوح احتمالات در هر سه تاریخ کاشت زودکشت، به‌موقع و دیر کاشت در مرحله ابتدایی رشد مشاهده شد. بااین‌وجود، میانگین تبخیر و تعرق واقعی روزانه در دوره ۱۰ روزه در تاریخ دیر کشت دارای مقادیر متناظر بزرگ‌تری نسبت به تاریخ زودکشت است. بیشترین میزان اختلاف میان مقادیر تبخیر و تعرق در سطوح احتمالات مختلف در ایستگاه دورود مشاهده شد.



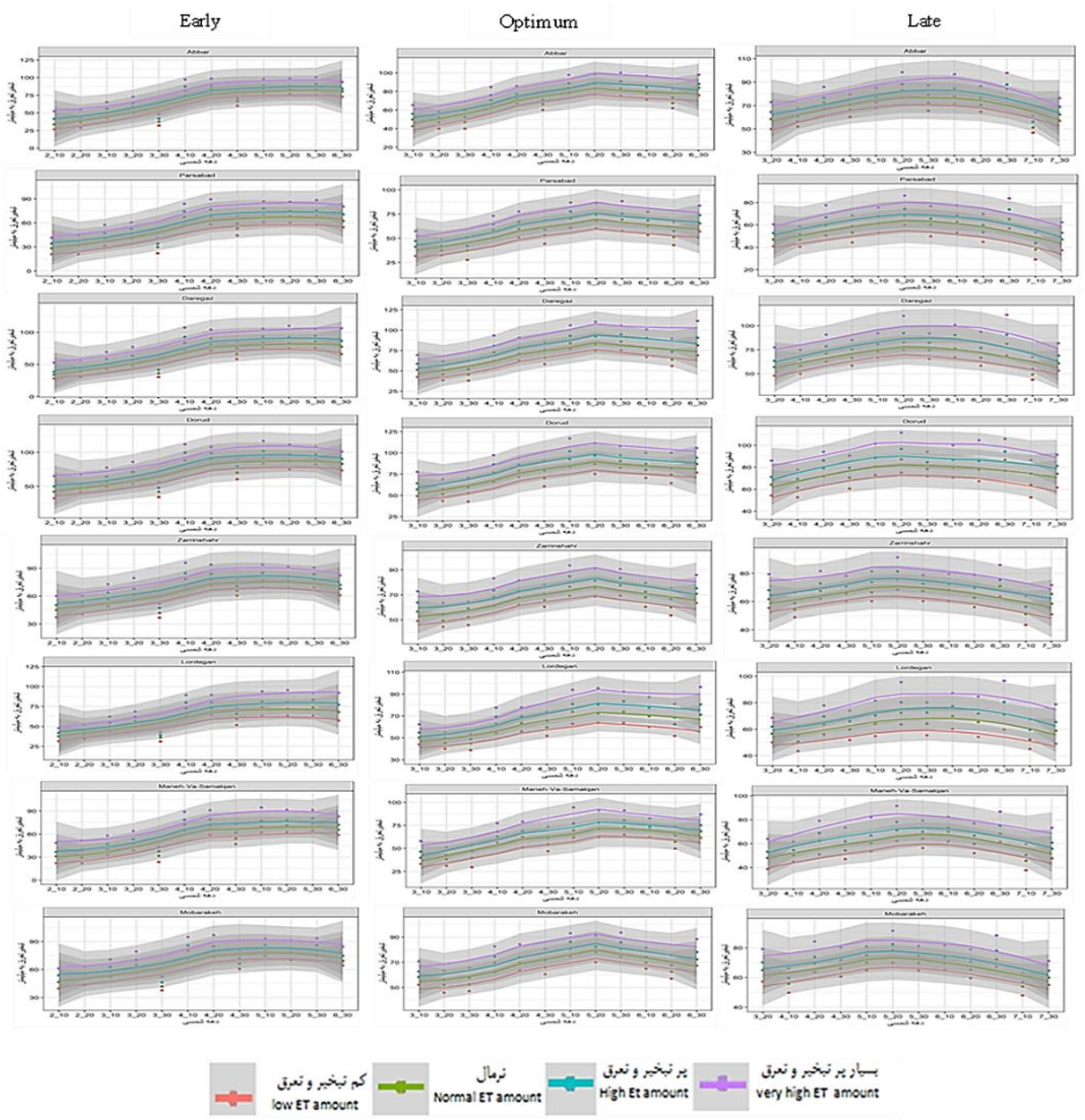
شکل ۵- اثر سناریوهای تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق در منطقه معتدل. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



شکل ۶- اثر متقابل سناریوی تبخیر و تاریخ کاشت بر میزان تبخیر در منطقه معتدل. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر براساس آزمون دانکن ندارند

جدول ۴- برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج (میلی‌متر) در فصل رشد در تاریخ‌های کشت و احتمال وقوع متفاوت در ایستگاه‌های واقع در مناطق معتدل

ایستگاه	زود کشت			کشت به‌موقع			دیر کشت		
	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق
آب بر	۶۷۱/۷	۷۴۲/۲	۷۹۸/۶	۸۹۴/۵	۷۰۵/۴	۷۷۱/۷	۸۲۷/۸	۹۲۶/۱	۷۸۱/۵	۸۵۰/۹	۹۱۵/۷	۱۰۲۰/۹
پارس‌آباد	۵۱۲/۱	۶۰۵/۶	۶۷۳/۳	۷۷۹	۵۳۴/۷	۶۲۵/۱	۶۹۲	۷۹۴/۴	۵۷۶/۴	۶۸۱/۶	۷۵۶/۸	۸۷۳/۶
درگز	۶۴۶/۷	۷۴۱/۵	۸۲۷/۶	۹۶۷/۲	۶۷۲/۷	۷۶۶	۸۵۹/۹	۱۰۰۱/۷	۷۴۰/۸	۸۴۰/۹	۹۴۴/۴	۱۱۰۶/۷
دورود	۷۰۴/۴	۸۰۳/۶	۸۸۹	۱۰۱۶/۳	۷۲۸/۹	۸۲۷/۵	۹۱۱	۱۰۴۲/۶	۸۱۴/۸	۹۳۰/۶	۱۰۲۵/۵	۱۱۷۰
زرین‌شهر	۶۴۲/۲	۷۱۴	۷۷۲/۲	۸۷۰/۹	۶۴۳/۶	۷۱۳/۹	۷۷۲/۷	۸۶۴/۳	۶۹۶/۷	۷۷۹/۶	۸۴۶/۷	۹۴۴/۴
لردگان	۵۷۸/۸	۶۶۷/۸	۷۳۸/۳	۸۴۰/۱	۵۹۲/۴	۶۸۷/۶	۷۶۲	۸۷۱/۹	۶۵۵/۴	۷۶۴/۷	۸۵۰/۶	۹۸۲/۱
مانه و سلقمان	۵۳۹	۶۲۷/۵	۶۹۷/۴	۸۱۷/۴	۵۷۴/۶	۶۵۹/۶	۷۲۳/۸	۸۴۰/۸	۶۴۰/۹	۷۳۶/۷	۸۰۵/۶	۹۳۶/۳
مبارکه	۶۶۷/۶	۷۳۴/۵	۷۸۸/۱	۸۷۸/۷	۶۷۲/۶	۷۳۶	۷۸۷/۹	۸۷۵/۶	۷۳۶/۶	۸۰۵/۲	۸۵۹/۷	۹۵۳/۷

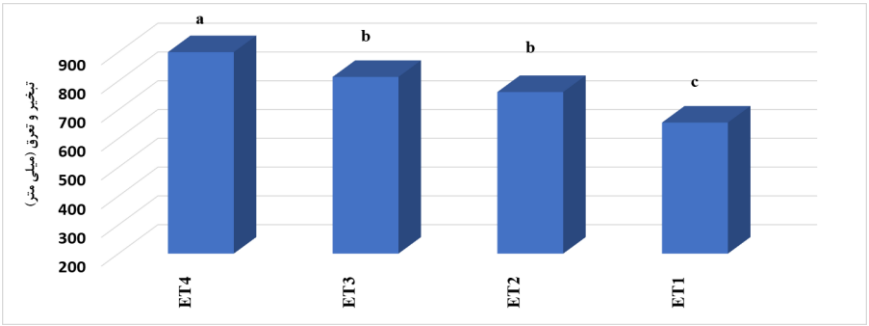


شکل ۷- مقادیر تبخیر و تعرق ۱۰ روزه گیاه برنج در سطوح احتمالات مختلف در سه تاریخ کشت متفاوت در مناطق معتدل

نتایج نیاز خالص آبی برآوردی محصول برنج مناطق اقلیمی گرم و بسیار گرم

میزان تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های واقع در مناطق اقلیمی گرم تا بسیار گرم در جدول ۵ نشان داد ر تمام تاریخ‌های کاشت و سناریوهای تبخیر و تعرق کمترین میزان نیاز خالص آبی مربوط به ایستگاه نورآباد ممسنی (گرم نیمه مرطوب) و بیشترین میزان آن مربوط به ایستگاه شادگان (بسیار گرم و خشک) است. در منطقه گرم نیز با تأخیر در کاشت و حرکت به سمت سناریوی بسیار پرتبخیر و تعرق، نیاز خالص آبی برنج افزایش می‌یابد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سناریوهای تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند ($MS=88430^{**}$). مقایسه میانگین سناریوهای تبخیر و تعرق به روش دانکن نشان داد که در اقلیم گرم مشابه مناطق سرد و معتدل، سناریوهای تبخیر و تعرق در سه گروه قرار دارد و با حرکت به سمت سال بسیار پر تبخیر و تعرق، نیاز خالص آبی برنج افزایش می‌یابد (شکل ۸). مقایسه نتایج احتمالات وقوع تبخیر و تعرق در هر یک از

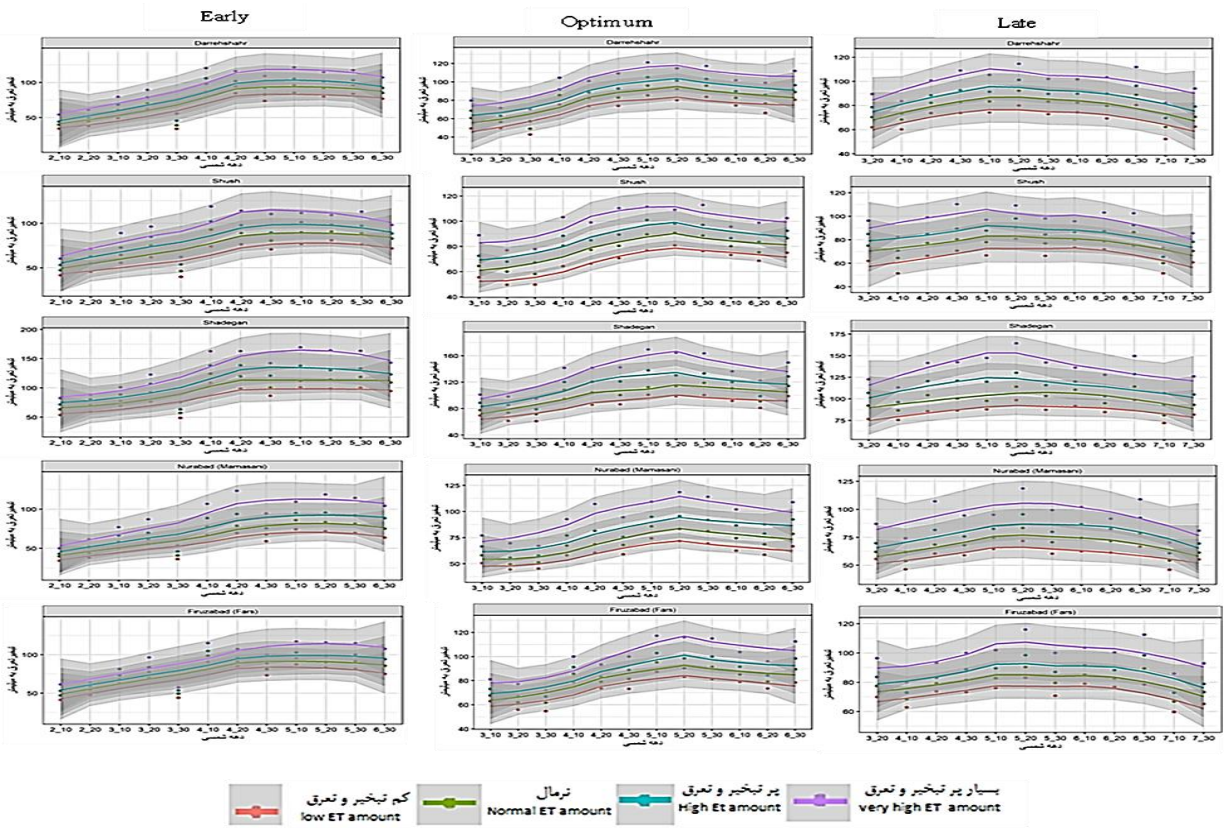
تاریخ‌های کاشت (زود، به‌موقع و دیر کاشت) نشان داد که در تمام ایستگاه‌های بررسی شده در هر سه تاریخ کاشت (زود، به‌موقع و دیر کاشت) نیاز خالص آبی در سال کم-تبخیر و تعرق دارای اختلاف بسیار قابل‌توجهی نسبت به دیگر سناریوهای تبخیر و تعرق بود. این اختلاف در ایستگاه شادگان به‌مراتب بیش از دیگر ایستگاه‌ها بود. در ایستگاه شادگان میزان نیاز خالص آبی برنج در سال بسیار تبخیر و تعرق در شرایط زود کاشت به میزان ۵۷۷/۶ میلی‌متر، در کاشت به‌موقع به میزان ۵۸۲/۵ میلی‌متر و در دیر کاشت به میزان ۶۲۴/۵ میلی‌متر بیش از سال کم‌تبخیر و تعرق بود. در مقیاس کل فصل، در صورت کشت برنج در سال پرتبخیر و تعرق، اتخاذ رویکرد زود کاشت در ایستگاه‌های دره‌شهر، شوش، شادگان، نورآباد و فیروزآباد می‌تواند به ترتیب به میزان ۴۵، ۳۹، ۶۴، ۳۷/۸ و ۴۱/۱ میلی‌متر و رویکرد کاشت به‌موقع به ترتیب به میزان ۲۹، ۲۳، ۴۰، ۲۰/۳ و ۱۹/۶ میلی‌متر کاهش در نیاز خالص آبی مرحله رشد ابتدایی برنج نسبت به اتخاذ رویکرد دیر کاشت شود؛ بنابراین در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق و پرتبخیر و تعرق رویکرد دیر کاشت موجب افزایش بسیار بالای میزان نیاز خالص آبی برنج در منطقه گرم شود. در همین راستا نتایج نشان داد که در شرایط دیر کاشت میزان نیاز خالص آبی در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق بیش از سال نرمال است، به‌طوری‌که میزان آن در سال پرتبخیر و تعرق در ایستگاه‌های دره‌شهر، شوش، شادگان، نورآباد و فیروزآباد به ترتیب ۹۱/۱، ۹۲/۵، ۱۶۹/۵، ۱۲۸/۸، ۸۰/۱ میلی‌متر بیش از سال نرمال بود. بااین‌حال در صورت کاشت برنج در سال بسیار پرتبخیر و تعرق، اتخاذ رویکرد زود کاشت در ایستگاه‌های دره‌شهر، شوش، شادگان، نورآباد و فیروزآباد می‌تواند به ترتیب تا ۱۲۹، ۷۶/۶، ۱۷۱/۳، ۱۱۶/۶ و ۱۳۶ میلی‌متر (به‌طور متوسط ۰/۷ تا ۱ میلی‌متر در روز) و رویکرد کاشت به‌موقع به ترتیب تا ۱۰۶/۷، ۷۸/۸، ۱۴۸/۳، ۹۸/۶ و ۱۱۶/۶ میلی‌متر از نیاز خالص آبیاری را نسبت به اتخاذ رویکرد دیر کاشت کاهش دهد. در تمام ایستگاه‌های منطقه گرم نیز کمترین میزان نیاز خالص آبی برنج در شرایط زود کاشت و کاشت به‌موقع مربوط به مرحله ابتدایی رشد و در دیر کاشت مربوط به مرحله پایانی رشد بود؛ زیرا در شرایط دیر کاشت بخش بیشتری از مراحل پایانی دوره رشد در دوره گرم فصل رشد قرار می‌گیرد، در نتیجه دریافت دمای بیشتر موجب افزایش سرعت در طی مراحل رشد و در نهایت کوتاه‌تر شدن دوره رشد می‌شود (شکل ۹). بااین‌وجود نتایج نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مطالعه شده در مقیاس کل فصل دیر کاشت، کاشت به‌موقع و زود کاشت به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین میزان میانگین تبخیر و تعرق هستند.



شکل ۸- اثر سناریوهای تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق در منطقه گرم. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند

جدول ۵- برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج (میلی‌متر) در فصل رشد در تاریخ‌های کشت و احتمال وقوع متفاوت در ایستگاه‌های واقع در مناطق گرم

ایستگاه	زود کشت			کشت به‌موقع			دیر کشت		
	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر–تعرق	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر–تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق
دره‌شهر	۷۵۳/۱	۸۵۶/۱	۹۳۹/۷	۱۰۸۲/۱	۷۸۰/۲	۸۸۰/۸	۹۶۳/۶	۱۱۰۴/۳	۸۴۸/۶	۹۶۱/۹	۱۰۵۳/۱	۱۲۱۱/۱
شوش	۷۵۲/۲	۸۷۹/۵	۹۷۲/۸	۱۱۲۳/۹	۷۷۱/۸	۸۸۹/۹	۹۷۸/۲	۱۱۲۱/۷	۸۴۱/۸	۹۶۸/۳	۱۰۶۰/۸	۱۲۰۰/۵
شادگان	۹۷۰/۹	۱۱۲۸/۴	۱۲۹۸/۵	۱۵۴۸/۵	۹۸۸/۹	۱۱۵۱/۹	۱۳۱۵/۱	۱۵۷۱/۵	۱۰۹۵/۲	۱۲۶۷/۸	۱۴۳۷/۳	۱۷۱۹/۸
نورآباد	۶۷۸/۶	۷۸۱/۸	۸۹۲/۲	۱۰۸۷	۶۸۷/۶	۷۹۷/۹	۹۱۳/۴	۱۱۰۴/۹	۷۵۵/۲	۸۷۶/۹	۱۰۰۵/۸	۱۲۰۳/۶
فیروزآباد	۸۲۷/۶	۹۱۰/۹	۹۸۴/۴	۱۱۱۴/۵	۸۴۱	۹۲۲/۸	۹۹۶/۲	۱۱۳۳/۸	۹۲۰/۸	۱۰۱۱/۷	۱۰۹۱/۹	۱۲۵۰/۵



شکل ۹- مقادیر تبخیر و تعرق ۱۰ روزه گیاه برنج در سطوح احتمالات مختلف در سه تاریخ کشت متفاوت در مناطق گرم

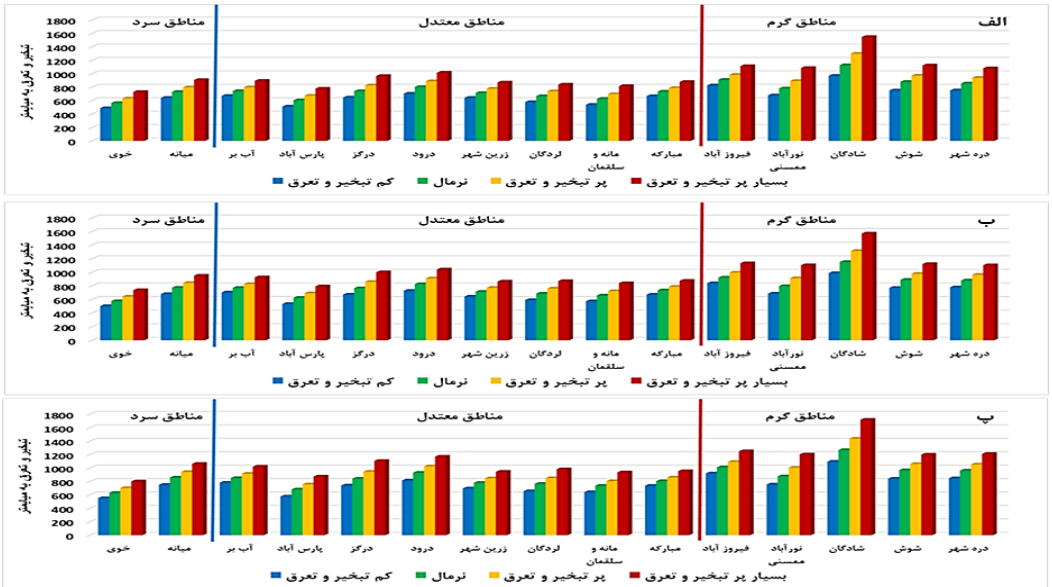
مقایسه نیاز خالص آبی برآوردی محصول برنج مناطق اقلیمی سرد، معتدل و گرم

نتایج نیاز خالص آبی برآوردی گیاه برنج مناطق اقلیمی سرد، معتدل و گرم در سطوح احتمالات و تاریخ های کشت متفاوت در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منطقه کشت بر میزان تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است ($MS=285029^{**}$). در همین راستا نتایج آزمون مقایسه میانگین به روش دانکن نشان داد که منطقه کشت در دو گروه قرار دارد. به‌این‌ترتیب که بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به منطقه گرم به میزان ۱۰۲۱/۳ میلی‌متر بوده و مناطق معتدل و سرد به ترتیب با میزان

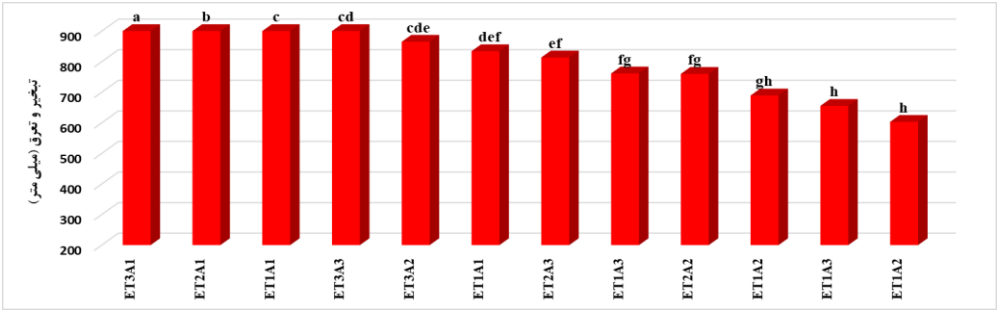
تبخیر ۷۸۴/۸ و ۷۲۹ میلی‌متر تبخیر و تعرق کمتری را نسبت به مناطق گرم دارا بودند. همچنین نتایج نشان از اثر قابل‌توجه و معنی‌دار اثر متقابل منطقه اقلیمی و سناریوهای تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق بودند (MS=96512**). با توجه به شکل‌های ۱۰ و ۱۱ در تمام طبقه‌های اقلیمی، نیاز خالص آبی در سال‌های کم تبخیر و تعرق دارای اختلاف قابل‌توجهی با نیاز خالص آبی در سال‌های نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق است. بیشینه این اختلافات در منطقه گرم بیش از دیگر مناطق است. در منطقه گرم میزان نیاز خالص آبی در سال‌های نرمال، پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق به ترتیب ۹۵۲، ۱۰۶۰/۲ و ۱۲۳۸/۵ میلی‌متر بود که به‌مراتب به ترتیب به میزان ۱۱۸، ۲۲۶ و ۴۰۴ میلی‌متر بیشتر از نیاز خالص آبی در سال کم تبخیر و تعرق بود. این اختلافات به‌تدریج از مناطق گرم به سرد کاهش می‌یابد و در مناطق معتدل و سرد میزان نیاز آبی در سال‌های نرمال، پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق به ترتیب به‌طور متوسط به میزان ۶۸۹/۴ تا ۷۶۱/۳، ۷۶۰ تا ۸۱۳/۸ و ۸۶۵ تا ۹۲۸ میلی‌متر بود. میزان نیاز آبی در سال کم تبخیر و تعرق در منطقه سرد به‌طور متوسط ۶۵۵/۴ میلی‌متر و در منطقه معتدل به‌طور متوسط ۶۰۳ میلی‌متر بود. ازاین‌رو توصیه می‌شود از این سطح احتمال (سال کم تبخیر و تعرق) در برآورد نیاز خالص آبی گیاه برنج، طراحی سامانه‌های آبرسانی و برنامه‌ریزی درازمدت به‌ویژه در مناطق شالیکاری واقع در مناطق گرم خودداری شود. اثر متقابل تاریخ کشت و منطقه بر میزان تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (MS=80092**) که بیانگر تفاوت روند تغییرات تبخیر و تعرق در مناطق و تاریخ‌های مختلف کشت است. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کشت و منطقه بر میزان تبخیر و تعرق نشان داد که بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به منطقه گرم به ترتیب در دیر کاشت، به‌موقع و زود کاشت (به ترتیب به میزان ۱۰۸۹/۱، ۹۹۵/۷ و ۹۷۹/۱ میلی‌متر) بود (شکل ۱۲). کمترین میزان تبخیر و تعرق با میانگین ۶۸۷ میلی‌متر مربوط به مناطق معتدل در شرایط زود کاشت بود. پس از آن کمترین میزان تبخیر در منطقه معتدل و در شرایط به‌موقع کاشت به میزان ۷۱۴ میلی‌متر و منطقه سرد در شرایط زود کاشت به میزان ۷۵۰ میلی‌متر مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کشت و سناریوی تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق نشان داد که بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به شرایط دیر کاشت در سال بسیار پرتبخیر و تعرق به میزان ۱۰۸۲ میلی‌متر بود که در صورت اتخاذ رویکرد زود کاشت در سال بسیار پرتبخیر و تعرق میزان تبخیر و تعرق کاهش‌یافته و به‌طور متوسط به ۹۶۴ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۱۳). همچنین نتیجه تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تاریخ کشت و سناریوی تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند که بیانگر تفاوت روند تغییرات تبخیر و تعرق در سناریوهای تبخیر و تاریخ‌های مختلف کشت است (MS=49130**). بررسی میزان نیاز خالص آبی برنج در شرایط کاشت به‌موقع نشان داد که در سال‌های کم‌تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق در مناطق سرد به‌ترتیب به میزان ۵۹۲/۵، ۶۷۵/۲، ۷۴۳/۱ و ۸۴۴/۶ میلی‌متر (۵ تا ۶/۸ میلی‌متر در روز)، در مناطق معتدل به‌ترتیب به میزان ۶۴۰/۶، ۷۴۷/۷، ۷۹۲/۱ و ۹۰۲/۱ میلی‌متر (۰/۷ تا ۷/۴ میلی‌متر در روز) و در مناطق گرم به ترتیب به میزان ۸۱۳/۹، ۹۲۸/۶، ۱۰۳۳/۳ و ۱۲۰۷/۲ میلی‌متر (۷ تا ۱۰/۳ میلی‌متر در روز) است. در شرایط دیر کاشت میزان نیاز خالص آبی برنج در سال‌های کم‌تبخیر، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق در مناطق سرد به ترتیب به میزان ۵۸/۹، ۶۹/۷، ۷۸/۵ و ۸۷/۶ میلی‌متر (۰/۵ تا ۰/۷ میلی‌متر در روز)، در مناطق معتدل به ترتیب به میزان ۶۴/۷، ۶۲/۵، ۸۳/۴ و ۹۶/۲ میلی‌متر (۰/۵ تا ۰/۸ میلی‌متر در روز) و در مناطق گرم به‌ترتیب ۷۸/۴، ۸۸/۶، ۹۶/۴ و ۱۰۶/۸ میلی‌متر (۰/۷ تا ۱ میلی‌متر در روز) بیش از شرایط کاشت به موقع است (شکل ۱۰).

در مجموع مقایسه میزان تبخیر و تعرق در تمـام

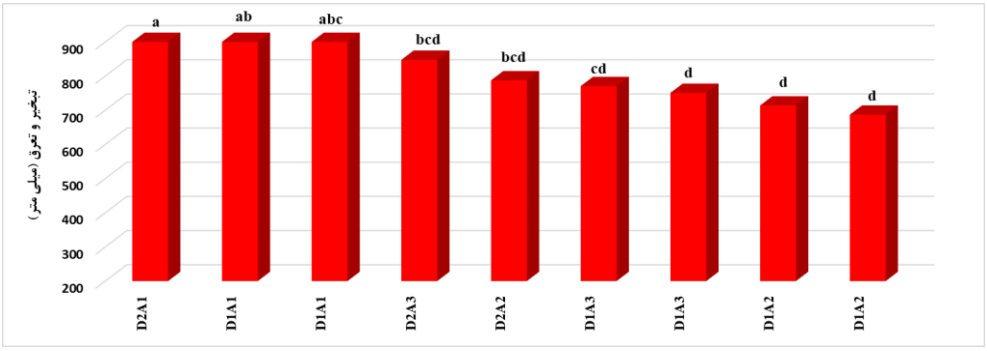
تاریخ‌های کشت و سطوح احتمالاتی نشان داد که میزان تبخیر و تعرق در منطقه گرم به ترتیب به‌طور متوسط به میزان ۲۹۲ و ۲۳۶ میلی‌متر بیش از مناطق سرد و معتدل است. ازاین‌رو کمترین میزان نیاز خالص آبی برنج مربوط به مناطق سرد واقع در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی و پس‌ازآن مناطق معتدل واقع در استان‌های اردبیل، زنجان، خراسان شمالی و خراسان رضوی، لرستان، اصفهان و چهارمحال و بختیاری بود. در مجموع در تاریخ‌ها و سناریوهای مختلف اتخاذ رویکرد زود کاشت در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیارپرتبخیر و تعرق موجب افزایش قابل‌توجه در میزان مصرف آب به‌ویژه در مناطق گرم می‌شود. بااین‌حال در تحلیل نیاز خالص، به نظر می‌رسد در صورت وجود پیش‌بینی‌های اقلیمی مبنی بر گرم بودن فصل برنج‌کاری بهتر است از کشت برنج در این سال‌ها به‌ویژه در مناطق گرم اجتناب شود. با توجه به شکل ۵ در اقلیم‌های سرد و معتدل تفاوت زیادی بین زود کشت و کشت به‌موقع و حتی دیر کشت نیست، ازاین‌رو جهت فرار از سرمازدگی دیررس بهتر است از تقویم‌های دیر کشت استفاده شود. نتایج میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در هر سه منطقه اقلیمی مورد مطالعه نشان داد که در تمام تاریخ‌های کشت و سطوح احتمالاتی، بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به مرحله میانی رشد و کمترین آن در تاریخ‌های کشت زود و به‌موقع مربوط به مرحله ابتدایی رشد و در دیر کاشت مربوط به مرحله انتهایی رشد است. همچنین نتایج نشان داد که تمام مناطق بیشترین میزان تبخیر و تعرق را در مرحله میانی رشد دارا هستند که به دلیل توسعه سایه‌انداز محصول است. میزان تبخیر و تعرق مرحله میانی رشد در شرایط کاشت به‌موقع و در سال‌های پر تبخیر و تعرق در منطقه گرم به ترتیب به‌طور متوسط به میزان ۱۴۱/۱ و ۱۲۳ میلی‌متر بیش از مناطق سرد و معتدل است.



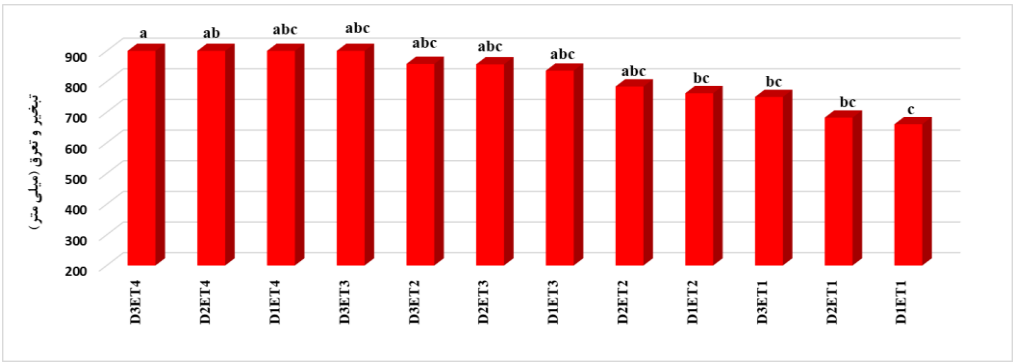
شکل ۱۰ -نتایج نیاز خالص آبی برآوردی محصول برنج مناطق اقلیمی سرد، معتدل و گرم در سطوح احتمالات و تاریخ‌های زود (الف)، به‌موقع (ب) و دیر کاشت (پ)



شکل ۱۱- اثر متقابل سناریوی تبخیر و تعرق و منطقه بر میزان تبخیر و تعرق در مناطق اقلیمی مورد مطالعه. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



شکل ۱۲- اثر متقابل تاریخ کشت و منطقه بر میزان تبخیر و تعرق در مناطق اقلیمی مورد مطالعه. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



شکل ۱۳- اثر متقابل تاریخ کشت و سناریوی تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق در مناطق اقلیمی مورد مطالعه. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند

مقایسه نیاز خالص آبی برآوردی محصول برنج مناطق شمالی و غیر شمالی ایران

در این بخش برای ارائه نمایش بهتری از نیاز خالص آبی برنج در ۱۵ ایستگاه منتخب که معرف مناطق مهم برنج‌کاری در سه‌طبقه اقلیمی سرد، معتدل و گرم هستند، نیاز خالص آبی برنج در این مناطق با مناطق شمالی ایران (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۴۰۰) مقایسه شد (جدول ۶). نیاز خالص آبی برنج مناطق شمالی کمتر از دیگر مناطق است و بالاترین میزان تاب‌آوری را در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق را دارد. در شرایط کاشت به‌موقع، کمترین اختلاف میان میزان نیاز خالص آبی برنج سال کم تبخیر-تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق به میزان ۲۰۵ میلی‌متر مربوط به مناطق شمالی بود. پس از مناطق شمالی، مناطق سرد و معتدل به ترتیب با ۲۵۲ و ۲۶۱ میلی‌متر در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بیشترین میزان اختلاف نیاز خالص آبی برنج سال کم تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق و کمترین میزان تاب‌آوری مربوط به مناطق گرم با ۳۹۲/۷ میلی‌متر در شرایط زودکشت،

۳۹۳/۳ میلی‌متر در شرایط کشت به‌موقع و ۴۲۴/۷ میلی‌متر در شرایط دیر کشت بود. نیاز خالص آبی مناطق شمالی در سال‌های کم‌تبخیر و تعرق، نرمال، پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق در شرایط دیر کاشت به ترتیب ۴۰۹، ۵۲۳/۳، ۵۷۸/۸ و ۶۴۱/۹ میلی‌متر است که به ترتیب به میزان ۲۴۲/۴، ۲۲۱/۶، ۲۴۲/۸ و ۲۹۰/۳ میلی‌متر کمتر از مناطق سرد و به ترتیب به میزان ۴۸۳/۳، ۴۵۹/۹، ۵۵۰/۹ و ۶۷۵/۱ میلی‌متر کمتر از مناطق گرم بود.

جدول ۶- نیاز خالص آبی (میلی‌متر) برآوردی محصول برنج مناطق شمالی و غیر شمالی ایران

منطقه	تاریخ کشت	سناریوهای تبخیر و تعرق			
		کم تبخیر و تعرق	متوسط	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق
گرم	زود کشت	۷۹۶/۴۸	۹۱۱/۳۴	۱۰۱۷/۵۲	۱۱۹۱/۲
	کشت به‌موقع	۸۱۳/۹	۹۲۸/۶۶	۱۰۳۳/۳۰	۱۲۰۷/۲۴
	دیر کشت	۸۹۲/۳۲	۱۰۱۷/۳۲	۱۱۲۹/۷۸	۱۳۱۷/۱
سرد	زود کشت	۵۶۵/۵۵	۶۴۸/۰۵	۷۱۵/۴۰	۸۱۸/۷
	کشت به‌موقع	۵۹۲/۵	۶۷۵/۲۰	۷۴۳/۱۵	۸۴۴/۶۵
	دیر کشت	۶۵۱/۴	۷۴۴/۹۵	۸۲۱/۶۵	۹۳۲/۲۵
معتدل	زود کشت	۶۲۰/۳۱	۷۲۶/۱۶	۷۷۳/۶۹	۸۸۳/۰۱
	کشت به‌موقع	۶۴۰/۶۱	۷۴۷/۷۱	۷۹۲/۱۴	۹۰۲/۱۸
	دیر کشت	۷۰۵/۳۹	۸۱۰/۲۸	۸۷۵/۶۳	۹۹۸/۴۶
شمالی	زود کشت	۳۶۸/۷۳	۴۶۸/۷۳	۵۱۸/۹۰	۵۷۶/۷۷
	کشت به‌موقع	۳۸۱/۱۰	۴۸۲/۲۹	۵۳۱/۵۷	۵۸۶/۳۰
	دیر کشت	۴۰۹	۵۲۳/۳۰	۵۷۸/۸۳	۶۴۱/۹۱

بحث

در تمام طبقات اقلیمی در سطوح احتمالاتی و تاریخ‌های مختلف کشت، بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به مرحله میانی رشد و کمترین میزان آن مربوط به مرحله انتهایی رشد است. از جمله دلایل افزایش ETc در مرحله میانی رشد، افزایش تعداد پنجه‌ها و ارتفاع گیاه، به حداکثر رسیدن پوشش سبز و افزایش تعرق در عین کاهش نسبی تبخیر است. این در حالی است که در مرحله انتهایی رشد از فعالیت گیاه کاسته شده و از سوی دیگر به علت مقارن شدن این مرحله از رشد با ماه سپتامبر و مساعد شدن شرایط آب و هوایی، نیاز خالص آبی برنج کاهش می‌یابد. در همین راستا منصوری دانشور و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که با آغاز ماه سپتامبر شدت تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد. همچنین میرلطیفی و همکاران (۱۳۹۳)، سپاسخواه و همکاران (۱۳۸۱)، پیرمرادیان و همکاران (۱۳۹۲)، شیدائیان و همکاران (۱۳۹۳)، مدیری و همکاران (۱۳۹۷)، شاهنظری و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهش‌های خود نشان دادند که میزان ETc برنج در ابتدای فصل رشد کم بوده و به‌تدریج در اواسط فصل همراه با یک افزایش نسبی است و دوباره در انتهای دوره کاهش می‌یابد. افزون‌بر تغییرات فنولوژیک که موجب افزایش تعرق می‌شود، مقارن شدن دوره میانی رشد (اواخر تیر و اوایل مرداد) با دماهای بالا به‌ویژه در شرایط کشت دیرهنگام می‌تواند موجب افزایش ETc شود. نتایج احتمالات وقوع تبخیر و تعرق واقعی گیاه برنج (ETc) در همه تاریخ‌های کشت (زودکشت، کشت به‌موقع و دیر کشت) نشان‌دهنده این است که در مناطق عمده شالیکاری غیر شمالی و در سال‌های کم تبخیر- تعرق نیاز خالص آبی نسبت به سال‌های متوسط، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق دارای اختلاف قابل‌توجهی است. این اختلافات در مناطق سرد و معتدل کمتر است، اما در مناطق گرم به‌ویژه در تاریخ کشت دیر کاشت به بیشترین میزان خود می‌رسد و به ترتیب در سال‌های نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق نسبت به سال کم تبخیر و تعرق به میزان ۱۲۵، ۲۳۷/۴ و ۴۲۴ میلی‌متر بیشتر می‌گردد. عرض جغرافیایی پایین، بالا بودن دما و ساعات آفتابی از عوامل تأثیرگذار در افزایش تبخیر و تعرق مناطق گرم به‌ویژه در دوره گرم

سال (هم‌زمان با فصل رشد برنج) است. در سال‌های اخیر تغییر کاربری اراضی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، خشک‌سالی‌های مکرر و نوسانات اقلیمی نقش قابل‌توجهی در افزایش تبخیر و تعرق این مناطق و خشکی آن داشته است. بر این اساس سیاست کشت یا عدم کشت برنج در سال‌های با تبخیر و تعرق زیاد و خیلی زیاد باید با توجه به این یافته بازنگری شود.

در تمام مناطق اقلیمی در بین تاریخ‌های مختلف کاشت، کمترین میزان تبخیر و تعرق محاسبه‌شده مربوط به تاریخ زود کاشت در سال‌های با تبخیر و تعرق کم (۷۵ درصد احتمال رخداد) بود. اتخاذ رویکرد زود کاشت می‌تواند موجب صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف آب شود به‌طوری‌که به‌ویژه در سطح ایستگاه‌های واقع در منطقه گرم در سال‌های کم تبخیر و تعرق، نرمال، پرتبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق به ترتیب به میزان ۹۵/۸، ۱۰۵/۹، ۱۱۲/۲ و ۱۲۵/۹ میلی‌متر نسبت به شرایط دیر کاشت شود (جدول ۶). ازاین‌رو رویکرد زود کاشت در همه مناطق و سناریوهای تبخیر و تعرق موجب کاهش تبخیر و تعرق می‌شود، اما تحلیل‌های سرمای دیررس بهاره (خصوصاً در اقلیم‌های سرد) در تعیین تاریخ کشت بهینه باید مد نظر قرار گیرند. در همین زمینه درزی نفت چالی و کاراندیش (۱۳۹۵) نشان دادند که جابجایی فصل کشت به زمان‌های دیرتر، آب مورد نیاز برای کشت برنج در محدوده سال‌های ۲۰۱۱-۲۱۰۰ را تا ۵۹۳ مترمکعب در هکتار افزایش داد. در مقایسه میزان تبخیر-تعرق در مناطق اقلیمی گرم، سرد و معتدل در تمام تاریخ‌های کشت و سطوح احتمالاتی نشان داد که در مقیاس کل فصل، میزان نیاز خالص آبی برنج مناطق گرم به‌طور متوسط ۴۰ درصد (۲۳۰ تا ۲۹۱ میلی‌متر) بیشتر از مناطق سرد و معتدل است. بررسی میزان نیاز خالص آبی برنج در شرایط کاشت به‌موقع نشان داد که در سال‌های کم‌تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق در مناطق سرد به‌ترتیب به میزان ۵۹۲/۵، ۶۷۵/۲، ۷۴۳/۱ و ۸۴۴/۶ میلی‌متر، در مناطق معتدل به‌ترتیب به میزان ۶۴۰/۶، ۷۴۷/۷، ۷۹۲/۱ و ۹۰۲/۱ میلی‌متر و در مناطق گرم به ترتیب به میزان ۸۱۳/۹، ۹۲۸/۶، ۱۰۳۳/۳ و ۱۲۰۷/۲ میلی‌متر است. در همین زمینه بر اساس نتایج پژوهش اسعدی اسکویی و همکاران (۱۴۰۰) مشخص شد که در مناطق شمالی در شرایط کاشت به‌موقع، نیاز خالص آبی در سال‌های کم تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق به ترتیب ۴۰۷/۸، ۵۱۲/۹، ۵۶۸/۶ و ۶۳۲/۹ میلی‌متر است که به‌مراتب بسیار کمتر از میزان تبخیر و تعرق مناطق اقلیمی سرد، معتدل و گرم است. در مناطق سرد به دلیل عرض جغرافیایی بالاتر، ارتفاع به نسبت بالاتر، دمای کم، ابرناکی و ساعت آفتابی کمتر و بالا بودن رطوبت نسبی میزان تبخیر و تعرق کم است. گرچه ایستگاه‌های واقع در منطقه سرد و معتدل در عرض‌های بالاتر قرار دارند اما به دلیل ارتفاع زیاد و جو رقیق، امکان جذب تابش در آن بیشتر بوده که این عامل سبب افزایش میزان دما و در نتیجه تبخیر و تعرق بیشتر نسبت به نواحی ساحلی شمال می‌شود. این نتیجه با یافته‌های خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۰) همانند بود. همچنین این یافته‌ها با نتایج پژوهش منصوری دانشور و همکاران (۱۳۹۱) که نشان دادند کمترین میزان شدت تبخیر و تعرق محدود به سواحل جنوبی دریای خزر، به‌خصوص سواحل جنوب‌غربی آن در استان گیلان و همچنین حاشیهٔ مرزی شمال غربی و غرب ایران تا جنوب استان کرمانشاه و پس‌ازآن نواحی زاگرس میانی و مناطق مرتفع آذربایجان که استان‌های لرستان، همدان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد و بخش‌های شمالی استان هرمزگان است، همسو است. در همین زمینه خالدیان و همکاران (۱۴۰۰) در مقایسه نیاز خالص آبی برنج در استان‌های گیلان و مازندران با استان‌های فارس و خوزستان توصیه کردند که بهتر است کشت برنج در استان‌های خوزستان و فارس به‌خصوص در سال‌های کم آب محدود شود.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه و بررسی‌های انجام‌شده، لزوم و اهمیت بررسی و برآورد مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج را بر اساس احتمالات وقوع متفاوت به‌منظور برآورد نیاز آبی در مراحل مختلف رشد، در راستای برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر، مدیریت بهینه مزرعه در سال‌های گرم و خشک (با پتانسیل تبخیر و تعرقی حداکثر) را نمایان کرد، این امر در برآورد نیاز آبی در دوره‌های فنولوژیکی حساس از اهمیت دوچندانی برخوردار است. لذا پیشنهاد می‌گردد با توجه به‌واقع شدن ایران بیشترین مساحت کشور در منطقه خشک و نیمه‌خشک و اهمیت بهره‌وری بیشتر از منابع آبی برای محصول برنج در سواحل جنوبی دریای خزر به‌ویژه در بخش غربی آن شامل استان‌های گیلان و مازندران کشت شود. همچنین نظر به اینکه کشت برنج در مناطق غیر شمالی (برخی از مناطق واقع در اقلیم‌های سرد، معتدل و گرم) به‌صورت سنتی انجام می‌شود، بهتر است که در مناطق سرد و معتدل نیز نوع مدیریت آبیاری با آب موجود با محاسبات سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق متناسب شود. ازسوی‌دیگر در مناطق سرد برای فرار از سرمازدگی دیررس بهتر است از تقویم‌های دیر کشت استفاده شود. نتایج این پژوهش لزوم و اهمیت بررسی و برآورد مقادیرتبخیر و تعرق گیاه برنج را بر اساس احتمالات وقوع متفاوت در راستای برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر، مدیریت بهینه مزرعه در سال‌های با پتانسیل تبخیر و تعرقی حداکثر را نمایان می‌سازد. همچنین با تعیین مقدار دقیق آبی که مصرف می‌شود، نقش مؤثری در برنامه‌ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر و کاهش خسارات ناشی از کم‌آبی و تعیین مناطق مناسب برای کشت برنج دارد.

فهرست منابع

۱. اسعدی اسکویی، ا.، کوزه گران، س.، یزدانی، م.، رحمانی، ا. ۱۴۰۰. تأثیر سطوح احتمالات متفاوت در برآورد نیاز خالص آبی خالص برنج در استان‌های شمالی ایران. آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۵: ۶۵۹-۶۷۱.

۲. اسعدی اسکویی، ا.، موسوی بایگی، م.، یزدانی، م.، علیزاده، ا. ۱۳۹۶. اثر عمق غرق آبی بر تلفات تبخیر از سطوح شالیزاری. پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۱: ۲۲۱-۲۳۵.

۳. امینی، ع.، نوری، هد و اصلانی سنگده، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی و سنجش پایداری زراعت برنج با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مورد مطالعه: شهرستان رضوانشهر). علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱: ۱۰۱-۱۲۶.

۴. پیرمرادیان، ن.، ذکری، ف.، رضایی، م.، عبدالهی، و. ۱۳۹۲. استخراج ضرایب گیاهی سه رقم برنج بر پایه روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع در منطقه رشت. تحقیقات غلات، ۲: ۹۵-۱۰۶.

۵. خالدیان، م.، رضایی، گ.، کاوسی کلاشمی، م.، رضایی، م. ۱۴۰۰. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های عمده تولیدکننده برنج در ایران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳: ۶۳۶-۶۴۴.

۶. خوش‌اخلاق، ف.، روشن، غ.، کرمپور، م. ۱۳۹۰. ارزیابی و اصلاح مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه برای ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۸: ۴۹-۶۸.

۷. درزی نفت‌چالی،ع و کاراندیش، ف. ۱۳۹۵. مدیریت کشت برنج در استان مازندران در شرایط تغییر اقلیم. پژوهش آب در کشاورزی، ۳: ۳۳۳-۳۴۶.

۸. دهقانی سانیج، ح.، اسعدی اسکویی، ا.، تقی زاده قصاب، ا. ۱۴۰۰. تحلیلی بر آب مصرفی بخش کشاورزی مبتنی بر تبخیر و تعرق واقعی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۶: ۱۲۵۱-۱۲۶۲.

۹. سپاسخواه، ع.، پیرمرادیان، ن.، کامکار حقیقی، ع. ۱۳۸۱. ضریب گیاهی و نیاز خالص آبی برنج در منطقه کوشک استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۳: ۱۵-۲۴.

۱۰. شاهنظری، ع.، جلالی کوتنایی، ن.، ضیاء تبار احمدی، م.، خوش‌روش، م.، رضایی، م. ۱۴۰۰. برآورد نیاز خالص آبی و ضریب گیاهی برنج رقم‌های کوهسار و هاشمی در سامانه‌های مختلف کشت. پژوهش آب در کشاورزی، ۳: ۲۳۵-۲۴۵.

۱۱. شیدائیان، م.، ضیا تبار احمدی، م.، فضل اولی، ر. ۱۳۹۳. تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن). آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۶: ۱۲۸۴-۱۲۹۷.

۱۲. فاطمی، م.، امیدوار، کمال و رحبی موورکانی، ص. ۱۴۰۰. پهنه‌بندی اقلیمی کشت برنج در شهرستان لنجان. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۲: ۶۷-۸۴.

۱۳. قمرنیا، ه.، براتی، ز.، جلیلی، ز. ۱۴۰۰. برآورد نیاز خالص آبی و ضرایب گیاهی برنج با استفاده از لایسیمتر در شرایط غیر غرقابی در اقلیم نیمه‌خشک ایران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۵: ۱۱۳۱-۱۱۴۰.

۱۴. کاراندیش، ف؛ جهانتیغ، م و دلبری، م؛ ۱۳۹۵؛ تحلیل اثرات تقویم کشت بر نیاز خالص آبی گندم در استان سیستان و بلوچستان در شرایط تغییر اقلیم؛ نشریه آبیاری و زهکشی ایران؛ ۴: ۴۹۸-۴۸۹.

۱۵. مدیری، ا.، براری تاری، د.، امیری، ا.، نیک نژاد، ی.، فلاح، ه.، خزایی، م.۱۳۹۷. ارزیابی و برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در استان‌های شمالی کشور. جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۱: ۵۶۱-۵۷۲.

۱۶. منصوری دانشور، م.، طاوسی، ت.، موقری، ع. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی شدت خشکی در ایران با استفاده از مدل تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی بر مبنای اوپوگرافی رقومی DEM. جغرافیا و پایداری محیط، ۴: ۹۵-۱۱۰.

۱۷. میرلطیفی، م.، مدبری، ه.، غلامی، م. ۱۳۹۳. تعیین تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی ارقام هاشمی و خزر برنج در دشت مرداب (گیلان). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک، ۶۷: ۹۵-۱۰۶.

۱۸. موسوی بایگی، م.، اسعدی اسکویی، ا.، یزدانی، م.، علیزاده، ا.، زهد قدسی، م. ۱۳۹۶. اثر عمق غرقابی بر دمای آب‌وخاک در شالیزار (مطالعه موردی: رشت). هواشناسی کشاورزی، ۱: ۴۸-۵۶.

19. Arouna, A., Fatognon, I., Saito, K., Futakuchi, K. 2021. Moving toward rice self-sufficiency in sub-Saharan Africa by 2030: Lessons learned from 10 years of the coalition for African rice development. World Development Perspectives, 21: 1-15.
20. AsadiOskouei, E., Delsouz Khaki, B., Lopez-Baeza, E. Kouzegaran, S., Navidi, M.N., Haghighat, M., Davatgar, N., Lopez-Baeza, E. 2022. Mapping climate zones of Iran using hybrid interpolation methods. Remote Sens, 14: 1-21.
21. Gaydon, D.S; Singh, B;Wang, E; Poulton, P.L; Ahmad, B; Ahmed, F; Akhter, S; Ali, I; Amarasingha, R; Chaki, A.K; Chen, C; Choudhury, B.U; Darai, R; Das, A; Hochman, Z; Horan, H; Hosang, E.Y; Vijaya Kumar, P; Khan, A.S.M.M.R; Laing, A.M; Liu,L; Malaviachichi, M.A.P.W.K; Mohapatra,K.P; Muttaleb,M.A; Power,B; Radanielson,M.A; Rai,G.S; Rashid,M.H; Rathanayake, W.M.U.K; Sarker, M.M.R; Sena,D.R; Shamim,M; Subash,N; Suriadi,A; Suriyagoda, L.D.B; Wang,G; Wang,J; Yadav, R.K; Roth, C.H;2017, Evaluation of the APSIM model in cropping systems of Asia, Field Crops Research,204: 52–75.
22. Li Liu, D; Zeleke. K; Wang.B; Macadam.I; Scott.F; Martin.R; 2017; Crop residue incorporation can mitigate negative climate change impacts on crop yield and improve water use efficiency in a semiarid environment; Europ. J. Agronomy; 85: 51–68.
23. Saville,D.J ., 1990. Multiple Comparison Procedures: The practical solution. The American Statistician, 44(2): 174-180.
24. Shrestha, S., Chapagain, R., Babel, M. 2017. Quantifying the impact of climate change on crop yield and water footprint of rice in the Nam Oon Irrigation Project, Thailand. Science the Total Environment, 599-600: 689-699.

25. Silva, F; Azevedo, C. 2016. Comparison of means of agricultural experimentation data through different tests using the software Assistat. African Journal of Agricultural Research, 11(37): 3527-3531.
26. Swallow, W. 1984. Those overworked and oft-misused mean separation procedures Duncan, LSD, etc. Plant Disease, 68(10): 919-921.
27. Zhao-fei, L., Zhi-jun, Y., Cheng, Y., Zhi-ming, ZH. 2013. Assessing crop water demand and deficit for the growth of spring highland barley in Tibet, China. Journal of Integrative agriculture, 12: 541-551.

Investigating the Probability of Occurrence of Evapotranspiration in Different Climates and Planting Dates of Rice in Non-Northern Regions of Iran

M. R. Yazdani, H. Sadeghi, E. Asadi Oskouei*, S. Kouzegaran, and B. Delsouz Khaki

Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran. **smryazdany@yahoo.ca**

PhD in climatology. Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran. **hadis.sadeghi@ut.ac.ir**

Assistant Prof., Climatological Research Institute, ASMERC, Mashhad, Iran. **e.asadi.o@gmail.com**

Ph.D. in Agrometeorology, Applied Meteorological Research Center, Mashhad, Iran. **saeedeh.kouzegaran@mail.um.ac.ir**

Received: December 2022 and Accepted: June 2023

Abstract

Changes in evapotranspiration values of rice plants in non-northern regions of the country were estimated for three different planting dates (early, on time and late planting) and with four different probabilities of 75%, 50%, 25%, and 10% (years with low, medium, high, and very high evapotranspiration, respectively), using the Penman-Monteith Equation and meteorological data of 15 stations with a statistical period of 30 years (1990-2020). The crop coefficient of rice in different stages of growth were calculated as an average in 10-day periods based on the Weibull Model. The results showed that, in all non-northern climatic regions, adopting an early planting strategy leads to a reduction in water requirement in all evapotranspiration scenarios. Adopting early planting strategy in years with very high evapotranspiration reduces the water requirement of rice in hot, cold and temperate regions by 125.9, 113.5, and 115 mm, respectively, during the growing season (on average 0.7 to 9. 0 mm per day) compared to late planting. However, in cold and temperate climates, there was no big difference between early planting and timely planting and even late planting. So, it is better to use late planting to avoid the possibility of late frosts. Comparison of the results of evapotranspiration rate of rice plant in all planting dates and different probability levels in cold, moderate, hot and very hot climate regions showed that the highest evapotranspiration rate is related to the hot region at the rate of 1021, and moderate and cold regions have much lower evapotranspiration rate than hot regions with evaporation rates of 784.8 and 729 mm, respectively. Therefore, considering the lack of water resources and the negative effects of climate change in arid or semi-arid regions such as Iran, it is better to avoid rice cultivation in hot regions, especially in years with high evapotranspiration. Also, it is better that in cold and temperate regions, the type of irrigation management and the design of structures and water systems should be adapted to the calculations of years with high evapotranspiration.

Keywords: Weibull Model, Crop coefficient of rice, Net water requirement

* - Corresponding author's email: e.asadi.o@gmail.com