

مدیریت کشت برنج در استان مازندران در شرایط تغییر اقلیم

عبداله درزی نفت‌چالی^{۱*} و فاطمه کاراندیش

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

abdullahdarzi@yahoo.com

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، ایران.

Karandish_h@yahoo.com

چکیده

تغییر اقلیم با تغییر فنولوژی و فیزیولوژی برنج، بیلان آب خاک، تبخیر-تعرق و آب سبز، بر نیاز آب آبیاری این محصول تاثیر دارد. حفظ عملکرد فعلی برنج یا بهبود آن، مستلزم تطابق با این چالش مهم زیست محیطی در دوره‌های آبی می‌باشد. با توجه به نقش حیاتی استان مازندران در تامین برنج مورد نیاز کشور، در این تحقیق، اثر تغییر اقلیم و تقویم‌های مختلف کشت بر نیاز آب آبیاری و میزان آب سبز فصل کشت برنج در این استان تا سال ۲۱۰۰، بررسی شد. با استفاده از داده‌های هواشناسی دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۰) ایستگاه‌های بابلسر، قایمشهر، نوشهر و رامسر و مدل ریزمقیاس‌ساز LARS-WG، داده‌های هواشناسی دوره ۲۰۱۱ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف اقلیمی تولید شد. بر اساس مقادیر دمای حداقل و حداکثر، بازه‌ی زمانی مشترک مناسب برای کشت در دوره‌ی پایه و آبی تعیین شد. نیاز آبی برنج با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تعیین شد. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از آماره‌های مختلف نشان‌دهنده کارایی مناسب آن برای شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده در منطقه مطالعه بود. در اثر تغییر اقلیم، کشت برنج می‌تواند ۲ تا ۲۳ روز زودتر انجام شود و تعداد روزهای لازم برای رسیدگی فیزیولوژیکی نیز بین یک تا ۲۰ روز کاهش خواهد یافت. با وجود کوتاه‌تر شدن طول دوره‌ی کشت، تاریخ‌های کشت دیر هنگام به دلیل اثرات منفی دمای زیاد و کاهش آب سبز، سبب افزایش نیاز آب آبیاری خواهد شد. با این وجود، کشت برنج در زمان مناسب، نیاز آبی آن در دوره‌های آبی را تا ۶۸۱ مترمکعب در هکتار کاهش خواهد داد. براساس نتایج، مدیریت تقویم کشت برنج راهکاری موثر برای دستیابی به کشاورزی پایدار در اقلیم آینده استان مازندران می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب سبز، تقویم کشت، کشاورزی پایدار، نیاز آبیاری، ANFIS.

۱- آدرس نویسنده مسوول: ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.

*- دریافت: آذر ۱۳۹۴ و پذیرش: شهریور ۱۳۹۵

مقدمه

دادند که تغییر اقلیم سبب افزایش دمای هوای فصل‌های تابستان، پاییز و زمستان در منطقه بهشهر در استان مازندران خواهد شد.

تغییر اقلیم با تغییر فنولوژی و فیزیولوژی برنج، بیان آب خاک، تبخیر-تعرق و بارندگی موثر، بر نیاز آب آبیاری تاثیر دارد. مرور تحقیقات گذشته نشان‌دهنده اثرات متفاوت تغییر اقلیم بر نیاز آب آبیاری محصولات در مناطق مختلف می‌باشد. پیش‌بینی شد در اثر تغییر اقلیم، نیاز آبیاری فصلی در منطقه‌ای در اسپانیا در سال ۲۰۵۰، ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش یابد (رودریگز دیز و همکاران، ۲۰۰۷). با فرض عدم تغییر در فنولوژی گیاه، تغییر اقلیم باعث افزایش نیاز آب آبیاری در حوزه رودخانه آرکانزاس خواهد شد (الگالی و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر رشد گیاه و نیاز آب آبیاری تناوب زراعی گندم- ذرت در ترکیه آشکار کرد که به دلیل کاهش روزهای رشد و شاخص سطح برگ در اثر افزایش دما و بسته شدن روزنه‌ها، تبخیر-تعرق واقعی این گیاهان کاهش خواهد یافت ولی نیاز آب آبیاری گندم به علت کاهش بارندگی، افزایش می‌یابد (یانو و همکاران، ۲۰۰۷).

بررسی تغییرات نیاز آبی اراضی شالیزاری در اثر تغییر اقلیم در سریلانکا نشان‌دهنده ۱۳ تا ۲۳ افزایش نیاز آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف می‌باشد (دی‌سیلوا و همکاران، ۲۰۰۷). با این وجود، گزارش شد تغییر اقلیم سبب کاهش نیاز آبی برنج در منطقه‌ای در میانمار تحت سناریوهای مختلف اقلیمی خواهد شد (شرستا و همکاران، ۲۰۱۴). عزیزی و روشنی (۱۳۸۸) به بررسی تاثیر تغییر اقلیم روی دما و تقویم زراعی برنج در گیلان پرداختند و نتیجه گرفتند که دما در حال افزایش است و این افزایش دما موجب جابجایی فصلی و تقویم زراعی می‌شود. اگرچه تغییر اقلیم بر عملکرد برنج و نیاز آب آبیاری موثر هست ولی کشاورزان با تغییر تاریخ کشت، انتخاب ارقام با طول مدت کشت متفاوت یا تغییر تناوب زراعی، تا حدی سیستم کشت را با تغییر اقلیم تطابق می-

برنج اصلی‌ترین غذای بیش از نیمی از مردم جهان است و آسیا بزرگترین تولیدکننده و مصرف‌کننده این محصول در جهان می‌باشد (فایو، ۲۰۱۳). میزان کل برنج تولیدی کشور در سال ۲۰۱۱، ۲۳۰۰ هزار تن (فایو، ۲۰۱۴) گزارش شد که تنها بخشی از برنج مورد نیاز کشور را تامین می‌کند. میزان واردات آن در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ به ترتیب ۸۵۲، ۹۴۹، ۱۱۳۸ و ۸۰۲ هزار تن بود (فایو، ۲۰۱۲). استان مازندران با دارا بودن اقلیم مناسب و منابع آب نسبتاً کافی، حدود ۳۷ درصد برنج کشور (سازمان جهاد کشاورزی مازندران، ۱۳۹۱) را تولید می‌کند که نشان‌دهنده نقش محوری این استان در تامین مایحتاج برنج کشور می‌باشد. با توجه به روند رشد جمعیت و روند تغییر کاربری اراضی زراعی در این استان و به تبع آن، کاهش سرانه سطح زیر کشت، افزایش خودکفایی در تولید این محصول مستلزم توسعه کشاورزی و بهبود بهره‌وری از زمین می‌باشد. توسعه کشاورزی فرایندی دایمی است و لازمه آن تطابق با عوامل متعددی در محدوده و خارج از اکوسیستم‌های کشاورزی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵). دستیابی به این مهم در دوره‌های آتی با چالش‌های متعددی روبرو است که یکی از مهمترین آنها وقوع پدیده تغییر اقلیم در اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، متان و مونواکسید نیتروژن در جو (پانل بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳) می‌باشد.

براساس چهارمین گزارش ارزیابی پانل بین-الدول تغییر اقلیم (IPCC)، در طول صد سال گذشته، میانگین دمای کره زمین ۰/۷۴ درجه سانتیگراد افزایش یافت و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۱۰۰، این افزایش به ۱/۸ تا ۴ درجه سانتیگراد برسد (فایو، ۲۰۰۹). در همین زمان، تحت برخی سناریوها، میزان دمای هوا در استان مازندران عموماً افزایش می‌یابد و مقدار بارش فصلی روند کاهشی یا افزایشی خواهد داشت (کلانکی و کاراندیش، ۱۳۹۴). سلیمانی ننادگانی و همکاران (۱۳۹۱) نیز نشان

تغییر اقلیم تا حدی برای سیاستگذاران، محققان و کشاورزان آشکار شود.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعه و داده‌های مورد نیاز

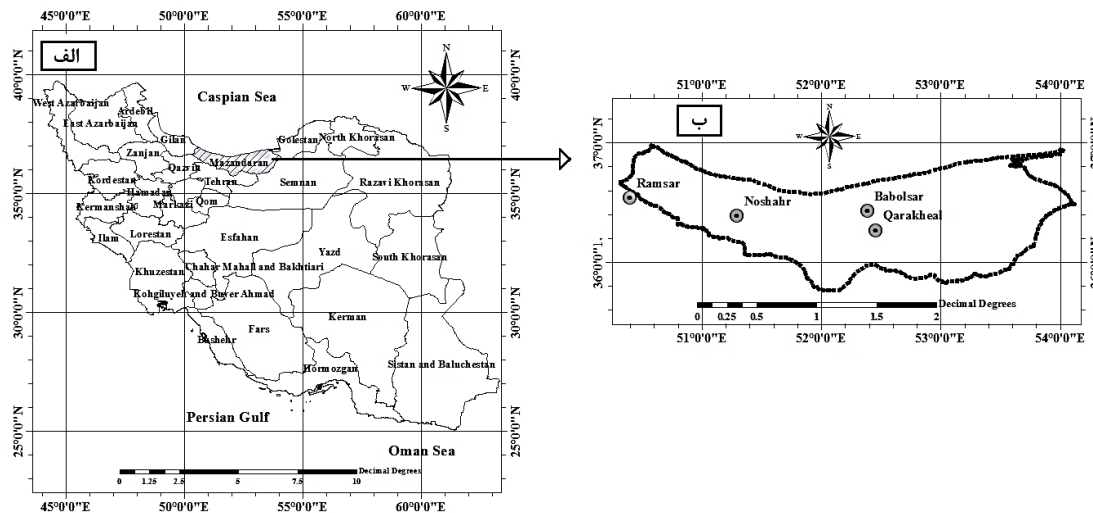
منطقه‌ی مطالعه در این پژوهش، استان مازندران با مساحتی حدود ۲۳۸۴۲ کیلومتر مربع می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، نواحی غربی مازندران بسیار مرطوب، نواحی مرکزی مرطوب، نواحی شرقی مدیترانه‌ای و نواحی کوهستانی نیمه مرطوب می‌باشد. از کل ایستگاه‌های سینوپتیک استان مازندران، تنها چهار ایستگاه بابلسر، قراخیل، نوشهر و رامسر دارای آمار ۳۰ ساله می‌باشند. داده‌های هواشناسی این ایستگاه‌ها شامل دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش از سازمان هواشناسی کشور برای بازه‌ی زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ (دوره‌ی پایه) تهیه و پس از بررسی همگنی و نرمال‌بودن آن‌ها، در تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر کشت برنج استفاده شد. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه در کشور و جانمایی ایستگاه‌های سینوپتیک مذکور را نشان می‌دهد.

ریز‌مقیاس‌نمایی آماری و سناریوهای اقلیمی

به منظور ریز‌مقیاس‌نمایی داده‌های بزرگ مقیاس در خروجی مدل‌های گردش عمومی جو GCM، از مدل LARS-WG استفاده شد. این مدل، یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد (ردی و همکاران، ۲۰۱۴) که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود. فرآیند تولید داده‌ها در مدل مذکور شامل سه بخش واسنجی، صحت‌سنجی و شبیه‌سازی می‌باشد.

دهند (واسمن و دوبرمن، ۲۰۰۷). تحقیقات مختلف نشان داد که تغییر تاریخ کشت می‌تواند راهکار بسیار خوبی برای بهبود عملکرد برنج تحت اثرات تغییر اقلیم باشد (پری و همکاران، ۲۰۰۴). تاریخ کشت با دمای حداقل ارتباط دارد و تاریخ‌های گل‌دهی و رسیدگی به دمای حداقل و حداکثر وابسته می‌باشند. بررسی همبستگی پارامترهای اقلیمی با خصوصیات فنولوژیکی گیاه برنج بر اساس داده‌های سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ در چین نشان داد که تاریخ کشت، گل‌دهی و رسیدگی به ترتیب به مدت ۵/۷، ۶/۲ و ۳/۶ روز در دهه زودتر به‌وقوع پیوستند (تایو و همکاران، ۲۰۰۶).

با توجه به اشتغال بخش اعظم نیروی کار کشاورزی استان مازندران در تولید برنج، معاش شالیکاران این استان کاملاً متکی به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه است. افزایش تبخیر-تعرق در نتیجه افزایش دما، سبب افزایش تقاضای آب آبیاری خواهد شد. با این حال، دمای بیشتر سبب تغییر فیزیولوژی گیاه و کاهش دوره رشد که نتیجه آن کاهش تعداد روزهای آبیاری است، می‌شود. این پدیده‌های متقابل، کل نیاز آب آبیاری را تغییر خواهد داد که لازم است برای برنامه‌ریزی و مدیریت بلند مدت منابع آب، کمی شوند. به دلیل اثرات مستقیم تغییر اقلیم، به‌عنوان یک چالش مهم زیست محیطی، بر موجودیت آب و نیاز آب آبیاری برنج و اتکای کشاورزی استان به آب زیرزمینی و با توجه به اینکه برنج بعد از گندم مهم‌ترین ماده غذایی مردم کشور می‌باشد، اتخاذ راهکارهای مناسب جهت تطابق سیستم کشت برنج با تغییر اقلیم در این استان، ضروری می‌باشد. بنابراین، در این تحقیق، ضمن بررسی اثر تغییر اقلیم و تقویم‌های مختلف کشت بر نیاز آب آبیاری گیاه برنج در استان تا سال ۲۱۰۰، نقش آب سبز در تامین نیاز آبیاری مشخص می‌شود تا ماهیت پیچیده اثرات



شکل ۱- (الف) موقعیت استان مازندران در ایران و (ب) ایستگاه‌های سینوپتیک در استان مازندران

نظر گرفته شد. برای هر یک از تاریخ‌های کاشت، طول دوره‌ی رشد گیاه بر اساس مجموع درجه-روز (GDD) لازم برای رسیدن به مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیکی محاسبه شد. مقدار GDD با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود (سندهو و همکاران، ۲۰۱۳):

$$\begin{cases} \text{GDD} = \frac{T_{\text{Max}} + T_{\text{Min}}}{2} - T_{\text{Base}} \\ \text{If } T_{\text{max}} < T_{\text{Base}} \rightarrow T_{\text{max}} = T_{\text{Base}} \\ \text{If } T_{\text{min}} < T_{\text{Base}} \rightarrow T_{\text{min}} = T_{\text{Base}} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن:

T_{min} ، T_{max} و T_{base} به ترتیب دماهای حداقل، حداکثر و آستانه برای رشد گیاه برنج بر حسب درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. دمای آستانه و دمای حداکثر برای گیاه برنج به- ترتیب ۱۰ و ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد گزارش شد (سندهو و همکاران، ۲۰۱۳). GDD لازم برای تکمیل دوره‌ی رشد برنج یک رقم برنج زودرس، براساس نتایج یک پژوهش چهارساله در منطقه‌ی مطالعه (دزری نفت‌چالی و شاهنظری، ۲۰۱۴) برابر با ۱۲۱۱ بدست آمد.

برآورد نیاز آبی گیاه

مقادیر بارش ماهانه تحت کلیه سناریوها غالباً کمتر از ۵۰ میلی‌متر بود که ۸۵ درصد آن (کومار، ۲۰۰۱) به‌عنوان بارش موثر در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که

برای انجام دو مرحله‌ی اول، آمار ۳۰ ساله دوره پایه شامل تابش، دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در ایستگاه‌های منتخب وارد مدل شده و با مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده این دوره بر اساس معیارهای ارزیابی، صحت مدل در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، با آزمون تی، اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در سطح احتمال پنج درصد بررسی شد. در مرحله بعد، با استفاده از مدل HadCM3 و تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، دما و بارش طی سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ (دوره ابتدایی)، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ (دوره میانی) و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ (دوره پایانی) شبیه‌سازی شد.

تعیین تقویم کشت

زمان کاشت و برداشت دو تاریخ مهم و موثر بر میزان نیاز آبی گیاه هستند که به‌دلیل وابستگی آنها به دما، احتمال تغییر آنها در نتیجه‌ی تغییرات اقلیمی وجود دارد. بر اساس محدوده دمایی مناسب برای کشت برنج، بازه‌ی زمانی مشترک برای کاشت در دوره‌ی پایه و سه دوره‌ی زمانی ابتدایی، میانی و انتهایی در سناریوهای منتخب تعیین شد. سپس، در هر ایستگاه، تاریخ‌های کاشت، به صورت هر ده روز یکبار از ابتدای این بازه‌ی مشترک در

(ردی و همکاران، ۲۰۱۴)، راندمان (EF) (ناش و ساتکلیف، ۱۹۷۰) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶) ارزیابی شد. این آماره‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (2)$$

$$Ef = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (4)$$

که در آن:

X_i نماد داده‌های مشاهده‌ای، Y_i بیانگر داده‌های شبیه‌سازی، \bar{x} میانگین داده‌های مشاهده‌ای و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

کارایی مدل LRAS-WG

جدول ۱ نتایج ارزیابی مدل ریزمقیاس‌ساز LRAS-WG در شبیه‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش برای چهار ایستگاه سینوپتیک منتخب را نشان می‌دهد. نتایج آزمون t ، عدم اختلاف معنی‌دار بین خصوصیات آماری در داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در سطح پنج درصد را نشان داد. علاوه بر آن، مقادیر اندک RMSE (۱۴/۵-۷/۵ mm) برای بارش، ۰/۱۸-۰/۱۶ برای دمای حداقل و ۰/۱۱-۰/۳۳ برای دمای حداکثر) و مقادیر نزدیک به یک برای EF حاکی از توانایی مدل مذکور در شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش می‌باشد. با این وجود، مدل از دقت بیش‌تری برای شبیه‌سازی دما در مقایسه با بارش برخوردار بود که با یافته‌های محققان پیشین (ردی و همکاران، ۲۰۱۴) مطابقت دارد.

علاوه بر دانستن متغیرهای اقلیمی، انتخاب مدلی با قابلیت مناسب در تخمین تبخیر-تعرق مرجع تا سال ۲۱۰۰ نیز لازمه‌ی ارزیابی اثرات بلندمدت تغییرات اقلیمی

آب سبز برابر بخشی از تبخیر-تعرق می‌باشد که مستقیماً از بارندگی تامین می‌شود، مقدار آب سبز برابر بارش موثر فرض شد (کاراندیش و همکاران، ۲۰۱۵). تبخیر-تعرق واقعی گیاه از حاصلضرب نیاز آبی پتانسیل در ضرایب گیاهی برای هر یک از مراحل چهارگانه‌ی رشد در طول فصل کشت برنج محاسبه شد.

بر اساس گزارش شماره‌ی ۵۶ فایو، ضرایب گیاهی برای مرحله‌ی رشد اولیه و میانی و در انتهای فصل رشد به ترتیب برابر با ۱/۰۵، ۱/۲ و ۰/۶ در نظر گرفته شد (آن و همکاران، ۱۹۹۸). میزان تبخیر-تعرق مرجع در طول دوره‌ی پایه بر اساس رابطه‌ی فائو پنمن-مانتیث برآورد شد. از آنجایی‌که امکان برآورد تمام متغیرهای مورد نیاز در این معادله همچون، فشار بخار اشباع و واقعی، رطوبت نسبی و سرعت باد تا سال ۲۱۰۰ با استفاده از مدل LARS-WG وجود ندارد، لذا قابلیت معادله‌های تجربی پرستلی-تیلور و هارگریوز-سامانی (طبری و همکاران، ۲۰۱۰) و سیستم استنتاج عصبی-فازی (با داده‌های ورودی دمای حداقل و حداکثر با ترکیب ۳×۳ و تابع عضویت Gaussian-combination) برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع در مقایسه با رابطه‌ی فایو پنمن-مانتیث ارزیابی شد.

پس از تعیین روش برتر بر اساس آماره‌های ارزیابی، به منظور یکسان ساختن خطا در نتایج محاسبات، مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل بر اساس این روش منتخب، برای کل دوره‌ی مطالعاتی شامل دوره‌ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) و آینده (۲۰۱۱-۲۱۰۰) محاسبه شد و سپس، نیاز آبی گیاه در دوره‌های منتخب، با استفاده از مقادیر بدست آمده با این روش محاسبه شد.

معیارهای ارزیابی

کارایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و قابلیت معادلات تجربی و سیستم استنتاج عصبی-فازی در تخمین تبخیر-تعرق مرجع بر اساس آماره‌های مجموع مجذور مربعات خطا (SSE)

می‌باشد. جدول ۲ توانایی مدل‌های مختلف در تخمین تبخیر-تعرق مرجع در دوره‌ی پایه در مقایسه با مقادیر محاسبه شده با روش فایو-پنمن-مانتیت را نشان می‌دهد. از میان روش‌های مختلف مورد بررسی، مدل ANFIS با داشتن کم‌ترین خطا، از دقت قابل قبولی نیز برخوردار بود. لذا از این مدل در تخمین مولفه‌ی تبخیر-تعرق مرجع در دوره‌های مختلف استفاده شد.

جدول ۱- ارزیابی قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی بارندگی (میلیمتر) و دما (درجه سانتی‌گراد)

ایستگاه	پارامتر	میانگین مشاهده‌ای	میانگین شبیه‌سازی شده	SSE	EF	RMSE
بارندگی	بارندگی	۷۴/۱۸	۷۱/۳۵	۱۶۱۰/۳	۹۳/۶۸	۱۲/۱
	دمای حداکثر	۲۰/۹۸	۲۰/۹۷	۰/۱۷	۹۹/۹۷	۰/۱۲
بارندگی	دمای حداقل	۱۳/۳۹	۱۳/۴۳	۰/۳۵	۹۹/۹۳	۰/۱۸
	بارندگی	۵۹/۶۶	۶۲/۱	۶۲۶/۲	۹۱/۵۳	۷/۵۴
قراخیل	دمای حداکثر	۲۱/۵۱	۲۱/۳۴	۱/۲۱	۹۹/۷۹	۰/۳۳
	دمای حداقل	۱۲/۴۸	۱۲/۴۶	۰/۳۴	۹۹/۹۴	۰/۱۸
بارندگی	بارندگی	۱۰۳/۵۹	۱۰۷/۴۴	۲۴۳۳/۶۱	۹۵/۲۲	۱۴/۸۷
	دمای حداکثر	۱۹/۶۷	۱۹/۶	۰/۲۷	۹۹/۹۵	۰/۱۶
نوشهر	دمای حداقل	۱۲/۸۴	۱۲/۸۸	۰/۳۱	۹۹/۹۴	۰/۱۷
	بارندگی	۱۰۰/۰۸	۹۴/۰۸	۲۰۲۳/۱۹	۹۵/۸۸	۱۳/۵۶
رامسر	دمای حداکثر	۱۹/۴۱	۱۹/۳۸	۰/۱۳	۹۹/۹۷	۰/۱۱
	دمای حداقل	۱۲/۷۴	۱۲/۷۴	۰/۳۰	۹۹/۹۵	۰/۱۶

* واحد آماره‌های RMSE و SSE برای بارش به ترتیب mm و mm² و برای دما به ترتیب °C و °C² می‌باشد.

جدول ۲- آماره‌های ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر-تعرق مرجع در دوره‌ی پایه در مقایسه با معادله فانو-پنمن-مانتیت

ایستگاه	پرستلی - تیلور		هارگربوز - سامانی		ANFIS	
	R ²	RMSE (mm)	R ²	RMSE (mm)	R ²	RMSE (mm)
بابلسر	۰/۷۳	۱	۰/۸۳	۵/۲	۰/۸۶	۰/۶۴
قراخیل	۰/۷۳	۱/۱۵	۰/۵۸	۵/۷	۰/۸	۰/۷۱
نوشهر	۰/۸۸	۲/۶	۰/۷	۵/۲	۰/۷۴	۰/۷۵
رامسر	۰/۸	۰/۸۴	۰/۵	۵/۱	۰/۷۸	۰/۷۱

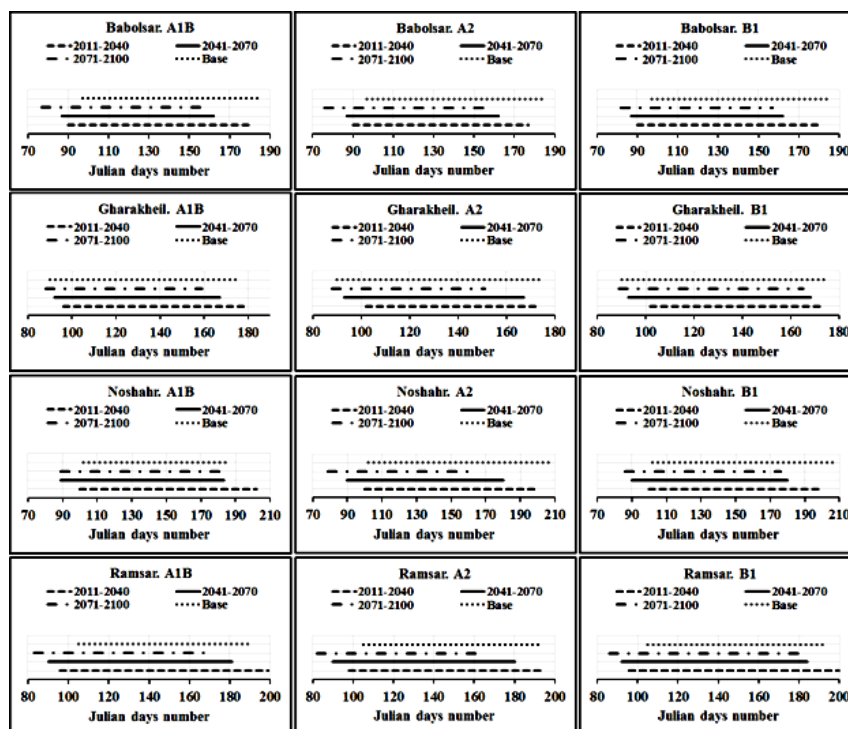
تقویم زراعی

شکل ۲ بازه زمانی مناسب برای کشت برنج در منطقه مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس آمار محلی، برنج در استان مازندران در حداصل ماه‌های اردیبهشت تا تیر کشت می‌شود که این آمار با محدوده‌ی زمانی محاسبه شده بر اساس دماهای آستانه در دوره‌ی پایه مطابقت دارد. با لحاظ دماهای آستانه، کاشت برنج در دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های بابلسر، قراخیل، نوشهر و رامسر به ترتیب در حداصل روزهای ۱۸۴-۹۷، ۱۷۵-۹۰، ۲۱۰-۱۰۲، ۱۹۲-۱۰۵ از ابتدای سال میلادی امکان‌پذیر خواهد بود. با توجه

به شکل ۲، تغییر متغیرهای اقلیمی غالباً باعث جابجایی فصل کشت برنج به سمت زمستان خواهد شد. در چنین شرایطی، برنج می‌تواند بین ۲ تا ۲۳ روز زودتر در منطقه‌ی مطالعه کشت شود. علاوه بر آن، به استثنای ایستگاه رامسر، افزایش گرمایش جهانی سبب کاهش طول دوره‌ی مناسب برای رشد برنج شد. این نتیجه می‌تواند به دلیل افزایش دما با نرخ سالانه‌ی بین ۰/۰۱۹ تا ۰/۰۳۹ درجه‌ی سانتی‌گراد در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۱۰۰ باشد. اگرچه افزایش دما امکان کشت زود هنگام برنج و شرایط لازم برای کشت دوم را در منطقه فراهم می‌آورد، لکن دماهای

آستانه‌ی حداکثر، به طور غیرمستقیم با تغییر رطوبت خاک و متعاقبا گسترش آفات و بیماری‌ها، سبب تلفات محصول می‌شود (کلکار و بدوال، ۲۰۰۷).

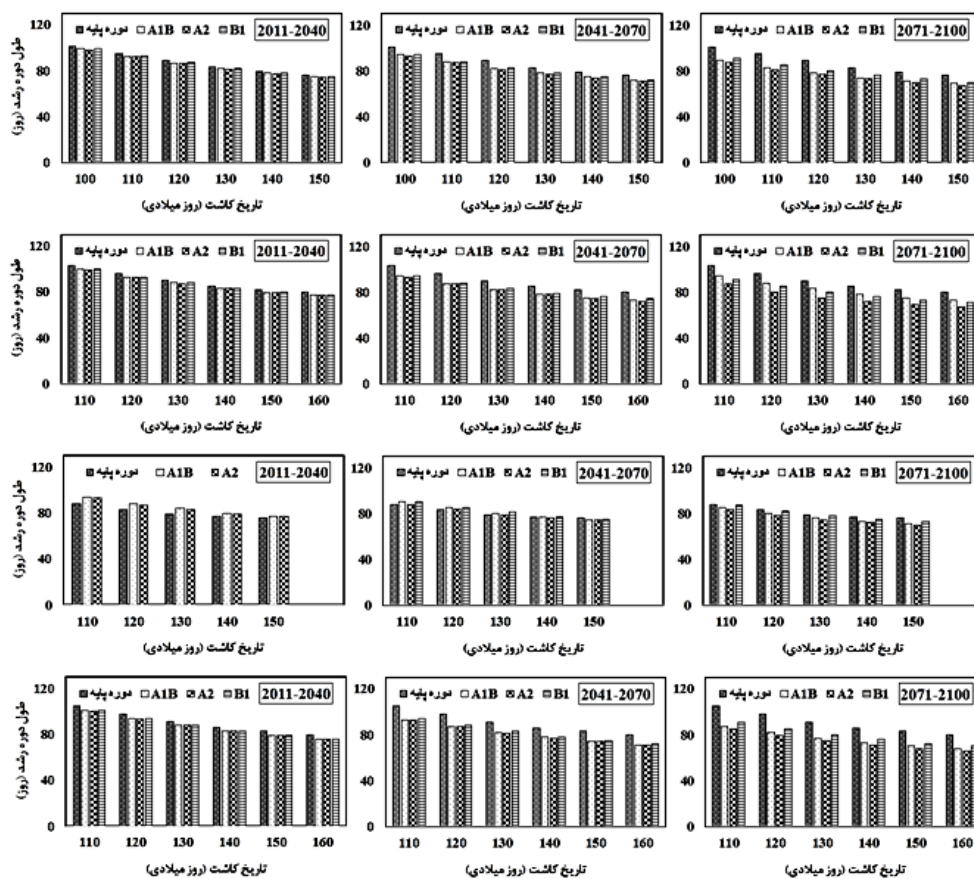
بالا به ویژه در مراحل بحرانی رشد همچون مرحله‌ی گل - دهی اثرات نامطلوبی را بر رشد و عملکرد نهایی گیاه به دنبال خواهد داشت. علاوه بر آن، دماهای بالاتر از حد



شکل ۲- بازه‌های مناسب برای کاشت گیاه برنج در بازه‌های زمانی حال و آینده تحت سناریوهای منتخب

همچنین، به تعویق انداختن زمان کاشت از روز ۱۰۰ به روز ۱۶۰ از سال میلادی، اثر تغییر اقلیم را شدت بخشیده و طول فصل کشت را بین ۱۲ تا ۲۵ روز کاهش می‌دهد. کاهش طول دوره‌ی رشد در مرحله‌ی رشد رویشی می‌تواند به دلیل افزایش درجه‌ی حرارت محیط و متعاقب آن، دمای خاک باشد. زیرا در این مرحله، رشد و توسعه‌ی اندام هوایی و ریشه به شدت متأثر از دمای خاک است (هاندا و همکاران، ۲۰۰۸). با این وجود، تاثیر دما در کاهش روزهای لازم برای تکمیل طول دوره‌ی رشد زایشی کمتر از اثر ویژگی‌های گیاهی است.

روزهای ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰، ۱۵۰ و ۱۶۰ از ابتدای سال میلادی برای ایستگاه‌های نوشهر و رامسر، روزهای ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ از ابتدای سال میلادی برای ایستگاه قراخیل و روزهای ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ از ابتدای سال میلادی برای ایستگاه بابلسر به عنوان تاریخ‌های کشت انتخاب شد. نمایش گرافیکی طول فصل کشت بر اساس تاریخ‌های منتخب در بازه‌های زمانی پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف اقلیمی، در شکل ۳ ارائه شد. افزایش دما علاوه بر تغییر تاریخ کاشت، تعداد روزهای لازم برای رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه را نیز بین یک تا ۲۰ روز کاهش داد.



شکل ۳- تعداد روزهای لازم برای رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه برنج در دوره‌های پایه و آینده (به ترتیب از بالا به پایین: بابلسر، نوشهر، قراخیل و رامسر)

یکی از دلایل کاهش عملکرد برنج در اثر تعویق کشت می‌تواند به دلیل مقارن شدن دوره‌های حساس رشد با دماهای بالا باشد. حساس‌ترین مراحل رشد گیاه برنج به دماهای زیاد، به ترتیب مرحله خوشه‌دهی و حدود نه روز قبل از خوشه‌دهی می‌باشد. در صورتی که در زمان خوشه‌دهی، دمای هوا به مدت بیش از دو ساعت از ۳۸ درجه سانتیگراد تجاوز کند، باروری سنبلچه‌ها از ۹۰ درصد به ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین، یک‌ساعت تداوم دمای ۴۱ درجه سانتیگراد در این مرحله، سبب عقیمی کامل سنبلچه‌ها می‌شود (یوشیدا، ۱۹۸۱). از سوی دیگر، کشت دیر هنگام احتمال بروز آفت و بیماری در گیاه را نیز به همراه خواهد داشت (انته و آموسا، ۲۰۱۰). به این ترتیب، کشت برنج باید به نحوی صورت بگیرد که از یک‌سو، از هم‌زمان شدن مراحل حساس رشد با دماهای بسیار زیاد ممانعت به عمل آورد و از سوی دیگر، از

نظر به اهمیت تاریخ برداشت از دیدگاه منافع اقتصادی و وابستگی این مولفه به تاریخ کاشت، کشت برنج در شرایط افزایش دما در اقلیم آینده‌ی مازندران باید با دقت بیش‌تری صورت بگیرد. اگرچه کاهش طول دوره-ی رشد با تعویق کاشت برنج می‌تواند منافی را همچون آماده‌سازی زود هنگام زمین برای کشت دوم فراهم آورد، لکن توجه به بالاتر بودن دما در تاریخ‌های دیرتر و تاثیر معنی‌دار آن بر میزان عملکرد محصول (پنگ و همکاران، ۲۰۰۴) تصمیم‌گیری در این زمینه را با دشواری‌هایی همراه می‌سازد. ۴۴۱ تا ۸۵۹ کیلوگرم در هکتار کاهش عملکرد برنج به ازای هر درجه افزایش دمای حداقل در بخشی از هند گزارش شد (رایو و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین، نتایج پژوهش دیگری کاهش معنی‌دار عملکرد برنج در نتیجه‌ی تعویق زمان کاشت از ماه ژوئن به ژولای تحت تغییر اقلیم را نشان می‌دهد (مینودین، ۲۰۰۱).

تلفات محصول به دلیل استرس‌های محیطی بکاهد. این امر، مستلزم انجام تحقیقات مزرعه‌ای دقیق با بررسی تمام محدودیت‌های رشد به ازای تاریخ‌های مختلف کاشت خواهد بود.

نیاز آبی و آب سبز

علاوه بر تاثیر موقعیت جغرافیایی و زمان، تغییرات اقلیمی نیز به دلیل به همراه داشتن تاثیرهای معنی‌دار بر مولفه‌های هواشناسی می‌تواند باعث تغییر تبخیر- تعرق مرجع (ET_o) شود. ویژگی‌های آماری محاسبات تبخیر- تعرق در جدول ۳ ارائه شد. همانند برخی پژوهش‌های پیشین (موراتیل و همکاران، ۲۰۱۱)، روند مثبت و معنی‌داری در افزایش مجموع سالانه‌ی ET_o در دوره پایه مشاهده شد. در مقایسه با دوره‌ی پایه، میزان ET_o در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۱۰ بین ۲۸/۴-۱/۶۴ درصد افزایش یافت که در تمام ایستگاه‌ها، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار افزایش آن به ترتیب در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوی A1B و در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی A2 مشاهده شد. همچنین، در هر سه دوره زمانی در سناریوهای منتخب، تغییر اقلیم در ایستگاه نوشهر کم‌ترین و در ایستگاه رامسر بیش‌ترین تاثیر را بر نیاز آبی پتانسیل داشت.

علاوه بر آن، مقادیر آستانه‌ی حداقل ET_o بین ۱۰ (ایستگاه نوشهر در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوی A1B) تا ۳۰/۴ درصد (ایستگاه رامسر در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی A2) و مقادیر آستانه‌ی حداکثر آن، بین ۱/۸ (ایستگاه قراخیل در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوی B1) تا ۲۰/۲ درصد (ایستگاه رامسر در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی A2) افزایش یافت. افزایش ET_o می‌تواند به دلیل افزایش دو مولفه‌ی تابش و دما تحت تغییرات اقلیمی باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج پژوهشی در

آمریکای شمالی نشان داد که کاهش تابش در نتیجه‌ی افزایش تراکم ابرها در شرایط تغییر اقلیم باعث کاهش ET_o شد (پیتسون و همکاران، ۲۰۰۲). علاوه بر آن، تشدید اثر افزایش دما در نتیجه‌ی افزایش باد و تابش در یک منطقه بر افزایش ET_o در اسپانیا گزارش شد (موراتیل و همکاران، ۲۰۱۱).

افزایش ET_o می‌تواند با کاهش ذخیره‌ی رطوبتی موجود در خاک، نیاز به آبیاری تکمیلی را در تابستان‌های گرم افزایش دهد (والرو و همکاران، ۲۰۱۲). محاسبه‌ی نیاز آبی گیاه برنج در اقلیم آینده‌ی استان ماندران حاکی از کاهش ۰/۵ تا ۲۰/۳ درصدی نیاز آبی خالص این گیاه در طول فصل کشت بود (جدول ۴ و ۵). لذا، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس وضع موجود در دوره‌ی پایه، باعث تلفات آب بین ۲۰ تا ۸۱۸ مترمکعب در هکتار در اراضی شالیزاری خواهد شد.

به نظر می‌رسد که اثر کاهش طول دوره‌ی رشد به حدی است که علی‌رغم افزایش ET_o تحت سناریوهای اقلیمی منتخب، نیاز آبی گیاه را کاهش دهد. مدیریت تاریخ کاشت برنج در شرایط تغییر اقلیم تاثیر قابل توجهی در حجم آب اختصاص یافته به کشت این محصول در استان مازندران خواهد داشت. علی‌رغم کوتاه‌تر شدن طول دوره‌ی رشد، تغییر تاریخ کشت به فصل‌های گرم‌تر باعث افزایش ۰/۲ تا ۴/۷ درصدی نیاز آبی برنج در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ می‌شود. این در حالی است که صرف‌نظر از ایستگاه قراخیل، کشت دیرهنگام این گیاه می‌تواند با ۰/۷ تا ۹/۹ درصد کاهش در میزان نیاز آبی برنج، اثرات منفی تغییر اقلیم را در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۱ کاهش دهد. در همین زمان، تعویق کشت در ایستگاه قراخیل، مجموع آب سبز را بین ۷ تا ۲۹ درصد کاهش و آب آبیاری مورد نیاز در طول فصل کشت برنج را بین دو تا ۱۹۵ مترمکعب در هکتار افزایش می‌دهد.

جدول ۳- خصوصیات آماری مجموع تبخیر-تعرق سالانه در دوره‌های پایه و آینده تحت سناریوهای منتخب

ایستگاه	سناریو	Min (mm)	Max (mm)	Mean (mm)	SD (mm)	PI (%)	
پایه	-	۸۳۷/۳	۱۰۶۲/۷	۹۳۷/۸	۴۹/۰	-	
	A1B	۹۴۷/۱	۹۸۲/۸	۹۶۴/۰	۹/۷۱	۲/۷۹	
	A2	۹۴۱/۰	۹۹۷/۳	۹۷۷/۹	۹/۸۸	۴/۲۷	
	B1	۹۴۷/۸	۹۸۳/۹	۹۶۴/۹	۹/۷۲	۲/۸۸	
	۲۰۱۱-۲۰۴۰	A1B	۹۵۴/۸	۱۰۶۶/۸	۱۰۳۳/۱	۳۲/۰	۱۰/۲
		A2	۹۶۹/۲	۱۰۷۹/۱	۱۰۴۵/۷	۳۱/۴	۱۱/۵
		B1	۹۵۵/۸	۱۰۴۸/۹	۱۰۱۸/۵	۲۵/۴	۸/۶
		A1B	۱۰۲۳/۸	۱۱۶۱	۱۱۱۳/۰	۴۴/۴	۱۸/۷
		A2	۱۰۳۶/۲	۱۲۰۵/۷	۱۱۴۷/۸	۵۹/۱	۲۲/۴
		B1	۱۰۰۶	۱۱۰۳	۱۰۶۷/۵	۲۶/۷	۱۲/۸
	۲۰۴۱-۲۰۷۰	-	۷۵۲/۵	۹۴۰/۶	۸۴۹/۷	۴۲/۱	-
		A1B	۸۲۸/۷	۸۹۶/۹	۳۶۳/۶	۱۵/۴	۱/۶۴
A2		۸۳۸/۶	۹۰۷/۵	۸۷۴/۱	۱۵/۷	۲/۸۸	
B1		۸۳۰/۹	۸۹۹/۳	۸۶۶/۳	۱۵/۵	۱/۹۵	
۲۰۱۱-۲۰۴۰		A1B	۸۴۱/۳	۹۷۸/۴	۹۳۰/۲	۳۶/۵	۹/۴۷
		A2	۸۶۴/۶	۹۸۲/۶	۹۳۷/۴	۳۱/۴	۱۰/۳
		B1	۸۵۷/۱	۹۶۱/۰	۹۱۷/۴	۲۶/۹	۷/۹۷
		A1B	۸۴۱/۳	۹۷۸/۴	۹۳۰/۲	۳۶/۵	۹/۴۷
		A2	۹۲۳/۵	۱۱۰۲/۸	۱۰۳۲	۶۰/۴	۲/۱۵
		B1	۹۰۱/۵	۱۰۰۶	۹۶۰	۲۹/۵	۱۲/۰
۲۰۷۱-۲۱۰۰		-	۷۲۱/۱	۹۴۶/۸	۸۳۰/۳	۴۷/۸	-
		A1B	۸۲۰/۳	۸۸۲/۴	۸۵۵/۲	۱۳/۵	۲/۹۹
	A2	۸۳۵/۳	۸۸۱/۷	۸۶۱/۲	۱۳/۶	۳/۷۲	
	B1	۸۳۲/۹	۸۹۳/۲	۸۵۸/۴	۱۶/۵	۳/۳۸	
	۲۰۱۱-۲۰۴۰	A1B	۸۴۲/۶	۹۹۱/۲	۹۳۹/۸	۴۰/۱	۱۳/۲
		A2	۸۵۷/۰	۹۹۲/۲	۹۴۷/۶	۳۸/۹	۱۴/۱
		B1	۸۵۶/۳	۹۵۲/۲	۹۱۹/۷	۲۷/۰	۱۰/۸
		A1B	۹۳۹/۲	۱۰۷۶/۱	۱۰۲۵/۵	۴۶/۹	۲۳/۵
		A2	۹۴۰/۴	۱۱۳۷/۷	۱۰۶۶/۱	۷۲/۸	۲۸/۴
		B1	۹۱۶/۷	۱۰۳۵/۹	۹۷۳/۴	۲۵/۶	۱۷/۱
	۲۰۴۱-۲۰۷۰	-	۸۱۳/۶	۱۰۳۹/۹	۹۱۴	۵۳/۵	-
		A1B	۸۹۵/۵	۹۷۴/۸	۹۳۱/۲	۱۶/۷	۱/۸۹
A2		۹۲۴/۰	۹۶۶/۷	۹۴۳/۹	۱۱/۰	۳/۲۸	
B1		۹۱۳/۸	۹۵۵/۸	۹۳۳/۳	۱۰/۹	۲/۱۱	
۲۰۱۱-۲۰۴۰		A1B	۹۰۸/۹	۱۰۴۱/۳	۹۹۸	۳۴/۷	۹/۱۹
		A2	۹۱۹/۸	۱۰۵۵/۰	۱۰۰۷/۵	۳۳/۶	۱۰/۲۳
		B1	۹۱۰/۱	۱۰۲۷/۱	۹۸۲/۹	۲۷/۹	۷/۵۵
		A1B	۹۷۰/۳	۱۱۲۷/۳	۱۰۷۰/۸	۴۸/۲	۱۷/۱۶
		A2	۹۷۸/۲	۱۱۷۶/۷	۱۱۰۴/۷	۶۱/۵	۲۰/۹
		B1	۹۵۱/۰	۱۰۶۸/۳	۱۰۲۸/۹	۳۰/۷	۱۲/۶

SD^o انحراف از معیار؛ PI درصد افزایش در میزان ETo

صرف نمود (کاراندیش و همکاران، ۲۰۱۵). جداول ۴ و ۵ نشان می‌دهد که علی‌رغم کاهش نیاز آبی برنج، تغییر اقلیم میزان بارش موثر در طول فصل کشت برنج را نیز به میزان ۰/۲۳ تا ۵۰/۳ درصد کاهش داد. مجموع آب سبز در دوره‌ی پایه برابر با ۵۸/۱ تا ۱۵۴/۲ میلی‌متر بود که این مقدار در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۱۰۰ به ۳۴/۵-۱۴۴ میلی‌-

توجه به نیاز آبی به تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی در بهینه‌سازی آب مصرفی در بخش کشاورزی باشد. اگرچه منشا آب آبی (آب آبیاری) نیز بارندگی است، لکن وقوع آن در خارج از فصل کشت گیاه، باعث ذخیره‌ی آن به صورت منابع آب سطحی و زیرزمینی شده که باید برای استفاده از آن‌ها در آبیاری، انرژی و هزینه

کشت به زمان‌های دیرتر، آب آبی مورد نیاز برای کشت برنج در محدوده‌ی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۰ را تا ۵۹۳ مترمکعب در هکتار افزایش خواهد داد. این مساله نشان می‌دهد که با وجود کوتاه‌تر شدن طول دوره‌ی کشت در کشت‌های دیرهنگام، اثرات منفی بالا رفتن دما، باعث افزایش نیاز آبیاری خواهد شد.

متر کاهش می‌یابد. با این وجود، اثرات کاهش نیاز آبی بر کاهش آب سبز غالب بوده و موجب شده تا نیاز آبیاری برنج در منطقه مطالعه تحت اقلیم آینده‌ی این استان بین یک تا ۶۸۱ مترمکعب در هکتار کاهش یابد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که اگرچه در دوره‌ی پایه، تعویق کشت می‌تواند از نیاز آبیاری بکاهد، لکن جابجایی فصل

جدول ۴- نیاز آبی خالص (ETc) و آب سبز (GW) در طول فصل کشت برنج در دوره‌ی پایه و آینده تحت سناریوهای منتخب در ایستگاه-های بابلسر و قراخیل (۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ شماره روز ژولیبوسی می‌باشند)

دوره	تاریخ	پارامتر*	بابلسر						قراخیل				
			۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰
پایه	۱	ETc (mm)	۴۰۰/۸	۳۸۷/۳	۳۷۲/۱	۳۵۴/۷	۳۴۲/۳	۳۲۹/۹	۳۷۷/۱	۳۶۹/۶	۳۶۳/۱	۳۶۵/۳	۳۶۰
		GW (mm)	۷۵/۷	۶۸/۰	۶۲/۱	۵۸/۱	۵۹/۳	۶۶/۳	۹۲/۱	۸۴/۷	۷۷/۳	۷۳/۱	۷۸/۴
۲۰۱۱-۲۰۴۰	A1B	ETc (mm)	۳۶۰/۴	۳۶۰/۴	۳۵۹/۶	۳۶۵/۴	۳۵۸/۶	۳۵۹/۱	۳۵۲/۴	۳۴۴/۳	۳۴۲/۸	۳۳۸/۹	۳۲۶/۶
		GW (mm)	۷۱/۸	۶۵/۸	۶۵/۰	۶۹/۸	۷۲/۸	۷۶/۴	۸۸/۰	۷۹/۲	۷۵/۰	۷۴/۶	۷۵/۰
	A2	ETc (mm)	۳۵۸/۷	۳۶۲/۴	۳۶۲/۶	۳۶۳/۹	۳۵۷/۵	۳۵۷/۹	۳۵۴/۱	۳۴۶/۶	۳۴۴/۹	۳۴۱/۱	۳۴۱/۷
		GW (mm)	۷۰/۴	۶۵/۳	۶۴/۹	۶۹/۳	۷۱/۵	۷۴/۱	۱۰۶/۷	۹۵/۸	۸۸/۳	۸۹/۲	۸۸/۵
BI	ETc (mm)	۳۵۹/۲	۳۶۲/۳	۳۶۲/۸	۳۶۴/۳	۳۵۷/۷	۳۵۸/۴	۳۵۳/۹	۳۴۶/۴	۳۴۵/۲	۳۴۱/۹	۳۳۹	
	GW (mm)	۷۲/۲	۷۰/۵	۶۷/۹	۷۰/۷	۷۳/۴	۷۶/۵	۸۹/۳	۸۱/۰	۷۶/۸	۷۴/۹	۷۴/۲	
۲۰۴۱-۲۰۷۰	A1B	ETc (mm)	۳۲۲/۴	۳۳۱	۳۲۴/۴	۳۳۱/۷	۳۲۶/۵	۳۳۹	۳۵۲/۳	۳۴۴/۳	۳۴۲/۱	۳۴۴	۳۴۱/۷
		GW (mm)	۶۰/۵	۵۳/۳	۴۷/۳	۴۶/۳	۴۷/۰	۵۲/۷	۸۷/۳	۷۷/۶	۶۸/۶	۶۷/۹	۷۲/۰
	A2	ETc (mm)	۳۲۱/۲	۳۲۹/۵	۳۲۲/۶	۳۳۱/۲	۳۲۵/۵	۳۲۷/۴	۳۴۹/۳	۳۵۰/۱	۳۴۴/۵	۳۴۶	۳۴۷/۶
		GW (mm)	۶۳/۱	۵۴/۱	۴۸/۶	۴۸/۰	۴۷/۵	۵۰/۱	۹۰/۳	۸۲/۱	۷۲/۷	۶۷/۵	۷۰/۶
BI	ETc (mm)	۳۲۱/۲	۳۲۹/۷	۳۲۳/۱	۳۳۰/۴	۳۲۵/۴	۳۲۸/۱	۳۵۱	۳۴۶	۳۴۰/۲	۳۴۵/۲	۳۴۲/۲	
	GW (mm)	۶۲/۶	۵۷/۰	۵۱/۵	۵۱/۰	۵۲/۴	۵۹/۵	۹۴/۳	۸۵/۱	۷۶/۶	۷۷/۹	۸۲/۵	
۲۰۷۱-۲۱۰۰	A1B	ETc (mm)	۳۲۲/۷	۳۳۵/۷	۳۲۷/۱	۳۳۲/۶	۳۲۵/۷	۳۵۰/۷	۳۵۰/۳	۳۴۵/۹	۳۴۴/۳	۳۴۰/۴	۳۵۰/۲
		GW (mm)	۵۷/۷	۳۹/۴	۳۴/۵	۳۶/۰	۳۸/۲	۳۹/۳	۶۸/۳	۶۰/۹	۵۱/۴	۴۸/۵	۵۴/۶
	A2	ETc (mm)	۳۱۹/۴	۳۲۰	۳۲۷/۵	۳۳۴/۴	۳۳۴/۵	۳۵۰/۹	۳۵۴/۵	۳۴۹/۸	۳۴۸	۳۵۵/۱	۳۵۷/۶
		GW (mm)	۶۲/۶	۴۳/۶	۳۸/۵	۳۹/۶	۴۱/۹	۴۲/۲	۷۲/۲	۶۷/۲	۶۲/۲	۵۵/۶	۵۹/۰
BI	ETc (mm)	۳۳۲	۳۳۲/۶	۳۳۴/۸	۳۴۱	۳۴۷/۳	۳۵۰/۸	۳۵۵/۶	۳۵۰/۴	۳۴۸/۹	۳۴۸/۴	۳۵۱/۳	
	GW (mm)	۶۸/۲	۵۱/۴	۴۶/۳	۴۸/۹	۴۸/۸	۴۹/۵	۸۳/۶	۷۵/۹	۶۶/۳	۶۲/۰	۶۸/۶	

بارندگی فصلی را کاهش دهد، به نحوی که کشت زودهنگام، امکان بهره‌گیری بیشتری از آب سبز در طول فصل کشت را فراهم آورده و نیاز به مصرف آب آبیاری در کشت برنج را تا ۵۹۳ مترمکعب در هکتار کاهش می‌دهد. به این ترتیب، تولید برنج در استان مازندران در دوره‌های آتی مستلزم مدیریت مناسب تقویم کشت این محصول می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، امکان مدیریت کشت برنج با هدف کاهش نیاز آبی در شرایط وقوع تغییر اقلیم بررسی شد. نتایج نشان داد که علی‌رغم افزایش دما و متعاقباً، نیاز آبی پتانسیل، نیاز آبی خالص گیاه و مجموع آب سبز در طول فصل کشت کاهش می‌یابد. با این وجود، سامان‌دهی زمان کاشت می‌تواند آثار منفی تغییر اقلیم بر کاهش

جدول ۵- نیاز آبی خالص (ETc) و آب سبز (GW) در طول فصل کشت برنج در دوره‌ی پایه و آینده تحت سناریوهای منتخب در ایستگاه- های نوشهر و رامسر (۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ شماره روز ژوئیه می‌باشند)

دوره	سناریو	پارامتر*	نوشهر						رامسر					
			۱۶۰	۱۵۰	۱۴۰	۱۳۰	۱۲۰	۱۱۰	۱۶۰	۱۵۰	۱۴۰	۱۳۰	۱۲۰	۱۱۰
پایه	-	ETc (mm)	۳۴۸/۸	۳۶۰/۴	۳۶۵/۴	۳۷۸/۴	۴۰۱	۴۱۶/۹	۳۵۹/۸	۳۷۰/۷	۳۷۹	۳۸۷/۶	۴۰۱/۳	۴۱۲/۱
		GW (mm)	۱۱۶/۳	۱۱۵/۴	۱۱۳/۰	۱۱۶/۰	۱۲۵/۶	۱۳۸/۴	۱۱۸/۶	۱۲۳/۵	۱۲۲/۵	۱۲۴/۴	۱۴۰/۵	۱۵۴/۲
۲۰۱۱-۲۰۴۰	AIB	ETc (mm)	۳۸۴/۳	۳۸۰/۳	۳۸۵/۷	۳۹۱	۳۹۸/۳	۴۰۳/۱	۳۳۴/۹	۳۳۵/۳	۳۳۵/۲	۳۳۵/۸	۳۳۹/۸	۳۴۴/۶
		GW (mm)	۹۷/۲	۹۶/۸	۱۰۱/۳	۱۰۲/۸	۱۰۸/۸	۱۳۸/۱	۱۱۱/۵	۱۱۵/۳	۱۱۷/۶	۱۲۴/۹	۱۲۹/۰	۱۴۰/۷
	A2	ETc (mm)	۳۸۶/۹	۳۸۳/۱	۳۸۸/۷	۳۹۰/۵	۴۰۱/۶	۴۰۲	۳۳۶/۸	۳۳۶	۳۳۵/۹	۳۳۵/۱	۳۳۴	۳۳۹/۲
		GW (mm)	۹۵/۵	۹۸/۴	۱۰۲/۹	۱۰۶/۷	۱۱۵/۷	۱۴۲/۴	۱۰۰/۶	۱۱۳/۲	۱۲۱/۹	۱۳۱/۴	۱۳۶	۱۴۴/۰
	B1	ETc (mm)	۳۸۴	۳۸۴/۲	۳۸۸/۸	۳۸۹/۹	۳۹۷/۱	۴۰۱/۹	۳۳۴	۳۳۳/۱	۳۳۳/۹	۳۳۴/۲	۳۳۲/۹	۳۳۸/۶
		GW (mm)	۹۵/۱	۹۶/۸	۱۰۱/۳	۱۰۲/۸	۱۱۰/۵	۱۳۹	۷۹/۹	۱۱۳/۱	۱۱۶/۶	۱۲۴/۷	۱۳۰/۸	۱۳۷/۷
	AIB	ETc (mm)	۳۴۲	۳۵۴/۷	۳۵۲/۲	۳۵۳/۳	۳۵۱/۶	۳۵۴/۷	۳۴۴/۵	۳۴۲/۷	۳۴۲/۳	۳۳۹/۱	۳۳۷/۴	۳۳۷/۷
		GW (mm)	۸۴/۲	۸۵/۲	۹۲/۵	۹۵/۹	۱۰۸/۷	۱۳۴/۹	۷۴/۹	۸۲/۷	۸۷/۵	۹۰/۱	۹۶/۴	۱۰۴/۲
	A2	ETc (mm)	۳۵۹/۶	۳۵۳	۳۵۵/۲	۳۵۶/۴	۳۵۴/۷	۳۵۳/۶	۳۴۷/۲	۳۴۸/۷	۳۴۵/۳	۳۴۱/۹	۳۴۲/۵	۳۴۳/۷
		GW (mm)	۸۳/۶	۸۷/۶	۹۴/۹	۱۰۰/۱	۱۱۵/۰	۱۳۴/۶	۷۷/۱	۸۴/۱	۸۹/۲	۹۲/۷	۹۵/۴	۱۰۸/۹
	B1	ETc (mm)	۳۶۶/۱	۳۵۸/۳	۳۵۵/۳	۳۵۶/۴	۳۵۳/۷	۳۵۳/۴	۳۴۲/۶	۳۴۳/۸	۳۳۸/۸	۳۴۰/۴	۳۳۸/۳	۳۳۸/۵
		GW (mm)	۹۴/۶	۹۴-۹	۱۰۱	۱۰۳/۷	۱۱۶/۶	۱۴۱	۹۹/۱	۱۰۶/۶	۱۰۴/۲	۱۰۸/۹	۱۱۳/۷	۱۲۱/۵
AIB	ETc (mm)	۳۸۸/۳	۳۸۴/۳	۳۸۰/۱	۳۸۳/۱	۳۸۲	۳۸۵/۴	۳۶۲/۶	۳۶۲/۶	۳۵۷/۱	۳۴۴/۴	۳۴۱/۵	۳۴۳/۲	
	GW (mm)	۷۵/۵	۷۶/۲	۸۲/۲	۸۴/۴	۹۴/۳	۱۱۱/۰	۵۸/۹	۷۰/۲	۷۶/۳	۸۴/۵	۸۸/۸	۹۸/۸	
A2	ETc (mm)	۳۵۸/۶	۳۵۷/۳	۳۵۱/۹	۳۴۵/۱	۳۴۴/۲	۳۵۳/۸	۲۶۴/۷	۲۶۵/۹	۲۵۹/۹	۲۶۲/۴	۲۶۱/۵	۲۶۴/۶	
	GW (mm)	۷۵/۲	۷۷/۹	۸۵/۱	۹۱/۱	۱۰۴/۴	۱۲۱/۱	۶۲/۹	۶۸/۵	۷۳/۹	۸۰/۵	۸۱/۳	۹۱/۰	
B1	ETc (mm)	۳۶۸/۷	۳۶۸	۳۶۳/۴	۳۶۳/۴	۳۶۲	۳۶۵/۹	۳۵۲/۹	۳۴۷/۱	۳۴۶/۵	۳۴۲/۳	۳۳۲/۷	۳۴۲/۶	
	GW (mm)	۹۱/۳	۹۵/۷	۹۷/۲	۱۰۱/۰	۱۰۹/۹	۱۳۳/۳	۸۸/۱	۹۲/۲	۹۳/۸	۱۰۰/۰	۱۰۸/۶	۱۲۱/۹	

فهرست منابع

۱. سازمان جهاد کشاورزی مازندران، ۱۳۹۱. سیمای کشاورزی مازندران در نگاه آمار طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰. ۳۹ صفحه.
۲. سلیمانی ننادگانی، م. م.، پارس‌نژاد، ش. عراقی‌نژاد و ع. مساح یوانی، ۱۳۹۰. بررسی رخداد تغییر اقلیم و تاثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه (مطالعه موردی: بهشهر). مجله پژوهش آب ایران، ۶ (۱۰): ۲۰-۱۱.
۳. عزیزی، ق. و م. روشنی، ۱۳۸۸. تحلیلی بر مفاهیم و اثرات تغییر اقلیم روی دما و تقویم زراعی برنج در گیلان، فصلنامه فضای جغرافیایی، دوره ۴، شماره ۸: ۱۵۵-۱۴۳.
۴. کلانکی، م. و ف. کاراندیش، ۱۳۹۴. پیش‌بینی اثرات بلند مدت تغییر اقلیم بر مولفه‌های اقلیمی در منطقه مرطوب. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، (۲۰): ۱۴۸-۱۳۱.
۵. مهدوی میمند، ا. ج. احدیان، و م. احترام، ۱۳۹۳. تحلیل حساسیت عوامل مؤثر در هوادهی سرریز با استفاده از روشهای هوشمند مصنوعی و ANFIS. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. (۱۷): ۹۵-۸۳.
6. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration guideline for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Pp281.

7. Darzi-Naftchali, A. and A. Shahnazari, 2014. Influence of subsurface drainage on the productivity of poorly drained paddy fields. *European Journal of Agronomy*, 56: 1-8.
8. de Silva C.S., E.K. Weatherhead, J.W. Knox and J.A. Rodriguez-Diaz, 2007. Predicting the impacts of climate change: a case study on paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. *Agricultural Water Management*, 93(1-2): 19-29.
9. Elgaali. E., L.A. Garcia and D.S. Ojima, 2007. High resolution modeling of the regional impacts of climate change on irrigation water demand. *Climatic Change*, 84: 441-461.
10. Enete A.A. and T.A. Amusa, 2010. Challenges of Agricultural Adaptation to Climate Change in Nigeria: a Synthesis from the Literature», *Field Actions Science Reports* [Online], URL: <http://factsreports.revues.org/678>.
11. FAO, 2012, 2013 and 2014. FAO statistical year book, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
12. FAO, 2009. Low greenhouse Gas Agriculture mitigation and adaptation potential of sustainable farming system Roam.
13. Hund A., Y. Fracheboud, A. Soldati and P. Stamp, 2008. Cold tolerance of maize seedlings as determined by root morphology and photosynthetic traits. *European Journal of Agronomy*, 28: 178-185.
14. IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
15. Karandish, F., S. Salari and A. Darzi-Naftchali, 2015. Application of virtual water trade to evaluate cropping pattern in arid regions. *Water Resource Management*. 29: 4061-4074.
16. Kelkar, U. and S. Bhadwal, 2007. South Asian regional study on climate change impacts and adaptation: implications for human development [Report]. Sri Lanka: Human Development Report Office.
17. Kumar, M.D., 2001. *Irrigation water management: principles and practice*. PHI Learning Pvt. Ltd. Dey 12, 1379 AP - Technology & Engineering. Pp: 5000.
18. Mainuddin, M. 2011. *Agricultural productivity and food security in the lower Mekong Basin: impacts of climate change and options for adaptation*. CSIRO Land and Water, Canberra
19. Moratiel, R., R.L. Snyder, J.M. Durn and A.M. Tarquis, 2011. Trends in climatic variables and future reference evapotranspiration in Duero Valley (Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 1795- 1805.
20. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10: 282-290.
21. Parry M.L., C. Rosenzweig, A. Iglesias, M. Livermore and G. Fischer, 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14:53-67.
22. Peng, S.B., J.L. Huang, J.E. Sheehy, R.C. Laza, R.M. Visperas, X.H. Zhong, G.S. Centeno, G.S. Khush and K.G. Cassman. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.* 101, 9971-9975.
23. Peterson, T.C., V.S. Golubev and P.Y. Groisman, 2002. Evaporation losing its strength. *Nature* 377, 687-688.
24. Rao, B.B., P. Santhibhushan Chowdary, V.M. Sandeep, V.U.M. Rao and B. Venkateswarlu. 2014. Rising minimum temperature trends over India in recent

- decades: Implications for agricultural production. *Global and Planetary Change* 117: 1–8.
25. Reddy, K.S., M. Kumar, V. Maruthi, B. Umesha, Vijayalaxmi and C.V.K. Nageswar Rao. 2014. Climate change analysis in southern Telangana region, Andhra Pradesh using LARS-WG model. *Current Science*, 107 (54): 54-62.
 26. Rodriguez Diaz, J.A., E.K. Weatherhead, J.W. Knox and E. Camacho, 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Regional Environmental Change*: 7:149–159.
 27. Sandhu, S.S., Prabhjyot-Kaur and K.K. Gill, 2013. Weather Based Agro Indices and Grain Yield of Rice Cultivars Transplanted on Different Dates in Punjab. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4: (10): 1019-1026.
 28. Shrestha, S., 2014. *Climate Change Impacts and Adaptation in Water Resources and Water Use Sectors*, Springer Water, Springer International Publishing Switzerland, DOI 10.1007/978-3-319-09746-6_5.
 29. Tabari, H., S. Marofi, A., Aeini, P. Hosseinzadeh- Talaei and K. Mohammadi, 2010. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 128–136.
 30. Tao, F., M. Yokozawa, Y. Xu, Y. Hayashi and Z. Zhang, 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. *Agricultural and Forest Meteorology* 138: 82–92.
 31. Valero, R.M.M., J.M.M. Avalos and E.V. Vazquez, 2012. Estimation of the daily water consumption by maize under Atlantic climatic conditions (A Coruña, NW Spain) using Frequency Domain Reflectometry – a case study. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: 709–714.
 32. Wang, X., C.T. Mosley, J.R. Frankenberger and E.J. Klavivko, 2006. Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacings using DRAINMOD. *Agricultural Water Management*, 79: 113–136.
 33. Wassmann R and A. Dobermann, 2007. Climate change adaptation through rice production in regions with high poverty levels. *Journal of Semi-Arid Tropical Agricultural Research*, 4(1):1–24.
 34. Xing, W., W. Wang, Q. Shao, S. Peng, Z. Yu, B. Yong and J. Taylor, 2014. Changes of reference evapotranspiration in the Haihe River Basin: Present observations and future projection from climatic variables through multi-model ensemble. *Global and Planetary Change* 115: 1-15.
 35. Yano, T., M. Aydin and T. Haraguchi, 2007. Impact of Climate Change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. *Sensors* 7: 2297-2315.
 36. Yoshida, S., 1981. *Fundamentals of rice crop science*. IRRI, Los Banos, p 269.
 37. Zhang, H.L., X. Zhao, X.G. Yin, S.L. Liu, J.F. Xue, M. Wang, C. Pu and F. Chen, 2015. Challenges and adaptations of farming to climate change in the North China Plain. *Climatic Change*, 129 (1): 213-224.