نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۵، آذر – دی ۱۴۰۰، ص. ۶۷۱-۶۵۹

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 5, Dec.-Jan. 2021, p. 659-671

مقاله پژوهشی

تأثیر سطوح احتمالات متفاوت در برآورد نیاز آبی خالص برنج در استان‌های شمالی ایران

ابراهیم اسعدی اسکویی[1*]- سعیده کوزه‌گران[2]- محمدرضا یزدانی[3]- اصغر رحمانی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۳۰

چکیده

ارزیابی صحیح نوسانات تبخیروتعرق در سناریوهای مختلف هواشناسی نقش مهمی در مدیریت بهینه منابع آب دارد. تحلیل‌های احتمالاتی با احتمال وقوع متفاوت می‌توانند باعث افزایش انعطاف‌پذیری در تصمیم گیری و بالا بردن ضریب اطمینان تصمیمات گردد. به این منظور، تغییرات مقادیر تبخیروتعرق گیاه برنج در سه تاریخ کشت متفاوت و با چهار احتمال وقوع متفاوت ۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۱۰ درصد، با استفاده از معادله فائو پنمن مانتیث و داده‌های هواشناسی ۱۰ ایستگاه با دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۰) محاسبه گردید. همچنین احتساب ضریب گیاهی برنج در مراحل مختلف رشد، در دوره‌های ۱۰ روزه به صورت میانگین بر اساس مدل ویبول برآورد و محاسبه شد. این احتمالات معرّف حدود احتمالی مقادیر مورد انتظار تبخیروتعرق در سناریوهای مختلف سال‌های تبخیروتعرق کم، متوسط، پرتبخیروتعرق و بسیار پر تبخیروتعرق می‌باشد. نتایج نشان داد، در تاریخ‌های کشت مختلف برنج در مناطق عمده برنجکاری گیلان و مازندران در سال‌های متوسط تا بسیار پر تبخیروتعرق از ابتدای دوره رشد تا مرحله پایانی اختلاف نسبتاً ثابتی با حدود ۱ تا ۲ میلی‌متر در روز بسته به منطقه در طول کل فصل مشاهده می‌شود. در مناطق عمده شالیکاری و در سال‌های کم تبخیروتعرق نیاز آبی نسبت به سال‌های متوسط، پر تبخیر تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق دارای اختلاف قابل‌توجهی است که از شرق به غرب کاهش می‌یابد به طوری‌که در استان گلستان با اختلاف تقریبی ۳۰ درصد بیش از سایر مناطق به حداکثر می‌رسد. در وضعیت زودکاشت نسبت به وضعیت دیرکاشت در عمده مناطق غربی و مرکزی سواحل کاهش ۱۰ درصدی مصرف آب دیده می‌شود. در مقیاس کل فصل رشد در گرگان، تبخیروتعرق در وضعیت‌های مختلف تاریخ کشت بطور متوسط ۲۰ درصد (۱۳۰۰ متر مکعب) بیشتر از عمده مناطق گیلان و مازندران می‌باشد. در وضعیت کاشت به موقع، نیاز خالص آبیاری سال‌های با تبخیروتعرق بسیار زیاد نسبت به سال‌های متوسط در حدود ۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار بیشتر است. در سال‌های با تبخیروتعرق بسیار زیاد اتخاذ دیر کاشت موجب افزایش بیش از ۲۱۰ میلی‌متر در نیاز خالص آبیاری شود. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید در صورت وجود پیش‌بینی‌های اقلیمی دال بر گرم بودن فصل برنجکاری بهتر است که نوع مدیریت آبیاری با آب موجود با محاسبات سال‌های پر تبخیر و تعرق متناسب شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، تحلیل‌های احتمالاتی، گیاه برنج، نیاز آبی

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی دنیا است. با وجود این که برنج در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی و جغرافیایی مورد کشت و کار قرار می‌گیرد، ولی نسبت به تغییرات شرایط محیطی آسیب‌پذیر می‌باشد. وضعیت رشدی و فنولوژیکی گیاه برنج ویژگی‌های اقلیمی موثر بر عملکرد آن با توجه به عوامل محیطی موجود جهت کاهش اتلاف انرژی امری اجتناب‌ناپذیر است. مدیریت کاشت و طراحی سامانه‌های آبیاری و دور آبیاری مناسب جهت تولید بهینه در هر رقم برنج، از عوامل اصلی و تأثیرگذار در تولید پایدار است. عوامل مؤثر بر انتخاب سطح احتمال وقوع و دور آبیاری شامل نوع گیاه، بافت خاک، ریسک‌پذیری زارع و نوع سامانه آبیاری هستند (۱۰). مقدار آب مورد نیاز برنج به‌طور مستقیم به میزان رطوبت تبخیر شده از طریق برگ‌ها و خاک وابسته

۱- استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول : Email: e.asadi.o@gmail.com)
۲- دکترای هواشناسی کشاورزی، گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی مشهد، ایران
۳- استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۴- دانشجوی دکتری خاک‌شناسی، دانشگاه تهران، ایران
DOI: 10.22067/JSW.2021.71370.1064

بوده و بر اساس دوره فنولوژیکی و رقم مورد استفاده تغییر می‌کند. مقدار آب مورد نیاز کشت گیاه برنج به نوع رقم، روش کاشت، ابعاد کرت، تراکم بوته، مقدار مصرف مواد غذایی، بافت خاک، شرایط زهکشی، اقلیمی و اکولوژیکی بستگی دارد (۲). ارقام زودرس برنج در مقایسه با ارقام دیررس به آب کمتری جهت رشدنمو نیاز دارند. اگر در مراحل فنولوژیکی حساس مثل خوشه‌دهی و گلدهی رطوبت کافی در اختیار گیاه قرار نگیرد، عمل تلقیح به خوبی انجام نشده و سبب کاهش عملکرد محصول برنج می‌شود. برای طراحی سامانه‌های آبیاری، توصیه شده است از مقادیر میانگین ETc روزانه برای دوره حداکثر نیاز آبی و احتمال وقوع مناسب استفاده شود (۸). در این حالت از بروز تنش آبی در گیاه تحت آبیاری به دلیل عدم توانایی سامانه آبیاری در تأمین نیاز آبی گیاه جلوگیری خواهد کرد.

به اعتقاد یو و همکاران (۱۷) مهمترین بخش طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های تأمین‌کننده آب مورد نیاز کشاورزی تخمین نیاز آبی گیاه می‌باشد. برنامه‌ریزی‌های مدیریتی که در رابطه با محصولات مختلف صورت می‌گیرد، به درک درستی از اقلیم منطقه به‌خصوص بارندگی، مقدار تبخیر و دمای هوا بستگی دارد (۷). پایه و اساس برنامه‌ریزی آبیاری و طراحی ظرفیت سامانه‌های آبیاری نیز تبخیروتعرق می‌باشد (۹). مقادیر تبخیروتعرق پتانسیل گیاه (ETc) از حاصل‌ضرب ضریب گیاهی (Kc) در تبخیروتعرق گیاه مرجع (ETo) به‌دست می‌آید (۱). محققان متعددی در این زمینه مطالعاتی انجام داده‌اند. رایت و همکاران (۱۶)، نیکسون و همکاران (۱۲) و پرویت و همکاران (۱۳) در منطقه کالیفرنیا، کواستال و کیمبرلی مطالعه‌ای را برای تعیین تاریخ زمان حداکثر تبخیروتعرق مرجع با طول دوره‌های مختلف مانند ۱ تا ۳۰ روزه با کمک منحنی‌های توزیع ETo روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت انجام دادند. جنسن و همکاران (۶) برای گیاهان دارای توسعه ریشه کم، جهت برنامه‌ریزی آبیاری و طراحی سیستم‌های آبیاری، استفاده از منحنی‌های ETo روزانه با سطح احتمال وقوع ۸۰٪ یا ۹۰٪ را پیشنهاد نمودند. نیکبخت و میرلطیفی (۱۱) نیز تاثیر روش محاسبه ETo، احتمال وقوع و طول دوره حداکثر مصرف آب بر تبخیروتعرق پتانسیل گیاه مرجع در تهران را در سطوح احتمال وقوع متفاوت در یک دوره ۳۰ ساله استخراج کردند. مطالعه نیکبخت و همکاران (۱۱) که در مراغه انجام شده است نشان می‌دهد اختلاف قابل ملاحظه در مقادیر میانگین ET_C روزانه با سطح احتمال وقوع‌های متفاوت وجود دارد که این حالت تاثیر قابل توجهی در مقادیر ظرفیت سامانه‌های آبیاری می‌گذارد. بنابراین در صورت استفاده از مقادیر میانگین ET_C روزانه برای دوره‌های ۱۰ روزه حداکثر نیاز آبی و در سطح احتمالاتی ۲۱ تا ۵۰ درصد کمتر از مقدار مورد نیاز گیاه (در دوره حداکثر نیاز آبی) آب تحویل می‌گردد. بررسی روند تغییرات منحنی‌های فراوانی وقوع تبخیروتعرق در استان گلستان نیز نشان داده است که با افزایش احتمال، میزان تبخیروتعرق افزایش یافته و نقطه اوج ETo و ETc در اقلیم نیمه معتدل زودتر از اقلیم خشک تا نیمه خشک اتفاق خواهد افتاد (۱۵).

برای تخمین نیاز آبی مطالعه‌ای در کره جنوبی، یو و همکاران (۱۷) با استفاده از معادله فائو-پنمن-مانتیث (FPM)، پس از بررسی نُه توزیع احتمال مختلف، تابع لجستیک تعمیم یافته را به‌عنوان تابع توزیع بهینه انتخاب نمودند. حیدری و همکاران (۴) در منطقه همدان تاثیر روش محاسبه، طول دوره حداکثر نیاز آبی و سطوح احتمال در برآورد بهینه آب مورد نیاز گیاه گندم را بررسی نمودند. نتایج اولیه آن‌ها نشان داده است در صورتی که طراحی سیستم آبیاری بر اساس میانگین ETc گندم (طول دوره ۷ روزه) با احتمال وقوع ۵۰ درصد و با ۵ روش مختلف صورت پذیرد، ظرفیت سیستم جهت تأمین آب کمتر از حالتی خواهد بود که احتمال وقوع ۷۵ درصد اِعمال شده است. از سوی دیگر، با افزایش دوره‌های حداکثر نیاز آبی، مقدار میانگین نیاز آبی روزانه کاهش می‌یابد. بنابراین برای یک دوره خاص با افزایش سطح احتمالاتی، میزان میانگین نیاز آبی روزانه گیاه نیز افزایش پیدا می‌کند. در روش آبیاری غرقابی در اراضی شالیزاری، تبخیر آب از سطح خاک یکی از اجزای تلفات آب محسوب می‌گردد. با توجه به اینکه دمای محیط ریشه در فرآیندهای تبخیروتعرق و رشد و توسعه گیاه و در نهایت نیاز آبی گیاه نقش بسزایی دارد، مطالعه اثر عمق آبگذاری بر دمای آب و خاک در شالیزار و اثر آن بر سطوح تبخیروتعرق در شالیزار توسط اسعدی اسکویی و همکاران (۳) انجام شده است. نتایج نشان داد که دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متر با اختلاف معنی‌داری بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متری بوده است. اختلاف در اندازه‌گیری‌های صبح کمتر و در عصر بیشتر است و سه روند تغییرات تقریبی کاهش، افزایش و مجددا کاهش دما نسبت به عمق آبگذاری قابل مشاهده است و این نوسانات اثر مستقیم بر تغییرات میزان تبخیر و تعرق در شالیزار دارد.

در منطقه ارومیه مهدی‌زاده و همکاران (۸) نیز با استفاده از داده‌های ۲۴ ساله اقلیمی تبخیروتعرق مرجع با دو روش فائو-پنمن-مونتیث (FPM) و هارگریوز-سامانی (HS) را محاسبه کرده و منحنی‌های توزیع روزانه تبخیروتعرق با سطوح احتمال وقوع مختلف را استخراج کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که اختلاف بین مقادیر حداکثر ETo روزانه با روش FPM با سطوح احتمالاتی ۷۵ و ۹۰ درصد به ترتیب ۱/۰ و ۱/۹ میلی‌متر در روز (معادل ۱۳ و ۲۴ درصد) و برای روش HS به‌ترتیب ۰/۵ و ۰/۹میلی‌متر در روز (معادل ۸ و ۱۵ درصد) خواهد بود. بنابراین بر اساس سطح احتمال این اختلاف تغییر خواهد کرد. در منطقه تبریز با هدف مقایسه نیاز آبیاری گندم پاییزه توسط توابع توزیع احتمال مختلف با مقادیر محاسبه شده توسط برنامه NETWAT نیز شریفی بناب و همکاران (۱۴) مطالعه‌ای انجام دادند و مشخص کردند نتایج

بـه دسـت آمـده بـا مـدل NETWAT متفـاوت بـوده و بایـد در پـژوهش‌هـای مختلـف، اسـتفاده از روش ارائه شده در این تحقیق به منظور تخمین دقیق‌تر نیاز آبیاری گیاه (در سطوح احتمالاتی مختلـف) به‌ویژه برای شرایط بحرانی (تبخیروتعرق زیـاد و بارنـدگی کـم) و یـا برای گیاهان حساس به تنش آبی (در سطح احتمـال ۸۰ درصـد و یـا بالاتر) استفاده شود. در مطالعه توسط اسعدی اسکویی و همکاران (۲) اثر عمق آبگذاری بر تلفات تبخیر از سـطوح شـالیزار بررسـی شـده و مشخص گردیده است که عمق‌های مختلـف غرقـابی در سـطح پـنج درصد با یکدیگر تفاوت معنـی‌دار دارنـد، بـه طـوری کـه بیشـترین و کمترین مقدار تبخیر به ترتیب مربوط به تیمار ۵ و ۱۰ سانتی‌متر بوده و در همه تیمارها با گذشت زمـان از ابتـدای دوره، تبخیـر در شـالیزار کاهش می‌یابد.

تحلیل‌های احتمالاتی با احتمـال وقـوع متفـاوت ضـمن افـزایش انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری‌ها، می‌تواند ضریب اطمینان تصمیمات را نیز بالا ببرد. هدف از این پژوهش برآورد مقادیر تبخیروتعـرق گیـاه برنج در تاریخ کشت‌های مختلف با احتمالات وقوع متفاوت به منظـور برآورد نیاز آبی از مرحله اول رشد تا مرحله پایانی برنج بوده اسـت تـا بتوان از این طریق برنامه‌ریزی‌های مدیریتی بهینه و با کارایی بـالاتر در شبکه آبیاری را مورد توصیه و استفاده قرار داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه خطه شمالی ایران را در برمی‌گیرد که شـامل، استان‌های گیلان، مازندران و گلستان مـی‌باشـد کـه منـاطق اصـلی برنجکاری در ایران محسوب می شوند. مساحت منطقه مـورد مطالعـه بـــالغ بـــر ۵۸۰۱۶۷ کیلومترمربـــع اســـت کـــه در محـــدوده جغرافیـایی $^{\circ}$۴۸,۵۰۸۹۱۶ تـا $^{\circ}$۵۶,۲۳۵۰۱۱ شـرقی و $^{\circ}$۳۶,۹۱۴۵۷۲ تـا $^{\circ}$۳۷,۹۵۹۷۵۳ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).

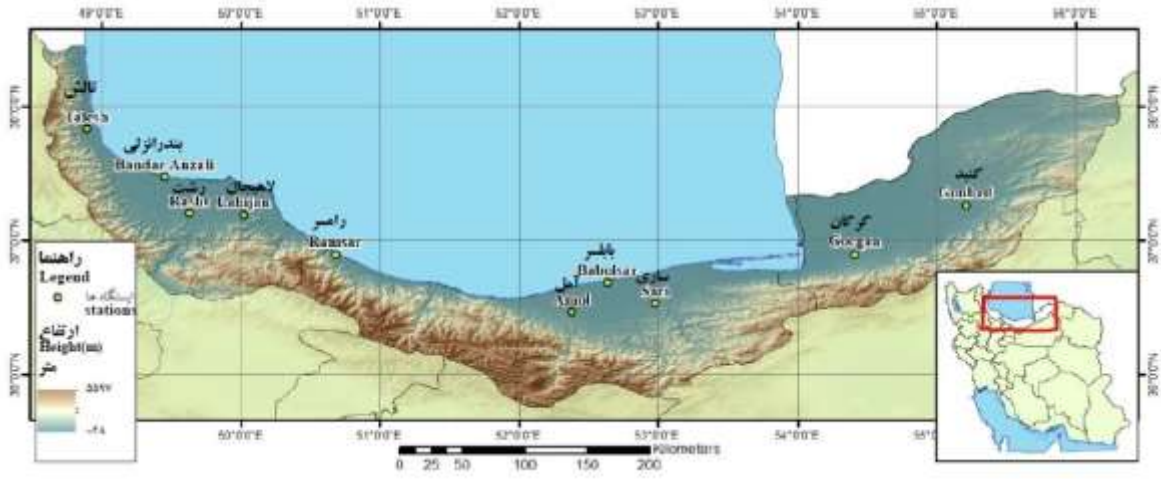
در این تحقیق فراسنج هواشناسی روزانـه مـورد نیـاز بـرای دوره آماری ۲۰۲۰- ۱۹۹۰ از سازمان هواشناسـی تهیـه شـده و اطلاعـات مراحل فنولوژیکی برنج (تعداد روزهـای تکمیـل مراحـل چهارگانـه) و کشاورزی (ضرایب kc) نیز از موسسه تحقیقات برنج کشور (گزارشات منتشر نشده در سال‌های اخیر دریافت گردید (جدول ۲).

به منظور بررسی تغییرات مقادیر تبخیروتعرق گیاه برنج با استفاده از داده‌های هواشناسی در سه تاریخ کشت متفاوت و با چهـار احتمـال وقـوع متفـاوت ۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۱۰ درصـد، بـا اسـتفاده از داده‌هـای هواشناسی محاسبه و برآورد گردید. این احتمالات معرف سال‌های کم تبخیر، متوسط، پرتبخیر و بسیار پر تبخیر می‌باشـد بـه عبـارت دیگـر اعداد برآورد شده در این پژوهش نشان دهنده حدود احتمـالی مقـادیر مورد انتظار تبخیر و تعرق در سناریوهای مختلف کم تا بسیار پر تبخیر می‌باشد.

در این پژوهش آمار روزانه تبخیروتعرق گیاه بـا توجـه بـه میـزان تبخیروتعرق پتانسیل برآوردی از معادله فائو پنمن مانتیث و با احتساب ضریب گیاهی برنج در مراحل مختلـف رشـد بـا اسـتعلام از موسسـه تحقیقات برنج کشور، و بر اساس تحقیق (رضوی پور، یزدانـی ۱۳۷۹) در دوره آماری ۳۰ ساله برآورد گردید.

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

$$ET_{crop} = \sum_{i=1}^{n} kc_i \times ET_{0i}$$



شکل ۱- منطقه جغرافیایی استان‌های شمالی به همراه موقعیت ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه

Figure 1- Geographical location of the study area

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Table 1- Geographical location of meteorological stations in study

ردیف Row	ایستگاه Station	ارتفاع از سطح دریا Height	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude
1	بندر انزلی Bandar Anzali	-23.6	37.47°	49.45°
2	رشت Rasht	24.9	37.2°	49.63°
3	لاهیجان Lahijan	34.2	37.19°	50.02°
4	آمل Amol	23.7	36.47°	52.38°
5	بابلسر Babolsar	-21	36.69°	52.64°
6	گنبد Gonbad	1103.4	37.26°	55.21°
7	گرگان Gorgan	0	36.90°	54.41°
8	رامسر Ramsar	-20	36.90°	50.68°
9	ساری Sari	23	36.53°	52.98°
10	تالش Talesh	7	37.83°	48.89°

که در آن‌ها ETo تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن ($mm.d^{-1}$)، Rn تابش خالص در سطح تبخیر و تعرق ($MJ.d^{-1}m^{-2}$)، G شار حرارتی خاک ($MJ.d^{-1}m^{-2}$)، T میانگین دمای هوا (°C)، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، e_a فشار بخار واقعی (kPa)، (e_s- e_a) کمبود فشار بخار اشباع، Δ شیب منحنی فشار بخار در مقابل درجه حرارت، (kPa °C^{-1})، γ ثابت سایکرومتریک (kPa °C^{-1})، U_2 باد در ارتفاع ۲ متری ($m.s^{-1}$)، ضریب تشت (بدون بعد) است.

داده‌های تبخیر و تعرق در دوره آماری ۳۰ ساله بدون توجه به سال وقوع به‌ترتیب صعودی ردیف گردید. سپس، احتمال وقوع در دوره‌های ۱۰ روزه به صورت میانگین بر اساس فرمول ویبول برآورد گردید:

معادله (۲)
$$P = \frac{m}{n+1}$$

در این معادله P، احتمال وقوع، m شماره ردیف و n تعداد داده‌ها (ردیف) می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج نیاز آبی برآوردی محصول برنج استان‌های شمالی در سطوح احتمالات و تاریخ‌های کشت متفاوت

در بررسی تبخیروتعرق منطقه به طور کلی مناطق گیلان و غرب مازندران دارای کمترین مقدار تبخیر و تعرق در طول دوره رشد هستند و پس از آن در جهت غرب به شرق بر میزان تبخیروتعرق افزوده می‌گردد. کمترین و بیشترین میزان تبخیروتعرق محاسبه شده به‌ترتیب مربوط به وضعیت زودکاشت در سال‌های با تبخیروتعرق کم (۷۵ درصد احتمال رخداد) به میزان ۳۸۳۹ میلی‌متر در تالش (جدول ۳) و وضعیت دیرکاشت در سال‌های بسیار تبخیروتعرق (۱۰ درصد احتمال رخداد) و بالغ بر ۸۶۵۲ در گنبد کاووس است. در احتمالات وقوع مشابه در تمام مراحل رشد و در تمام ایستگاه‌ها میزان تبخیروتعرق در زود کاشت کمتر از بهینه کاشت (میانگین ۳ درصد) و به مراتب کمتر از دیرکاشت (میانگین ۱۰ درصد) است. بنابراین به طور کلی اتخاذ زودکاشت موجب کاهش مصرف آب می‌گردد. به صورت میانگین مستقل از تاریخ کشت، در سال‌های بسیار پر تبخیروتعرق حدود ۱۰ درصد نسبت به سال‌های متوسط افزایش می‌یابد که این که با توجه به میزان تبخیروتعرق در مناطق شرقی سواحل دریای خزر می‌تواند به بیش از ۲۱۳۷ متر مکعب در هکتار برسد و بنابراین به نظر می‌رسد در صورت وجود پیش‌بینی‌های اقلیمی دال بر گرم بودن فصل برنجکاری بهتر است از کشت برنج در این مناطق اجتناب شود. با این حال، در صورت کاشت برنج در چنین شرایطی اتخاذ استراتژی زودکاشت در این مناطق می‌تواند تا ۸۰۰ متر مکعب در هکتار از نیاز آبیاری بکاهد.

جدول ۲- ضرایب گیاهی و طول دوره رشد گیاه برنج (رقم میان رس)

Table 2- Kc and growing season

ایستگاه Station	مرحله استقرار (ضریب گیاهی: ۰,۸۵) Initial stage Kc:0.85			مرحله توسعه گیاه (ضریب گیاهی: ۱,۱) Vegetative stage Kc: 1.1			مرحله میانی رشد (ضریب گیاهی: ۱,۳) Reproductive stage Kc: 1.3			مرحله پایانی رشد (ضریب گیاهی: ۱,۱) Ripening stage Kc: 1.1			کل فصل رشد (بدون انتساب دوره خزانه) Whole growing season		
	زود کاشت Early cultivated	به‌موقع کشت On time cultivated	دیر کشت Late cultivated	زود کاشت Early cultivated	به‌موقع کشت On time cultivated	دیر کشت Late cultivated	زود کاشت Early cultivated	به‌موقع کشت On time cultivated	دیر کشت Late cultivated	زود کاشت Early cultivated	به‌موقع کشت On time cultivated	دیر کشت Late cultivated	زود کاشت Early cultivated	به‌موقع کشت On time cultivated	دیر کشت Late cultivated
رشت Rasht	9	7	6	34	32	30	44	43	42	11	11	9	98	93	87
بندرانزلی Bandar-Anzali	9	7	6	34	32	30	44	43	42	11	11	9	98	93	87
لاهیجان Lahijan	10	7	6	35	33	31	44	43	42	11	11	9	99	94	88
تالش Talesh	10	8	7	35	33	31	45	44	43	11	11	9	101	96	90
آمل Amol	9	7	6	32	30	28	44	43	42	10	10	8	95	90	84
بابلسر Babolsar	9	7	6	31	29	27	44	43	42	10	10	8	94	89	83
ساری Sari	9	7	6	32	30	28	44	43	42	10	10	8	95	90	84
گرگان Gorgan	9	7	6	35	33	31	45	44	43	10	10	8	99	94	88
گنبد کاووس Gonbad Kavous	9	7	6	35	33	31	44	43	42	10	10	8	98	93	87

به دلیل تعدد ایستگاه‌ها و حجم جداول و نمودارها در ادامه سه ایستگاه رشت، آمل و گرگان به عنوان معرف مناطق عمده برنجکاری در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان مورد بررسی قرار می‌گیرند.

ایستگاه رشت

به‌طور کلی، در تاریخ‌های کشت مختلف برنج در ایستگاه رشت و در طول فصل اختلاف نسبتاً ثابتی در مقادیر تبخیروتعرق دهه‌ای در سناریوهای متوسط تا بسیار پر تبخیروتعرق (در حدود ۵ میلی‌متر در هر دهه) مشاهده می‌شود. نتایج احتمالات وقوع تبخیروتعرق گیاه برنج (ETc) در سه تاریخ کشت مختلف (زودکشت، به‌موقع و دیرکشت) نشان‌دهنده این است که در سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد (کم تبخیروتعرق) نیاز آبی نسبت به احتمالات وقوع ۵۰، ۲۵ و ۱۰ (سال‌های متوسط متوسط، پر تبخیروتعرق و بسیار پرتبخیروتعرق) درصد دارای اختلاف قابل‌توجهی (بین ۳۰ تا ۴۰ درصد) است. لذا توصیه می‌گردد از این سطح احتمال در برآورد نیاز آبی گیاه، طراحی سامانه‌های آبرسانی و برنامه‌ریزی درازمدت خودداری گردد به عنوان مثال طراحی سیستم آبرسانی با این سطح احتمال موجب کاهش ظرفیت آبرسانی می‌شود.

نکته قابل توجه در استفاده از این اطلاعات این است که این مقادیر، مقادیر ناز خالص هستند و در هنگام استفاده از نیاز ناخالص باید توجه داشت که مواردی چون نفوذ عمقی و جانبی، و رواناب با طولانی شدن فصل کشت زیاد می‌شود و این مقدار اضافه ممکن است بیش از تفاوت تبخیر و تعرق باشد.

جدول ۳- برآورد نیاز آبی گیاه برنج (رقم میان رس) کل فصل در تاریخ‌های کشت و احتمال وقوع متفاوت

Table 3- Estimation of water requirements of rice in different sowing date and probabilities

تاریخ کاشت Sowing date	سناریوهای تبخیر و تعرق ET scenarios	نیاز آبی کل فصل شهرستان (میلی‌متر) Water requirement in whole growing season (mm)								
		گنبد کاووس Gonbad Kavous	گرگان Gorgan	ساری Sari	بابلسر Babolsar	آمل Amol	لاهیجان Lahijan	رشت Rasht	بندرانزلی Bandar-Anzali	تالش Talesh
زودکشت (۲۰-۳۱ فروردین) Early cultivated	کم تبخیر و تعرق Low ET amount	513.8	448.0	352.8	407.7	332.7	381.4	331.0	391.6	383.9
	متوسط Normal ET amount	624.3	583.7	493.0	496.9	458.6	449.3	464.1	484.9	434.3
	پر تبخیر و تعرق High Et amount	691.4	675.8	551.7	536.8	519.0	499.7	515.3	533.1	476.7
	بسیار پر تبخیر و تعرق Very high ET amount	784.9	788.4	602.2	577.8	572.4	574.4	564.4	590.7	555.5
به موقع کشت (15-25 اردیبهشت) On time cultivated	کم تبخیر و تعرق Low ET amount	537.1	466.2	368.7	421.2	347.6	387.5	333.8	405.8	403.1
	متوسط Normal ET amount	641.4	598.8	506.9	510.2	470.3	458.2	472.9	502.9	454.6
	پر تبخیر و تعرق High Et amount	705.0	692.0	560.5	548.3	529.6	510.9	524.8	550.0	496.9
	بسیار پر تبخیر و تعرق Very high ET amount	795.7	796.9	605.4	585.8	578.9	587.2	568.6	605.5	572.7
دیرکشت (1-10 خرداد) Late cultivated	کم تبخیر و تعرق Low ET amount	588.9	513.2	400.4	456.1	383.6	409.1	349.3	431.5	433.0
	متوسط Normal ET amount	698.6	655.0	548.2	558.8	514.0	492.5	505.3	549.6	494.7
	پر تبخیر و تعرق High Et amount	768.8	758.4	609.2	600.7	580.1	549.8	568.0	602.3	541.7
	بسیار پر تبخیر و تعرق Very high ET amount	865.2	868.7	662.3	644.5	635.8	639.7	619.0	664.3	627.8

در تاریخ کاشت به‌موقع، زودکاشت و دیرکشت نیاز آبی مرحله اولیه رشد به‌ترتیب از ۲/۵ تا ۴، ۱/۵ تا ۳/۵ و ۳/۵ تا ۵/۵ میلی‌متر در روز در دوره از ۱۰ روزه در سال‌های متوسط تا بسیار پرتبخیروتعرق تغییرپذیری نشان می‌دهد. این اختلاف در دوره پایانی برای تاریخ‌های زودکشت، موقع‌کشت و دیرکشت به ترتیب از ۳/۶ تا ۵/۹، ۲/۴ تا ۵/۱ و ۲/۰ تا ۴/۳ میلی‌متر می‌باشد و کاشت از زود به دیرکاشت باعث

افزایش مصرف در دوره ابتدایی و کاهش مصرف در دوره انتهایی می‌گردد. در دو وضعیت دیرکشت و زودکشت، اختلاف یکسانی در سطوح احتمالات در مرحله اولیه رشد مشاهده می‌گردد. با این وجود، میزان میانگین تبخیروتعرق واقعی روزانه در دوره ۱۰ روزه در تاریخ دیرکشت دارای مقادیر متناظر بالاتری نسبت به تاریخ زودکشت است، ولی برخلاف این دو تاریخ کاشت در کشت به‌موقع میزان اختلاف ناچیز ۰/۲ میلی‌متر در روز در دوره ۱۰ روزه در سال‌های متوسط و پرتبخیروتعرق در مرحله اولیه رشد مشاهده می‌گردد. مقادیر حداکثر میانگین نیاز آبی روزانه در دوره ۱۰ روزه در تاریخ‌های کشت مختلف در سالهای متوسط تا بسیار پر تبخیروتعرق تقریباً یکسان و حدود یک میلی‌متر است. به عبارت دیگر در شرایط به موقع کاشت، سال‌های پرتبخیر نیاز آبی شالیزار (۵۲۴٫۸ میلی‌متر) به میزان ۵۱۹ متر مکعب در هکتار بیش از سال‌های متوسط می‌باشد. این اختلاف برای سال‌های بسیار پر تبخیروتعرق (۵۶۸٫۲ میلی‌متر) و سال‌های متوسط به ۹۵۷ متر مکعب در هکتار می‌رسد. در مقایسه تاریخ‌های مختلف کاشت کمترین اختلاف بین سال‌های متوسط و سال‌های بسیار پرتبخیروتعرق در وضعیت زودکاشت (۱۰۰۳ متر مکعب در هکتار) و بیشترین اختلاف در وضعیت دیرکاشت (۱۱۳۷ متر مکعب در هکتار) مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، اتخاذ استراتژی زودکاشت در سال‌های بسیار پرتبخیروتعرق موجب کاهش ۵۴۵ متر مکعبی در هکتار می‌شود (جدول ۴، شکل ۲).

ایستگاه آمل

در ایستگاه آمل به عنوان معرف مناطق عمده برنجکاری در غرب و مرکز مازندران، به‌طور کلی، در تاریخ‌های کشت مختلف برنج و در طول فصل اختلاف نسبتاً ثابتی در مقادیر تبخیروتعرق دهه‌ای در سناریوهای متوسط تا بسیار پر تبخیروتعرق (در حدود ۱۳ تا ۱۰ میلی‌متر در هر دهه) مشاهده می‌شود. نتایج احتمالات وقوع تبخیروتعرق گیاه برنج (ETc) در سه تاریخ کشت مختلف نشان‌دهنده این است که در سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد (کم تبخیروتعرق) نیاز آبی نسبت به احتمالات وقوع ۵۰، ۲۵ و ۱۰ (سال‌های متوسط، پر تبخیروتعرق و بسیار پرتبخیروتعرق) درصد دارای اختلاف ۴۰ درصدی است. نیاز آبی مرحله اولیه رشد در زودکشت از میانگین ۱/۹ تا ۳/۸ میلی‌متر در روز، تاریخ کاشت به‌موقع از ۲/۵ تا ۴/۲ میلی‌متر در روز، و تاریخ دیرکشت از میانگین ۳/۴ تا ۵/۱ میلی‌متر در روز، در دوره ۱۰ روزه در سال‌های متوسط تا بسیار پر تبخیروتعرق تغییرپذیری نشان می‌دهد. این اختلاف در دوره پایانی ۳/۶ تا ۶/۱ میلی‌متر برای زود کشت و ۳/۱ تا ۵/۴ میلی‌متر برای به موقع کشت و ۲/۷ تا ۴/۶ میلی‌متر برای دیر کشت می‌باشد و کاشت از زود به دیرکاشت باعث افزایش مصرف در دوره ابتدایی و کاهش مصرف در دوره انتهایی می‌گردد. با این وجود، و در مقیاس کل فصل دیرکاشت (۵۱۴۰ متر مکعب در هکتار)، به موقع کاشت (۴۷۰۲ متر مربع در هکتار) و زود کاشت (۴۵۸۵ متر مکعب در هکتار) به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین میزان میانگین تبخیروتعرق هستند. در تاریخ کاشت‌های مختلف اختلاف مقادیر حداکثر میانگین نیاز آبی روزانه در دوره ۱۰ روزه در سال‌های متوسط تا بسیار پر تبخیروتعرق تقریباً یکسان و در حدود یک میلی‌متر است. به عبارت دیگر در شرایط به موقع کاشت، سال‌های پرتبخیر نیاز آبی شالیزار (۵۲۹٫۶ میلی‌متر) به میزان ۵۹۳ متر مکعب در هکتار بیش از سال‌های متوسط (۴۷۰٫۲ میلی‌متر) می باشد. این اختلاف در سال‌های بسیار پر تبخیروتعرق (۵۷۸٫۹ میلی‌متر) و سال‌های متوسط به ۱۰۸۶ متر مکعب در هکتار نیز می‌رسد.

در مقایسه تاریخ‌های مختلف کاشت بیشترین اختلاف بین سال‌های متوسط و سال‌های بسیار پرتبخیروتعرق در وضعیت دیرکاشت (۱۲۱۷ متر مکعب در هکتار) رخ داده است که نشان دهند این واقعیت است که در سال‌های پرتبخیروتعرق اتخاذ تاریخ دیرکاشت موجب افزایش قابل توجه در مصرف آب خواهد شد. اتخاذ استراتژی زودکاشت در سال‌های بسیار پرتبخیروتعرق کاهش ۱۰ درصدی (۶۳۴ متر مکعب در هکتار) را در پی خواهد داشت (جدول ۴).

ایستگاه گرگان

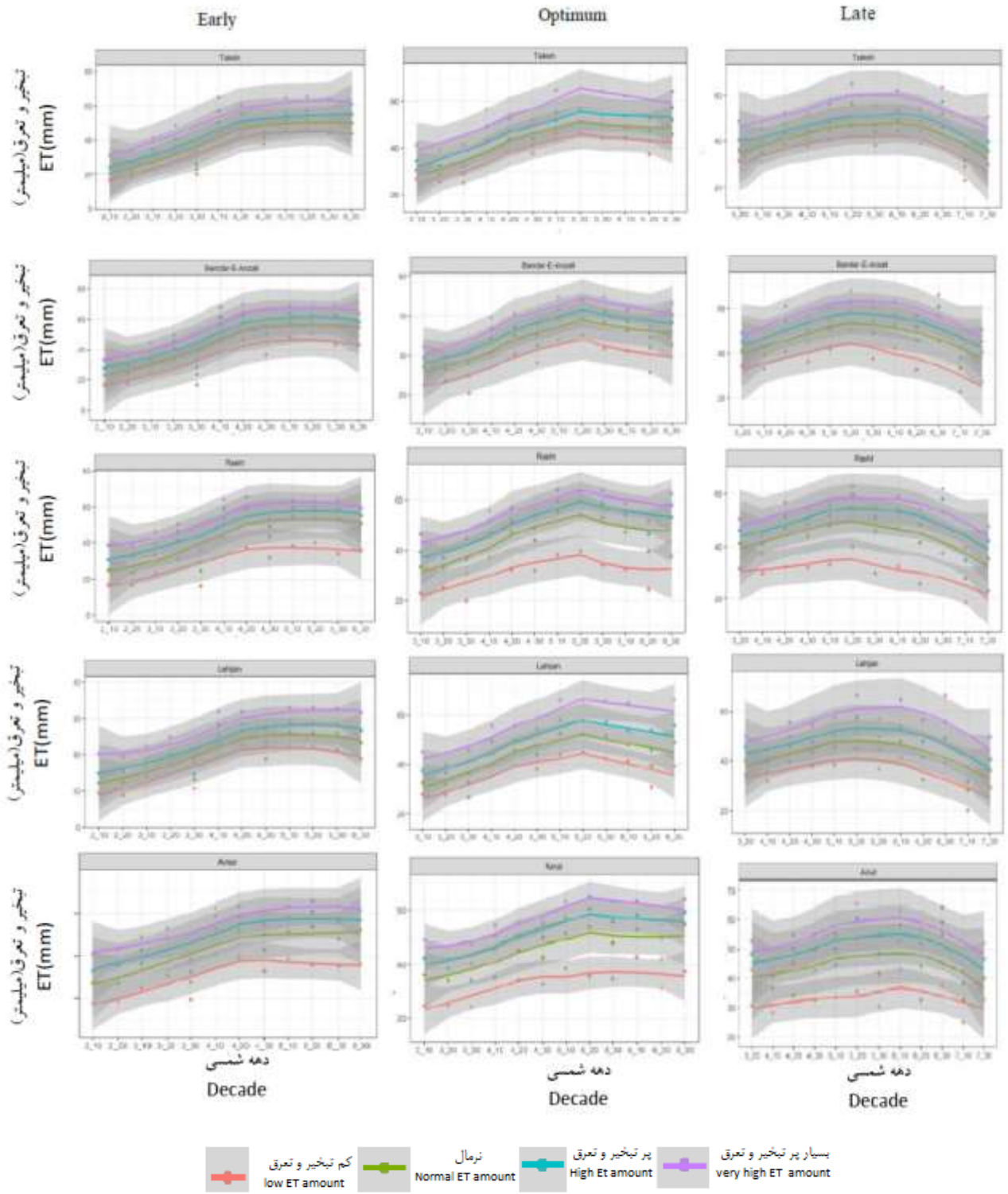
در ایستگاه گرگان به عنوان معرف مناطق عمده برنجکاری در استان گلستان و بخش‌های شرقی استان مازندران، نیز در تاریخ‌های کشت مختلف برنج و در طول فصل مقادیر تبخیروتعرق دهه‌ای در سناریوهای متوسط تا بسیار پر تبخیروتعرق اختلاف نسبتاً ثابت اما در حدود ۲۰ میلی‌متر در هر دهه دارند. نیاز آبی مرحله اولیه رشد در زودکشت، به موقع و دیرکشت از میانگین ۲/۲ تا ۴/۹، ۳/۴ تا ۶ و ۴/۵ تا ۷/۴ میلی‌متر در روز، در دوره ۱۰ روزه در سال‌های متوسط تا بسیار پر تبخیروتعرق تغییرپذیری نشان می‌دهد که در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بیش از مقادیر مناطق مرکزی و غربی سواحل دریای خزر است و با توجه به اینکه عمده سهم تبخیروتعرق در این دوره به تبخیر اختصاص دارد نشان‌دهنده حجم بالای تبخیروتعرق در این مرحله است. این مقادیر در دوره پایانی ۴/۸ تا ۸/۱ میلی‌متر برای زود کشت، ۴/۴ تا ۷/۴ میلی‌متر برای به موقع کشت و ۳/۹ تا ۶/۴ میلی‌متر برای دیر کشت می‌باشد و کاشت از زود به دیرکاشت باعث افزایش مصرف در دوره ابتدایی و کاهش مصرف در دوره انتهایی می‌گردد. در مقیاس کل فصل در سال‌های متوسط، دیرکاشت (۶۵۴۰ متر مکعب در هکتار)، به موقع کاشت (۵۹۸۷ متر مربع در هکتار) و زود کاشت (۵۸۳۰ متر مکعب در هکتار) به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین میزان میانگین تبخیروتعرق هستند که بطور متوسط ۲۰ درصد از عمده نواحی گیلان و مازندران است. در شرایط به موقع کاشت، سال-

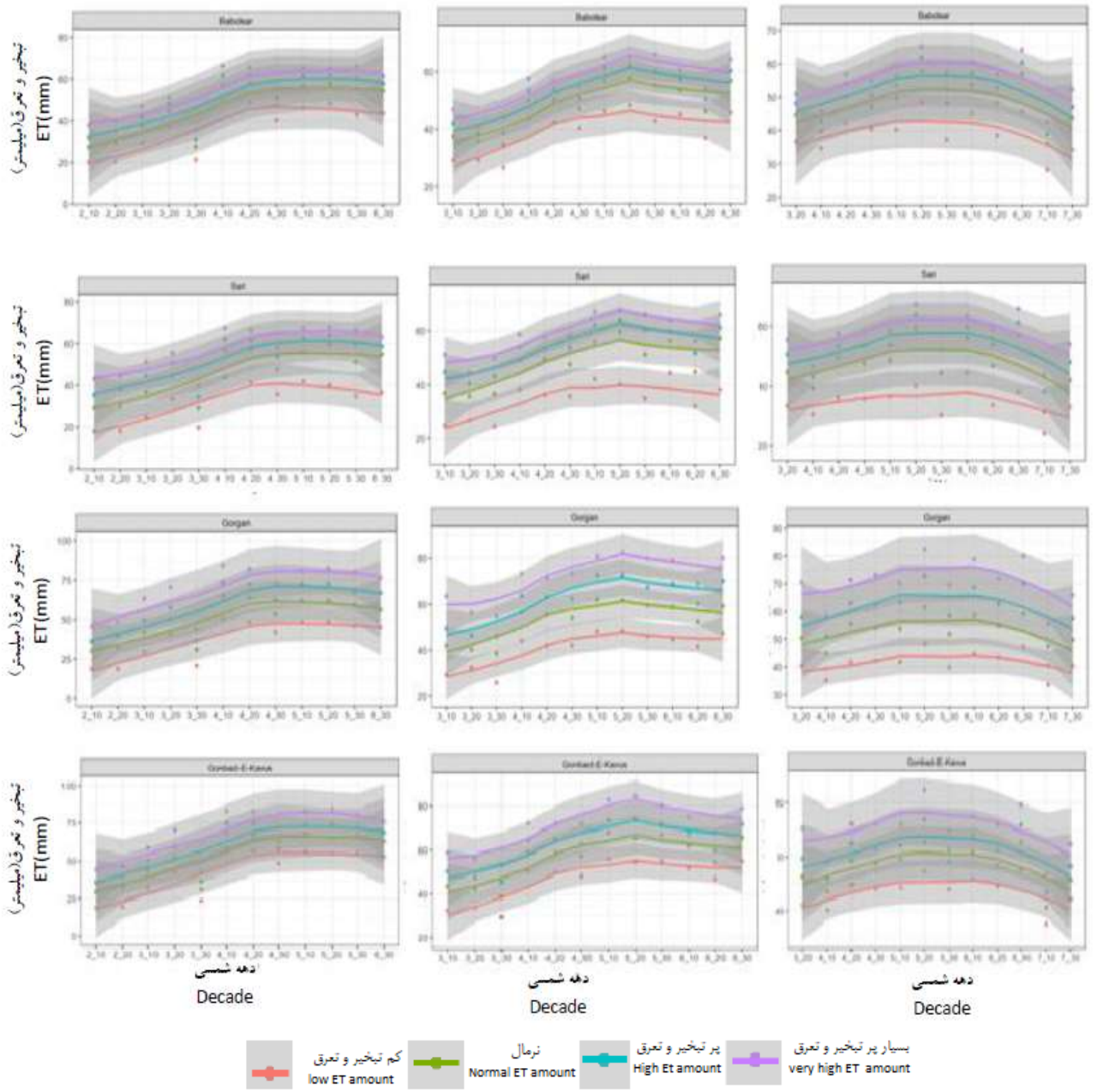
های پرتبخیر نیاز آبی شالیزار (۶۹۲ میلی‌متر) به میزان ۹۳۲ متر مکعب در هکتار بیش از سال‌های متوسط (۵۹۸,۷ میلی‌متر) می‌باشد. این اختلاف برای سال‌های بسیار پر تبخیر و تعرق (۷۹۶,۹ میلی‌متر) و سال‌های متوسط به ۱۹۸۱ متر مکعب در هکتار می‌رسد. در مقایسه تاریخ‌های مختلف کاشت بیشترین اختلاف بین سال‌های متوسط و سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق در وضعیت دیرکاشت (۲۱۳۷ متر مکعب در هکتار) و نشان می‌دهد که در سال‌های پرتبخیر و تعرق اتخاذ دیر کاشت موجب افزایش قابل توجه در مصرف آب شود (جدول ۴).

جدول ۴- برآورد نیاز آبی گیاه برنج طی فصل رشد در تاریخ‌های کشت و احتمال وقوع متفاوت در رشت، آمل و گرگان

Table 4- Estimation of water requirements of rice in different sowing date and probabilities in Rasht, Amol and Gorgan

تاریخ کاشت Sowing date	سناریوهای تبخیر و تعرق ET scenarios	گرگان Gorgan					آمل Amol					رشت Rasht				
		نیاز آبی طی فصل رشد (میلی‌متر) Water requirement in different sowing date (mm)														
		پایانی Ripping stage	میانی Reproductive stage	توسعه Vegetative stage	اولیه Initial stage	کل فصل Whole growing season	پایانی Ripping stage	میانی Reproductive stage	توسعه Vegetative stage	اولیه Initial stage	کل فصل Whole growing season	پایانی Ripping stage	میانی Reproductive stage	توسعه Vegetative stage	اولیه Initial stage	کل فصل Whole growing season
زودکشت Early cultivated	کم تبخیر و تعرق Low ET amount	48.3	257.7	119.7	22.2	448.0	35.8	189.2	88.2	19.4	332.7	36.0	192.2	87.0	15.9	331.0
	متوسط متوسط Normal ET amount	60.6	333.6	156.5	33.0	583.7	52.2	257.4	121.6	27.4	458.6	50.7	270.1	118.8	24.5	464.1
	پر تبخیر و تعرق High Et amount	71.6	383.3	181.6	39.2	675.8	56.6	289.5	140.6	32.4	519.0	55.4	295.7	134.8	29.4	515.3
	بسیار پر تبخیر و تعرق Very high ET amount	81.9	438.0	221.7	46.8	788.4	61.2	316.8	156.3	38.1	572.4	59.2	319.0	150.7	35.5	564.4
به موقع کشت On time cultivated	کم تبخیر و تعرق Low ET amount	44.4	250.4	136.8	34.6	466.2	31.2	189.5	102.3	24.7	347.6	24.5	182.4	101.5	25.4	333.8
	متوسطمتوسط Normal ET amount	56.0	322.0	177.7	43.1	598.8	42.3	260.1	133.7	34.2	470.3	39.7	262.0	138.2	33.0	472.9
	پر تبخیر و تعرق High Et amount	64.4	375.9	202.2	49.5	692.0	49.5	290.6	151.0	38.5	529.6	46.5	289.5	151.8	37.0	524.8
	بسیار پر تبخیر و تعرق Very high ET amount	73.5	430.0	233.0	60.4	796.9	54.4	318.7	163.8	42.1	578.9	51.6	310.5	166.2	40.3	568.6
دیر کشت Late cultivated	کم تبخیر و تعرق Low ET amount	39.3	270.5	158.6	44.8	513.2	27.3	205.0	117.7	33.5	383.6	20.1	179.6	114.3	35.3	349.3
	متوسطمتوسط Normal ET amount	47.2	343.6	206.9	57.3	655.0	35.5	277.3	157.7	43.5	514.0	30.2	261.0	169.6	44.5	505.3
	پر تبخیر و تعرق High Et amount	55.4	401.4	237.1	64.6	758.4	41.9	311.8	178.3	48.1	580.1	37.9	296.5	184.9	48.8	568.0
	بسیار پر تبخیر و تعرق Very high ET amount	64.9	458.3	271.1	74.4	868.7	46.2	340.6	197.5	51.5	635.8	43.3	322.5	200.5	52.7	619.0


Early
Optimum
Late
تبخیر و تعرق(میلیمتر)
ET(mm)
دهه شمسی
Decade
کم تبخیر و تعرق
low ET amount
نرمال
Normal ET amount
پر تبخیر و تعرق
High Et amount
بسیار پر تبخیر و تعرق
very high ET amount



شکل ۲- مقادیر تبخیر و تعرق واقعی ۱۰ روزه گیاه برنج در سطوح احتمالات مختلف در سه تاریخ کشت متفاوت (استان‌های شمالی کشور)

Figure 2- Estimation of evapotranspiration of rice in different sowing date and probabilities in North of Iran

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برآورد مقادیر تبخیروتعرق گیاه برنج در تاریخ کشت‌های مختلف با احتمالات وقوع متفاوت جهت برآورد نیاز آبی از مرحله اول رشد تا مرحله پایانی برنج انجام گردید تا تخمینی از تغییرات تبخیر و تعرق در شرایط مختلف کم تبخیروتعرق، متوسط، پر تبخیروتعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق به دست آید. نتایج احتمالات وقوع تبخیروتعرق واقعی گیاه برنج (ETc) در سه تاریخ کشت مختلف (زودکشت، به موقع‌کشت و دیرکشت) نشان‌دهنده این است که در مناطق عمده شالیکاری و در سال های کم تبخیر و تعرق نیاز آبی نسبت به سال‌های متوسط، پر تبخیر تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق

دارای اختلاف قابل‌توجهی است. این اختلافات از شرق به غرب کاهش می‌یابد و در استان گلستان با اختلاف تقریبی ۳۰ درصد بیش از سایر مناطق به حداکثر می‌رسد. در ایستگاه رشت به عنوان ایستگاه معرف جلگه مرکزی گیلان (عمده مناطق شالیکاری در استان)، در شرایط به موقع کاشت، سال‌های پرتبخیر نیاز آبی شالیزار به میزان ۵۱۹ متر مکعب در هکتار بیش از سال‌های متوسط می‌باشد. این اختلاف برای سال‌های بسیار پر تبخیر و تعرق و سال‌های متوسط به ۹۵۷ متر مکعب در هکتار می‌رسد. در مقایسه تاریخ‌های مختلف کاشت کمترین اختلاف بین سال‌های متوسط و سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق در وضعیت زودکاشت (۱۰۰۳ متر مکعب در هکتار) و بیشترین اختلاف در وضعیت دیرکاشت (۱۱۳۷ متر مکعب در هکتار) مشاهده می‌شود به عبارت دیگر اتخاذ استراتژی زودکاشت در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق موجب کاهشی در حدود ۵۴۵ متر مکعب در هکتار می‌شود.

بطور کلی، در تاریخ‌های کشت مختلف برنج در مناطق عمده برنجکاری منطقه در سال‌های متوسط تا بسیار پر تبخیروتعرق از ابتدا دوره رشد تا مرحله پایانی اختلاف نسبتاً ثابتی که بنا بر منطقه در حدود ۱ تا ۲ میلی‌متر در روز برای کل فصل مشاهده می‌شود. وضعیت زود کاشت در عمده مناطق غربی و مرکزی سواحل باعث کاهش ۱۰ درصدی مصرف آب نسبت به وضعیت دیرکاشت می شود. در مقیاس کل فصل در گرگان، تبخیر و تعرق در تاریخ های مختلف کشت بطور متوسط ۲۰ درصد (۱۳۰۰ متر مکعب) بیشتر از عمده نواحی گیلان و مازندران است. در شرایط به موقع کاشت، نیاز خالص آبیاری سال‌های بسیار پر تبخیر و تعرق در حدود ۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار بیش از سال‌های متوسط است. در مقایسه تاریخ‌های مختلف کاشت در گرگان بیشترین اختلاف بین سال‌های متوسط و سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق در وضعیت دیرکاشت (۲۱۳۷ مترمکعب در هکتار) و نشان می‌دهد که در سال‌های پرتبخیر و تعرق اتخاذ دیر کاشت موجب افزایش قابل توجه در مصرف آب شود. بنابراین در تحلیل نیاز خالص، به نظر می‌رسد در صورت وجود پیش‌بینی‌های اقلیمی دال بر گرم بودن فصل برنجکاری بهتر است از کشت برنج در این مناطق اجتناب شود. با این حال در صورت کاشت برنج در چنین شرایطی اتخاذ استراتژی زود کاشت در این مناطق می‌تواند تا ۸۰۰ متر مکعب در هکتار از نیاز خالص آبیاری بکاهد اگرچه چنانچه نیاز ناخالص مد نظر باشد می‌بایست تاثیر تاریخ کاشت و طول دوره رشد علاوه بر تبخیر-تعرق بر سایر پارامترهای بیلان آب نیز مد نظر قرار گیرد. نتایج به دست آمده در این پژوهش دارای روندی همسو با سایر مطالعات می‌باشد (۴، ۱۵ و ۱۰). نتایج مطالعه و بررسی‌های انجام شده، لزوم و اهمیت بررسی و برآورد مقادیر تبخیروتعرق گیاه برنج را بر اساس احتمالات وقوع متفاوت به منظور برآورد نیاز آبی در مراحل مختلف رشد، در راستای برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر، مدیریت بهینه مزرعه در سال‌های گرم و خشک (با پتانسیل تبخیروتعرقی حداکثر) را نمایان می‌سازد، این امر در برآورد نیاز آبی در دوره‌های فنولوژیکی حساس از اهمیت دوچندانی برخوردار است. لذا پیشنهاد می‌گردد در سطوح گسترده‌تر و مناطق بیشتر کاشت برای این محصول اجرا و همچنین با توجه به واقع شدن ایران در منطقه خشک و نیمه خشک و اهمیت برآورد نیاز آبی و بهره‌وری بیشتر از منابع آبی برای محصولات استراتژیک هر منطقه انجام گردد.

منابع

1. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), p.D05109.
2. AsadiOskouei E., Yazdani M.R., and Alizadeh A. 2017. The effect of submergence depth on evaporation losses in paddy fields. Journal of Water and Soil Conservation 24(1): 221-235. (In Persian with English abstract)
3. Asadi Oskouei E., Mousavi Baygi M., Yazdany M.R., Alizadeh A., and Zohd Ghodsi M.J. 2017. The effect of submergence depth on water and soil temperature in paddy field (Case study: Rasht). Journal of Agricultural Meteorology 5(1): 48-56. (In Persian with English abstract)
4. Heydari M., Marofi M., Sabziparvar A.A., Mirmasoudi S.S., and Ghiyami F. 2009. Investigation of impact of plant water requirement calculation method, length of maximum water requirement period and probability level on optimal estimation of crop water requirement (Case Study: Hamedan), Water and Soil Conservation 16(3): 123-140. (In Persian with English abstract)
5. Jensen M.E., Burman R.D., and Allen R.G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE.
6. Jensen M.E. 1983. Design and Operation of Farm Irrigation System. The American Society of Agricultural Engineering, USA. 2950 Niles Road St. Joseph Michigan 1-11.
7. Kar G., and Verma H.N. 2005. Climatic water balance, probable rainfall, rice crop water requirements and cold periods in AER 12.0 in India. Agricultural Water Management 72(1): 15-32 .
8. Mehdizadeh S., Behmanesh J., and Nikbakht J. 2011. Estimation of Reference Evapotranspiration with Various Occurrence Probability Levels (Case Study: Urmia), Water and Soil Scienc 20(4): 171-183. (In Persian with English abstract)

9. Mohammad F.S. 1998. Calibration and use of evapotranspiration equations under arid climatic conditions. Agricultural Engineering Journal 7(3&4): 185-200.
10. Nikbakht J., Mohammadi K., and Ehteshami M. 2007. Estimation of actual evapotranspiration of the plant at different probability levels: A case study in Maragheh, East Azerbaijan. Agricultural Sciences 13(1): 95-106. (In Persian with English abstract)
11. Nikbakht J., and MirLatifi M. 2002. The effect of ETo calculation method, probability of occurrence and duration of maximum water consumption on evapotranspiration of reference plant potential. Soil and Water Science 16(2): 223-231. (In Persian with English abstract)
12. Nixon P.R., Lawless G.P., and Richardson G.V. 1972. Coastal California evapotranspiration frequencies. Journal of the Irrigation and Drainage Division 98(2): 185-191.
13. Razavipour T., and Yazdani M. 2000. Determination of Evapotranspiration, plant coefficient, and Pan coefficient of rice, Binam and Caspian cultivars using lysimeter and controlled plots in Rasht region. Journal of Agroecology 6(2): 238-249. (In Persian with English abstract)
14. Pruitt W.O., von Oettingen S., and Morgan D.L. 1972. Central California evapotranspiration frequencies. Journal of the irrigation and drainage Division 98(2): 177-184.
15. Sharifi Bonab S.S., Nazemi A.H., Ashraf Sadraddini A., Fakheri Fard A., and Salmasi F. 2016. Estimation of Irrigation Water Requirement using Probability Distribution Functions (PDF) Case study: (*Triticum aestivum* L.), Iranian Journal of Irrigation & Drainage 9(5): 720-730. (In Persian with English abstract)
16. Sharifan H., and Alizadeh A. 2008. Investigating the trend of changes in the frequency curves of evapotranspiration, Journal of Water and Soil 22(1): 7-20. (In Persian with English abstract)
17. Wright J.L., and Jensen M.E. 1972. Peak water requirements in Southern Idaho. Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division 98(2): 193-201.
18. Yoo S.H., Choi J.Y., and Jang M.W. 2008. Estimation of design water requirement using FAO Penman–Monteith and optimal probability distribution function in South Korea. Agricultural Water Management 95(7): 845-853.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 5, Dec.-Jan. 2021, p. 659-671

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۵، آذر – دی ۱۴۰۰، ص. ۶۷۱-۶۵۹

The Effect of Different Probability Levels in Estimating the Net Water Requirement of Rice in the Northern Provinces of Iran

E. Asadi Oskouei[1 *]- S. Kouzegaran[2]- M.R. Yazdani[3]- A. Rahmani [4]

Received: 24-07-2021
Accepted: 22-10-2021

Introduction: Correct assessment of evapotranspiration fluctuations in different meteorological scenarios plays an important role in the optimal management of water resources. Probability analyzes with different probabilities of occurrence can increase flexibility in decision making and increase the reliability of decisions. Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important agricultural products in the world. Although rice is cultivated in a wide range of climatic and geographical conditions, it is vulnerable to changes in environmental conditions. Planting management, design of irrigation systems, and suitable irrigation cycle for optimal production are important issues for sustainable production.

Materials and Methods: The study area includes the northern region of Iran, i.e. the provinces of Gilan, Mazandaran and Golestan, which is the main rice-growing area in Iran. Changes in rice evapotranspiration in three different cultivation dates with four different occurrence probabilities of 75, 50, 25 and 10%, was calculated using the FAO Penman-Monteith equation and meteorological data with a statistical period of 30 years (2020- 1990). Also, the average rice crop coefficient at different stages of growth in 10-day periods was estimated based on the Weibull model. These probabilities represent the probable limits of the expected values of evapotranspiration in different scenarios of low, normal, high, and very high evapotranspiration years.

Results and Discussion: The results showed a relatively constant difference of 1 to 2 mm between different rice cultivation histories in the major rice cultivation areas of Gilan and Mazandaran in normal to very high evapotranspiration years. In the years of low evapotranspiration, the water requirement was significantly different from the normal, high and very high evapotranspiration years, which decreased from east to west. This difference was approximately 30% higher in Golestan province as compared with other areas. In the early planting situation relative to the late planting situation in the major western and central coastal areas, there was a 10% decrease in water consumption. At the scale of the whole growing season in Gorgan, evapotranspiration in different conditions of planting date was on average 20% (1300 cubic meters) more than the main regions of Gilan and Mazandaran. In case of timely planting, the net irrigation requirement in very high evapotranspiration years was about 2000 cubic meters per hectare more than the normal years. In years with high evapotranspiration, late planting increased the net irrigation requirement by more than 210 mm compared to different planting dates in Gorgan. According to the obtained results, the largest difference between evapotranspiration values during normal and very high evapotranspiration years was in the late planting situation. Therefore, it seems that late planting causes a significant increase in water consumption in the high evapotranspiration years. Consequently, it is better to avoid rice cultivation when the rice growing season is anticipated to be warm.

Conclusion: Evapotranspiration, as one of the main components of the hydrological cycle, had a significant role in proper irrigation planning and water resources management. The results underline the importance of estimating the rice evapotranspiration to avoid appreciable yield loss under extreme conditions.

Keywords: Evapotranspiration, Probabilistic analysis, Rice plant, Water requirement

1- Assistant Professor, Climatological Research Institut, ASMERC, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: e.asadi.o@gmail.com)
2- Ph.D. in Agrometeorology, Applied Meteorological Research Center, Mashhad, Iran
3- Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran
4- Ph.D. Student of Soil Science, University of Tehran, Tehran, Iran
DOI: 10.22067/JSW.2021.71370.1064