صص ۱۴-۱

تأثیر تغییر آب و هوا بر نیاز آبی برنج در استان مازندران

اسماعیل ایران‌نژاد
دانشجوی دکتری تخصصی آب و هواشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
حسین محمدی*
استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، ایران
رضا برنا
دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۹

چکیده
در این پژوهش اثر تغییر آب و هوا به‌ویژه مؤلفه‌های دما و بارش بر نیاز آبی برنج بررسی گردید. علاوه بر آن اثر متغیر دما بر تبخیر- تعرق در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ تحلیل شد. در این مقاله داده‌هایی همچون تبخیر - تعرق پتانسیل (PET) ارائه و بررسی شد، همچنین روش فائو-پنمن- مانتیث به‌عنوان معتبرترین روش برای تخمین تبخیر - تعرق گیاه مرجع مورد استفاده است. علاوه بر این‌ها نیاز آبی گیاه و بارش مؤثر طی فصل رشد برنج مورد بررسی قرار گرفته شد. تمام این پژوهش‌ها به کمک نرم‌افزار XLSTAT که نرم‌افزاری آماری است برای یافتن همبستگی و همچنین رگرسیون گیری مورد استفاده واقع شد. رگرسیون گیری و همبستگی به روش من- کندال انجام شد. نتایج حاصل از رگرسیون گیری و همبستگی به کمک روش من-کندال نشان داد که با روند افزایشی تغییر دما از سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ تبخیر- تعرق نیز افزایش یافته است و همبستگی قوی (۰/۹۵) بین تبخیر- تعرق و دما در این استان وجود دارد. به کمک نرم‌افزار CROPWAT نیاز آبی برنج در استان مازندران به دست آمد و جدول زمان‌بندی آبیاری نیز محاسبه شد. طبق محاسبات به دست آمده حداقل تبخیر- تعرق و نیاز آبی در مرحله اولیه رشد (فروردین ماه) و حداکثر آن در مرحله میانی (اوایل تیر ماه) است. برای استان مازندران در طول مدت دوره رشد برنج (اواسط فروردین-اواسط مرداد)، برای مثال زمانی که کل بارش در دوره رشد برنج ۱۵۰/۶ میلی‌متر باشد، مجموع آبیاری ناخالص ۴۱۱/۹ میلی‌متر و مجموع آبیاری خالص ۲۸۸/۳ میلی‌متر، خواهد بود. این مقدار در سال‌های مختلف متفاوت است که کمتر یا بیشتر از این مقدار است. از این‌رو نیاز است به دلیل روند افزایشی دما در بحث مدیریت مصرف آب و روش‌های نوین آبیاری در منطقه و کشور توجه بیشتری صورت گیرد.

واژگان کلیدی: **گیاه برنج، رگرسیون، همبستگی، مدل XLSTAT، مدل CROPWAT8.0 .**

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۸۴۹۷۶۷ Email: hmmohammadi@ut.ac.ir

مقدمه

عوامل مختلف آب و هوایی از قبیل میانگین دما، بارش، درصد رطوبت، سرعت باد و ساعت آفتابی می‌توانند باعث افزایش میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در گیاه گردند که در نتیجه میزان نیاز آبی گیاه نیز افزایش خواهد یافت. تغییرات آب و هوایی اثر چشم‌گیری بر تولید جهانی کشاورزی دارد (عزیزی، ۱۳۸۳). دلیل این تغییرات به خاطر وابستگی شدید محصولات کشاورزی بر اقلیم است و از سوی دیگر افزایش تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت‌های انسانی نیز بر عملکرد محصولات کشاورزی اثرگذار است (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۰، IPCC ۲۰۰۷، کاندراپا و همکاران، ۲۰۱۱).

با توجه به این‌که کشور ایران در منطقه‌ای کم بارش واقع شده و همچنین در منطقه شمال کشور حدود ۷۵ درصد اراضی کشاورزی زیر کشت برنج می‌باشد، تأمین آب این محصول استراتژیک از طریق آبیاری به مدیریت مطلوب و مناسبی وابسته است. (شیداییان و همکاران، ۱۳۹۳). بخشی از آب مورد نیاز گیاه به طرق مختلف از دسترس خارج می‌شود، یکی از این موارد تبخیر است. بیشتر مطالعاتی که در زمینه مصرف و تأمین آب مورد نیاز کشاورزی انجام شده بر پایه محاسبه نیاز خالص آبیاری است. این مهم با کمک محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل به دست می‌آید. تبخیر- تعرق پتانسیل حداکثر مقدار تبخیر تعرقی است که در یک وضعیت آب و هوایی مشخص در صورتی که محدودیتی از نظر آب وجود نداشته باشد، از یک پوشش کامل گیاهی مثل چمن صورت می‌گیرد. در این راستا مطالعات متعددی انجام پذیرفته است. برای مثال پژوهش‌های انجام گرفته توسط پیرمرادیان و همکاران، (۱۳۸۶) نشان می‌دهد که نیاز آبی برنج در منطقه فارس بین ۵۶۰ تا ۷۵۷ میلی‌متر می‌باشد. پژوهش صورت گرفته توسط جلالی کوتنایی، عبدلی و سلحشور (۱۳۸۷)، نشان داد که تعیین میزان مصرف آب در دوره‌های مختلف رشد گیاه و برنامه‌ریزی مناسب آبیاری از اهمیت زیادی در تولید برخوردار است. این عامل می‌تواند تحت تأثیر دما این مقدار و زمان آبیاری تغییر نماید. عزیزی و روشنی، (۱۳۸۸) در پژوهشی نشان دادند که اثرات تغییر آب و هوا بر دما و تقویم زراعی برنج در استان گیلان، در دوره زمانی ۱۹۸۰-۲۰۰۳ روند دما افزایش داشته است. نتیجه این پژوهش جابه‌جایی فصلی در حال ظهور بوده و تقویم کشت نیز متغیر بوده است. از طرفی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر مصرف آب کشاورزی در دشت تربت‌حیدریه که توسط توکلی و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد را می‌توان نام برد. در این کار با داشتن آمار ۴۰ ساله ایستگاه هواشناسی تربت‌حیدریه بررسی و محاسبه تبخیر تعرق مرجع به سه روش هارگریوز- سامانی، بلانی – کریدل و فائو- پنمن – مانتیث اشاره کرد.

مطالعه دیگری انجام گرفت که اثرات تغییر اقلیم پیش‌بینی شده توسط مدل گردش عمومی HadCM2 تحت سناریوی A1 طی دو دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در تبریز بر روی مصرف واقعی آب گیاه گندم را با استفاده از مدل کراپ وات (CROP WAT) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) میانگین درجه حرارت بیشینه و کمینه سالانه به ترتیب ۲/۷ و ۲/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش و میزان بارندگی سالانه به میزان ۸ درصد کاهش خواهد داشت. در نتیجه میزان مصرف آب گیاه در این دوره ۸/۳ درصد افزایش خواهد داشت؛ و در دوره (۲۰۷۰-۲۰۹۹) ۴/۴ درجه سانتی‌گراد میانگین درجه حرارت بیشینه و کمینه افزایش و میزان بارندگی

۱۶/۳ درصد کاهش خواهد یافت. در این شرایط مصرف آب گیاه گندم ۹/۶ درصد افزایش خواهد داشت. از سوی دیگر شیدائیان و همکاران (۱۳۹۳) نیز به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج در دوره‌های زمانی آینده با استفاده از داده‌های خروجی مدل HadCM3 در منطقه دشت تجن پرداختند. نیاز خالص آبیاری، تبخیر– تعرق پتانسیل با استفاده از روش پنمن – مانتیث و باران مؤثر با روش USDA با مدل CROPWAT8.0 بررسی گردید. نتایج نشان داد که طی سال‌های آتی بارش مؤثر با مقدار کمتری می‌تواند نیاز آبی مصرفی و نیاز خالص آبیاری برنج را در منطقه دشت تجن تأمین کند. همچنین لیپرت و همکاران (۲۰۰۹)[۱] تأثیرات مثبت تغییرات آب و هوا را برای کشاورزی آلمان با استفاده از داده‌های محلی و ناحیه‌ای مناسب و سودمند بوده است. آنچه دن الزن و همکاران (۲۰۱۰)[۲] به آن پرداخته‌اند، تأخیر در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ بود که خطرات اقلیمی را افزایش خواهد داد. سازگاری کشاورزان نقشی کلیدی در حفظ تولید غلات تحت شرایط تغییرات آب و هوایی را ایفا می‌نماید؛ بنابراین تغییر شدید در اقلیم می‌تواند منجر به کاهش در محصولات کشاورزی شود (سارکر،۲۰۱۲)[۳]. اولبرگ و دالمانستور (۲۰۱۴)[۴] به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی در نروژ شمالی و استراتژی‌های بالقوهٔ آن برای سازگاری پرداختند. بوبوژنوف و حسن (۲۰۱۴)[۵] به پژوهش و بررسی تأثیرات تغییرات آب و هوا بر امنیت درآمد کشاورزان در آسیای مرکزی و طرح‌های مدل‌سازی یکپارچه، کشاورزی، اکوسیستم و محیط‌زیست پرداختند.

البهری و بورفیشر (۲۰۱۵)[۶] به بررسی مدل‌سازی اقتصادی تأثیرات اقلیم و سازگاری در کشاورزی، بررسی روش‌ها، نتایج و کمبودها پرداختند. آن‌ها تغییرات اقلیم و سیستم‌های غذایی، ارزیابی و دلایل جهانی امنیت غذایی و تجارت مربوط به آن را مورد توجه قراردادند. توماس و رزگرانت (۲۰۱۵)[۷] تأثیر تغییرات اقلیم را بر محصولات کلیدی در آفریقا را بررسی کردند. آن‌ها از مدل‌های گیاهی و مدل‌های معادلات عمومی برای پیش‌بینی‌های تولید استفاده کردند. عارف و استیفان رامسدن (۲۰۱۶)[۸] به مطالعه اثر تغییر اقلیم بر محصول برنج در مالزی پرداختند.

داده‌ها و روش‌ها

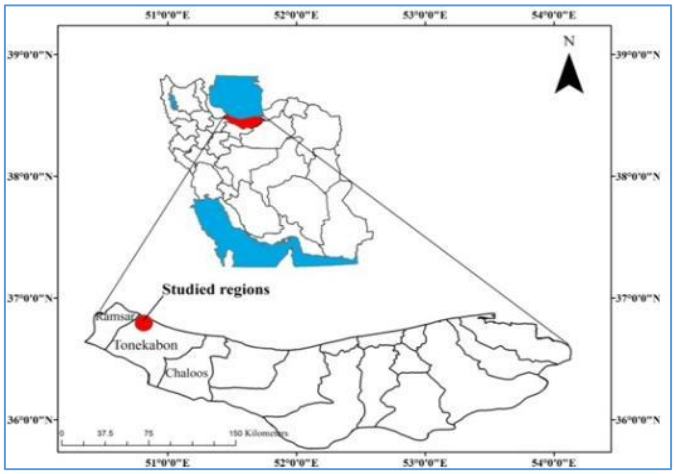
منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش استان مازندران مورد مطالعه قرار گرفته است. استان مازندران در شمال ایران و در کرانه‌های جنوبی دریای خزر به مرکزیت ساری است.

---

[1] Lipert et al (2009)
[2] Dan Elzen et al (2010)
[3] Sarker (2012)
[4] Ulberg and Dalmanster (2014)
[5] Tomas and Rosgrant (2015)
[6] Elbehri and Fuscher (2015)
[7] Tomas and Rosgerant (2015)
[8] Aref and Stephen Ramsden (2016)

این استان با مختصات جغرافیایی '۴۶ ° ۳۵ تا '۵۸ °۳۶ عرض شمالی و '۲۱ ° ۵۰ تا ' ۰۸ ° ۵۴ طول شرقی و هم مرز با استان‌های گلستان، سمنان، تهران، البرز، قزوین و گیلان است. مساحت آن ۲۳۷۵۶ کیلومترمربع بوده و از وسعتی معادل ۱/۴۶ درصد ایران برخوردار است. جمعیت مازندران ۳۲۸۳۵۸۲ نفر بوده که ۴/۱۱ درصد کل کشور را شامل می‌شود. در تصویر (۱) موقعیت جغرافیایی استان مازندران نشان داده شده است.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان مازندران

این منطقه با توجه به رطوبت نسبی تا ۱۰۰ درصد در ماه‌های مختلف و دارا بودن دمای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد و آب فراوان از دیر باز زیر کشت برنج به‌عنوان دومین محصول استراتژیک کشور بوده است. با توجه به ویژگی‌های دمایی و بارشی و پیوند مستقیم اقتصاد کشاورزان با این محصول، کاشت برنج بسیار حیاتی است و میزان برداشت آن نیز برای اقتصاد خانواده و در کل منطقه حائز اهمیت است. از این‌رو با توجه به تغییرات دمایی و بارشی در سال‌های اخیر نیاز آبی برنج برای تولید با راندمان بالاتر و صرفه‌جویی در مصرف آب حائز اهمیت است.

هدف پژوهش این است که با توجه به داده‌ها و آمار محاسبه شده، تغییرات آب و هوایی به‌ویژه دما، بارش و تبخیر- تعرق را در استان مازندران بر روی گیاه برنج به دست آورده تا بتوان اثر تغییرات اقلیمی برافزایش مصرف آب در گیاه برنج را نتیجه گرفت؛ تا بتوان برنامه‌ای مدون برای آبیاری برنج در استان مازندران تهیه کرد. به همین دلیل به بررسی مؤلفه‌هایی همچون تبخیر- تعرق، بارش مؤثر و نیاز آبی گیاه برنج پرداخته شده است.

برآورد تبخیر- تعرق و بارش مؤثر

تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) حداکثر مقدار تبخیر-تعرقی است که در یک وضعیت آب و هوایی مشخص در صورتی که محدودیتی از نظر آب وجود نداشته باشد از یک پوشش گیاهی مانند چمن صورت می‌گیرد. روش فائو-پنمن- مانتیث

به‌عنوان معتبرترین روش برای تخمین تبخیر–تعرق گیاه مرجع مورد استفاده است (علیزاده، ۱۳۸۶). نیاز آب مصرفی گیاه تابعی از نیاز آبی گیاه مرجع (ET0) بوده که به‌صورت ضریب رشد گیاهی (KC) بوده و در نتیجه از معادله (۱) به دست می‌آید:

$$ETC=KC\ (ET0) \qquad \text{معادله (۱)}$$

در تمام روش‌هایی که توسط آن‌ها تبخیر–تعرق گیاه مرجع محاسبه می‌شود برای آنکه به توان نتایج حاصله را به سطوح پوشش گیاهی مورد نظر مانند پوشش‌های زراعی، مرتعی، باغات و یا جنگل تعمیم داد لازم است مقادیر به دست آمده را در ضریب گیاهی Kc ضرب کرد. ضریب گیاهی علاوه بر مقدار ET0 به عواملی مانند نوع گیاه، مرحله رشد و شرایط آب و هوایی محل نیز بستگی دارد. باید توجه داشت که ضریب گیاهی یک مقدار ثابت نبوده و مقدار آن در طول دوره رویش گیاه تغییر می‌کند. در این پژوهش در صورتی که بارش مؤثر محاسبه شود (بارش مؤثر، عبارت است از کل باران طی فصل رشد منهای آنچه که پس از اشباع خاک یا آبیاری، باریده و به‌صورت مازاد آب در اثر نفوذ یا به‌صورت رواناب از دسترس خارج می‌شود). در صورتی که بارش کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر داشته باشیم از رابطه بارش مؤثر معادله (۲) به دست می‌آید:

$$PTOT=PEFF(125-0.2x\ PTOT)/125 \qquad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله PEFF(بارش مؤثر) وPTOT (بارش ماهانه) می‌باشد. همچنین اگر بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر در هر ماه باشد، بارش مؤثر برابر با معادله (۳) خواهد بود.

$$PTOT=PEFF\ (125+0.1\ x\ PTOT) \qquad \text{معادله (۳)}$$

طبق فرمول معادله (۴) تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن – مانتیث خواهیم داشت:

$$ETo=\frac{0.408\ \Delta(\mathrm{Rn-G})+\gamma\left[\frac{890}{\mathrm{T}+273}\right]U2(ea-ed)}{\Delta+\gamma(1+0.34\mathrm{U2})} \qquad \text{معادله (۴)}$$

در رابطه (۴)، ETo، Rn، T، U2، ea-ed، Δ، G،γ ترتیب تبخیر و تعرق مرجع، تابش خالص در سطح پوشش گیاهی، متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری، شیب منحنی فشار بخار، ضریب رطوبتی، شار گرما به داخل خاک می باشند.

محاسبه نیاز آبی گیاه

یکی از اهداف مهم کشت برای هر محصول محاسبه نیاز آبی گیاه برای مدیریت آب می‌باشد. از آنجاییکه مسئله آب در کشور ما بسیار حیاتی است، از این‌رو در صورت رعایت این موضوع و تأمین مناسب آب مورد نیاز گیاه به اندازه کافی، می‌توان از هدر رفت مازاد آب جلوگیری نمود. به همین دلیل به کمک نرم‌افزار CROPWAT (این نرم‌افزار قادر است تا نیاز آبی گیاهان را تعیین و تقویم آبیاری مناسبی برای گیاهان تهیه نماید.)، نیاز آبی گیاه محاسبه شد. همچنین به کمک

نرم‌افزار XLSTAT اقدام به بررسی محاسبات مختلف آماری می‌گردد. این نرم‌افزار برای نخستین بار در رشته جغرافیا توسط نگارنده این مقاله در ایران استفاده شده است.

با توجه به این‌که برای تعیین تغییرات آب و هوایی نیاز به آمار بیش از ۳۵ سال است، به همین دلیل تنها چهار شهر رامسر، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر که آمار بیش از ۳۵ سال دارند، انتخاب شدند. با توجه به این آمار مقدار آب مصرفی و نیاز آبی برنج در مازندران به کمک نرم‌افزار CROPWAT برآورد گردید که در جدول (۱) به آن اشاره شده است. با توجه به این‌که برای تعیین تغییرات آب و هوایی نیاز به آمار بیش از ۳۵ سال است، به همین دلیل تنها چهار شهر رامسر، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر که آمار بیش از ۳۵ سال دارند، انتخاب شدند.

جدول ۱: مقدار آب مصرفی و نیاز آبی برنج در مازندران به تفکیک شهر و سال طی دوره رشد برنج

شهر	مجموع بارش mm	بارش مؤثر mm	مجموع اتلاف بارش mm	نیاز واقعی آب آبیاری mm	مجموع آبیاری ناخالص mm	مجموع آبیاری خالص mm	آب مصرفی واقعی به‌وسیله گیاه mm	آب مصرفی پتانسیل به‌وسیله گیاه mm	راندمان بارش %
رامسر ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴	۵۶۵/۵	۱۷۲/۹	۳۸۳/۶	۱۴۷/۷	۲۱۱/۰	۱۴۷/۷	۳۲۰/۶	۳۲۰/۶	۳۱/۱
رامسر ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵	۴۵۶/۴	۱۴۱/۵	۳۱۴/۹	۲۴۴/۴	۳۴۹/۱	۲۴۴/۴	۳۸۵/۹	۳۸۵/۹	۳۱/۰
رامسر ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷	۴۹۲/۲	۱۴۵/۷	۳۴۶/۵	۲۶۳/۷	۳۷۶/۸	۲۶۳/۷	۴۰۹/۵	۴۰۹/۵	۲۹/۶
بابلسر ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴	۳۱۳/۶	۱۷۴/۳	۱۳۹/۳	۲۰۹/۵	۲۹۹/۳	۲۰۹/۵	۳۸۳/۸	۳۸۳/۸	۵۵/۶
بابلسر ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵	۲۹۹/۰	۱۴۴/۷	۱۵۴/۳	۲۹۰/۰	۴۱۴/۳	۲۹۰/۰	۴۳۴/۷	۴۳۴/۷	۴۸/۴
بابلسر ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷	۲۹۶/۴	۱۶۵/۳	۱۳۱/۱	۲۸۷/۴	۴۱۰/۶	۲۸۷/۴	۴۵۲/۷	۴۵۲/۷	۵۵/۸
نوشهر ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴	۵۵۶/۵	۱۳۹/۳	۴۱۷/۲	۲۰۲/۲	۲۸۸/۹	۲۰۲/۲	۳۴۱/۵	۳۴۱/۵	۲۵/۰
نوشهر ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵	۴۵۶/۴	۱۴۲/۰	۳۱۴/۴	۲۴۶/۳	۳۵۱/۹	۲۴۶/۳	۳۸۸/۴	۳۸۸/۴	۳۱/۱
نوشهر ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷	۴۹۲/۲	۱۵۲/۱	۳۴۰/۲	۲۷۶/۵	۳۹۴/۹	۲۷۶/۵	۴۲۸/۵	۴۲۸/۵	۳۰/۹
قائم‌شهر ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴	۲۴۸/۲	۱۲۸/۹	۱۱۹/۲	۶۹/۹	۹۹/۹	۶۹/۹	۱۹۸/۹	۱۹۸/۹	۵۲/۰
قائم‌شهر ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵	۲۴۱/۴	۱۳۷/۰	۱۰۴/۴	۲۴۸/۹	۳۵۵/۵	۲۴۸/۹	۳۸۵/۸	۳۸۵/۸	۵۶/۸
قائم‌شهر ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷	۲۱۴/۷	۱۳۴/۹	۷۹/۹	۲۸۸/۴	۴۱۱/۹	۲۸۸/۴	۴۲۳/۳	۴۲۳/۳	۶۲/۸

مآخذ: نگارندگان

با توجه به این آمار مقدار آب مصرفی و نیاز آبی برنج در مازندران به کمک نرم‌افزار CROPWAT برآورد گردید که در جدول (۱) به آن اشاره شده است. همچنین در جدول (۲) اطلاعات مربوط به تبخیر–تعرق و بارش مؤثر و همچنین نیاز آب آبیاری در دوره‌های اولیه، رشد و توسعه، میانی و پایانی گیاه برنج برای شهرهای رامسر، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر در سال‌های ۱۹۸۴–۱۹۹۵، ۱۹۹۵ – ۲۰۰۵، ۲۰۰۶–۲۰۱۷ به دست آمد.

جدول ۲: تبخیر– تعرق، بارش مؤثر و نیاز آب آبیاری در هر دوره برای برنج در استان مازندران

شهر	تبخیر تعرق برنج ETc mm/dec	بارش مؤثر Eff mm/dec	آب آبیاری مورد نیاز Irr. Req. mm/dec
رامسر ۱۹۹۴–۱۹۸۴	۳۲۱/۵	۳۵۰/۹	۹۷/۴
رامسر ۲۰۰۵–۱۹۹۵	۳۸۷/۱	۳۱۷/۱	۱۶۴/۹
رامسر ۲۰۱۷–۲۰۰۶	۴۱۰/۶	۳۲۸/۵	۱۸۲/۵
بابلسر ۱۹۹۴–۱۹۸۴	۳۸۴/۹	۲۵۰/۰	۱۸۵/۲
بابلسر ۲۰۰۵–۱۹۹۵	۴۳۵/۹	۲۳۴/۸	۲۵۳/۲
بابلسر ۲۰۱۷–۲۰۰۶	۴۵۳/۹	۲۴۰/۹	۲۵۳/۶
نوشهر ۱۹۹۴–۱۹۸۴	۳۴۲/۵	۳۵۰/۹	۱۱۲/۲
نوشهر ۲۰۰۵–۱۹۹۵	۳۸۹/۶	۳۱۷/۱	۱۶۷/۱
نوشهر ۲۰۱۷–۲۰۰۶	۴۲۹/۷	۳۲۸/۵	۱۹۷/۲
قائم‌شهر ۱۹۹۴–۱۹۸۴	۱۹۹/۵	۲۱۱/۵	۴۳/۳
قائم‌شهر ۲۰۰۵–۱۹۹۵	۳۸۷/۰	۲۰۸/۷	۲۰۱/۶
قائم‌شهر ۲۰۱۷–۲۰۰۶	۴۲۴/۵	۱۸۳/۳	۲۶۳/۸

مأخذ: نگارندگان

نتایج و بحث

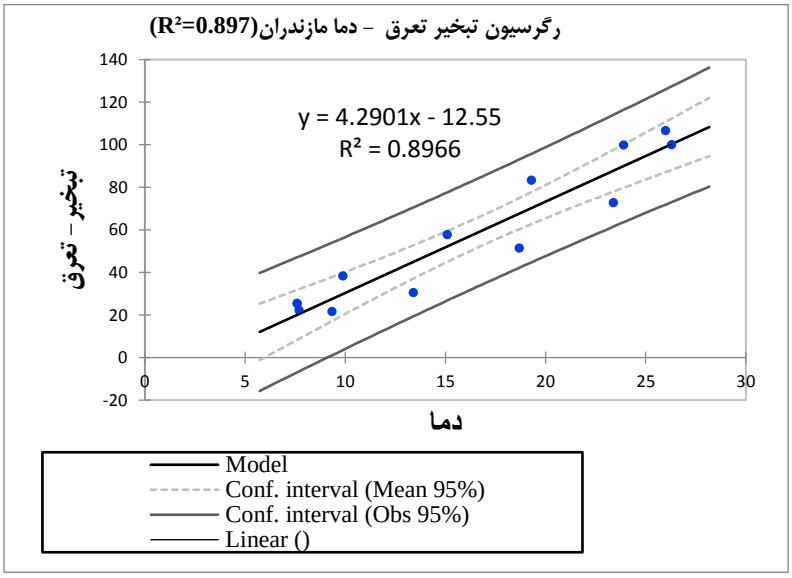
برای مشاهده مقادیر تبخیر – تعرق و مقدار تابش به کمک نرم‌افزار CROPWAT اقدام به محاسبه آماری تبخیر–تعرق و تابش در سطح استان گردید. در نهایت، نتایج در جدول (۳) به‌صورت محاسبات آماری مربوط به تبخیر تعرق– دما برای مازندران در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ به دست آمد.

جدول ۳: تبخیر–تعرق گیاه مرجع و تابش در استان مازندران (سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷)

ماه	میانگین دما	رطوبت	سرعت باد	ساعت آفتابی	تبخیر–تعرق گیاه مرجع ET0	تابش Rad
	°C	٪	m/s	hours	mm/month	MJ/m2/day
ژانویه	۷/۷	۸۳	۱/۴	۴/۱	**۲۷/۲۳**	**۸/۱**
فوریه	۷/۶	۸۳	۱/۷	۳/۵	**۳۰/۸۰**	**۹/۳**
مارس	۹/۹	۸۴	۱/۹	۳/۹	**۴۶/۶۷**	**۱۲/۱**
آوریل	۱۵/۱	۸۳	۱/۹	۴/۹	**۶۹/۵۹**	**۱۵/۶**
مه	۱۹/۳	۸۱	۱/۸	۶/۵	**۱۰۱/۰۴**	**۱۹/۳**
ژوئن	۲۳/۹	۷۸	۱/۷	۷/۳	**۱۲۳/۱۸**	**۲۰/۹**
ژوئیه	۲۶/۰	۷۷	۱/۶	۷/۱	**۱۳۳/۶۵**	**۲۰/۳**
اوت	۲۶/۳	۷۸	۱/۶	۶/۸	**۱۲۵/۹۴**	**۱۸/۷**
سپتامبر	۲۳/۴	۸۱	۱/۵	۵/۳	**۹۰/۷۵**	**۱۴/۶**
اکتبر	۱۸/۷	۸۳	۱/۴	۵/۰	**۶۳/۹۳**	**۱۱/۶**
نوامبر	۱۳/۴	۸۳	۱/۳	۴/۲	**۳۷/۹۹**	**۸/۵**
دسامبر	۹/۳	۸۴	۱/۳	۳/۸	**۲۶/۶۴**	**۷/۲**
میانگین	**۱۶/۴**	**۸۲**	**۱/۶**	**۵/۲**	**۸۷۷/۴۰**	**۱۳/۸**

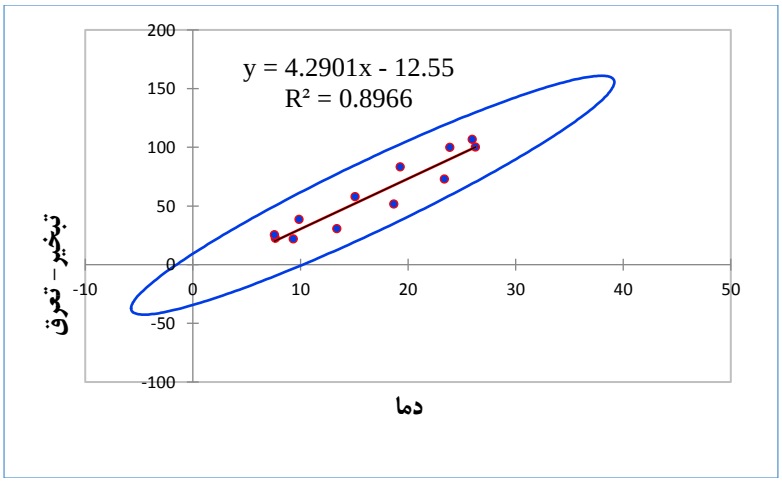
مآخذ: نگارندگان

در جدول (۳) تبخیر–تعرق و تابش در استان مازندران طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ به تفکیک ماه به دست آمد. بر اساس جدول (۳) بیشترین مقدار تبخیر–تعرق در ماه ژوئیه و به میزان ۱۳۳/۶۵ میلی‌متر بوده است. این عدد نشان از رابطه مستقیم دما، ساعت آفتابی و رطوبت با تبخیر–تعرق می‌باشد. هرچند میانگین دما در ژوئیه ۲۶ درجه سانتی‌گراد بوده و در ماه اوت ۲۶/۳ درجه سانتی‌گراد (۰/۳ درجه سانتی‌گراد بیشتر از ماه ژوئیه) ولی به خاطر کاهش ساعت آفتابی و افزایش رطوبت در ماه اوت تبخیر–تعرق کمتری نسبت به ماه ژوئیه وجود دارد. از سوی دیگر با کمک نرم‌افزار XLSTAT محاسبات آماری انجام گرفته و شکل‌های (۲) و (۳) به دست آمد. بر این اساس میزان همبستگی یا Rبرای رامسر ۹۴٪، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر ۹۵٪ است. این نتایج، نشان از همبستگی بالا و قوی بین تبخیر– تعرق و دما در سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ در این شهرها بوده می‌باشد. نتایج به‌صورت شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است که نمودار خط رگرسیون تبخیر–تعرق و دما برای استان مازندران می‌باشد. (کفاشی، ۱۳۹۵). نمودار نشان از رابطهٔ قوی دما و تبخیر– تعرق دارد که هرچه میزان دما افزایش یابد، تبخیر–تعرق نیز افزایش یافته و در نتیجه نیاز به آب برای آبیاری نیز افزایش خواهد یافت.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۲: رگرسیون تبخیر- تعرق و دمای استان مازندران (۱۹۸۴-۲۰۱۷)



مآخذ: نگارندگان

شکل ۳: همبستگی تبخیر- تعرق و دما استان مازندران (۱۹۸۴-۲۰۱۷)

با توجه به آنچه که در شکل‌های (۲) و (۳) قابل مشاهده است با افزایش در میزان دما روند افزایش در مقدار تبخیر- تعرق تسریع می‌گردد. همچنین همبستگی قوی بین دما و تبخیر-تعرق (۰/۹۵) مشاهده می‌شود.(مشکوتی، ۱۳۹۴).

با توجه به جدول (۲) از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ روند افزایش میزان تبخیر و تعرق در شهرهای استان نشان داده می‌شود به‌گونه‌ای که بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴ میانگین مقدار تبخیر-تعرق در رامسر ۳۲۱/۵ میلی‌متر بر دوره، ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ برابر با ۳۸۷/۱ میلی‌متر بر دوره، ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ نیز ۴۱۰/۶ میلی‌متر بر دوره بوده است. همچنین میانگین تبخیر- تعرق بابلسر برای این دوره‌های زمانی به ترتیب ۳۸۴/۹، ۴۳۵/۹، ۴۵۳/۹ میلی‌متر بر دوره را نشان می‌دهد. از سوی دیگر نوشهر نیز به ترتیب ۳۴۲/۵، ۳۸۹/۶ و ۴۲۹/۷ میلی‌متر بر دوره می‌باشد. در نهایت قائم‌شهر میانگین تبخیر- تعرق به ترتیب ۱۹۹/۵، ۳۸۷/۰ و ۴۲۴/۵ میلی‌متر بر دوره بوده است. نتیجه مشاهدات نشان می‌دهد که از بازه زمانی سال‌های

۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ به میزان ۶۵/۵ میلی‌متر بر دوره و از سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ به‌اندازه ۲۳/۵ میلی‌متر بر دوره در شهر رامسر افزایش تبخیر- تعرق وجود دارد. این تغییرات به ترتیب برای بابلسر در این بازه زمانی ۵۱ و ۱۸ میلی‌متر بر دوره بوده، برای نوشهر نیز ۴۷/۱ و ۴۰/۱ میلی‌متر بر دوره و در قائم‌شهر ۱۸۷/۵ و ۳۷/۵ میلی‌متر بر دوره می‌باشد. به وضوح قابل مشاهده است که در نتیجه افزایش روند دما در این ۳۳ سال تبخیر تعرق نیز افزایش یافته است. پس با توجه به روند افزایش کنونی دما می‌توان نتیجه گرفت که روند تبخیر تعرق در آینده نیز افزایش خواهد یافت و عامل مهمی از بروز تغییر آب و هوا در مازندران است. به کمک نرم‌افزار XLSTAT رگرسیون هر چهار شهر انجام گرفت، همچنین با کمک همین نرم‌افزار همبستگی بین مؤلفه دما و تبخیر- تعرق و همچنین همبستگی تبخیر- تعرق با عملکرد برنج در استان مازندران طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۸۷ انجام گرفت. این همبستگی به روش کندال تاو انجام گرفت و نتایج به دست آمده برای شهر رامسر ۰/۷۵۸، بابلسر ۰/۷۸۸، نوشهر ۰/۸۴۸ و قائم‌شهر ۰/۸۰۹ بوده است. اعداد مذکور نشان می‌دهند که همبستگی نسبتاً قوی بین تبخیر تعرق و دما در هر چهار شهر از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ وجود داشته است. روند افزایش دما و تبخیر-تعرق طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که تغییر اقلیم رخ‌داده است. این تغییر اقلیم با مشاهده مقادیر به دست آمده به‌وضوح صورت می‌گیرد. همچنین افزایش کاهش میزان بارش و بارش مؤثر و در نتیجه افزایش نیاز آبی گیاه در واحد سطح در مازندران همگی دلیلی روشن بر تغییر آب و هوا است. مؤلفه دما و بارش و تغییرات ایجاد شده در آن‌ها و افزایش مصرف آب برنج روند تغییرات اقلیمی را در استان مازندران نشان می‌دهند.

نیاز آبی گیاه

در جدول (۴) نیاز آبی برنج در دوره رشد برای کل استان مازندران در نظر گرفته شده است. در هر دوره با توجه به جدول زیر کمترین میزان نیاز آبی برای آبیاری در مرحله اولیه یعنی ماه آوریل (فروردین) است، دلیل این امر نیز حداقل مقدار تبخیر- تعرق است که در این دوره انجام می‌گیرد. از یکسو بیشترین مقدار آب مورد نیاز در ماه ژوئن (اوایل تیر) می‌باشد که در مرحله میانی رشد است. البته بیشترین مقدار تبخیر- تعرق در ماه ژوئیه است، ولی با توجه به فیزیولوژی رشد گیاه مقدار آب مورد نیاز در این مرحله کمی کمتر از اواخر ژوئن است که چندان چشم‌گیر نیست. این مقادیر به ترتیب ۳۲/۶، ۳۲/۳ و ۳۱/۹ میلی‌متر حداکثر نیاز آبی برنج در دوره رشد آن می‌باشد. طبق همین اطلاعات می‌توان برنامه‌ریزی مناسبی برای زمان آبیاری برنج در سطح استان انجام داد؛ البته نتایج حاصل طبق محاسبات و پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مدل CROPWAT حاصل شده است.

جدول ۴: نیاز آبی محصول برنج در کل استان مازندران (۱۹۸۴– ۲۰۱۷)

ماه	دهه	مرحله	ضریب گیاهی KC	تبخیر–تعرق در هر روز ETC	تبخیر–تعرق در هر دوره ETC	بارش مؤثر Eff	آب آبیاری مورد نیاز Irr
			ضریب	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
آوریل	۱	اولیه	۰/۶۲	۱/۲۷	۱۲/۷	۱۵/۹	۰/۰
آوریل	۲	اولیه	۰/۶۲	۱/۴۴	۱۴/۴	۱۲/۶	۱/۷
آوریل	۳	رشد و توسعه	۰/۶۸	۱/۷۹	۱۷/۹	۱۱/۷	۶/۲
مه	۱	رشد و توسعه	۰/۷۹	۲/۳۱	۲۳/۱	۱۰/۸	۱۲/۳
مه	۲	رشد و توسعه	۰/۸۹	۲/۹۱	۲۹/۱	۹/۵	۱۹/۶
مه	۳	میانی	۰/۹۸	۳/۴۸	۳۸/۳	۹/۲	۲۹/۱
ژوئن	۱	میانی	۰/۹۹	۳/۸۰	۳۸/۰	۸/۷	۲۹/۲
ژوئن	۲	میانی	۰/۹۹	۴/۰۸	۴۰/۸	۸/۲	۳۲/۶
ژوئن	۳	میانی	۰/۹۹	۴/۱۴	۴۱/۴	۹/۲	۳۲/۳
ژوئیه	۱	میانی	۰/۹۹	۴/۲۱	۴۲/۱	۱۰/۲	۳۱/۹
ژوئیه	۲	پایانی	۰/۸۹	۳/۸۲	۳۸/۲	۱۰/۹	۲۷/۳
ژوئیه	۳	پایانی	۰/۷۱	۳/۰۲	۳۳/۲	۱۲/۵	۲۰/۷
اوت	۱	پایانی	۰/۵۶	۲/۳۱	۱۸/۵	۱۰/۲	۵/۷
مجموع					**۳۸۷/۶**	**۱۳۹/۷**	**۲۴۸/۵**

توجه: mm/day واحد میلی‌متر/ روز برای تبخیر–تعرق در هر روز و mm/dec واحد میلی‌متر/ دوره (دهه) برای تبخیر –تعرق

مآخذ: نگارندگان

برنامه‌ریزی برای آبیاری برنج

مطابق جدول (۵) برنامه‌ریزی مناسبی برای آبیاری محصول برنج در دوره رشد در استان مازندران طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ انجام گرفت. نیاز آبی برنج از ششم آوریل (۱۷ فروردین) در مرحله رشد آغاز و تا سی‌ام ژوئیه (۸ مرداد) در مرحله پایانی به اتمام می‌رسد. تاریخ هشتم اوت (۱۷ مرداد) زمان پایان مراحل رشد و آغاز برداشت برنج است. بر اساس نتایج حاصل از محاسبات انجام شده به‌وسیله نرم‌افزار CROPWAT در صورتی که برای استان مازندران در دوره رشد برنج، کل بارش ۱۵۰/۶ میلی‌متر باشد، در این صورت بارش مؤثر ۹۱/۱ میلی‌متر، کل تلفات بارش ۵۹/۶ میلی‌متر، کمبود رطوبت در زمان برداشت ۵/۹ میلی‌متر، نیاز واقعی آبیاری ۲۹۴/۲ میلی‌متر، راندمان بارش ۶۰/۴ درصد، مجموع آبیاری ناخالص ۴۱۱/۹ میلی‌متر، مجموع آبیاری خالص ۲۸۸/۳ میلی‌متر، مجموع تلفات آبیاری صفر میلی‌متر، مصرف واقعی آب به‌وسیله گیاه ۳۸۵/۳ میلی‌متر خواهد بود (سازمان هواشناسی استان تهران، ۱۳۹۶).

جدول ۵: برنامه‌ریزی آبیاری برای محصول برنج در استان مازندران طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷

تاریخ	روز	مرحله	میزان بارش	Ks	Eta	نفوذ عمقی	عمق خالص آبیاری	کمبود آبیاری	تلفات آبیاری	عمق ناخالص آبیاری	جریان آب
			mm	ضریب	٪	٪	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
۶ آوریل	۹	اولیه	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۳	**۵/۱**	۰/۰	۰/۰	۷/۳	۰/۱۴
۱۱ آوریل	۱۱	اولیه	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۳	**۶/۵**	۰/۰	۰/۰	۹/۳	۰/۲۲
۲۲ آوریل	۲۲	توسعه	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۲	**۹/۳**	۰/۰	۰/۰	۱۳/۳	۰/۱۴
۲ مه	۳۲	توسعه	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۳	**۱۲/۷**	۰/۰	۰/۰	۱۸/۲	۰/۲۱
۱۱ مه	۴۱	توسعه	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۴	**۱۵/۷**	۰/۰	۰/۰	۲۲/۴	۰/۲۹
۱۹ مه	۴۹	توسعه	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۰	**۱۵/۴**	۰/۰	۰/۰	۲۱/۹	۰/۳۲
۲۶ مه	۵۶	توسعه	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۳	**۱۹/۰**	۰/۰	۰/۰	۲۷/۱	۰/۴۵
۳۱ مه	۶۱	میانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۱	**۱۷/۴**	۰/۰	۰/۰	۲۴/۹	۰/۵۸
۶ ژوئن	۶۷	میانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۲	**۱۸/۲**	۰/۰	۰/۰	۲۶/۰	۰/۵۰
۱۱ ژوئن	۷۲	میانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۳	**۱۹/۳**	۰/۰	۰/۰	۲۷/۵	۰/۶۴
۱۸ ژوئن	۷۹	میانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۴	**۲۰/۲**	۰/۰	۰/۰	۲۸/۹	۰/۴۸
۲۴ ژوئن	۸۵	میانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۴	**۱۹/۹**	۰/۰	۰/۰	۲۸/۵	۰/۵۵
۳۰ ژوئن	۹۱	میانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۴	**۲۱/۱**	۰/۰	۰/۰	۲۸/۶	۰/۵۵
۶ ژوئیه	۹۷	میانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۴	**۱۹/۹**	۰/۰	۰/۰	۲۸/۴	۰/۵۵
۱۰ ژوئیه	۱۰۱	میانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۰	**۱۶/۸**	۰/۰	۰/۰	۲۴/۰	۰/۷۰
۱۶ ژوئیه	۱۰۷	میانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۰	**۱۷/۱**	۰/۰	۰/۰	۲۴/۵	۰/۴۷
۲۱ ژوئیه	۱۱۲	پایانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۲	**۱۸/۳**	۰/۰	۰/۰	۲۶/۱	۰/۶۱
۳۰ ژوئیه	۱۲۱	پایانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۲۱	**۱۷/۵**	۰/۰	۰/۰	۲۵/۰	۰/۳۲
۸ اوت	پایان	پایانی	۰/۰	۱/۰۰	۱۰۰	۷					

مآخذ: نگارندگان

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از محاسبات به دست آمده از میانگین دما و میانگین تبخیر- تعرق هر چهار شهر رامسر، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر (تنها شهرهای استان مازندران که دارای آمار بیش از ۳۰ سال می‌باشند)، رگرسیون خطی گرفته شد. از این‌رو با توجه به نتایج به دست آمده میزان همبستگی یا Rبرای رامسر ۹۴٪، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر ۹۵٪ است. این نتایج نشان از همبستگی بالا و قوی بین تبخیر- تعرق و دما در سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ در این شهرها بوده است. با توجه به آنچه که در شکل‌های (۲) و (۳) قابل مشاهده است با افزایش در میزان دما روند افزایش در مقدار تبخیر- تعرق تسریع می‌گردد. همچنین ضریب همبستگی (R) بین متغیر وابسته تبخیر- تعرق و متغیر مستقل دما نزدیک به ۹۵٪ می‌باشد. مشاهدات نشان می‌دهد که از بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ به میزان ۶۵/۵ میلی‌متر و از سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ به‌اندازه ۲۳/۵ میلی‌متر در شهر رامسر افزایش تبخیر- تعرق وجود دارد. این تغییرات به ترتیب برای بابلسر در این بازه زمانی ۵۱ و ۱۸ میلی‌متر بوده برای نوشهر نیز ۴۷/۱ و ۴۰/۱ میلی‌متر و در

قائم‌شهر ۱۸۷/۵ و ۳۷/۵ میلی‌متر می‌باشد. به‌وضوح قابل مشاهده است که در نتیجه افزایش روند دما در این ۳۳ سال تبخیر–تعرق نیز افزایش‌یافته است. پس با توجه به روند افزایش کنونی دما می‌توان نتیجه گرفت که روند تبخیر– تعرق در آینده نیز افزایش خواهد یافت. از این‌رو با توجه به تغییرات اقلیمی از جمله، افزایش دما، تبخیر– تعرق و کاهش بارش و در نتیجه افزایش مصرف آب برنج در آینده نه‌چندان نزدیک با چالش کمبود آب در زمینه شرب و کشاورزی مواجه خواهیم شد که نشان از تغییر اقلیم در این سال‌هاست (۹۸۴ تا ۲۰۱۷). به همین دلیل نیاز آبی گیاهان و مصرف آب روند افزایشی خواهد داشت که تنها با مدیریت آب و استفاده از روش‌های نوین کشاورزی در حیطه آب‌رسانی و آبیاری می‌توان کمبود آن را در بخش کشاورزی که بزرگ‌ترین بخش مصرف کننده است، جبران نمود. همچنین در جدول (۴) نیاز آبی برنج برای کل استان مازندران در نظر گرفته شده است. با توجه به جدول (۴) کمترین میزان نیاز آبی برای آبیاری در مرحله اولیه رشد یعنی ماه آوریل (فروردین) است، دلیل این امر نیز حداقل مقدار تبخیر– تعرق است که در این دوره انجام می‌گیرد. از طرفی حداکثر مقدار آب مورد نیاز در ماه ژوئن (اوایل تیر) در مرحله میانی رشد است. البته بیشترین مقدار تبخیر– تعرق در ماه ژوئیه است، ولی با توجه به فیزیولوژی رشد گیاه مقدار آب مورد نیاز در این مرحله کمی کمتر از اواخر ژوئن است که چندان چشم‌گیر نیست. بر اساس نتایج حاصل از محاسبات انجام شده به‌وسیله نرم‌افزار CROPWAT برای استان مازندران در دوره رشد برنج، برای مثال در صورتی که کل بارش در دوره رشد برنج ۱۵۰/۶ میلی‌متر باشد، بارش مؤثر ۱۹۱ میلی‌متر، کل تلفات بارش ۵۹/۶م میلی‌متر، کمبود رطوبت در زمان برداشت ۵/۹ میلی‌متر نیاز واقعی آبیاری ۲۹۴/۲ میلی‌متر راندمان بارش ۴۶۰ درصد، مجموع آبیاری ناخالص ۹۴۱۱ میلی‌متر، مجموع آبیاری خالص ۳۲۸۸ میلی‌متر، مجموع تلفات آبیاری صفر میلی‌متر، مصرف واقعی آب به‌وسیله گیاه ۳۸۵/۳ میلی‌متر خواهد بود. از این‌رو در سال‌های آینده با رشد مصرف آب روبرو خواهیم شد. نتایج سایر پژوهش‌ها در مقایسه با مقاله مربوطه نشان داد که طبق بررسی‌های انجام گرفته، تأمین آب به‌عنوان اساسی‌ترین نهاده در تولید برنج با مشکل جدی روبه‌رو است به همین دلیل بررسی نیاز آبی در شرایط کنونی با توجه به تغییرات آب و هوایی ضروری است. همچنین استفاده از روش‌های نوین کشت، آبیاری و استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی می‌تواند در کاهش هدر رفت آب و مصرف زیاد آن جلوگیری نماید.

منابع

۱– توکلی ع. توکلی ا. (۱۳۹۰): تأثیر تغییر اقلیم بر مصرف کشاورزی در دشت تربت‌حیدریه. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۲۰–۱۸ بهمن‌ماه.

۲– پیرمرادیان، نادر و همکاران (۱۳۸۷): ارزیابی دوره بازگشت خشک‌سالی با استفاده از شاخص استاندارد بارش در استان فارس. دانش نوین کشاورزی (بوم‌شناسی گیاهان زراعی)، دوره ۴، شماره ۱۳، صص ۷–۱۲.

۳- جلالی کوتنایی. عبدلی ن. سلحشور ج. (۱۳۸۷): برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی برنج در شهرستان محمودآباد. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
۴- سازمان هواشناسی استان تهران. (۱۳۹۶).
۵- شیدائیان م. ضیائ تبار احمدی خ. فضل اولی ر. (۱۳۹۳): تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸، شماره ۶، بهمن- اسفند ۱۳۹۳. صص ۱۲۹۷-۱۲۸۴.
۶- کفاشی م. (۱۳۹۵): کاربرد نرم‌افزار SPSS در پژوهش اجتماعی. چاپ اول. انتشارات فوژان. صص ۱۷۰-۱۳۲.
۷- عزیزی ق. (۱۳۸۳): تغییر اقلیم. چاپ اول. انتشارات قومس. صص ۲۲۰-۲۱۴.
۸- عزیزی ق. روشنی م. (۱۳۸۸): تحلیلی بر مفاهیم و اثرات تغییر اقلیم بر روی دما و تقویم زراعی برنج در گیلان (مطالعه موردی: ایستگاه رشت). صص ۱۴۳-۱۵۵.
۹- علیزاده ا. (۱۳۸۶): اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ بیست و دوم. انتشارات قومس. صص ۱۸۵-۱۵۳.
۱۰- مشکوتی ا. (۱۳۹۴): کاربرد مدل‌های آماری در ارزیابی تغییر اقلیم و آثار آن. چاپ اول. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. صص ۱۵-۳.

11- Arrif T.M And Stephen Ramsden, (2016): 'The Effect Of Climate Change On Rice Production In Malaysia, Working Paper No. 61.
12- Boberjeoph, E, &, Hassan, RA, (2014): 'Vulnerability Of Crop Production To Heavy Precipitation In North-Eastern Ghana', International Journal Of Climate Change Strategies And Management, Vol. 4, No. 1, Pp. 36-53.
13- Elbehri, S, & Borfitcher, T, (2015): ' Impacts Of Climate Change On Economics Modeling And Agricultural Adaptation, Vol.8, No.3, Pp. 98-105.
14- Ellzen, D, Gregory, P & Izac, AM (2010): 'The Role Of Agronomic Research In Climate Change And Food Security Policy', Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol. 126, No. 1, Pp. 4-12.
15- Kandirpa, G, Rabinson, King, A, (2011):'Impacts Of Human Activities On Agriculture Products, Vol. 24, No. 4, Pp. 89-95.
16- Lipert, P, Jonson, R & Nathan, D (2009): Climate Change And Agriculture, Vol. 19, No.2, Pp. 102-108.
17- Oulberg, SK & Damenstor, JK (2014): 'Household Response To Cyclone And Induced Surge In Coastal Bangladesh: Coping Strategies And Explanatory Variables', Natural Hazards, Vol.57, No. 2, Pp.477-499.
18- Sarker, AR, (2012): 'Impacts Of Climate Change On Rice Production And Farmers' Adaptation In Bangladesh', Faculty Of Business And Law University Of Southern Queensland Toowoomba, Queensland, Australia.
19- Smith T, Junichi Y, Pongthakorn S. (2000): Impact Of Large-Scale Reservoir Operation On Flow Regime In The Chao Phraya River Basin, Thailand. Hydrological Processes 2012; 26: Pp. 2411-2420.
20- Tomuth, H And Rosgrunt, H, (2015): 'Can The Cropping Schedule Of Rice Be Adapted To Changing Climate? A Case Study In Cool Areas Of Northern Japan', Field Crops Research, Vol. 118, No. 2, Pp. 126-134.