

## تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن)

مجید شیدائیان<sup>۱\*</sup> - میرخالق ضیاءتبار احمدی<sup>۲</sup> - رامین فضل‌اولی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۳۰

### چکیده

در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد برنج در دوره‌های زمانی آینده با استفاده از داده‌های خروجی مدل HadCM3، از سری مدل‌های AOGCM، در منطقه دشت تجن مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی تحت سناریوی انتشار A<sub>2</sub>، در دوره‌های زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰، شبیه‌سازی شدند. این کار با کوچک مقیاس سازی دما به روش آماری و بارندگی به روش تناسبی انجام گرفت. برای تخمین نیاز خالص آبیاری، تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از روش پنمن مانیت و باران موثر با روش USDA با مدل CROPWAT8.0 محاسبه شد. اثر کمبود آب بر عملکرد محصول با استفاده از تابع تولید خطی ارائه شده توسط FAO مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج کوچک مقیاس سازی با استفاده از مدل SDSM و روش کوچک مقیاس سازی تناسبی نشان دهنده کاهش در مقدار بارندگی و افزایش در مقدار دما در دوره‌های آتی است. نتایج مدل CROPWAT نشان دهنده این بود که در اثر تغییر اقلیم با افزایش تبخیر تعرق پتانسیل و کاهش بارندگی موثر و افزایش آب مصرفی گیاه، نیاز خالص آبیاری گیاه برنج در حوزه مورد نظر طی سال‌های آتی تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. همچنین در نتیجه تغییر اقلیم و افزایش دما و کاهش بارش درصد کاهش عملکرد در سال‌های آتی به میزان ناچیز رو به افزایش است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هر چه به سال ۲۱۰۰ نزدیکتر شویم بارش موثر با مقدار کمتری می‌تواند نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری برنج را در منطقه مورد نظر تأمین کند.

واژه‌های کلیدی: گیاه برنج، مدل گردش عمومی جو، مدل SDSM، CROPWAT، HadCM3

### مقدمه

آب زیرزمینی جذب شده توسط ریشه گیاه تأمین می‌شود. چنانچه مقادیر بارش موثر و آب زیرزمینی جذب شده توسط ریشه گیاه برای رشد محصول ناکافی باشد که غالباً همین طور نیز هست، باقیمانده نیاز آب مصرفی که به آن نیاز خالص آبیاری اطلاق می‌شود، از طریق آبیاری تأمین می‌گردد (۱۰). تغییرات اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسان نه تنها بر رواناب و دبی رودخانه‌ها تأثیر گذار است بلکه بر مقدار نیاز آبی گیاهان نیز موثر است. تغییر در تاریخ کاشت، طول دوره رشد، میزان تبخیر تعرق از سطح گیاهان و باران موثر از جمله آثار تغییر اقلیم می‌باشند که می‌تواند تقاضای آب در بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به افزایش سرانه مصرف آب در کشور، محدودیت منابع آبی، افزایش جمعیت، نیاز روزافزون کشور به امنیت غذایی و پائین بودن راندمان آبیاری در مزارع، بازنگری روش‌های آبیاری امری اجتناب ناپذیر بوده و در این راستا هر گونه تلاش در بخش کشاورزی بعنوان بزرگترین مصرف کننده آب و بویژه زراعت برنج به عنوان پرمصرف‌ترین گیاه و رایج‌ترین کشت در شمال کشور که بیش از ۷۵ درصد سطح زیر کشت برنج کشور را تشکیل می‌دهد،

تغییر اقلیم و بالا رفتن دما موجب بالا رفتن میزان تبخیر تعرق پتانسیل گیاهی می‌شود که نتیجه آن افزایش نیاز آبی گیاهان است. با توجه به رشد جمعیت و افزایش نیاز به غذا و از سوی دیگر تغییر منابع آب و خاک در نتیجه تغییر اقلیم، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی مصرف آب کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین در نتیجه تغییر اقلیم امکان به خطر افتادن امنیت غذا وجود دارد و توسعه سیستم آبیاری، پذیرش رقم‌های سازگار با دما، سازگاری عملیات زراعی و آبیاری کشاورزان برای تعدیل تهدید بالقوه کشاورزی ایجاد شده به وسیله تغییر اقلیم ضروری است (۳). محصولات مختلف کشاورزی در دوره رشد خود به میزان معینی آب نیاز دارند که بخشی از این نیاز از طریق بارش و نهایتاً بارش موثر و بخشی دیگر از طریق

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران  
(\* نویسنده مسئول: Email: majid\_sheidaeyan@yahoo.com)

کوچک مقیاس کردن خروجی‌های مدل CGCM2 از روش تناسبی استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش درجه حرارت ناشی از تغییر اقلیم در آینده، طول دوره رشد گیاه ذرت در منطقه کاهش می‌یابد. همچنین نیاز خالص آبیاری برای گیاه ذرت به جابجایی تاریخ کاشت به سمت ماه‌های گرم سال افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. هر چند این نیاز به ازای یک تاریخ کشت مشخص، در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش معنی‌داری ندارد. هولدن و همکاران (۴ و ۱۴)، اثر تغییر اقلیم احتمالی بر عملکرد دو محصول جو و سیب زمینی در کشور ایرلند را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که بارندگی‌ها بیشتر به صورت رگبارهای فصلی ریزش یافته و درجه حرارت افزایش نسبتاً یکنواختی به اندازه ۱/۶ درجه سانتیگراد در کل کشور تا سال ۲۰۷۵ خواهد داشت. پیش بینی می‌شود این تغییر به وجود آمده در اقلیم باعث تغییرات پراکندگی جغرافیایی کشت جو شود، اما عملکرد دانه جو در همه مناطق افزایش یابد، در حالی که عملکرد سیب زمینی که یک محصول حساس به تنش آبی است، در بیشتر مناطق کشور کاهش شدیدی تا سال ۲۰۵۵ خواهد داشت (۱۲ و ۴). به بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری گیاهان زراعی کل اراضی جهان که تا سال ۱۹۹۵ مجهز به سیستم‌های آبیاری شده‌اند با استفاده از داده‌های اقلیمی خروجی مدل‌های GCM<sup>۵</sup> پرداخت. وی گیاهان کشت شده را به دو دسته برنج و غیر برنج تقسیم و با در نظر گرفتن طول دوره رشد ثابت (۱۵۰ روز)، نیاز خالص آبیاری را برآورد نمود. نتایج نشان داد که در حدود دو سوم مناطق، نیاز خالص آبیاری در دهه‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۷۰ افزایش می‌یابد که علت آن افزایش درجه حرارت و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق و نیز غیر همگن بودن توزیع مکانی بارندگی‌ها می‌باشد. همچنین تغییر اقلیم در اکثر مناطق باعث جابجایی دوره رشد و تغییر الگوی کشت خواهد شد. یانو و همکاران (۱۹)، اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی و رشد گیاهان گندم و ذرت در نواحی مدیترانه در ترکیه مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه آنها از داده‌های اقلیمی خروجی دو مدل GCM و یک مدل اقلیمی منطقه‌ای تحت سناریوی A<sub>2</sub>، استفاده نمودند. نتایج ارائه شده توسط ایشان افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی‌ها تا پایان سال ۲۱۰۰ را نشان می‌دهد. همچنین نیاز آبی ذرت کاهش یافته در حالی که نیاز آبی گندم افزایش می‌یابد. با افزایش درجه حرارت دوره رشد هر دو محصول کوتاه‌تر شده و صرف-نظر از اثر CO<sub>2</sub> کل ماده خشک تولیدی توسط هر دو محصول کاهش می‌یابد. اما با در نظر گرفتن تاثیر همزمان افزایش دما و بالا رفتن غلظت CO<sub>2</sub>، عملکرد دانه در گندم افزایش و در ذرت کاهش می‌یابد. روی و همکاران (۱۸)، اثرات تغییر اقلیم آینده را در دو دوره ۲۰۳۰ و ۲۰۷۵ بر روی محصولات دیم جنوب غربی بنگلادش با استفاده از مدل کراپ وات برآورد نمودند. بررسی آنها نشان داد که

قابل توجه است. برنج از یک سو به سبب فرارگیری در رده محصولات استراتژیک و از سوی دیگر وابسته بودن اقتصاد بخش قابل توجهی از جمعیت ساکن در مناطق شمالی کشور به کشت آن، نیازمند مدیریت جدید در زمینه آبیاری و مصرف آب با توجه به میزان آب در دسترس و تأثیرات عوامل محیطی و اقلیمی بر روی منابع آبی سطحی و زیرزمینی است (۹). اکثر مطالعاتی که در زمینه محاسبه نیاز خالص آبیاری انجام گرفته از تبخیر تعرق پتانسیل برای محاسبه این نیاز استفاده کرده‌اند. در این راستا مطالعات متعددی در خصوص تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر کشاورزی و تولید محصول انجام شده است. به عنوان نمونه، توکلی و همکاران (۱۱) تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر مصرف آب کشاورزی در دشت تربت حیدریه را با داشتن آمار ۴۰ ساله ایستگاه هواشناسی تربت حیدریه بررسی و اقدام به محاسبه تبخیر تعرق مرجع به سه روش هارگریوز-سامانی، بلانی-کریدل و فائو-پنمن-مانتیت<sup>۱</sup> کرده‌اند. سپس در سه سناریوی افزایش دما به میزان ۲، ۴ و ۶ درجه سانتیگراد نیاز آبی در آینده محاسبه شد تا میزان تغییرات نیاز آبی مشخص گردد. نتایج حاکی از آن است که در اثر افزایش دما به میزان ۲، ۴ و ۶ درجه بیشترین مقدار مصرف آب مربوط به زعفران و سپس به ترتیب مربوط به گندم، جو و یونجه است؛ همچنین گیاهان یونجه، چغندر قند و سیب زمینی بیشترین نیاز آبی را دارا می‌باشند. سرافروزه و همکاران (۳)، اثرات تغییر اقلیم پیش بینی شده توسط مدل گردش عمومی HadCM2<sup>۲</sup> تحت سناریوی A<sub>1</sub> طی دو دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در تبریز بر روی مصرف واقعی آب گیاه گندم را با استفاده از مدل کراپ وات<sup>۳</sup> ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه به ترتیب به میزان ۲/۷ و ۲/۹ درجه سانتیگراد افزایش و میزان بارندگی سالانه به میزان ۸ درصد کاهش خواهد داشت. در چنین شرایطی مصرف آب گیاه گندم ۸/۳ درصد افزایش خواهد یافت. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه هر دو به میزان ۴/۴ درجه سانتیگراد افزایش و مقدار بارندگی به میزان ۱۶/۳ درصد کاهش خواهد یافت. در چنین شرایطی مصرف آب گیاه گندم ۹/۶ درصد افزایش خواهد یافت. میرصانع و همکاران (۱۱)، اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری، طول دوره رشد و تاریخ کشت گیاه ذرت در دشت قزوین در دوره‌های آتی را محاسبه کردند. برای این کار از خروجی مدل اقلیمی CGCM2<sup>۴</sup> تحت سناریوی A<sub>2</sub> استفاده شد. برآورد نیاز آبی توسط معادله هارگریوز-سامانی صورت گرفت. برای

1- FAO Penman manteith

2- Hadley Centre Coupled Model, version 2

3- CROPWAT

4- Canadian General Circulation Model, version 2

5- General Circulation Model

شرقی و بین ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی در استان مازندران و در جنوب شرق شهرستان ساری واقع شده است، که حداکثر ارتفاع آن ۳۷۸۲ متر از سطح دریا و حداقل آن ۲۶- متر است (در محل مصب رودخانه تجن و اتصال آن به دریا). این حوزه از شمال به شهر ساری، از جنوب به حوزه کسلیان، از شرق به کیاسر و از غرب به حوزه لولاک کسلیان محدود می‌گردد. برای انجام این مطالعه از داده‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری- باران‌سنجی کردخیل استفاده شد.

### وضعیت کشاورزی و اقلیمی منطقه

برای برآورد بارش موثر و نیاز آبی، منطقه حوزه آبریز تجن به دو بخش بالادست و پایین دست از نظر ارتفاعی تقسیم شد. بالادست حوزه بیشتر در مناطق ارتفاعی قرار دارد و پایین دست حوزه و همچنین ایستگاه مورد مطالعه در منطقه دشت و ساحلی واقع می‌باشد. همچنین رقم کشت شده برنج در اکثر نقاط این حوزه رقم زودرس با دوره رشد پنج ماهه از فروردین تا مرداد یا از فروردین تا شهریور و با روش آبیاری کرتی غرقابی می‌باشد. برای منطقه مورد مطالعه کشت برنج از نوع زودرس از فروردین تا شهریور یعنی دوره رشد ۱۴۵ روز است. همچنین رقم برنج طارم محلی در اکثر نقاط این منطقه کشت می‌شود. تاریخ کشت برنج در این منطقه را برای بدست آوردن پارامترها ۲۶ فروردین ماه در نظر گرفتیم. و تاریخ برداشت آن با توجه به طول دوره رشد ۱۴۵ روزه ۱۵ شهریور می‌باشد. حوزه آبریز تجن حدود ۱۰۴,۵۶۸ هکتار زمین زیر کشت دارد که ۳۱,۲۱۵ هکتار آن زیر کشت برنج (در محدوده پادگانه و حاشیه رود از ۸ کیلومتری جنوب شهر ساری تا مصب رود تجن) است. در واقع حدود ۲۹ درصد الگوی کشت در این حوزه به کشت برنج اختصاص دارد. به‌طور کلی ماه‌های تیر و مرداد، ماه‌های کم آب و اسفند و فروردین جزء ماه‌های پر آب حوزه محسوب می‌شوند (۲). متوسط بارندگی سالانه اندازه-گیری شده در ایستگاه کردخیل ۶۰۹/۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه منطقه ۱۵/۹ درجه سانتیگراد است. بر اساس ضریب اقلیمی دومارتن (I) منطقه مورد مطالعه در اقلیم مدیترانه‌ای قرار دارد (۵).

محصول برنج و سیب زمینی در سال ۲۰۷۵ به ترتیب ۴ و ۸/۷ درصد نسبت به سال ۱۹۹۰ با کاهش روبرو خواهند شد. کارانجا (۱۵)، با استفاده از مدل CROPWAT نیاز آبی گیاهان را در واکنش به تغییر اقلیم آینده در کنیا ارزیابی نمود. مطابق این پژوهش، گیاهان چند ساله (موز، انبه و نیشکر) مقدار تبخیر تعرق بیشتری نسبت به گیاهان یک ساله داشتند. از بین گیاهان یک ساله، لوبیا کمترین مقدار تبخیر تعرق را داشت که این احتمالاً به دلیل دوره رشد کوتاه‌تر این محصول می‌باشد. لودویگ و همکاران (۱۶)، اثر تغییر اقلیم اخیر را بر روی هیدرولوژی و تولید محصول گندم در جنوب استرالیا بررسی نمودند. نتایج حاکی از آن بود که علیرغم کاهش بارندگی، محصول شبیه سازی شده کاهشی نداشت. به این دلیل که تغییرات بارندگی منطقه عموماً در دو ماه ژوئن و ژوئیه اتفاق افتاده است، در این دوره مقدار بارندگی، مازاد بر نیاز محصول است. مزا و همکاران (۱۷) تأثیر سناریوهای اقلیمی بر محصول ذرت در منطقه مرکزی شیلی را بررسی کرده که نتایج حاکی از آن است که احتمال تولید مضاعف محصول به عنوان یک واکنش برای تغییر اقلیم در طول فصل رشد ممکن نخواهد بود. ذرت می‌تواند تحت تأثیر تغییر اقلیم واقع شده و با کاهش محصول به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد که وابسته به سناریوهای تغییر اقلیم و نوع ژن (هیبرید) مورد استفاده است همراه باشد. همچنین تغییر اقلیم باعث افزایش کل نیاز آبیاری و تبخیر تعرق واقعی است، و بر افزایش تقاضای آب و استفاده از کود نیتروژن و رویش علف هرز و آفات و بیماری‌ها تأثیر خواهد گذاشت. در تحقیق حاضر اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد کشت برنج در دوره‌های زمانی آینده در منطقه دشت تجن واقع در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

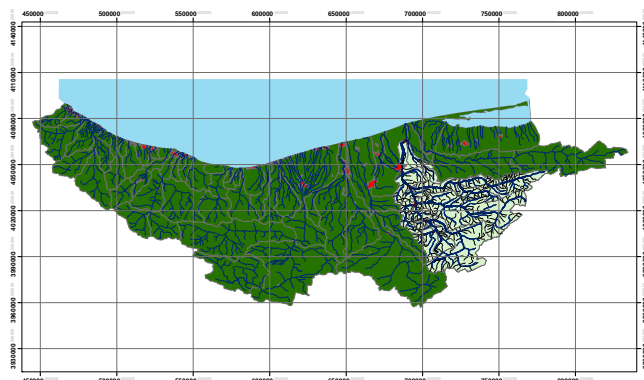
#### منطقه مطالعاتی

حوزه آبریز تجن با مساحت تقریبی ۴۰۰۵/۲۲ کیلومتر مربع بوده که ۳۹۸۰/۷۵ کیلومتر مربع آن در داخل استان مازندران و حدود ۲۵ کیلومتر مربع آن در خارج از استان قرار دارد و در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۴۲ دقیقه طول

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه

نام و مشخصات ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال تأسیس
	عرض شمالی	طول شرقی		
کردخیل (هیدرومتری- بارانسنجی)	۵۳° - ۱۷/۱۱"	۳۶° - ۴۲' - ۳۵/۹"	-۵	۱۳۴۸

کد: ۱۳-۰۲۹



شکل ۱- نقشه موقعیت حوزه‌های استان مازندران و منطقه مطالعاتی حوزه آبریز تجن

مقادیر به مقادیر مشاهداتی (۱۹۶۱-۱۹۹۰ یا ۲۰۰۰-۱۹۷۱) افزوده می‌شود.

$$P = P_{obs} \times \left( \frac{P_{GCM, fut}}{P_{GCM, bas}} \right) \quad (1)$$

در روابط فوق  $P_{obs}$  بیانگر سری زمانی بارش مشاهداتی در دوره پایه و  $P_{GCM, fut}$  میانگین ۳۰ ساله بارش شبیه سازی شده توسط مدل GCM در دوره‌های آبی و  $P_{GCM, bas}$  میانگین ۳۰ ساله بارش شبیه سازی شده توسط مدل GCM در دوره پایه و  $P$  سری زمانی سناریوی اقلیم بارش حاصل می‌باشد. شایان ذکر است که کوچک مقیاس نمودن بارندگی به روش آماری نیز انجام شد اما به علت عدم توانایی مدل آماری مورد استفاده در تولید سناریوهای اقلیمی قابل قبول برای بارش، نتایج آن در ادامه مورد استفاده قرار نگرفتند.

### برآورد تبخیر تعرق و بارش موثر

برای برآورد نیاز خالص آبیاری برنج (IR)، از پارامترهایی نظیر نیاز آب مصرفی ( $ET_c$ )، بارش موثر (ER)، و نیاز آبی تحت ( $W_p$ ) استفاده می‌شود. برای محاسبه مقادیر فوق برای شرایط اقلیمی فعلی و آینده و سپس نیاز خالص آبیاری از روابط مختلفی استفاده شد. تبخیر تعرق گیاه برنج از رابطه زیر در مدل کراپ وات محاسبه شد.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

در رابطه فوق  $K_c$  ضریب گیاهی و  $ET_0$  تبخیر تعرق پتانسیل می‌باشد.  $ET_c$  محاسبه شده از طریق رابطه فوق، تبخیر تعرق گیاهی است که با مدیریت و شرایط زیست محیطی بهینه با موجودیت خوب آب و بدون هیچ محدودیتی رشد می‌کند. تبخیر تعرق گیاهی که همچنین به عنوان مصرف واقعی آب گیاه شناخته می‌شود، در این تحقیق با استفاده از ضریب تنش آبی ( $K_s$ ) یا تصحیح  $K_c$ ، برای تمام انواع دیگر تنش‌ها و محدودیت‌های زیست محیطی برآورد می‌شود:

$$ET_{ca} = K_s \times ET_c \quad (3)$$

$ET_{ca}$  و  $ET_c$  به ترتیب تبخیر تعرق گیاه تحت شرایط تنش آبی یا واقعی گیاه و شرایط بدون تنش می‌باشد. در ضمن حساس‌ترین مرحله

### تولید سناریوهای اقلیمی در دوره‌های زمانی آینده

برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد کشت برنج غرقابی در منطقه مورد مطالعه، پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی در دهه‌های آینده با استفاده از نتایج خروجی مدل جفت شده اقیانوسی- جوی HadCM3<sup>1</sup>، تحت سناریوی A<sub>2</sub>، از سری سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، در سطح منطقه شبیه سازی شدند. علت انتخاب مدل فوق کاربرد وسیع آن در مطالعات تغییر اقلیم و سهولت دسترسی به اطلاعات آن می‌باشد. مدل HadCM3 در مرکز پژوهش و پیش بینی اقلیمی هادلی<sup>۲</sup> انگلستان توسعه یافته و دارای شبکه بندی با ابعاد ۳/۷۵×۲/۵ (طول در عرض جغرافیایی) درجه می‌باشد. از آنجایی که ویژگی‌های سناریوی انتشار A<sub>2</sub> بر صنعتی شدن و رشد سریع کشورها بدون توجه به محیط زیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر تأکید می‌کند و از طرفی در سطح دنیا برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر کشاورزی، منابع آب، هیدرولوژی و محیط زیست از این سناریو استفاده می‌کنند، این سناریو از میان سناریوهای موجود انتخاب شد. داده‌های اقلیمی دما به روش آماری با استفاده از نرم افزار SDSM<sup>3</sup> 5.1.1 و بارش به روش تناسبی در چهار دوره زمانی ۱۹۷۱-۲۰۰۱، ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ کوچک مقیاس و در مراحل بعد مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبه سناریو تغییر اقلیم، مقادیر "اختلاف" برای دما و "نسبت" برای بارندگی بین میانگین ۳۰ ساله در دوره‌های آبی (مثلاً ۱۹۶۱-۲۰۴۰) و دوره شبیه سازی شده پایه توسط مدل گردش عمومی (۱۹۶۱-۱۹۹۰ یا ۱۹۷۱-۲۰۰۰) برای سلولی از شبکه که ایستگاه مورد نظر در آن قرار دارد، محاسبه می‌شود. این مقادیر بیانگر میزان میانگین ۳۰ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد. نهایتاً برای به دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، این

1- Hadley Centre Coupled Model, version 3

2- Hadly

3- Statistical Downscaling Model

$$P_{eff} = \frac{125}{3} + 0.1 \times P \quad \text{for } P > \frac{250}{3} \text{ mm} \quad (9)$$

در روابط بالا P متوسط بارندگی در ماه مورد نظر (برحسب میلیمتر) و  $P_{eff}$  بارش موثر ماهانه محاسبه شده توسط مدل (برحسب میلیمتر) می باشد. با توجه به شاخص دومارتن محاسبه شده و اقلیم مدیترانه‌ای منطقه و سرعت باد آرام تا ملایم ۲ متر در ثانیه در منطقه مقدار ضریب گیاهی رشد اولیه برنج ۱/۰۵ در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که ریشه برنج از نوع سطحی می‌باشد و با توجه به رقم زودرس بودن برنج حداقل و حداکثر عمق ریشه به ترتیب ۲۰ و ۶۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. همچنین عمق خیس شدگی خاک یا ماندابی ۰/۱ متر و حداکثر ارتفاع گیاه یک متر در نظر گرفته شد. در مدل CROPWAT8.0 یک آیتم مخصوص ضرایب رشد گیاهی برنج وجود دارد که مقادیر آن در جدول زیر آورده شده است.

چون عمق توسعه ریشه برای رقم برنج کشت شده زودرس که ریشه سطحی دارد در این تحقیق ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده بنابراین ریشه گیاه حداکثر تا منطقه بافت شن لومی خاک توسعه پیدا میکند.

#### محاسبه نیاز آبی آب تخت ( $W_p$ )

در منطقه دشت تجن کشت برنج به صورت نشاء کاری می‌باشد. عملیات آب تخت از طریق صاف کردن خاک اشباع و تبدیل آن به گل، تا اندازه‌ای از فرونشست زیادی جلوگیری می‌کند. آب تخت معمولاً همراه با نشاء کاری و در فصل بارانی انجام می‌گیرد.

رشد گیاه برنج نسبت به کم آبی مرحله شروع خوشه دهی و گل دهی می‌باشد (۶).

$K_s$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$K_s = \frac{AW}{TAW-RAW} \quad (4)$$

در رابطه ۴،  $AW$ ،  $TAW$  و  $RAW$  به ترتیب آب قابل دسترس، کل آب قابل دسترس و آب سهل الوصول برای گیاه می‌باشند که با استفاده از روابط زیر برآورد می‌شوند:

$$TAW = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times Z_r \quad (5)$$

$$AW = (\theta - \theta_{PWP}) \times Z_r \quad (6)$$

$$RAW = MAD \times TAW \quad (7)$$

در روابط بالا  $\theta_{FC}$ ،  $\theta_{PWP}$  و  $\theta$  به ترتیب رطوبت حجمی خاک، رطوبت حجمی ظرفیت زراعی و رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی بوده و  $MAD$  تخلیه مجاز رطوبتی می‌باشد که برابر با ۰/۶۵ در نظر گرفته شده است. حداکثر  $Z_r$  عمق ریشه گیاه برابر با ۶۰ سانتی‌متر لحاظ شده است. با توجه به بافت خاک منطقه مورد مطالعه که شن لومی می‌باشد، مقادیر  $\theta_{FC}$ ،  $\theta_{PWP}$ ،  $\theta$  برای لایه اول به ترتیب ۱۲، ۲۱ و ۹ درصد حجمی است (۷).

از آنجایی که پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی شده برای دوره‌های آبی دما و بارندگی بودند، برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل از مدل پنمن موتنیت بر اساس داده‌های دمای بیشینه و کمینه در مدل کراپ وات استفاده شد. بارش موثر نیز با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (USDA)، در مدل کراپ وات به صورت زیر برآورد شد:

$$P_{eff} = (P \times (125 - 0.2 \times 3 \times P)) / 125 \quad \text{for } P \leq \frac{250}{3} \text{ mm} \quad (8)$$

جدول ۲- مشخصات گیاه برنج بهاره وارد شده در مدل کراپ وات

تاریخ برداشت: ۱۵ شهریور معادل ۶ سپتامبر				تاریخ کشت: ۲۶ فروردین معادل ۱۵ آوریل			
مراحل رشد				آماده سازی زمین			
مجموع	نهایی	میانی	توسعه	اولیه	مجموع	عملیات آب تخت و نشاء کاری	مراحل رشد
	۱/۰۵	۱/۲۰		۱/۰۵	۱/۲۰	۱/۱۰	ضریب گیاهی ( $K_c$ dry)
	۰/۳	۰/۷		۰/۷	۱/۰۵	۰/۵	ضریب گیاهی ( $K_c$ wet)
۱۴۵	۲۵	۳۰	۶۰	۳۰	۳۰	۴۰	طول دوره رشد (روز)
	۰/۶			۰/۲			عمق ریشه (متر)
					۰/۱		عمق مانداب (متر)
							درصد مساحت خزانه گیری
	۰/۲	۰/۲		۰/۲		۰/۲	کاهش عملکرد
۱/۱۰	۰/۵	۱/۳۲	۱/۰۹	۱			ضریب واکنش گیاه

تعرق واقعی گیاه تحت شرایط تنش آبی و تبخیر تعرق پتانسیل گیاه در شرایط بدون تنش می‌باشد که در مراحل قبل بدست آمده است (۶). طبق رابطه فوق عملکرد محصول در دوره مشاهده‌ای و آبی تا سال ۲۱۰۰ محاسبه می‌شود.

### نتایج و بحث

#### تغییرات دما و بارندگی ایستگاه مطالعاتی در دوره‌های آبی

در شکل‌های ۲ و ۳ روند و میزان تغییرات حداکثر و حداقل درجه حرارت و بارندگی در دوره‌های آبی به صورت ماهانه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل در پیش بینی حداکثر و حداقل درجه حرارت روند افزایش دما در آینده را نشان می‌دهد. به‌طور کلی بارش‌های پاییزه و زمستانه افزایش و تقریباً در بقیه‌ی فصل‌ها کاهش می‌یابد. در دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، حداکثر درجه حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایش یافته که بیشترین و کمترین مقدار افزایش به ترتیب ۱/۹ و ۰/۱ درجه سانتیگراد در ماه‌های سپتامبر و می خواهد بود. حداقل درجه حرارت هم در تمامی ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار افزایش ۱/۱ درجه مربوط به ژانویه و کمترین آن حدود ۰/۳ درجه سانتیگراد در ماه آگوست است. به‌طور کلی میانگین افزایش دمای حداکثر و حداقل در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱، به ترتیب ۱ و ۰/۶ درجه سانتیگراد می‌باشد که میانگین افزایش کلی آن ۰/۸ درجه سانتیگراد می‌باشد. در این دوره بارندگی در ماه آوریل افزایش و در بقیه ماه‌ها کاهش می‌یابد. که این افزایش حدود ۴/۳ میلیمتر می‌باشد و بیشترین کاهش بارش مربوط به جولای که ۱۱ میلیمتر است. در دوره زمانی ۲۰۷۰-۲۰۴۱، حداکثر درجه حرارت، در تمام ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین و کمترین مقدار افزایش به ترتیب ۳/۵ و ۰/۳ درجه سانتیگراد در ماه‌های سپتامبر و می خواهد بود. حداقل درجه حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار افزایش ۲ درجه مربوط به دسامبر و کمترین آن حدود ۰/۸ درجه سانتیگراد در ماه نوامبر است. بطور کلی میانگین افزایش دمای حداکثر و حداقل در این دوره نسبت به دوره پایه به ترتیب ۲/۴ و ۱/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد که میانگین کلی افزایش آن ۲ درجه سانتیگراد است. همچنین در این دوره بارندگی در ماه سپتامبر نسبت به دوره پایه افزایش و در بقیه ماه‌ها کاهش می‌یابد. که مقدار افزایش آن حدود ۱/۳ میلیمتر و بیشترین کاهش مربوط به می، ۲۷/۴ میلیمتر می‌باشد. در دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۷۱، حداکثر درجه حرارت، در تمام ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین و کمترین مقدار افزایش به ترتیب ۶/۳ و ۱/۸ درجه سانتیگراد در ماه‌های جولای و آگوست خواهد بود. حداقل درجه حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار افزایش ۴/۳ درجه مربوط به اکتبر و

مقدار آب مورد نیاز آب تخت به خلل و فرج خاک و عمقی که باید اشباع شود بستگی دارد. آب مورد نیاز آب تخت بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر تغییر می‌کند. (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار). حداکثر نیاز آبی این مرحله در صورتیکه بارندگی نداشته باشیم یا کل ناحیه در مدت زمان محدودی تهیه شود، مقدار فوق می‌باشد. ولی در عمل به وقت بیشتری نیاز است که مدت آن بین ۳ تا ۱۰ روز بوده و به مقدار آب و نیروی کار بستگی دارد. نیاز آبی این مرحله از رابطه زیر بدست می‌آید (۸):

$$(10) \text{ ارتفاع غرقاب پس از آب تخت } + \text{ درصد خلل و فرج خاک } \times \text{ ضخامت لایه اولیه خاک سطحی} = W_p$$

در رابطه بالا ضخامت لایه سطحی که بافت لوم شنی دارد ۵۰ سانتی‌متر و میزان درصد خلل و فرج در این نوع خاک ۴۳ درصد می‌باشد (۷). همچنین ارتفاع غرقاب پس از آب تخت کردن زمین ۱۰ سانتی‌متر و به مدت ۱۰ روز می‌باشد. که طبق رابطه بالا نیاز آبی آب تخت کردن زمین برابر با ۳۱/۵ سانتی‌متر یا ۳۱۵ میلیمتر است.

#### محاسبه نیاز خالص آبیاری ( $I_n$ )

نیاز خالص آبیاری برنج را از رابطه زیر می‌توان بدست آورد:

$$(11) I_n = (ET_c + W_p) - P_e$$

در رابطه بالا  $ET_c$  نیاز آب مصرفی بر حسب میلیمتر در هر دهه رشد  $P_e$  بارش موثر،  $W_p$  نیاز آبی آب تخت می‌باشد. با محاسبه نیاز خالص آبیاری در دوره گذشته ۲۰۰۱-۱۹۷۱ و برای سه دوره ۳۰ ساله آینده ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تغییرات نیاز خالص آبیاری در ادامه بررسی شده است.

#### محاسبه عملکرد محصول برنج (YD)

برای ارزیابی اثر کمبود آب بر عملکرد محصول از توابع تولید خطی استفاده می‌شود. در این تحقیق برای ارزیابی اثر کمبود آب بر عملکرد برنج (آبیاری غرقابی کرتی) از تابع تولید خطی استفاده شد که به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$(12) YD = K_y \times \left(1 - \frac{\sum ET_{ca}}{\sum ET_p}\right)$$

در رابطه ۱۲، که به نام مدل استوارت<sup>۱</sup> معروف است،  $YD$ ، کاهش نسبی عملکرد،  $K_y$  ضریب حساسیت گیاه یا عامل پاسخ گیاه به تنش آبی یا عامل کاهش محصول<sup>۲</sup> می‌باشد که مقدار آن برای کل دوره رشد برنج برابر با ۱/۷ می‌باشد (۱۳).  $ET_{ca}$  و  $ET_p$  به ترتیب تبخیر

1- Stewart model

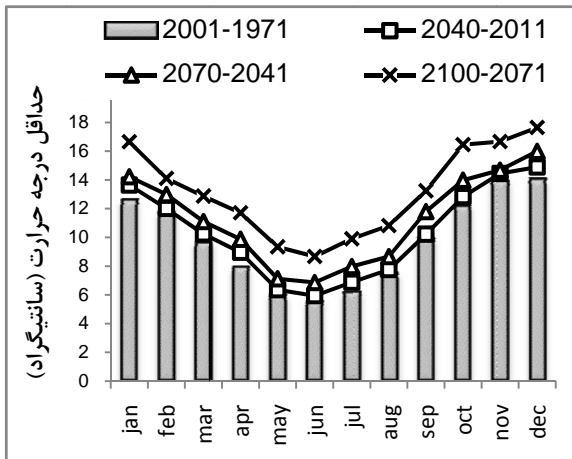
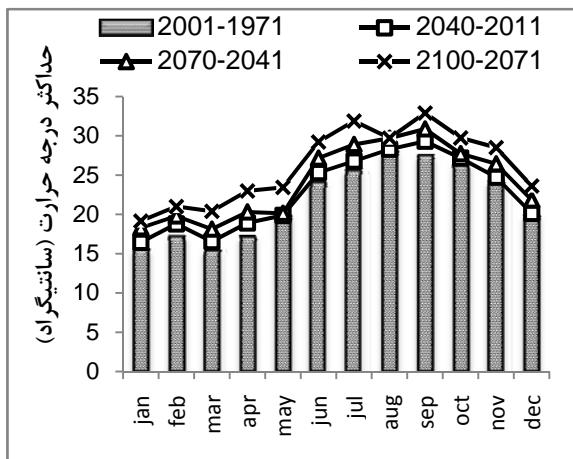
2- Yield response factor

است.

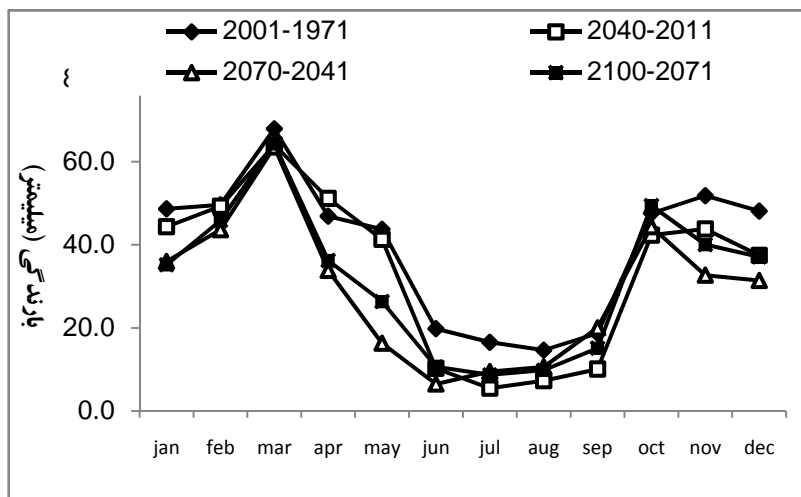
### مقادیر نیاز خالص آبیاری

با محاسبه نیاز آب مصرفی گیاه و بارش موثر بر حسب میلیمتر از طریق مدل CROPWAT8.0 و مقدار نیاز آبی مرحله آب تخت طبق رابطه ۱۰ می‌توان نیاز خالص آبیاری را طی مراحل رشد گیاه و طی دوره‌های ۳۰ ساله طبق رابطه ۱۱ بر حسب میلیمتر برای هر دهه رشد بدست آورد.

کمترین آن حدود ۲/۴ درجه سانتیگراد در ماه فوریه است. به‌طور کلی میانگین افزایش دمای حداکثر و حداقل در این دوره نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴/۴ و ۳/۴ درجه سانتیگراد می‌باشد، که میانگین کلی افزایش آن ۳/۹ درجه سانتیگراد است. همچنین در این دوره بارندگی در ماه اکتبر نسبت به دوره پایه افزایش و در بقیه‌ی ماه‌ها کاهش می‌یابد، که افزایش آن در حدود ۱/۹ میلیمتر و بیشترین کاهش مربوط به می، ۱۷/۴ میلیمتر می‌باشد، که نتایج کلی نشان دهنده کاهش در مقدار بارندگی و افزایش در مقدار دما در دوره‌های آتی



شکل ۲- روند تغییرات درجه حرارت در دوره‌های آتی با مدل HadCM3



شکل ۳- روند تغییرات بارندگی در دوره‌های آتی با روش کوچک مقیاس سازی تناسبی

کاهش می‌یابد و بیشترین میزان نیاز خالص آبیاری در دهه سوم مرحله متوسط رشد در ماه جولای (اواخر تیر ماه و اوایل مرداد ماه) در دوره‌های ۲۰۰۱-۱۹۷۱، ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ می‌باشد و مقدار آن به ترتیب برابر ۵۱/۵، ۵۶/۲، ۵۷/۴ و ۶۰/۹ میلیمتر برای دهه مورد نظر است.

همان‌طور که در جداول و نمودار زیر مشاهده می‌کنیم میزان نیاز خالص آبیاری گیاه برنج در مراحل رشد اولیه تا مرحله توسعه گیاه در ماه می (اواخر اردیبهشت) در دوره مشاهده‌ای ۲۰۰۱-۱۹۷۱ از بقیه مراحل رشد کمتر و به تدریج تا دهه سوم مرحله رشد متوسط گیاه در ماه جولای (اواخر تیر و اوایل مرداد ماه) افزایش می‌یابد و دوباره از این مرحله تا مرحله رسیدگی در نیمه اول سپتامبر (اواسط شهریور)

جدول ۳- مقادیر نیاز خالص آبیاری محصول برای مراحل رشد و دوره‌های مختلف (میلیمتر)

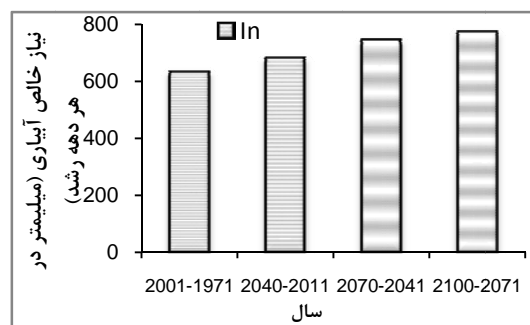
ماه	زمان (دهه)	مراحل رشد	۱۹۷۱-۲۰۰۱	۲۰۱۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۱۰۰
مارس	۲	Land Prep	۱۵/۹	۱۷/۳	۱۷/۷	۱۸/۷
مارس	۳	Land Prep	۲۱/۷	۲۴/۲	۲۷/۳	۲۹/۸
آوریل	۱	Land Prep	۲۶/۰	۲۷/۲	۳۲/۶	۳۵/۲
آوریل	۲	Init	۲۵/۶	۲۵/۸	۳۲/۶	۳۵/۰
آوریل	۳	Init	۲۴/۴	۲۴/۴	۳۱/۳	۳۲/۷
می	۱	Init	۲۵/۹	۲۶/۵	۳۳/۸	۳۴/۶
می	۲	Deve	۲۸/۳	۲۸/۹	۳۶/۸	۳۷/۳
می	۳	Deve	۳۶/۴	۳۸/۴	۴۴/۹	۴۵/۷
ژوئن	۱	Deve	۳۹/۹	۴۳/۸	۴۸/۲	۴۸/۹
ژوئن	۲	Deve	۴۵/۳	۵۰/۸	۵۳/۸	۵۴/۶
ژوئن	۳	Deve	۴۶/۲	۵۱/۷	۵۴/۱	۵۶/۰
جولای	۱	Deve	۴۶/۹	۵۱/۹	۵۴/۰	۵۷/۵
جولای	۲	Mid	۴۸/۰	۵۳/۳	۵۴/۵	۵۹/۴
جولای	۳	Mid	۵۱/۵	۵۶/۲	۵۷/۴	۶۰/۹
آگوست	۱	Mid	۴۸/۲	۵۱/۶	۵۲/۸	۵۳/۷
آگوست	۲	Late	۴۵/۲	۴۷/۷	۴۸/۶	۴۸/۰
آگوست	۳	Late	۳۶/۶	۳۹/۶	۳۹/۳	۳۹/۹
سپتامبر	۱	Late	۲۳/۰	۲۵/۱	۲۳/۷	۲۵/۱
مجموع	-	-	۶۳۵/۰	۶۸۴/۲	۷۴۳/۵	۷۷۲/۹

جدول ۴- میزان تغییرات مجموع نیاز خالص آبیاری برنج در دوره‌های مختلف

دوره آماری	مجموع (میلیمتر)	درصد تغییرات نسبت به دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۱	درصد تغییرات نسبت به دوره ما قبل
۱۹۷۱-۲۰۰۱	۶۳۵/۰	-	-
۲۰۱۱-۲۰۴۰	۶۸۴/۲	+۴۹/۲	+۴۹/۲
۲۰۴۱-۲۰۷۰	۷۴۳/۵	+۱۰۸/۵	+۵۹/۳
۲۰۷۱-۲۱۰۰	۷۷۲/۹	+۱۳۷/۹	+۲۹/۴

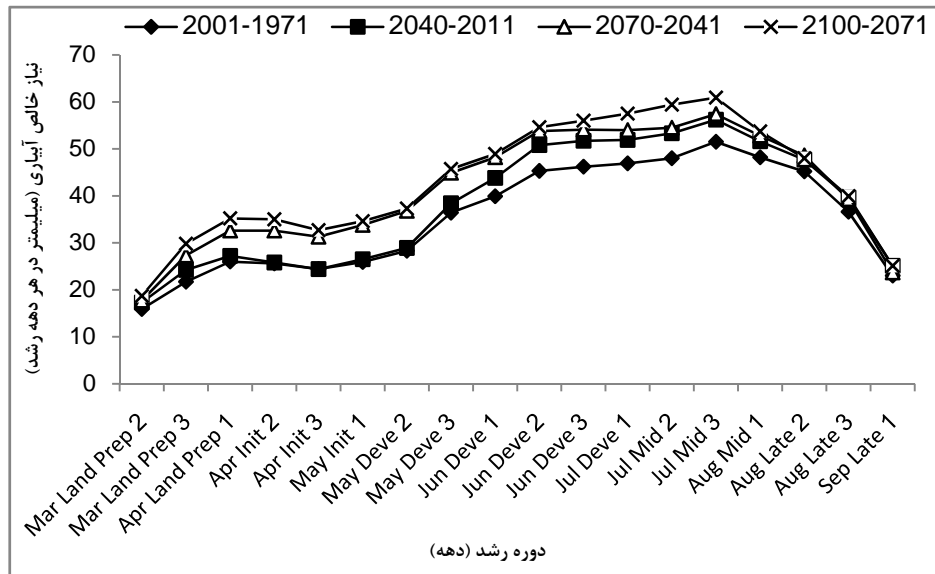
۲۰۷۱-۲۱۰۰ و به میزان ۱۳۷/۹ میلیمتر و کمترین میزان تغییرات افزایش آن در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و به میزان ۴۹/۲ میلیمتر است.

مطابق با جدول فوق می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین میزان تغییرات افزایش نیاز خالص آبیاری گیاه نسبت به دوره پایه در دوره



شکل ۴- مجموع میزان تغییرات نیاز خالص آبیاری برنج طی دوره‌های مختلف





شکل ۵- میزان تغییرات نیاز خالص آبیاری طی مراحل رشد برنج در دوره مشاهده‌ای و آینده تا سال ۲۱۰۰

جدول ۵- تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد برنج تحت شرایط غرقابی در دوره‌های مختلف

YD (%)	
تاریخ کاشت	۱۹۷۱-۲۰۰۱    ۲۰۱۱-۲۰۴۰    ۲۰۴۱-۲۰۷۰    ۲۰۷۱-۲۱۰۰
	۲۶ فروردین    ۱۴/۳    ۱۴/۵    ۱۴/۷    ۱۵/۲

مقدار Ks طبق رابطه ۴ بدست می‌آید، و سپس با استفاده از رابطه ۳ مقدار  $ET_{ca}$  یا تبخیر و تعرق واقعی گیاه تحت شرایط تنش محاسبه می‌شود. در جدول زیر مقادیر بدست آمده از روابط فوق آورده شده است:

جدول ۶- مقادیر TAW، AW و RAW به دست آمده از خاک مورد نظر

Ks	RAW (cm)	Aw (cm)	TAW (cm)
۰/۸۷	۱/۸۰	۴/۶۸	۷/۲۰

سپس با ضرب نمودن ضریب تصحیح بدست آمده از جدول بالا در مقدار تبخیر تعرق مصرفی گیاه ETC در هر دهه رشد مقدار تبخیر تعرق واقعی طول دوره رشد  $ET_{ca}$  بدست می‌آید. همان‌طور که در جدول فوق و نمودارهای بعد مشاهده می‌کنیم میزان تبخیر تعرق واقعی گیاه برنج تحت شرایط تنش آبی در دهه اول مرحله رسیدگی در ماه سپتامبر (اواسط شهریور ماه) در دوره مشاهده‌ای ۱۹۷۱-۲۰۰۱ از بقیه مراحل رشد کمتر و به میزان ۷/۳ میلی‌متر در دهه مورد نظر می‌باشد، و در دهه سوم مرحله متوسط رشد در ماه جولای (اواخر تیر ماه و اوایل مرداد ماه) در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ از مابقی مراحل رشد بیشتر است و مقدار آن ۳۴/۱ میلی‌متر برای دهه مورد نظر می‌باشد.

همچنین بیشترین میزان تغییرات افزایش نیاز آب مصرفی در دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ نسبت به دوره ماقبل خود ۵۹/۳ میلی‌متر و کمترین میزان آن در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره مشاهده‌ای و به میزان ۲۹/۴ میلی‌متر می‌باشد. مطابق با شکل ۴ مشاهده می‌کنیم که نیاز خالص آبیاری روند افزایشی را در طول دوره‌های ۳۰ ساله دارد. که بیشترین مقدار آن در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ به میزان ۷۷۲/۹ میلی‌متر و کمترین مقدار آن در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۱ و به میزان ۶۳۵ می‌باشد. بنابراین با افزایش دما و کاهش بارندگی موثر و افزایش آب مصرفی گیاه در اثر تغییر اقلیم نیاز خالص آبیاری گیاه برنج در حوزه مورد نظر طی سال‌های آتی تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد.

#### مقادیر درصد کاهش عملکرد محصول برنج

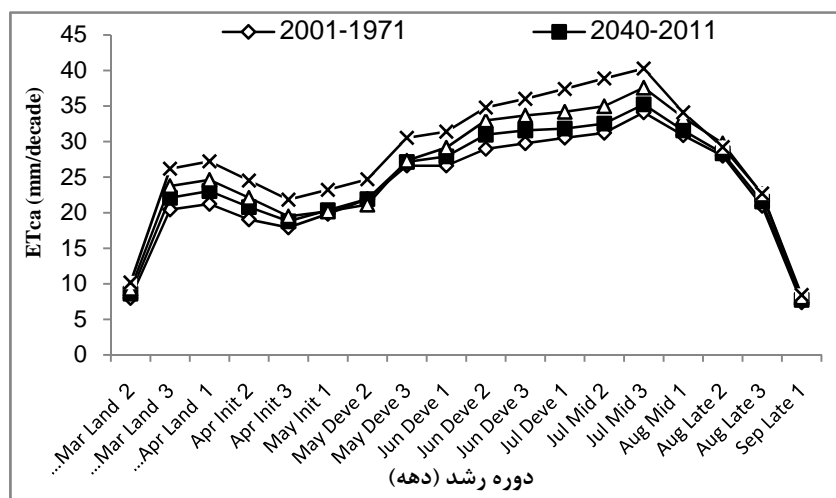
طبق رابطه ۱۲ می‌توان درصد کاهش عملکرد محصول برنج را بدست آورد که برای دوره‌های مختلف به شرح زیر است: همان‌طور که مشاهده می‌کنیم درصد کاهش عملکرد محصول در دوره‌های ۳۰ ساله مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. فقط در نتیجه تغییر اقلیم درصد کاهش عملکرد در سال‌های آتی به میزان کم رو به افزایش می‌باشد.

#### مقادیر تبخیر تعرق واقعی گیاه $ET_{ca}$

با محاسبه مقادیر TAW، AW و RAW از روابط ۵، ۶ و ۷

جدول ۷- مقادیر  $ET_{ca}$  محاسبه شده برای طول دوره رشد گیاه برنج بر حسب میلیمتر برای هر دهه رشد (میلیمتر)

ماه	زمان (دهه)	مراحل رشد	۱۹۷۱-۲۰۰۱	۲۰۱۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۱۰۰
مارس	۲	Land Prep	۸/۰	۸/۶	۹/۳	۱۰/۱
مارس	۳	Land Prep	۲۰/۴	۲۲/۰	۲۳/۷	۲۶/۱
آوریل	۱	Land Prep	۲۱/۲	۲۲/۰	۲۴/۶	۲۷/۲
آوریل	۲	Init	۱۹/۰	۲۰/۷	۲۲/۰	۲۴/۵
آوریل	۳	Init	۱۷/۹	۱۸/۷	۱۹/۴	۲۱/۸
می	۱	Init	۱۹/۸	۲۰/۳	۲۰/۱	۲۳/۲
می	۲	Deve	۲۱/۹	۲۱/۹	۲۱/۱	۲۴/۷
می	۳	Deve	۲۶/۶	۲۷/۱	۲۷/۳	۳۰/۵
ژوئن	۱	Deve	۲۶/۶	۲۷/۹	۲۹/۱	۳۱/۴
ژوئن	۲	Deve	۲۸/۹	۳۰/۹	۳۲/۹	۳۴/۸
ژوئن	۳	Deve	۲۹/۷	۳۱/۵	۳۳/۶	۳۶/۰
جولای	۱	Deve	۳۰/۵	۳۱/۸	۳۴/۱	۳۷/۴
جولای	۲	Mid	۳۱/۲	۳۲/۵	۳۴/۹	۳۸/۸
جولای	۳	Mid	۳۴/۱	۳۵/۲	۳۷/۵	۴۰/۲
آگوست	۱	Mid	۳۰/۸	۳۱/۵	۳۳/۴	۳۴/۱
آگوست	۲	Late	۲۸/۰	۲۸/۳	۲۹/۷	۲۹/۲
آگوست	۳	Late	۲۰/۹	۲۱/۵	۲۲/۶	۲۹/۷
سپتامبر	۱	Late	۷/۳	۷/۷	۸/۰	۸/۴
مجموع	-	-	۴۲۳/۵	۴۴۱/۹	۴۶۴/۴	۵۰۱/۶



شکل ۶- نمودار میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه برنج برای دوره‌های مختلف رشد

جدول ۸- میانگین بارش موثر، نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری برنج در منطقه مطالعاتی بر حسب میلیمتر

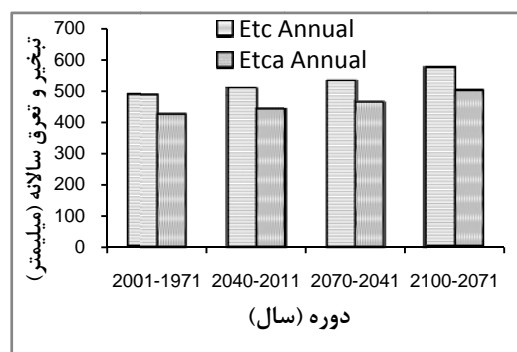
متغیر	۱۹۷۱-۲۰۰۱	۲۰۱۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۱۰۰
بارش موثر	۱۶۶/۸	۱۳۸/۸	۱۰۵/۳	۱۱۸/۷
نیاز آب مصرفی	۴۸۶/۸	۵۰۸/۰	۵۳۳/۸	۵۷۶/۶
نیاز خالص آبیاری	۶۳۵/۰	۶۸۴/۲	۷۴۳/۵	۷۷۲/۹
نسبت بارش موثر به نیاز آب مصرفی	۳۴/۳	۲۷/۳	۱۹/۷	۲۰/۶
نسبت بارش موثر به نیاز خالص آبیاری	۲۶/۳	۲۰/۳	۱۴/۲	۱۵/۴

دوره مشاهده‌ای تا سال ۲۱۰۰ به ترتیب برابر ۲۶/۳، ۲۰/۳، ۱۴/۲ و ۱۵/۴ درصد است که این مقادیر جز در دوره مشاهداتی تفاوت چشمگیری با یکدیگر ندارند. بدین ترتیب نیاز خالص آبیاری در منطقه به مراتب بیشتر از بارش موثر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در اثر تغییر اقلیم هر چه به سال ۲۱۰۰ نزدیکتر شویم بارش موثر با مقدار کمتری می‌تواند نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری برنج را در منطقه مورد نظر تأمین کند.

### نتیجه گیری

نتایج نشان داد که میانگین افزایش دمای حداکثر و حداقل در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱، به ترتیب ۱ و ۰/۶ درجه سانتیگراد می‌باشد که میانگین افزایش کلی آن ۰/۸ درجه سانتیگراد است. در این دوره بارندگی در ماه آوریل افزایش و در بقیه ماه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ میانگین افزایش دمای حداکثر و حداقل نسبت به دوره پایه به ترتیب ۲/۴ و ۱/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد که میانگین کلی افزایش آن ۲ درجه سانتیگراد است. همچنین در این دوره بارندگی در ماه سپتامبر نسبت به دوره پایه افزایش و در بقیه ماه‌ها کاهش می‌یابد. در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ میانگین افزایش دمای حداکثر و حداقل در این دوره نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴/۴ و ۳/۴ درجه سانتیگراد می‌باشد، که میانگین کلی افزایش آن ۳/۹ درجه سانتیگراد می‌باشد. همچنین در این دوره بارندگی در ماه اکتبر نسبت به دوره پایه افزایش و در بقیه ماه‌ها کاهش می‌یابد که نتایج کلی نشان دهنده کاهش در مقدار بارندگی و افزایش در مقدار دما در دوره‌های آتی است. میزان نیاز خالص آبیاری گیاه برنج در مراحل رشد اولیه تا مرحله توسعه گیاه در ماه می (اواخر اردیبهشت) در دوره مشاهده‌ای ۱۹۷۱-۲۰۰۱ از بقیه مراحل رشد کمتر و به تدریج تا دهه سوم مرحله رشد متوسط گیاه در ماه جولای (اواخر تیر و اوایل مرداد ماه) افزایش می‌یابد و دوباره از این مرحله تا مرحله رسیدگی در نیمه اول سپتامبر (اواسط شهریور) کاهش می‌یابد و بیشترین میزان نیاز خالص آبیاری در دهه سوم مرحله متوسط رشد در ماه جولای (اواخر تیر ماه و اوایل مرداد ماه) در دوره‌های ۲۰۰۱-۱۹۷۱، ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ می‌باشد و مقدار آن به ترتیب برابر ۵۱/۵، ۵۶/۲، ۵۷/۴ و ۶۰/۹ میلی‌متر برای دهه مورد نظر است. همچنین نیاز خالص آبیاری روند افزایشی را در طول دوره‌های ۳۰ ساله دارد. که بیشترین مقدار آن در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به میزان ۷۷۲/۹ میلی‌متر و کمترین مقدار آن در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۱ و به میزان ۶۳۵ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین بر طبق فرضیات پژوهش، در اثر تغییر اقلیم با افزایش دما و کاهش بارندگی موثر و افزایش آب مصرفی گیاه در اثر تغییر اقلیم نیاز خالص آبیاری گیاه برنج در حوزه

و در این مرحله شالیزار زهکشی میان فصلی شده است. همچنین مقدار تبخیر تعرق واقعی گیاه از مرحله کاشت تا دهه سوم مرحله متوسط رشد گیاه در ماه جولای (اواخر تیر و اوایل مرداد ماه) روندی افزایشی دارد و از این مرحله به بعد تا مرحله رسیدگی کامل، تبخیر تعرق واقعی گیاه روند نزولی پیدا می‌کند. مقادیر تبخیر تعرق واقعی گیاه در طی مراحل رشد در دوره ۱۹۷۱-۲۱۰۰ از مابقی دوره‌ها بیشتر است، اما در مراحل انتهایی رشد تقریباً همه دوره‌های ۳۰ ساله مقداری برابر دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت افزایش دما و کاهش بارندگی و پدیده تغییر اقلیم بر نیاز واقعی آب مصرفی محصول برنج تأثیر گذار است، و باعث افزایش آن در دوره‌های آتی می‌شود، و مقدار افزایش آن در دوره میانه رشد یعنی در اواسط فصل تابستان (اواخر تیر و اوایل مرداد ماه) مشهودتر است. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که تبخیر تعرق واقعی گیاه همانند نیاز آب مصرفی گیاه روند افزایشی را در طول دوره‌های ۳۰ ساله دارد. که بیشترین مقدار آن در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به میزان ۵۰۱/۶ میلی‌متر در هر دهه و کمترین مقدار آن در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۱ و به میزان ۴۲۳/۵ میلی‌متر می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌کنیم که مقادیر تبخیر تعرق واقعی گیاه در همه دوره‌ها از مقادیر تبخیر تعرق مصرفی گیاه کمتر می‌باشد.



شکل ۷- میزان تبخیر تعرق واقعی گیاه در مقابل نیاز آب مصرفی برای دوره‌های مختلف

### نسبت مقادیر بارش موثر به نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری برنج

مقایسه ارقام بارش موثر و نیاز آب مصرفی به‌دست آمده از مدل کراپ وات گویای این نکته است که در کل منطقه در دوره‌های مشاهده‌ای و آتی ۳۰ ساله، بارش موثر به ترتیب ۳۴/۳، ۲۷/۳ و ۱۹/۷ و ۲۰/۶ درصد از نیاز آب مصرفی رقم زودرس برنج طارم محلی را برطرف می‌کند. که این مقادیر در سال پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۱ بیشترین مقدار و در دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ کمترین مقدار را دارد. همچنین مطابق با جدول ۸ مقادیر بارش موثر در مقایسه با نیاز خالص آبیاری برای

۱۹۷۱ بیشترین مقدار و در دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ کمترین مقدار را دارد. همچنین مقادیر بارش موثر در مقایسه با نیاز خالص آبیاری برای دوره مشاهده‌ای تا سال ۲۱۰۰ به ترتیب برابر ۲۶/۳، ۲۰/۳، ۱۴/۲ و ۱۵/۴ درصد است که این مقدار جز در دوره مشاهداتی زیاد قابل توجه نیست. بدین ترتیب نیاز خالص آبیاری در منطقه به مراتب بیشتر از بارش موثر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در اثر تغییر اقلیم هر چه به سال ۲۱۰۰ نزدیکتر شویم بارش موثر با مقدار کمتری می‌تواند نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری برنج را در منطقه مورد نظر تأمین کند و بر این اساس تقویم زراعی محصول برنج تغییر کرده و حتی زمان خزانه‌گیری نسبت به گذشته در اواخر فصل سرد سال (اسفند ماه) یا اوایل فروردین ماه انجام می‌گیرد. نتایج این تحقیق در مقایسه با نتایج پژوهش توکلی (۱) در دشت تربت حیدریه که با افزایش دما در دوره آبی نیاز آبی گیاهان مورد نظر و میزان تبخیر و تعرق مرجع افزایش پیدا می‌کند همخوانی دارد و در مقایسه با نتایج تحقیق سرافروزه و همکاران (۳) که با در نظر گرفتن یک سناریوی اقلیمی به نتیجه افزایش مصرف واقعی آب گیاه گندم در اثر افزایش درجه حرارت در دوره آبی رسیدند میزان مصرف واقعی آب گیاه برنج هم در دوره‌های آبی افزایش داشته است. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج تحقیق میرصانع و همکاران (۱۱) که در نتیجه تغییر اقلیم و افزایش دما نیاز خالص آبیاری ذرت در دشت قزوین افزایش می‌یابد همخوانی دارد. نتایج تحقیق در مقایسه با نتایج تحقیقات دل و همکاران (۱۲)، هولدن و همکاران (۱۴)، یانو و همکاران (۱۹)، روی و همکاران (۱۸) و مزا و همکاران (۱۷) نشان دهنده این است که در اثر تغییرات اقلیم و افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی در دوره‌های آبی کاهش عملکرد محصول و افزایش تبخیر و تعرق و نیاز خالص آبیاری و افزایش تبخیر و تعرق واقعی گیاه و افزایش تقاضای آب را خواهیم داشت. در صورتیکه در بعضی مناطق تغییر اقلیم روی بعضی از گیاهان تأثیر چشم‌گیری بر کاهش عملکرد محصول و کاهش بارندگی و افزایش نیاز آبی نداشت.

مورد نظر طی سال‌های آبی تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. درصد کاهش عملکرد محصول در دوره‌های ۳۰ ساله مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. فقط در نتیجه تغییر اقلیم و افزایش دما و کاهش بارش درصد کاهش عملکرد در سال‌های آبی از ۱۴/۳ تا ۱۵/۲ درصد به میزان ناچیز رو به افزایش است. که در اثر افزایش طول دوره رشد و تغییر تاریخ کاشت می‌باشد. میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه برنج تحت شرایط تنش آبی در دهه اول مرحله رسیدگی در ماه سپتامبر (اواسط شهریور ماه) به میزان ۷/۳ میلی‌متر در دوره مشاهده‌ای ۲۰۰۱-۱۹۷۱ از بقیه مراحل رشد کمتر و در دهه سوم مرحله متوسط رشد در ماه جولای (اواخر تیر ماه و اوایل مرداد ماه) به میزان ۴۰/۲ میلی‌متر در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ از مابقی مراحل رشد بیشتر است. همچنین مقدار آن از مرحله کاشت تا دهه سوم مرحله متوسط رشد گیاه در ماه جولای (اواخر تیر و اوایل مرداد ماه) روندی افزایشی دارد و از این مرحله به بعد تا مرحله رسیدگی کامل، تبخیر و تعرق واقعی گیاه روند نزولی پیدا می‌کند. مقادیر تبخیر و تعرق واقعی گیاه در طی مراحل رشد در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ از مابقی دوره‌ها بیشتر است، اما در مراحل انتهایی رشد تقریباً همه دوره‌های ۳۰ ساله مقداری برابر دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت افزایش دما و کاهش بارندگی و پدیده تغییر اقلیم بر نیاز واقعی آب مصرفی محصول برنج تأثیر گذار است، و باعث افزایش آن در دوره‌های آبی می‌شود، و مقدار افزایش آن در دوره میانه رشد یعنی در اواسط فصل تابستان (اواخر تیر و اوایل مرداد ماه) مشهود تر است. مجموع مقادیر تبخیر و تعرق واقعی گیاه همانند نیاز آب مصرفی گیاه روند افزایشی را در طول دوره‌های ۳۰ ساله دارد. که بیشترین مقدار آن در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به میزان ۵۰/۱۶ میلی‌متر و کمترین مقدار آن در دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۱ به میزان ۴۲۳/۵ میلی‌متر می‌باشد. همچنین مقادیر تبخیر و تعرق واقعی گیاه در همه دوره‌ها از مقادیر تبخیر و تعرق مصرفی کمتر می‌باشد. در کل منطقه در دوره‌های مشاهده‌ای و آبی ۳۰ ساله، بارش موثر به ترتیب ۳۴/۳، ۲۷/۳، ۱۹/۷ و ۲۰/۶ درصد از نیاز آب مصرفی رقم زودرس برنج طارم محلی را در منطقه مورد مطالعه مرتفع می‌کند. که این مقادیر در سال پایه ۲۰۰۱-

## منابع

- ۱- توکلی ع. و توکلی ا. ۱۳۹۰. تأثیر تغییر اقلیم بر مصرف آب کشاورزی در دشت تربت حیدریه. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۲۰-۱۸ بهمن ماه.
- ۲- سازمان برنامه و بودجه استان مازندران. فصل ۱. ص ۴۴.
- ۳- سرافروزه ف.، جلالی م.، جلالی ط. و جمالی ا. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر مصرف آب محصول گندم در تبریز. فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. سال دوازدهم. شماره ۷. صفحات ۹۶-۸۱.
- ۴- سلیمانی نادگانی م. ۱۳۸۹. بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی فناوری و کشاورزی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۵- علیزاده ا. ۱۳۶۸. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ یازدهم. مشهد. انتشارات آستان قدس رضوی. ص ۸۷.

- ۶- علیزاده ا. ۱۳۸۷. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ هشتم. مشهد. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ص ۴۸۳.
- ۷- علیزاده ا. ۱۳۸۶. طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. مشهد. انتشارات دانشگاه امام رضا. چاپ دوم. ص ۴۵۰.
- ۸- فوکدا ه. و تسوتسوی ه. ترجمه: رائینی سرجاز م. و ملکی ق. ۱۳۷۰. روشهای آبیاری برنج در ژاپن. چاپ اول. انتشارات دانشگاه مازندران. بابلسر. صفحات ۹۲-۸۳.
- ۹- کی. آر. ردی. و اچ. اف. هاجز. ترجمه: کوچکی ع. و حسینی م. تغییر اقلیم و تولیدات زراعی در جهان. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ اول. بهار ۱۳۸۵. ص ۴۶۰.
- ۱۰- مجرد ف.، قمرنیا ه. و نصیری ش. ۱۳۸۴. برآورد بارش موثر و نیاز آبی برای کشت برنج در جلگه مازندران. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۴. ص ۷۶-۵۹.
- ۱۱- میرصانع م.، مساح بوانی ع.، شاه نقی ن. و بلوک آذری س. ۱۳۸۹. بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری ذرت در دوره‌های آتی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز. دانشکده مهندسی آب. ۱۲-۱۰ اسفند.
- 12- Doll P. 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *J. of Climatic Change*. 54, 269-293.
- 13- Doorenbos J. and Kassam A. 1979. Yield response to water. *FAO irrigation and drainage paper* 33.
- 14- Holden N., Brereton M., Fealy A.J. and Sweeney J. 2003. Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields. *Agricultural and Forest Meteorology*. 116, 181-196.
- 15- Karanja K. Fredrick. 2006. CROPWAT Model analysis of crop water use in six districts in Kenya. GEF funded project: Climate Change Impacts on and Adaptation of Agro ecological Systems in Africa.
- 16- Ludwig F. and Asseng S. 2006. Impacts and adaptation to climate change in Western Australian wheat cropping systems. *Agric. Syst.* 90: 159-179.
- 17- Meza J., Silva F. and Vigil D. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative, *Agricultural Systems* 98. 21-30.
- 18- Roy K., Masudur R. and Uthpal K. 2009. Future Climate Change and Moisture Stress: Impact on Crop Agriculture in South-Western Bangladesh. *Climate Change and Development*, Volume 1 Issue 1.
- 19- Yano T., Aydin M. and Haraguchi T. 2007. Impact of Climate Change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. *Sensors*. 7, 2297-2315.



## Study on Climate Change Effect on Net Irrigation Requirement and Yield for Rice Crop (Case Study: Tajan Plain)

M. Sheidaeian<sup>1\*</sup> - M.Kh. Ziatabar Ahmadi<sup>2</sup> - R. Fazloul<sup>3</sup>

Received:04-01-2014

Accepted:21-09-2014

### Abstract

In this study, impact of climate change on net irrigation requirement (In) and yield of Rice Crop using HadCM3 climate projection model, one of the AOGCM models, in Tajan Plain area is evaluated. Changes in temperature and precipitation were simulated run under the IPCC scenario A2 for 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100 periods. This work was done by using statistical and proportional downscaling techniques. For estimating Net Irrigation Requirement, Potential evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) and effective rainfall (P<sub>e</sub>) were calculated using Penman Monteith equation and USDA method With Cropwat Model, respectively. Impact of water deficit on crop yield was estimated using the linear crop-water production function developed by FAO. The results of downscaling by using SDSM model and proportional method indicate that the decrease in rainfall and increase in the temperature are in future periods. CROPWAT model results indicate that the effect of climate change with increased Potential evapotranspiration and decreased effective Rainfall and increased water consumption of the plant, can be increased, the net irrigation requirement of rice plants in the basin duration years future to come by the year 2100. As a result of climate change and rising temperatures and reduced rainfall, the yield reduction percent to low levels to rise in the coming years. So it can be conclude that the effect of climate change closer to the year 2100 when effective rainfall is less could provide water consumption and net irrigation requirement of rice in the area.

**Keywords:** Rice Crop, General Circulation Model, SDSM Model, Cropwat, HadCM3

---

1,2,3- M.Sc Graduate, Professor and Assistant Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Iran, Respectively  
(\*-Corresponding Author Email: majid\_sheidaeyan@yahoo.com)