

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول پنبه در استان خراسان رضوی

عبدالرضا کاشکی^{*}، مختار کرمی^آ، رحمان زندی^ب، حامد سالاری^د

۱-۲- استادیار، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲- استادیار، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار،

ایران

۳- کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

یکی از عناصر مهم چرخه هیدرولوژیکی که تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی است، تبخیر و تعرق در گیاهان می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های متوسط، کمینه و بیشینه دما و بارش روزانه هشت ایستگاه هواشناسی همدید استان در دوره آماری ۲۰۱۶ - ۱۹۸۷ استفاده شد. برونداد سه مدل (CESM1-BGC، BCC-CSM1-1-M و MRICGCM3) از سری مدلهای CMIP5 براساس سناریوهای واداشت تابشی به عنوان داده پیش‌نگری شده برای دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۶۰) به کار گرفته شد. روش وزن دهی برای اعتبار سنجی برونداد مدلها استفاده شد. بررسی نتایج نشان داد که در دوره آینده تا میانه قرن حاضر، متوسط کمینه دمای هوا در سطح منطقه افزایش خواهد یافت. بارش ماهانه نیز در آینده نزدیک، روند کاهشی داشته و در آینده میانی نزدیک به نرمال خواهد بود. بررسی تبخیر و تعرق ماهانه متناسب با مراحل رشد پنبه در استان نشان داد که یک افزایش قابل توجهی در وضعیت تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در مراحل رشد وجود دارد. در مرحله میانی رشد پنبه مصادف با ماههای گرم سال مقدار تبخیر و تعرق مرجع به بالاترین سطح می‌رسد. از نظر توزیع مکانی در مناطق نیمه شرقی، غربی و جنوبی استان بالاترین سطح تبخیر و تعرق رخ می‌دهد. در مرحله اولیه رشد پنبه، در سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 به ترتیب ۵۶ و ۳۶ میلیمتر بر مقدار نیاز آبی در مرحله اولیه رشد افزوده خواهد شد. در مرحله پایانی رشد این محصول، براساس سناریوهای حد بالا و حد وسط در دوره (۲۰۲۰ - ۲۰۶۰) به ترتیب ۴۶ و ۴۹ میلیمتر افزایش خواهد یافت. بنابراین توجه جدی بر مدیریت بهینه منابع آبی و کاشت محصولات مقاوم با سازگاری بالاتر از نظر نیاز آبی حائز اهمیت است.

کلید واژه‌ها: پنبه، تغییر اقلیم، تبخیر و تعرق مرجع، نیاز آبی، خراسان رضوی.

مقدمه

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، کشاورزی بنیاد اقتصاد را تشکیل می‌دهد و منبع اصلی امرار معاش می‌باشد و در عین حال در مقایسه با سایر بخش‌ها بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی از تغییر اقلیم است (دشتی و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از راهکارهای مقابله با بحران آب، استفاده مناسب و مدیریت بهینه منابع آب است. تبخیر و تعرق که شامل تبخیر از سطح آب یا خاک مرطوب و تعرق از سطح پوشش گیاهی است یکی از مهم‌ترین و تاثیر گذارترین اجزای بیلان آب در هر منطقه است (حیدری مطلق و همکاران، ۱۴۰۰). تبخیر و تعرق به عنوان یکی از مولفه‌های مهم در طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، برنامه‌ریزی منابع آب و استفاده کارآمد از آب قابل دسترس دارد (میرحسینی و همکاران، ۱۴۰۰). تغییر اقلیم به تغییرات جهت‌دار میانگین پارامترهای اقلیمی در یک دوره طولانی مدت گفته می‌شود، به همین جهت، تغییر در مقادیر فرین و متوسط پارامترهای اقلیمی از پیامدهای مهم تغییر اقلیم است که با نوسانات اقلیمی تفاوت علمی دارد (اکبری و صیاد، ۱۴۰۰). تغییر اقلیم یکی از تهدیدات مهم قرن بیست و یکم است. نگرانی اصلی در خصوص اثرهای تغییر اقلیم معطوف به وردش‌های احتمالی مرتبط با وردایی اقلیم و به تبع آن افزایش رخدادهای فرین است. تغییر طولانی مدت میانگین سالانه دما در سطح جهانی یکی از نشانگرهای گرمایش جهانی است که تأثیرات چشم‌گیری در اکوسیستم‌های زمینی دارد. این تأثیرات می‌تواند در برگیرنده چرخه‌های هیدرولوژیکی، کشاورزی و خشکسالی باشد (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰). انتشار پیوسته گازهای گلخانه‌ای به جو منجر به گرمایش جهانی در دوره صنعتی شده و مطابق شبیه سازی‌های مدل‌های اقلیمی CMIP5 تحت سناریوهای واداشت تابشی، میانگین دمای کره زمین در دوره ۲۱۰۰ - ۲۰۸۱ نسبت به دوره ۲۰۰۵ - ۱۹۸۶، به میزان $3/8 - 0/4$ درجه سانتیگراد افزایش خواهد داشت (حجایی، ۱۳۹۹). رشد صنایع و به موجب آن مصرف بیش از حد سوخت‌های فسیلی از یک‌سو، و افزایش جمعیت جهان و تغییر کاربری اراضی از سوی دیگر، موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره

زمین به وجود آید (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). تغییر اقلیم سبب سطوح مختلفی از تغییرات در متغیرهای اقلیمی مانند تابش خورشیدی، دما و بارش خواهد شد. که این موضوع می‌تواند الگوی اکوهیدرولوژیکی کل جهان را تغییر داده و سبب مسائلی در منابع آب شود (حجایی، ۱۳۹۹). گرمایش جهانی، تراز مثبت و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو شواهدی محکم از نفوذ انسان در سیستم آب و هوایی زمین را فراهم می‌کند (سالاری فنودی و همکاران، ۱۳۹۹). تغییر اقلیم به عنوان یک پدیده پیچیده اتمسفری-اقیانوسی، به مفهوم تغییر در شرایط متوسط آب و هواست که در مقیاس جهانی و در یک دوره طولانی مدت اتفاق می‌افتد. ارزیابی متغیرهای بارش و دما تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، ضروری به نظر می‌رسد (میرحسینی و همکاران، ۱۴۰۰). از آنجایی که مساله آب مهم‌ترین دغدغه مدیران و برنامه‌ریزان در آینده است، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر چرخه آب از جمله مواردی است که مدیران مسئول در زمینه منابع آب، جهت ساماندهی و یافتن راه‌های مقابله با این بحران باید در نظر بگیرند (برزگری و ملکی نژاد، ۱۳۹۷).

رضیعی و پریرا (۲۰۱۳) میزان تبخیر و تعرق مرجع را با روش هارگریوز - سامانی برای محدوده وسیعی از اقلیم‌های ایران در دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۷۱) را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که مقدار تبخیر و تعرق مرجع از شمال به جنوب کشور افزایش تدریجی داشته و کمترین مقدار آن در مناطق مرطوب و سرد قابل مشاهده است. شرسنا و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی نیاز آبی و عملکرد برنج در میانمار پرداختند. آنها براساس برون‌داد دو مدل گردش کلی جو با عنوان HadCM3 و ECHAM5 مشخص نمودند که در دوره آینده با تغییر الگوی پارامترهای دمای هوا و بارش، میزان نیاز آبی نیز را روند افزایشی همراه خواهد بود. یه و همکاران (۲۰۱۵) اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی برنج در جنوب چین را بررسی نمودند و مشخص کردند در اثر تغییرات اقلیمی نیاز آبی برنج افزایش خواهد یافت. لیو و همکاران (۲۰۱۵) به مدلسازی نیاز آبی محصولات عمده و واکنش آنها به تغییر اقلیم را برای دشت شمال چین بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در اثر تغییر اقلیم در دوره آینده تا ۲۰۳۰ میلادی عمدتاً به دلیل افزایش دمای هوا، مقدار نیاز آبی محصولات کشاورزی عمده افزایش خواهد

یافت. دینگ و همکاران (۲۰۱۷) اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی برنج در حوضه رودخانه یانگ تسه کیانگ چین را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که نیاز آبی برنج به دلیل افزایش دما و تبخیر و تعرق محیط افزایش می‌یابد. چن و همکاران (۲۰۱۹) پیامدهای تغییر اقلیم بر روی نیاز آبی پنبه را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که براساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 به ترتیب نیز آبی پنبه در دوره آینده (۲۰۶۰ - ۲۰۴۱) و (۲۰۸۰ - ۲۰۶۱) به ترتیب به ۷۲۸ و ۷۰۶ میلی‌متر نسبت به دوره پایه (۲۰۱۴ - ۲۰۰۷) تغییر خواهد یافت. یانگ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی توزیع زمانی - مکانی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مرجع در شمال شرق چین پرداختند. نتایج نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم برای دوره آینده روند افزایشی برای تبخیر و تعرق رخ خواهد داد. مطالعات محمدی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی تغییرات آب و هوایی در منطقه سبزوار در خراسان رضوی نشان داد روند افزایشی دمای هوا موجب افزایش تبخیر و تعرق خواهد شد. صابری و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر مقدار نیاز آبی گیاهان در اقلیم‌های مختلف با مدل LARS WG و گزارش چهارم تغییر اقلیم مشخص نمودند که در بیشتر سال‌ها و سناریوها افزایش میزان خالص نیاز آبیاری در مناطق مورد وجود خواهد داشت. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق ذرت در خراسان رضوی را با استفاده از مدل HadCM3 و مدل ریزمقیاس-نمایی LARS-WG تحت سناریوی A2 برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۶ با روش هارگریوز-سامانی بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که روند افزایش معنادار را در اکثر ایستگاه‌ها وجود دارد. قهرمان و همکاران (۱۳۹۵) با ارزیابی برون‌داد دینامیکی مدل‌های اقلیمی در برآورد تغییرات تبخیر و تعرق مرجع تحت سناریوهای واداشت تابشی در دشت مشهد مشخص نمودند که در دوره آینده (۲۰۷۱-۲۰۲۱) براساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۵/۴ و ۱۶/۴ درصد میزان تبخیر و تعرق نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵ - ۱۹۹۱) افزایش خواهد یافت. عبدی (۱۳۹۷) با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر محصول کلزا در خراسان رضوی نشان داد که افزایش دمای هوا در دهه‌های آتی موجب افزایش مقدار تبخیر و تعرق مرجع و نیاز آبی مراحل رشد کلزا خواهد شد. برزگری و ملکی‌نژاد (۱۳۹۷) به بررسی اثرات تغییر

اقلیم بر نیاز آبی و مصرف آب در بخش کشاورزی در دشت یزد- اردکان پرداختند. آن‌ها بعد از دستیابی به داده دوره آینده از طریق مدل SDSM و مقایسه با دوره پایه، مشخص نمودند که روند افزایش دمای هوا برای دوره آینده منجر به افزایش تبخیر و تعرق مرجع و نیاز آبی گیاهان در سطح منطقه تا ۴ درصد خواهد شد. گودرزی و عابدی کوپایی (۱۳۹۹) اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی در مناطق تحت آبیاری در دشت نجف آباد را با استفاده از دو سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 بررسی نمودند. نتایج نشان داد که میزان تبخیر و تعرق مرجع در تمامی ماه‌های سال نسبت به دوره پایه افزایش یافته که در سناریوی بدبینانه این شرایط به طور متوسط به ۱/۴ درصد می‌رسد. حجابی (۱۳۹۹) برآورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از پیش‌نگری‌های پروژه کوردکس و سهم متغیرهای هواشناسی در تغییرات آن برای حوضه دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تغییرات تبخیر و تعرق مرجع برای دوره آینده از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۷۰ میلادی نسبت به دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۶) حاکی از روند افزایشی خواهد بود. باب حکمی و همکاران (۱۳۹۹) اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مازندران براساس سناریوهای واداشت تابشی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که درصد تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در ماه‌های مختلف بین ۱۶/۱- تا ۲۵/۷ درصد متغیر است. میر حسینی و همکاران (۱۴۰۰) به پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه تحت سناریوهای RCP در دوره‌های آتی بر حوضه آبخیز گلپایگان پرداختند. نتایج بیانگر افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل تحت کلیه سناریو RCP در دوره‌های آینده بود. تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۷/۰۵ و ۷/۱۰ درصد در دوره آینده میانی و در آینده دور ۱۳/۷۹ و ۱۸/۱۵ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. تغییر آب و هوا از طریق تغییر در الگوی دما، بارش و سایر متغیرهای آب و هوایی بر همه فرایندهای هیدرولوژیک تأثیرگذار است. یکی از مهم‌ترین تبعات تغییر آب و هوا تأثیر آن بر مصرف آب کشاورزی می‌باشد که می‌تواند مدیریت منابع آب را با چالش‌های جدی روبرو سازد (بهمنش و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۱). چالشی که در دهه‌های اخیر با عنوان تغییر اقلیم مطرح شده با تغییرات اقلیم در دهه‌های گذشته بسیار متفاوت است؛ یکی اینکه دخالت انسان در طبیعت زیاد

بر نیاز آبی پنبه در خراسان رضوی انجام شده است.

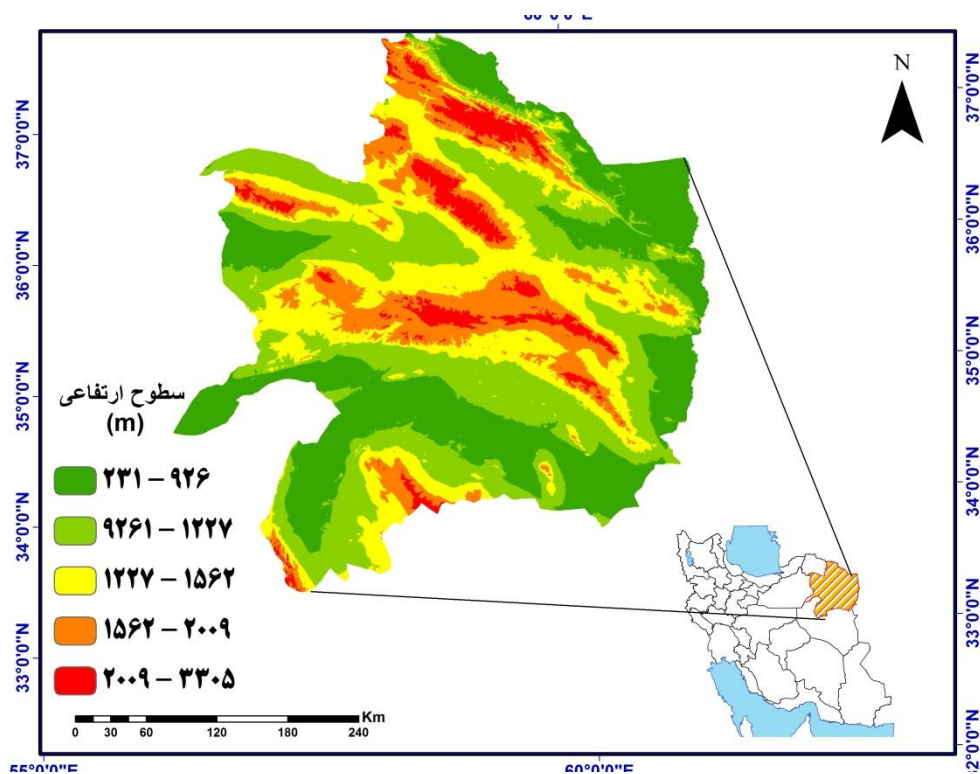
داده و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، استان خراسان رضوی را در بر می‌گیرد (شکل ۱). استان خراسان رضوی با ۱۱۶۴۹۳ کیلومتر مربع شامل ۲۱ شهرستان، ۶۷ بخش، ۱۶۰ دهستان و ۷۲ شهر می‌باشد. این استان بین مدار ۳۴ تا ۳۸ درجه عرض شمالی و ۵۷ تا ۶۱ درجه طول شرقی از نصف النهار مبدا واقع شده است. این استان از شمال و شمال شرقی ۵۳۱ کیلومتر با جمهوری ترکمنستان و از شرق ۳۰۲ کیلومتر با افغانستان هم مرز می‌باشد و از لحاظ مرزهای داخلی با استان‌های خراسان شمالی، خراسان جنوبی، یزد و سمنان محدود می‌باشد (زرنندی، ۱۳۹۲).

شده و دیگری روند شتابان تغییر اقلیم که روند سازگاری با آن را با مشکل مواجه کرده است (اکبری و صیاد، ۱۴۰۰: ۳۸). در طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی محاسبه نیاز آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لذا برآورد صحیح نیاز آبی گیاه نه تنها به تولید محصول کمک می‌کند، بلکه در مدیریت منابع آب نیز موثر است (احمدآلی و همکاران، ۱۳۹۷).

طبق اعلام سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی سطح زیر کشت محصول پنبه ۲۲۹۰۶ هکتار می‌باشد که این میزان برای کل کشور ۹۰۰۰۰ هکتار است. از آنجایی که پنبه جزو گیاهان ارزشمند با نیاز آبی بالا بوده و منطقه خراسان رضوی نیز از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک با بارش کم است، ضروری است که دورنمای تغییرات نیاز آبی این محصول ارزشمند تحت شرایط تغییر اقلیم برای دوره آینده بررسی شود. بنابراین این مطالعه، با هدف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه و شکل (۲) موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. داده‌ها از اداره کل هواشناسی خراسان رضوی تهیه گردید. برای دوره آینده از برون‌داد مدل‌های گردش کلی جو در قالب سری مدل‌های

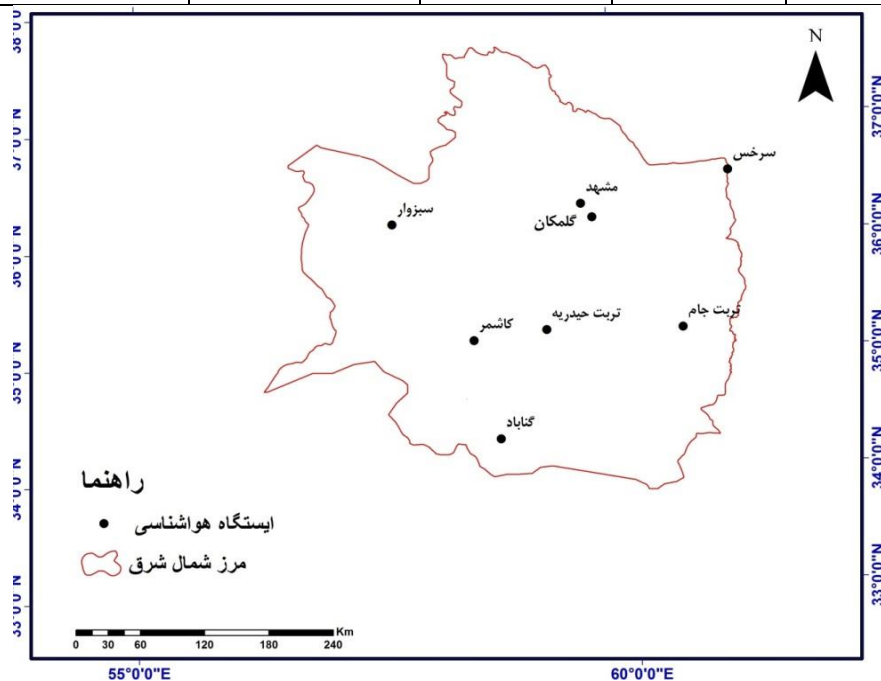
داده‌ها و روش تحقیق در تحقیق حاضر از داده‌های متوسط، کمینه و بیشینه دما و بارش هشت ایستگاه هم‌دید هواشناسی در سطح استان در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۶ استفاده شد. جدول (۱) مشخصات

CMIP5 براساس گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) استفاده گردید. برای درک دورنمایی از آینده، پارامترهای اقلیمی در

ایستگاه‌های منتخب در دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۰) و میانی (۲۰۶۰-۲۰۴۱) با دوره پایه مقایسه گردید.

جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه (دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۶)

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع از سطح دریا (m)
مشهد	همدید	۵۹° ۶۳'	۳۳° ۲۳'	۹۹۹
سرخس	همدید	۶۱° ۱۴'	۳۶° ۵۳'	۲۷۸
تربت حیدریه	همدید	۶۰° ۵۶'	۳۵° ۲۹'	۹۵۰
گناباد	همدید	۵۸° ۶۸'	۳۴° ۳۵'	۱۰۵۶
سبزوار	همدید	۵۷° ۶۵'	۳۶° ۲۱'	۹۷۲
کاشمر	همدید	۵۸° ۴۷'	۳۵° ۲۷'	۱۱۰۹
گلمکان	همدید	۵۹° ۲۸'	۳۶° ۴۸'	۱۱۷۶
تربت جام	همدید	۶۰° ۵۶'	۳۵° ۲۹'	۹۵۰



شکل (۲) موقعیت ایستگاه‌های همدید هواشناسی منطقه مورد مطالعه

گردید. مدل LARS WG برای مقیاس کاهی داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی به کار گرفته شد. همچنین سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار ArcGIS 10/2 برای نمایش توزیع فضایی نتایج پردازش داده‌ها و برونداد مدلها استفاده گردید.

برآورد تبخیر و تعرق مرجع با روش هارگریوز - سامانی

بستر اصلی تحقیق حاضر بر پایه واکاوی پارامترهای اقلیمی دما و بارش در دوره پایه و آینده می‌باشد. براساس آمار مشاهداتی وضعیت روند تغییرات دما و بارش در منطقه بررسی شد. برای دست یابی به چشم انداز دوره آینده و ارائه تصویری از دوره آینده؛ از داده شبیه سازی شده به صورت داده ریز مقیاس شده استفاده گردید. سناریوهای واداشت تابشی در دو سناریوی حد بالا RCP8.5 و سناریوی حد واسط RCP4.5، از سری مدل‌های CMIP5 مربوط به گزارش پنجم تغییر اقلیم استفاده

نیاز آبی پنبه

برای برآورد مقدار نیاز آبی گیاه پنبه در مراحل مختلف رشد از رابطه (۲) استفاده شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ وزیری و همکاران، ۱۳۸۷؛ احمدآلی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$ETc = ETo * Kc \quad (2)$$

در رابطه فوق، ETc ، میزان تبخیر و تعرق گیاه (میلی متر بر روز)، Kc ، ضریب گیاهی (بدون واحد) و ETo ، میزان تبخیر و تعرق مرجع (میلی متر در روز) است.

ضریب گیاهی پنبه در مراحل رشد

پوشش سطح گیاه، ارتفاع گیاه و سطح برگ با رشد گیاه تغییر می کند. ضریب گیاهی یک گیاه مشخص در دوره رشد به دلیل تفاوت تبخیر و تعرق در مراحل مختلف، تغییر خواهد کرد. دوره رشد گیاه پنبه را می توان به سه مرحله متمایز اولیه، توسعه میانی و پایانی تقسیم کرد. Kc یا ضریب گیاهی، گیاه پنبه در مراحل رشد در جدول (۲) ارائه شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

تبخیر و تعرق مرجع یا یکی از پیش زمینه های اصلی برای بررسی نیاز آبی محسوب می شود. روش های متعددی برای برآورد تبخیر و تعرق وجود دارد که عمده ترین آنها روش های تجربی و فائو پنمن است. روش هارگریوز-سامانی که در آن فقط به داده های دمای هوا نیاز می باشد روشی است که به نام هارگریوز یا هارگریوز-سامانی معروف است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). روش هارگریوز-سامانی یکی از روش های عمده در برآورد تبخیر و تعرق مرجع محسوب می شود (ابتو و ملس، ۲۰۱۳). این روش براساس رابطه (۱) محاسبه می شود.

$$ETo = 0.0023Ra (Tmean + 17.8)(TD0.5) \quad (1)$$

در این روش، TD : تفاوت حداکثر و حداقل دما بر حسب درجه سلسیوس، $Tmean$: میانگین درجه حرارت، Ra : حداکثر ممکن تابش خورشید به زمین براساس جداول ویژه بر حسب مگاژول بر متر مربع در روز و ETo : تبخیر و تعرق مرجع بر حسب میلی متر در روز یا ماه است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

جدول (۲)، Kc یا ضریب گیاهی پنبه در مراحل رشد (مآخذ: آلن و همکاران، ۱۹۹۸)

مرحله میانی	مرحله پایانی	مرحله اولیه رشد: (از کاشت تا هنگامی که ۱۰ درصد سطح را بپوشاند)
(از انتهای مرحله ابتدایی تا زمانی که گیاه به حداکثر رشد و حدود ۷۰ تا ۸۰ سطح زمین را بپوشاند)	(از انتهای مرحله میانی تا برداشت محصول)	
۱/۰۵	۰/۷۰	۰/۳۲

بررسی تغییر اقلیم آینده

در این تحقیق برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان نیاز آبی گیاه پنبه در دوره آینده از برون داد مدل های نسل پنجم CMIP5 تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP که در سال ۲۰۱۳-۲۰۱۴ توسط هیات بین الدول تغییر اقلیم ارائه شد، استفاده گردید. با توجه به حجم داده ها، در این تحقیق از دو خط سیر حد بالای واداشت تابشی با عنوان سناریوی RCP8.5 و خط سیر حد وسط واداشت تابشی با عنوان سناریوی RCP4.5 برای ارزیابی و درک دورنمایی از اثرات تغییر اقلیم در آینده استفاده گردید. دوره آبی به دو

دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۰) و آینده میانی (۲۰۶۰-۲۰۸۰) تقسیم شد.

در این تحقیق براساس پایگاه داده MarkSimGCM، برون داد سه مدل پیشنهادی (BCC-CSM1-1-M، CESM1-BGC و MRICGCM3) در پروژه درون مقایسه ای مدل های جفت شده (CMIP5)، استخراج و انتخاب گردید (جدول ۳). مدل های پیشنهادی منتخب براساس وضعیت تفکیک مکانی و قابلیت شبیه سازی آنها براساس مولفه های استفاده شده انتخاب شده است. این پایگاه داده به عنوان یک پایگاه جهانی تحت وب، داده شبیه سازی شده دوره آینده را براساس ۱۷ مدل CMIP5 در

چهار خط سیر سناریوهای واداشت تابشی از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۵ ارائه می‌کند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۳- مشخصات مدل‌های CMIP5 مورد مطالعه

نام مدل	موسسه	کشور	تفکیک مکانی (یاخته: طول و عرض)	ماخذ
BCC-CSM1-1-M	مرکز ملی بیجینگ	چین	1.25 * 1.25	Terzago et al (2017)
CESM1-BGC	مرکز ملی تحقیقات جوی	جهانی	1.25 * 1.25	Hurrell et al. (2013) Terzago et al (2017)
MRICGCM3	MRI	ژاپن	1.12 * 1.12	Yukimoto et al. (2012) Terzago et al (2017)

آدرس پایگاه: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/marksimgcm>

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

$$MBE = \frac{\sum_i (P_i - O_i)}{n} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{\sum_i |P_i - O_i|}{n} \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right)^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

در روابط فوق، P_i مقدار برآورد شده یا شبیه سازی شده و O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر برآورد شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد مقایسه‌ها می‌باشد. مقدار آماره $RMSE$ همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت و منفی آماره MBE به ترتیب نشان‌دهنده بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ عبدی و همکاران، ۱۳۹۷).

براساس روش هارگریوز-سامانی و با اعمال ضریب گیاهی (KC) در مراحل رشد پنبه، میزان نیاز آبی به تفکیک هر مرحله رشد مشخص گردید. آغاز دوره کاشت، فروردین ماه

داده شبیه سازی شده به صورت روزانه و ماهانه برای هر ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه تهیه گردید. در این پژوهش برای بررسی عدم قطعیت در شبیه سازی مدل‌های گوناگون گردش عمومی از روش وزندهی به برون‌داد هر مدل استفاده گردید. بر همین اساس متوسط ماهانه پارامترهای شبیه سازی شده توسط مدل در نزدیکترین یاخته به ایستگاه با مقادیر داده‌های مشاهداتی در دوره پایه مقایسه شد و براساس توانمندی مدل در شبیه سازی مقادیر پارامترهای منتخب در ایستگاه‌های هواشناسی وزن هر یک از مدل‌ها مشخص گردید (رابطه ۳).

$$W_{i,j} = \frac{1}{\Delta F_{i,j} \sum_{i=1}^n (1/\Delta 1_{i,j})} \quad (3)$$

در رابطه فوق F متغیر هواشناسی مورد بررسی، ΔF اختلاف بین متغیر شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای مختلف با مقدار مشاهداتی در دوره پایه و W وزن شبیه سازی‌های هر مدل گردش عمومی جو برای سناریوی مورد نظر می‌باشد. i و j به ترتیب نشان‌دهنده ماه و مدل گردش عمومی جو می‌باشد (بابایان و کوهی، ۱۳۹۱).

بعد از شبیه‌سازی داده‌ها به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه، داده‌های شبیه سازی شده با داده‌های مشاهداتی در دوره پایه مقایسه گردید. برای بررسی کارایی مدل، از شاخص‌های آماری مانند (MAE)، (MBE)، (R^2) (R) و (RMSE) استفاده شد. این شاخص‌ها و معیارها براساس روابط (۴) تا (۷) محاسبه می‌شوند.

بارش در بیشتر ایستگاه‌ها نسبت به پارامتر دما مقادیر این شاخص، ضعیفتر می‌باشد. این شرایط به دلیل نقش عوامل محلی از یک طرف و همچنین دینامیک الگوهای بارش از سوی دیگر موجب شده که بارش دهه‌های قبل مشابه دوره حاضر نباشد. در واقع همان نظم و الگو برای بارش‌های دهه‌های گذشته در دوره حاضر رخ نخواهد داد. در واقع بارش متغیری سرکش در آب و هوا است که تغییرات زمانی - مکانی بسیار بالایی دارد. میزان بالای شاخص R و R2 برای کمینه و بیشینه دما در تمامی ایستگاهها به طور متوسط ۰/۹۷ و ۰/۹۶ بوده است.

مقایسه نموداری عملکرد مدل MRICGCM3 نسبت به دوره پایه

به منظور مقایسه دوره آبی با دوره مشاهداتی، ایستگاه همدید مشهد به عنوان ایستگاه منتخب در نیمه شمالی استان و ایستگاه تربت حیدریه به عنوان نماینده نیمه جنوبی مشخص گردید. در این راستا دوره (۲۰۱۶-۱۹۸۷) به عنوان دوره پایه یا مشاهداتی و دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۴۰) و (۲۰۶۰-۲۰۴۱) به ترتیب برای آینده نزدیک و آینده میانی تعیین شد. برونداد مدل برای دوره آبی برای ایستگاههای مذکور برای دو سناریوی حد بالا (RCP8.5) و حد واسط (RCP4.5) شبیه سازی شد. این شرایط برای سه پارامتر عمده اقلیمی کمینه و بیشینه دما و بارش واکاوی شد. ایستگاه مشهد: بررسی و مقایسه کمینه دمای هوا در دهه‌های آینده تا ۲۰۶۰ برای ایستگاه مشهد در سناریوی حد بالا و حد واسط در شکل‌های (۳) و (۴) مشخص شده است. در سناریوی حد بالا، متوسط کمینه دما در دوره‌های آینده نزدیک و میانی به ترتیب ۹/۰۴ و ۱۱/۳ درجه سانتیگراد خواهد شد. به طوری که متوسط دمای کمینه هوا در دوره‌های مذکور به ترتیب ۲/۲ و ۳/۰۱ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. همانطور که در شکل (۳) مشخص شده، انحراف دمایی و افزایش آن در دوره آینده میانی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) بیشتر رخ خواهد داد. در سناریوی حد واسط RCP4.5، متوسط کمینه دما در دوره‌های مذکور به ترتیب به ۸/۵ و ۹/۸ درجه سانتیگراد تغییر خواهد یافت. در این سناریو برای دوره آینده به ترتیب ۱/۱ و ۱/۸ درصد افزایش در متوسط دمای کمینه رخ خواهد داد.

و انتهای دوره رشد را اوایل آبان ماه در نظر می‌گیرند. در این تحقیق نیز این بازه زمانی برای دوره رشد پنبه در نظر گرفته شد. بعد از تعیین تبخیر و تعرق مرجع، میزان تبخیر و تعرق گیاه پنبه در طول فصل رشد، مشخص شد. این شرایط در دوره آینده نیز برآورد و با دوره پایه مقایسه گردید. نتایج این تغییرات و دگرگونی‌ها در قالب نمودار برای درک تصویری و نقشه پراکندگی تغییرات برای ارائه الگوی مکانی در سطح استان خراسان رضوی مشخص شده است.

نتایج

اعتبارسنجی برونداد مدل‌های گردش عمومی جو به منظور دستیابی به داده‌های پیش‌نگری شده برای آینده از سه مدل جفت شده گردش عمومی CMIP5 شامل مدل‌های BCC-CSM1-1-M، CESM1-BGC و MRICGCM3 استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها براساس روش وزن دهی در جدول (۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد که مدل‌های پیشنهادی در این تحقیق از وزن بالایی برخوردار بوده و به دلیل تفکیک بالا، نتایج آنها مشابه و نزدیک به همدیگر است. برونداد مدل MRICGCM3 از وزن بالاتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار می‌باشد، بنابراین از این مدل برای پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی در دوره آبی استفاده شد. از آنجایی که این مدل از تفکیک مکانی بالاتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار می‌باشد، لذا نتایج شبیه‌سازی آن براساس سناریوهای RCP از انطباق بالاتری با داده‌های مشاهداتی و تاریخی برخوردار می‌باشد. در مطالعات تغییر اقلیم لازم است داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های دوره پایه مقایسه شود. در این راستا براساس شاخص‌های عمده اعتبارسنجی، اقدام به این مهم شد. همانطور که در جدول (۵) آمده است در تمامی ایستگاهها، نتایج اعتبارسنجی معیارهای آماری برای دمای کمینه و بیشینه از کارایی بالاتری برخوردار می‌باشد. این شرایط به ساز و کار نظم‌پذیر دمای هوا نسبت به دیگر پارامترها بخصوص بارش می‌باشد. در تمامی ایستگاهها مقدار شاخص RMSE برای دو پارامتر نامبرده کمتر از ۱۰ می‌باشد و در برخی ایستگاه‌های نزدیک به یک می‌باشد که نشان دهنده دقت بالا در اعتبارسنجی می‌باشد. برای پارامتر

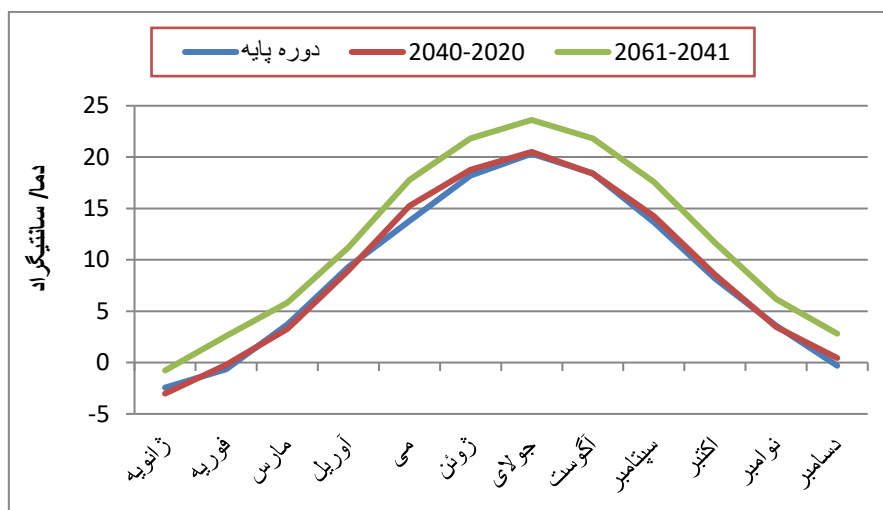
به طور کلی در سناریوی حد بالا در دوره آینده نزدیک، متوسط کمینه دمای هوا تا ۱ درجه سانتیگراد و در دوره آینده میانی تا ۳ درجه افزایش خواهد یافت. در سناریوی حد واسط در دوره مذکور به ترتیب ۰/۵ و ۱/۱ درجه سانتیگراد کمینه دمای هوا نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

جدول (۴) نتایج اعتبارسنجی مدل‌های CMIP5 براساس روش وزن دهی

MRICGCM3	CESM1-BGC	BCC-CSM1-1-M	
۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۴	دمای کمینه
۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۴	دمای بیشینه
۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۴	بارش

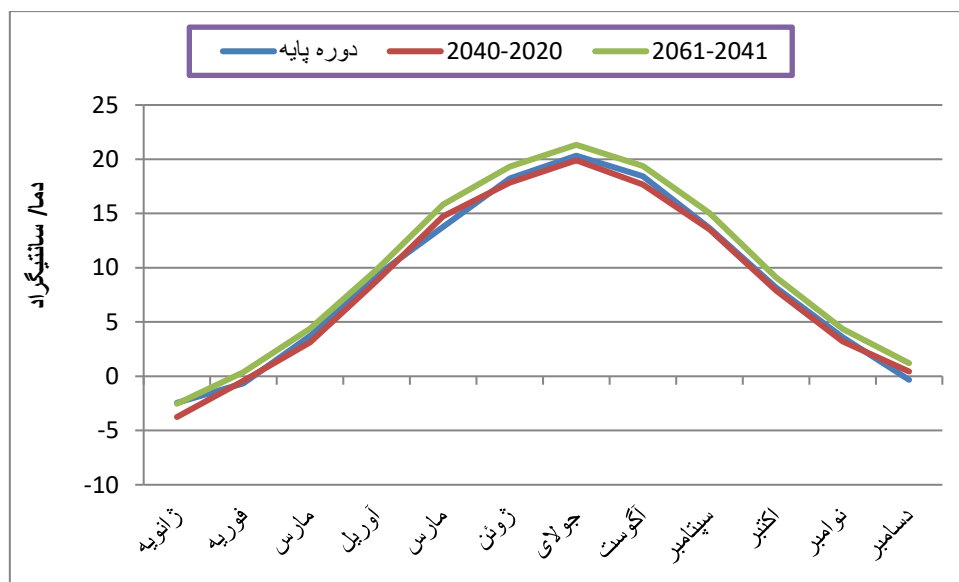
جدول (۵) نتایج شاخص‌های اعتبارسنجی مقادیر شبیه سازی شده مدل در مقایسه با دوره پایه

RMSE	MBE	MAE	R2	R	شاخص	ایستگاه
					پارامتر	
۱/۱	۰/۹۸	۱/۱	۰/۹۶	۰/۹۸	دمای کمینه	مشهد
۱/۹	۴/۳	۱/۲	۰/۹۶	۰/۹۸	دمای بیشینه	
۵/۶	۲/۱۴	۵/۶	۰/۶۲	۰/۷۱	بارش	
۲/۳	۶/۵	۳/۲	۰/۹۲	۰/۹۶	دمای کمینه	تربت حیدریه
۲	۶	۳/۱	۰/۹۱	۰/۹۵	دمای بیشینه	
۹/۹	۶/۶	۸/۸	۰/۶۰	۰/۶۹	بارش	
۲/۶	۷/۱	۳/۱	۰/۹۲	۰/۹۶	دمای کمینه	تربت جام
۲	۶	۳/۱	۰/۹۱	۰/۹۵	دمای بیشینه	
۱۳/۴	۹/۹	۸/۸	۰/۴۶	۰/۵۰	بارش	
۲/۳	۶/۵	۳/۲	۰/۹۲	۰/۹۶	دمای کمینه	سبزوار
۲	۶	۳/۱	۰/۹۱	۰/۹۵	دمای بیشینه	
۸/۹	۷/۶	۹/۸	۰/۵۹	۰/۶۲	بارش	
۲/۶	۷/۱	۳/۱	۰/۹۲	۰/۹۶	دمای کمینه	سرخس
۲	۶	۳/۱	۰/۹۱	۰/۹۵	دمای بیشینه	
۱۴/۴	۸/۹	۹/۸	۰/۴۴	۰/۴۸	بارش	
۱/۱	۰/۹۸	۱/۱	۰/۹۶	۰/۹۸	دمای کمینه	گلمکان
۱/۹	۴/۳	۱/۲	۰/۹۶	۰/۹۸	دمای بیشینه	
۴/۶	۵/۱۴	۶/۶	۰/۶۹	۰/۷۲	بارش	
۲/۳	۶/۵	۳/۲	۰/۹۲	۰/۹۶	دمای کمینه	گناباد
۲	۶	۳/۱	۰/۹۱	۰/۹۵	دمای بیشینه	
۶/۹	۷/۶	۹/۸	۰/۶۲	۰/۶۶	بارش	



شکل (۳) مقایسه انحراف کمینه دمای هوای ماهانه در ایستگاه مشهد در دوره آینده نسبت به دوره پایه (۲۰۱۶-۱۹۸۷) تحت شرایط سناریوی

RCP8.5



شکل (۴) مقایسه انحراف کمینه دمای هوای ماهانه در ایستگاه مشهد در دوره آینده نسبت به دوره پایه (۲۰۱۶-۱۹۸۷) تحت شرایط سناریوی

RCP4.5

شرایط نرمال در دوره پایه خواهد بود. این افزایش در ماههای سرد سال بویژه دسامبر تا آوریل رخ خواهد داد و در ماههای گرم سال از ماه می تا سپتامبر کاهش بارش نسبت به دوره پایه مشاهده می گردد.

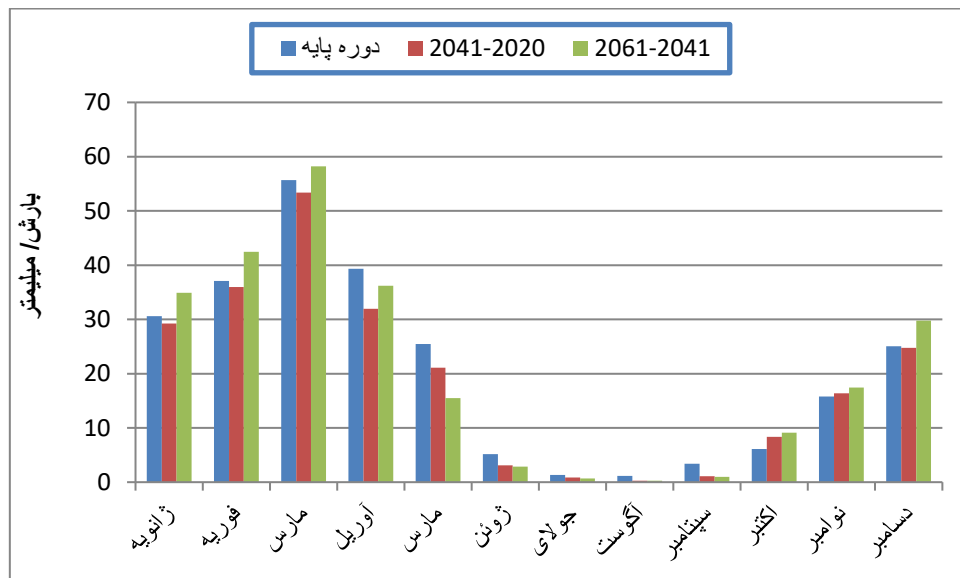
در الگوی حد واسط در دوره آینده نزدیک، متوسط بارش سالانه به ۲۲۶/۴ میلیمتر و در دوره آینده میانی به ۲۳۱/۶ میلیمتر کاهش خواهد یافت. در الگوی حد واسط نیز مشابه الگوی حد بالا مقدار بارش ماهانه در دهه‌های نزدیک به دوره حاضر با کاهش بیشتری نسبت به دوره آتی دورتر

مقایسه نمودار بارش ماهانه دوره آینده در مقایسه با دوره پایه برای ایستگاه مشهد براساس سناریوهای مورد مطالعه در شکل‌های (۵) و (۶) مشخص شده است.

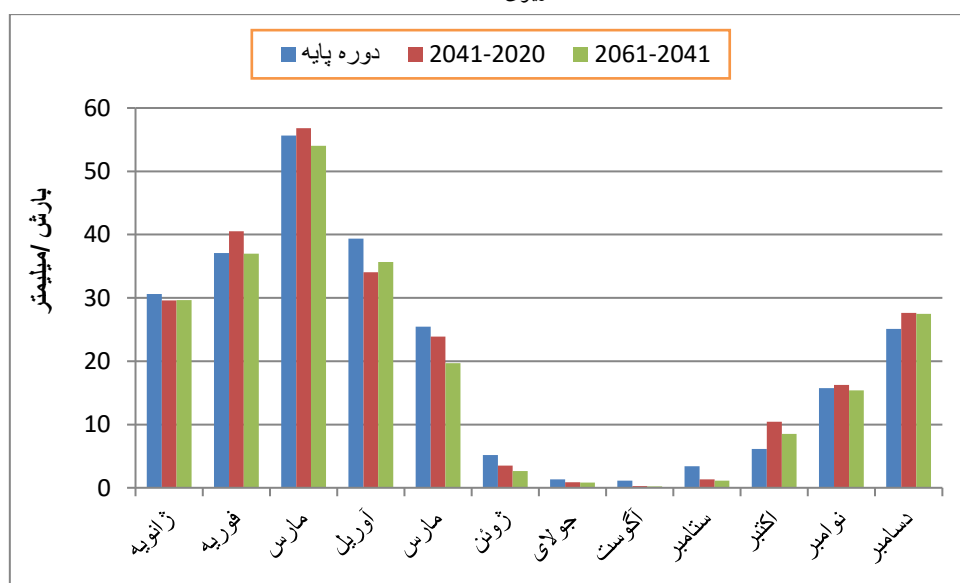
همانطوری که در شکل (۵) مشاهده می شود، در ایستگاه مشهد تحت شرایط سناریوی حد بالا در دوره آینده نزدیک متوسط بارش سالانه به ۲۲۵ میلیمتر خواهد رسید که نسبت به دوره پایه با مجموع ۲۴۶ میلیمتر، ۲۱ میلیمتر بارندگی کاهش خواهد یافت. در دوره آینده میانی نیز متوسط بارش به ۲۴۸/۴ میلیمتر خواهد رسید که با افزایش اندک مشابه

نزدیک افزایش اندکی در بارش دوره سرد سال از ماه اکتبر تا مارس رخ خواهد داد که این افزایش در مقابل کاهش بارش ماهانه دوره گرم سال ناچیز است (شکل ۶).

مواجه خواهند شد. در سناریوی RCP4.5 در دوره‌های آینده نزدیک و میانی به ترتیب ۲۰ و ۱۵ میلیمتر، متوسط بارش سالانه کاهش خواهد یافت که این کاهش در دوره گرم سال که فصل رشد می‌باشد مشهود است و در آینده



شکل (۵) مقایسه انحراف بارش ماهانه در ایستگاه مشهد در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۶۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۶) تحت شرایط سناریوی RCP8.5



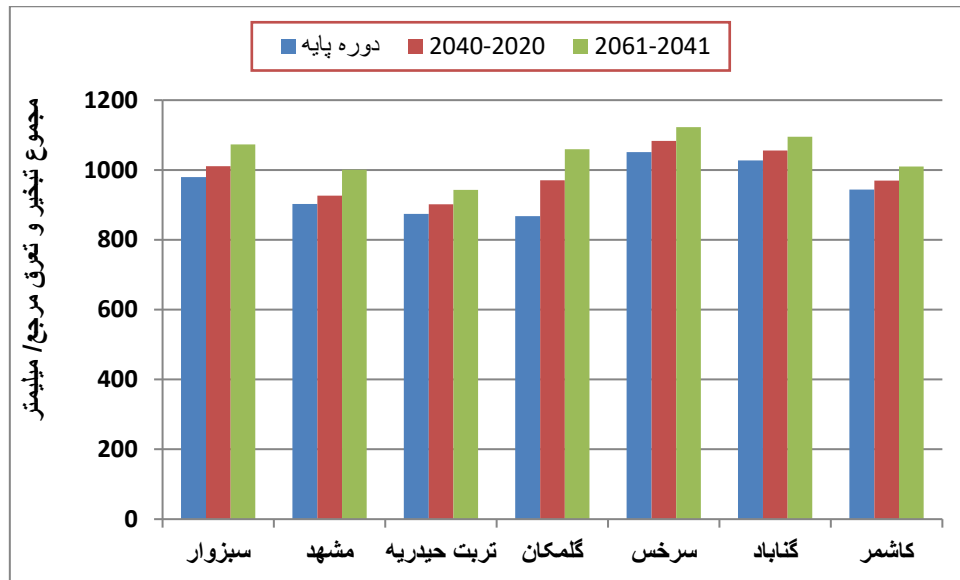
شکل (۶) مقایسه انحراف بارش ماهانه در ایستگاه مشهد در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۶۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۶) تحت شرایط سناریوی RCP4.5

استان خراسان رضوی و توزیع مکانی آن مشخص شده است. در الگوی RCP8.5 مشخص گردید که مقدار تبخیر و تعرق مرجع در دوره (۲۰۲۰-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) به

ارزیابی تبخیر و تعرق مرجع در آینده نسبت به دوره پایه در ادامه به منظور تعیین وضعیت نیاز آبی در ابتدا لازم است وضعیت تبخیر و تعرق مرجع بررسی شود. در این راستا میزان تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در سطح ایستگاههای

نتایج در مطالعات اشرف و همکاران (۱۳۹۰) بر اساس روش هارگریوز و سامانی در استان خراسان رضوی تحت شرایط تغییر اقلیم نیز تایید شده است.

ترتیب ۳۸/۳ و ۹۳/۹ میلیمتر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت (شکل ۷). بر طبق نمودار ترسیم شده (شکل ۷)، مقدار تبخیر و تعرق مرجع در آینده میانی افزایش بیشتری نسبت به آینده نزدیک برخوردار خواهد شد. این



شکل (۷) تغییرات مجموع تبخیر و تعرق مرجع سالانه بر حسب میلیمتر در دوره آینده تحت الگوی RCP8.5 در دوره آینده تا ۲۰۶۰ میلادی

شرایط از ۸۷۴ میلیمتر شروع شده و تا ۱۰۷۶ میلیمتر در مناطق خشک و کم ارتفاع افزایش خواهد یافت. بنابراین تحت شرایط حد بالا، مقدار افزایش تبخیر و تعرق مرجع در نیمه شرقی، جنوبی و غربی استان فشار فزاینده‌ای بر منابع آبی، به واسطه نیاز بیشتر آبی و دفعات آبیاری رخ خواهد داد.

تغییرات نیاز آبی پنبه در مراحل مختلف رشد در دوره آینده نسبت به دوره پایه در ادامه در این بخش بعد از برآورد تبخیر - تعرق مرجع وضعیت نیاز آبی مراحل رشد پنبه به تفکیک هر مرحله رشد مشخص شده است.

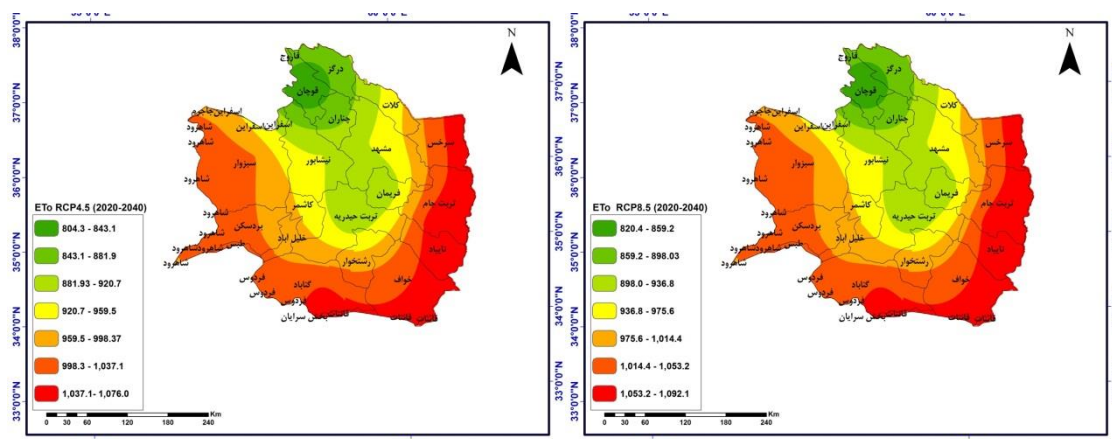
مرحله اولیه رشد پنبه مرحله اولیه رشد گیاه پنبه، دوره آغازین از آماده سازی زمین و کاشت تا جوانه زنی را در بر می‌گیرد. نتایج نشان داد که در مرحله اولیه رشد پنبه در استان خراسان رضوی، مقدار نیاز آبی نسبت به دوره پایه، افزایش خواهد یافت. به

توزیع مکانی تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در منطقه مورد مطالعه در سناریوی حد بالا در شکل (۸) مشخص شده است. الگوی توزیع مکانی تبخیر و تعرق در دوره آینده به مانند الگوی دوره پایه مشاهده می‌شود. هر چند در دوره آینده بر مقدار تبخیر و تعرق افزوده خواهد شد، اما الگوی توزیع مکانی دوره آینده و دوره پایه تقریباً مشابه مشاهده می‌شود. به طوری که از نیمه شمالی به سمت نیمه جنوبی بر مقدار تبخیر و تعرق افزوده می‌شود. مناطق نیمه شرقی، جنوبی و غرب و جنوب غربی استان جزو کانونهای حد بالای تبخیر و تعرق محسوب می‌شوند. در مناطق نیمه شمالی و بخش های سردسیر استان، به نسبت دیگر مناطق مقدار تبخیر و تعرق مرجع پایین تر است.

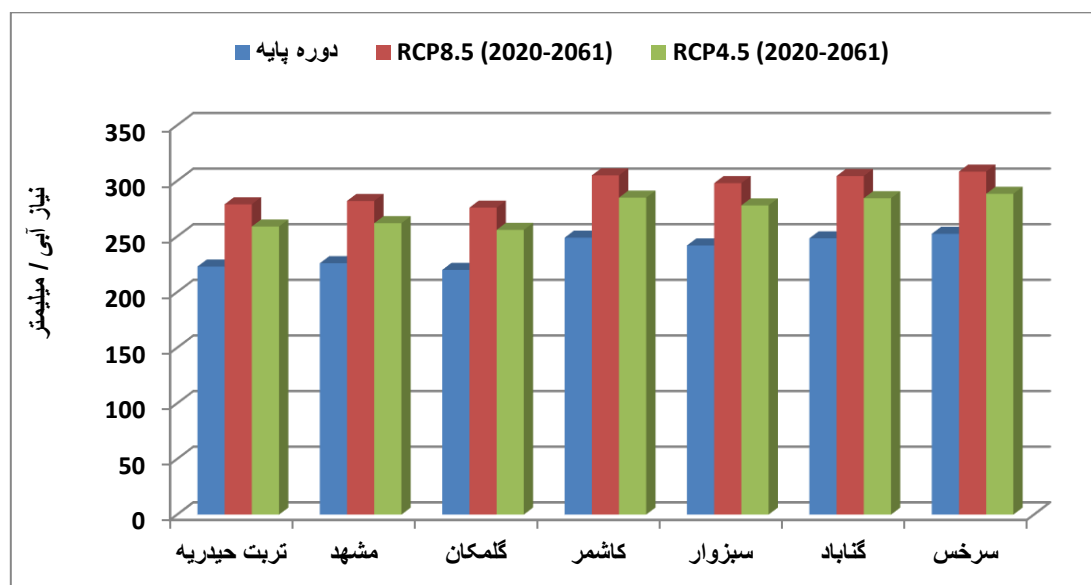
در دوره (۲۰۲۰-۲۰۴۰) مقدار تبخیر و تعرق مرجع از ۸۲۰ میلیمتر در نواحی سردسیر و مرتفع مانند قوچان شروع شده و تا ۱۰۹۲ میلیمتر در نواحی کم ارتفاع و خشکتر در نواحی نیمه شرقی و جنوبی و نوار غربی منطقه در نوسان خواهد بود. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) این شرایط بیشتر از دوره فوق خواهد بود. به طوری که در نواحی مرتفع و سردسیر این

مطالعه، این افزایش در وضعیت نیاز آبی در مرحله اولیه رشد وجود دارد. به طوری که بالاترین سطح نیاز آبی در ایستگاههای کاشمر، گناباد و سرخس تا حد ۳۰۰ میلیمتر در مرحله اولیه رخ داده است. در ایستگاههای تربت حیدریه، گلکان و مشهد نسبت به دیگر ایستگاهها این مقدار به بالاتر از ۲۰۰ میلیمتر مشاهده می‌شود.

طوری که در الگوی حد بالا RCP8.5 و حد واسط RCP4.5 به ترتیب ۵۶ و ۳۶ میلیمتر بر مقدار نیاز آبی در مرحله اولیه رشد افزوده خواهد شد. شکل (۹) تغییرات نیاز آبی در مرحله اولیه رشد در دوره آینده تحت سناریوهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص شده، در تمامی ایستگاههای هواشناسی مورد



شکل (۸) توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع در افق ۲۰۲۰-۲۰۴۰ براساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5



شکل (۹) انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله اولیه رشد پنبه در دوره آینده براساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در ایستگاههای مورد مطالعه

اولیه رشد به دلیل شروع کاشت پنبه و بهره‌گیری از رطوبت بهاره، کمترین نیاز آبی را در طول دوره رشد این گیاه دارا می‌باشد. توزیع مکانی تغییرات نیاز آبی گیاه پنبه تحت شرایط تغییر اقلیم در مرحله اولیه رشد تحت سناریوهای حد بالا و حد

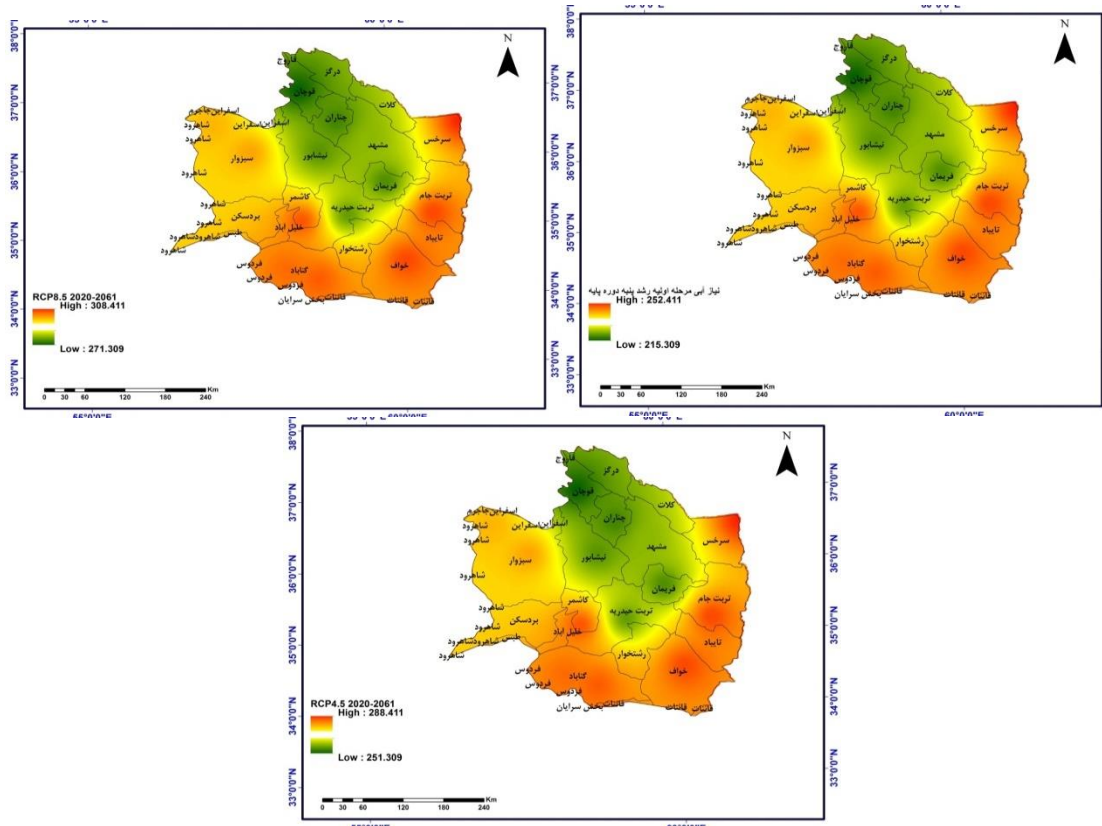
نتایج بررسی نیاز آبی مرحله اولیه رشد پنبه نشان داد که براساس هر دو سناریوی مورد مطالعه در این تحقیق، با توجه به افزایش دمای پیش‌نگری شده، مقدار نیاز آبی نیز افزایش خواهد یافت. در الگوی حد بالا این وضعیت در دهه‌های آینده تا ۵۶ میلیمتر افزایش خواهد یافت. مرحله

جغرافیایی تغییر می‌یابد. بنابر نتایج بدست آمده، در دهه‌های آینده بر پهنه مناطق با نیاز آبی بیشتر افزوده خواهد شد.

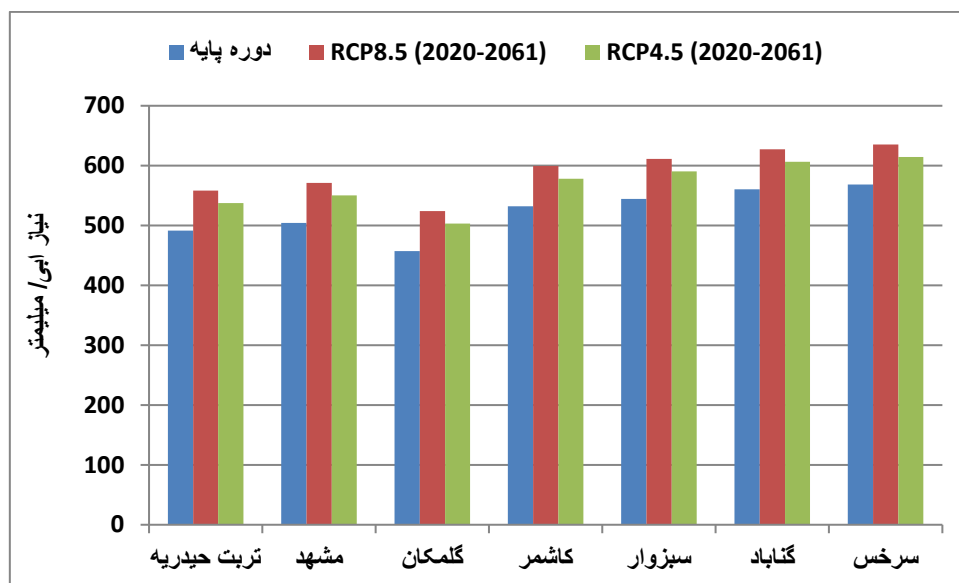
مرحله میانی رشد پنبه

مرحله میانی رشد گیاه پنبه طولانی‌ترین بازه زمانی را در دوره رشد در بر می‌گیرد. این مرحله به دلیل همزمانی دوره رشد و نمو گیاه با ماههای گرم سال در فصل تابستان، از بالاترین ضریب گیاهی و دوره نیاز به آب برخوردار می‌باشد. افزایش دمای هوا و خشکی خاک، این شرایط را موجب می‌شود. در این راستا براساس سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 تا ۲۰۶۰ میلادی به ترتیب ۶۷ و ۶۶ میلیمتر بر مقدار نیاز آبی افزوده خواهد شد. نتایج این تغییرات برای ایستگاههای مورد مطالعه در شکل (۱۱) مشخص شده است. همانطور که مشخص شده، بالاترین سطح افزایش نیاز آبی در مرحله میانی رشد در ایستگاههای کاشمر، سبزوار، گناباد و سرخس رخ خواهد داد. در این ایستگاهها مجموع نیاز آبی مرحله میانی رشد پنبه ۶۲۰ - ۶۰۰ میلیمتر تغییر خواهد یافت.

واسط در شکل (۱۰) مشخص شده است. همانطور که مشخص شده این تغییرات از ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ به صورت مجموع نیاز آبی برآورد و تعیین شده است. در بررسی اولیه در هر دو سناریو نیز الگوی توزیع مکانی بدست آمده نشان داد که توزیع نیاز آبی منطبق بر وضعیت مکانی استان می‌باشد. به طوری که در نواحی کم ارتفاع و گرم استان مانند نیمه شرقی، جنوب شرقی و جنوب و جنوب غرب، بالاترین سطح نیاز آبی رخ خواهد داد. در مناطق عرض های بالاتر که نواحی کوهستانی را پوشش می‌دهند؛ مانند شهرستانهای تربت حیدریه، قوچان و مشهد میزان نیاز آبی نسبت به دیگر مناطق استان کمتر خواهد بود. در دوره آینده با توجه به وضعیت افزایش دمای هوا، نتیجتاً نیاز آبی نیز افزایش خواهد یافت. این شرایط موجب شده که در دهه ۲۰۶۰ میلادی در میانه قرن حاضر بر وسعت پهنه‌های با نیاز آبی بالاتر افزوده شود. تحت سناریوی RCP8.5 مقدار نیاز آبی مرحله اولیه رشد پنبه در خراسان رضوی از ۲۷۱ تا ۳۰۸ میلیمتر در نوسان می‌باشد. تحت شرایط RCP4.5 این شرایط به مقدار عددی ۲۵۱ تا ۲۸۸ متناسب با شرایط



شکل (۱۰) توزیع مکانی نیاز آبی مرحله اولیه رشد پنبه در خراسان رضوی در دوره پایه و دوره آینده تا (۲۰۲۰-۲۰۶۰) براساس سناریوی RCP8.5 و RCP4.5



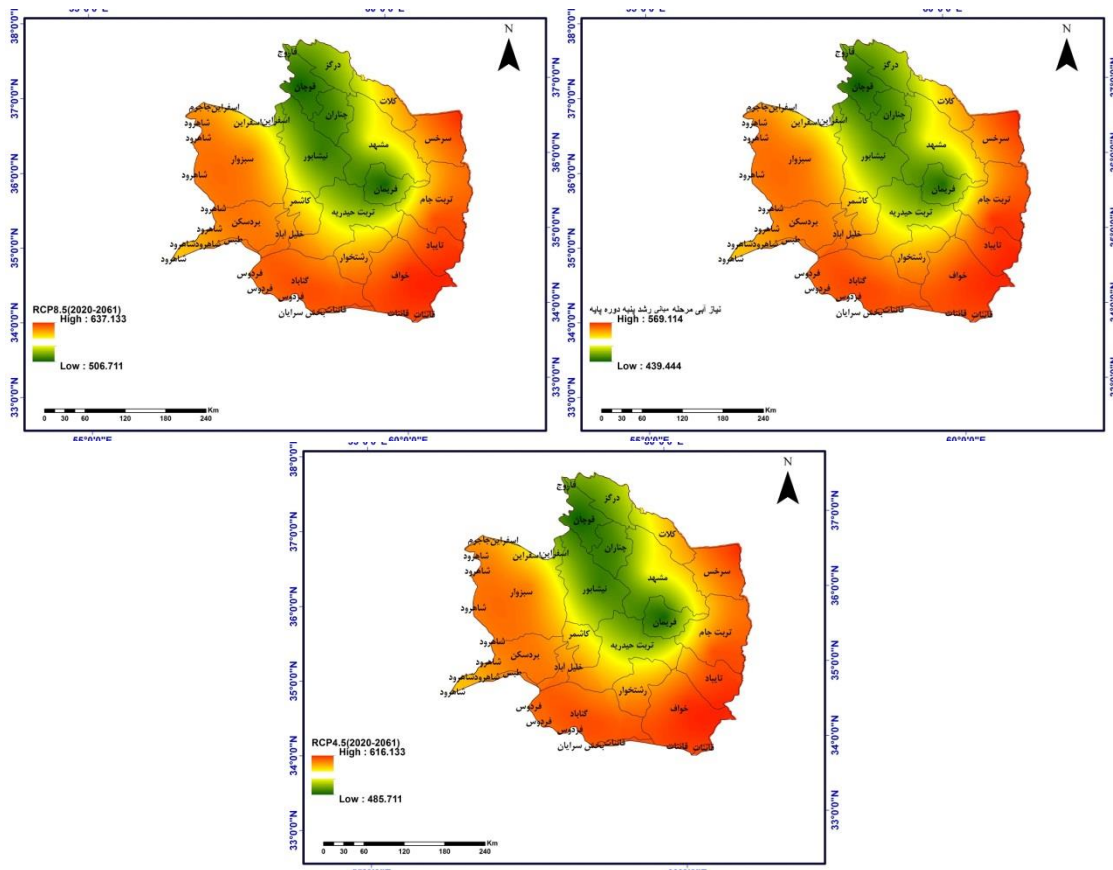
شکل (۱۱) انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد پنبه در دوره آینده براساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در ایستگاههای مورد مطالعه

مقدار نیاز آبی با توجه به سازوکار این سناریو بین ۴۸۵ تا ۶۱۶ میلیمتر در سطح استان متغیر می‌باشد. در این سناریو نیز همچنان مناطق اشاره در فوق جزو بالاترین مناطق با نیاز آبی در مرحله میانی رشد پنبه محسوب می‌شوند. به طور کل تحت هر دو سناریوی مورد مطالعه، با هر گونه افزایش دمای هوا و کاهش بارش، میزان نیاز آبی به دلیل خشکی محیط و افزایش تبخیر و تعرق پذیرفتنی است.

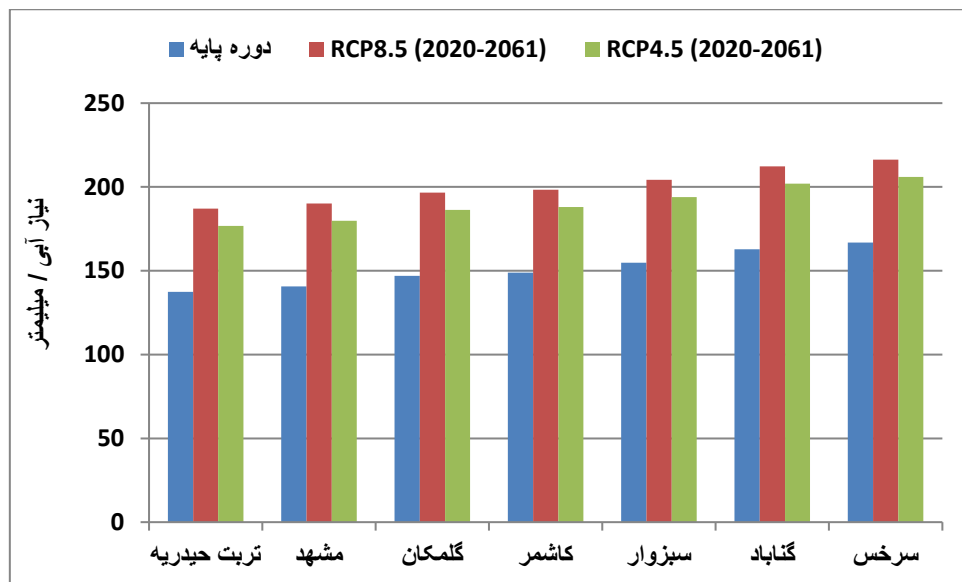
مرحله پایانی رشد پنبه

مرحله پایانی رشد گیاه پنبه به دوره انتهایی رشد محصول می‌پردازد. این مرحله از رشد در زمان رسیدن و برداشت رخ می‌دهد که عمدتاً مصادف با ماههای اوایل فصل پاییز می‌باشد. در این موقع از سال با توجه به افت دمای هوا، به تبع مقدار ضریب گیاهی و نیاز آبی نیز کاهش پیدا می‌کند. در این مرحله از رشد گیاه براساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 تا ۲۰۶۰ میلادی به ترتیب ۴۹ و ۳۹ میلیمتر افزایش خواهد یافت. این شرایط برای هر دو سناریوی مورد مطالعه در شکل (۱۳) برای ایستگاههای استان نمایش داده شده است. نمودار به روشنی گویای انحراف نیاز آبی نسبت به دوره پایه می‌باشد.

توزیع مکانی تغییرات نیاز آبی در مرحله حساس میانی به عنوان طولانی‌ترین و حساس‌ترین مرحله رشد پنبه، در دوره آینده تحت شرایط سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در شکل (۱۲) مشخص شده است. الگوی توزیع مکانی این مرحله از رشد پنبه نیز به مانند دیگر مراحل رشد این گیاه، تابع عوامل مکانی و شرایط طبیعی منطقه تحقیق می‌باشد. از آنجایی که مرحله میانی رشد پنبه بازه طولانی‌تر مصادف با روزهای گرم سال در فصل تابستان است؛ لذا بدیهی است که نیاز آبی این مرحله از دیگر مراحل رشد بالاتر باشد. با توجه به افزایش دمای دوره آینده ناشی از تغییرات اقلیمی، بر وسعت پهنه‌های با نیاز آبی بالاتر افزوده خواهد شد. تحت سناریوی RCP8.5، نیاز آبی در این مرحله در سطح استان از ۵۰۶ میلیمتر در خنک‌ترین مناطق مانند قوچان، فریمان، چناران، نیشابور، درگز و تربت حیدریه و دامنه‌های اطراف کوهستان‌های استان تا ۶۳۷ میلیمتر در نواحی کم ارتفاع و پست در نیمه شرق به سمت نیمه غربی رخ خواهد داد. در شهرستان‌های سرخس، گناباد، سبزوار، بردسکن، خلیل آباد و تربت جام، بالاترین نیاز آبی رخ خواهد که مدیریت شدید منابع آبی در این خطه حساس از کشور از منابع آبی حائز اهمیت می‌باشد. تحت الگوی RCP4.5



شکل (۱۲) توزیع مکانی نیاز آبی مرحله میانی رشد پنبه در خراسان رضوی در دوره پایه و دوره آینده تا (۲۰۶۰-۲۰۲۰) براساس سناریوی RCP8.5 و RCP4.5



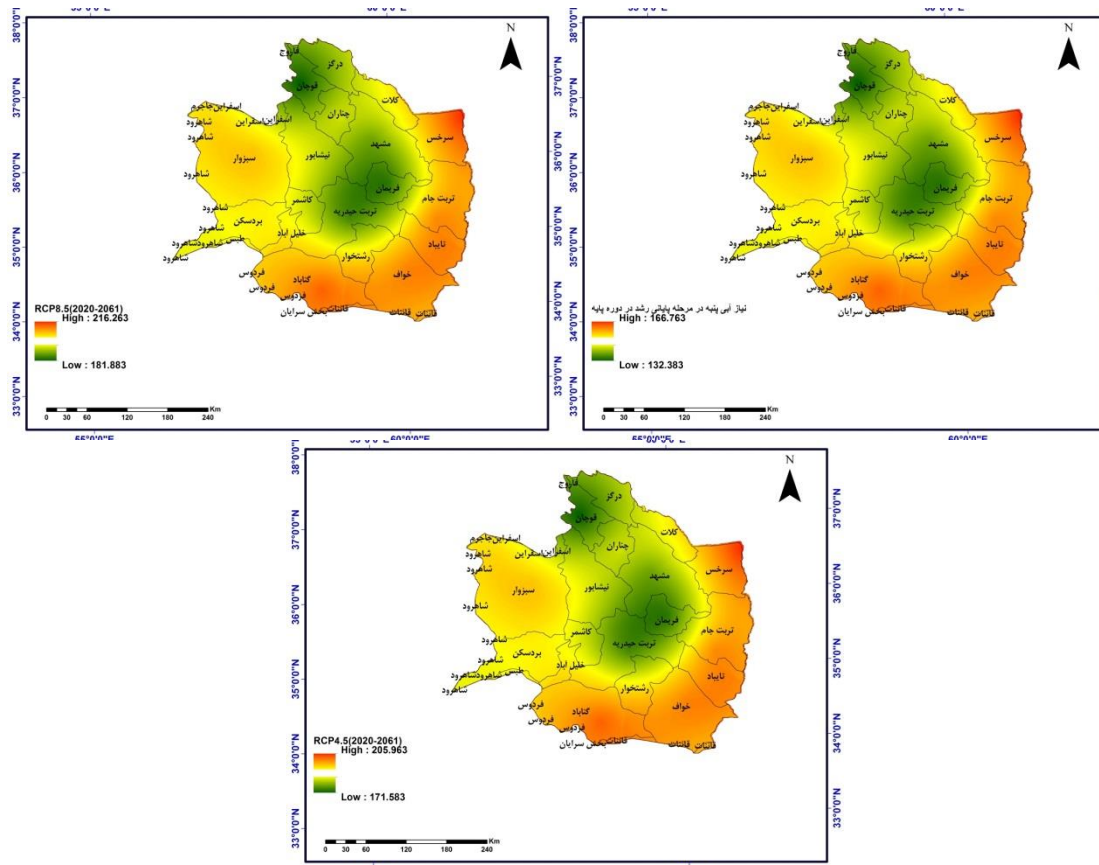
شکل (۱۳) انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد پنبه در دوره آینده براساس سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 در ایستگاههای مورد مطالعه

ورود الگوهای جو و شرایط محلی، توزیع مکانی نیاز آبی کمتر از مراحل اولیه و میانی رشد پنبه می‌باشد. به طوری که در این مرحله بر پهنه کمترین مناطق نیاز آبی افزوده شده

توزیع مکانی نیاز آبی مرحله رشد پایانی پنبه تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در شکل (۱۴) مشخص شده است. در این مرحله به دلیل افت دمای محیط به دلیل

استان تا ۲۰۵ میلیمتر در نواحی گرمتر و کم ارتفاع‌تر در نواحی بیرونی استان یعنی نیمه شرقی، جنوبی و غرب و جنوب غربی رخ خواهد داد.

است. در الگوی RCP8.5 مقدار نیاز آبی از ۱۸۱ تا ۲۱۶ میلیمتر در نواسان می‌باشد. در الگوی RCP4.5 مقدار نیاز آبی این مرحله از ۱۷۱ میلیمتر در نواحی خنک و مرتفع به صورت نواری از شمال به سمت مرکز و تا جنوب شرق



شکل (۱۴) توزیع مکانی نیاز آبی مرحله پایانی رشد پنبه در خراسان رضوی در دوره پایه و دوره آینده تا (۲۰۶۰-۲۰۲۰) براساس سناریوی RCP8.5 و RCP4.5

یافت. این نتایج با مطالعات آشفته برای ارزیابی نیاز آبی محصولات تحت شرایط تغییر اقلیم همخوانی دارد. وی در تحقیق خود مشخص نمودند که افزایش ریسک تغییرات نیاز آبی در محصولات زراعی رخ خواهد داد. از نظر افزایش تبخیر و تعرق مرجع و نیاز آبی براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نتایج تحقیق حاضر در تایید مطالعات گودرزی و عابدی کوپایی (۱۳۹۹) می‌باشد. آنها برای دشت نجف آباد مشخص نمودند که میزان تبخیر و تعرق مرجع در تمامی ماههای سال نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. در محصولات مختلف نیز مقدار نیاز آبی نسبت به دوره پایه افزایش چشمگیری خواهد داشت که در تحقیق حاضر نیز برای خراسان رضوی و

مقایسه نتایج تحقیق با دیگر تحقیقات مشابه: نتایج نشان داد که براساس نمایش نموداری هر کدام از مراحل رشد، انحراف افزایشی نیاز آبی در دوره آینده نسبت به دوره پایه مشهود است. در سایه افزایش دمای هوا این شرایط پذیرفتنی می‌باشد. گیاه پنبه در مرحله میانی رشد به بالاترین مقدار نیاز آبی نیاز دارد. این شرایط در سناریوی RCP8.5 بیشتر از حد واسط مشاهده می‌شود. این نتایج با نتایج اشرف و همکاران (۱۳۹۰) برای محصول چغندر در استان خراسان رضوی همخوانی دارد. آنها برای محصول چغندر قند در خراسان رضوی براساس گزارش چهارم تغییر اقلیم مشخص نمودند که در بیشتر مناطق استان مقدار نیاز آبی در مراحل رشد بخصوص مرحله میانی رشد افزایش خواهد

حیدریه) از تبخیر و تعرق مرجع و نیاز آبی کمتری نسبت به دیگر مناطق استان خراسان رضوی رخ خواهد داد. مناطق نیمه شرقی (شهرستان‌های سرخس و تربت جام) و مناطق نیمه جنوبی (شهرستان گناباد) و مناطق جنوب غربی استان در محدوده شهرستان‌های (سبزوار و بردسکن و کاشمر) با توجه به شرایط طبیعی و جغرافیایی؛ کانون‌های حد بالای تبخیر و تعرق مرجع و نیاز آبی را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین بر این نتایج بدست آمده؛ با توجه به شرایط تغییر اقلیم دوره آینده و کاهش منابع آبی، لزوم توجه جدی بر مدیریت بهینه منابع آبی و کاشت محصولات و وارپته‌های مقاوم با سازگاری بالاتر حائز اهمیت است.

منابع

1. Abdi, E. (2018). Investigation of rapeseed water requirement under climate change conditions. Master Thesis. Faculty of Geography and Environmental Sciences. Hakim Sabzevari University.
2. Abtew, W. & Melesse, A. (2013). Climate Change and Evapotranspiration. In: Evaporation and Evapotranspiration. Springer. Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4737-1_13.
3. Khalid, A. A., Ramezani Etedali, H. & Pour Mohseni, A. A. (2018). Estimation of transpiration evaporation and water requirement of crops in areas with climatic and altitude diversity (Case study: Qom province). Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 6 (12).pp. 1462-1448.
4. Ahmadi, H. Fallah Qalehri, G.A., Baqideh, M. & Amiri, M. I. (2018). Investigation of the effects of climate change on the heat accumulation pattern of apple growing areas in Iran in the future. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards. 5 (2).pp. 54-35.
5. Akbari, M. Sayad, V. (2021). Analysis of Climate Change Studies in Iran. Natural Geography Research. 53 (1).pp. 74-37.
6. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO. Irrigation and drainage. paper 56. FAO. Rome. 300(9): D05109.
7. Alizadeh, A. (2007). Principles of Applied Hydrology. Imam Reza University Press. Mashhad. Sixth edition.

محصول پنبه تایید شد. نتایج تحقیق همچنین نتایج مطالعات اذعانی (۱۳۸۹) اثر تغییر اقلیم بر روی نیاز آبی کشت سیب زمینی در دشت مغان را تایید می‌نماید. ایشان بعد از بررسی دما و بارش دوره پایه و آینده براساس مدل SDSM مشخص نمودند که در دوره ۱۴۱۸-۱۳۹۳ در تمامی مراحل رشد سیب زمینی، نیاز خالص آبیاری نسبت به گذشته افزایش خواهد یافت. با توجه به این نتایج پیشنهاد می‌شود که کشت گیاهان پر مصرف از نظر آب مانند پنبه و ذرت خودداری شود.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول پنبه در استان خراسان ارزیابی شد. بررسی‌ها براساس داده مشاهداتی نشان داد که عمده نزولات جوی استان در دوره سرد سال بخصوص ماه مارس یا اسفند تا اواخر فروردین ماه و اواسط اردیبهشت رخ می‌دهد. بررسی داده شبیه سازی برونداد مدل‌های گردش کلی جو، نشان داد که در دوره آینده تا میانه قرن حاضر، متوسط کمینه دمای هوا دمای هوا در سطح منطقه افزایش خواهد یافت. در واقع متوسط دمای کمینه در دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۰) و آینده میانی (۲۰۶۰-۲۰۴۱) به ترتیب ۲/۲ و ۳/۰۱ درجه سانتیگراد براساس سناریوی حد بالا و براساس سناریوی حد واسط به ترتیب ۱/۱ و ۱/۸ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بارش ماهانه در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه کاهش یافته اما در دهه‌های (۲۰۶۰-۲۰۴۱) نسبت به دهه‌های قبل افزایش یافته و نزدیک به نرمال می‌رسد. نتایج نشان داد که مقدار تبخیر و تعرق مرجع در دوره آینده نسبت به دوره پایه با توجه به افزایش دمای هوا افزایش خواهد یافت. براساس افزایش تبخیر و تعرق مرجع، نیاز آبی مراحل رشد پنبه در مرحله اولیه، میانی و پایانی نیز افزایش خواهد داشت. از نظر طول دوره رشد؛ بالاترین مقدار نیاز آبی در دوره میانی رشد پنبه مصادف با ماه‌های گرم سال رخ خواهد داد. از نظر توزیع مکانی، مناطق کوهستانی و مرتفع و با عرض جغرافیایی بالاتر در نیمه شمالی و مرکز استان مانند شهرستان‌های (قوچان، درگز، چناران، نیشابور و تربت

- Journal of Irrigation and Drainage. 2 (12).pp. 423-409.
18. Ding, Y. Wang, W. Song, R. Shao, Q. Jiao, X. & Xing, W. (2017). Modeling spatial and temporal variability of the impact of climate change on rice irrigation water requirements in the middle and lower reaches of the Yangtze River, China. *Agricultural Water Management*. 193. pp.89-101.
 19. Ebrahimi, Z. (2016). Water requirement of corn under climate change conditions in Khorasan Razavi. Master Thesis. Hakim Sabzevari University. Faculty of Geography and Environmental Sciences.
 20. Ghahraman, N. Babaian, I. & Tabatabai, S. M. R. (2016). Post-processing evaluation of dynamic outputs of climate models in estimating potential transpiration evaporation changes under radiation induction scenarios (Case study: Mashhad plain). *Earth and Space Physics*. 42 (3).pp.687 – 696.
 21. Goodarzi, M., & Abedi Kopai, J. (2020). Effects of Climate Change on Water Need and Irrigation Need in Irrigated Areas, Case Study: Najafabad Plain. *Promotional Journal of Water Conservation and Productivity*. 1 (1).pp. 30-23.
 22. Heydari Motlagh, A. Nasr Elahi, A. H. Sharifipour, M., & Veisi, Sh. (2021). Evaluation of different models for estimating evapotranspiration (ET_o) in Aleshtar plain. *Iranian Soil and Water Research*. 52. pp.1421-1410.
 23. Hijabi, S. (2020). Estimation of reference transpiration evaporation using CORDEX project forecasts and investigation of the contribution of meteorological variables in its changes (Case study: Urmia Lake Basin). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 6 (14).pp.1938-1920.
 24. Hurrell, J. W., Holland, M., Gent, P., Ghan, S., Kay, J. E., Kushner, P., Lamarque, J.-F., Large, W., Lawrence, D., Lindsay, K., Lipscomb, W. H., Long, M. C., Mahowald, N., Marsh, D. R., Neale, R. B., Rasch, P., Vavrus, S., Vertenstein, M., Bader, D., Collins, W. D., Hack, J. J., Kiehl, J., & Marshall, S. (2013). The Community Earth System Model: A Framework for Collaborative Research. *B. Am. Meteorol. Soc.* 94. pp.1339-1360. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00121.1>.
 25. Luo, X., Xia, J., & Yang, H. (2015). Modeling water requirements of major crops and their responses to climate change in the North China Plain. *Environmental Earth Sciences*. 74(4).pp.3531-3541.
 8. Ashefteh, P. S. (2015). Risk-based assessments of water needs of crops under climate change conditions using AOGCM models. *Journal of Rangeland and Watershed Management*. 68 (2).pp. 457-441.
 9. Ashraf, B. Mousavi Baygi, M. Kamali, G. A., & Davari, K. (2011). Prediction of water requirement of sugar beet in the period 2030-2011 using climatic data simulated by Lars-WG microscale model (Case study: Khorasan Razavi province). *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*. 25 (5).pp. 1196- 1184.
 10. Azaani, A. (2010). The effect of climate change on the net need for potato irrigation in Moghan plain. Master Thesis. Department of Water Engineering. Zabol University.
 11. Babaian, I. & Koochi, M. (2012). Evaluation of agricultural climate indicators under climate change scenarios in selected stations of Khorasan Razavi. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*. 26 (4).pp. 967-953.
 12. Babaian, I. Najafinik, Z. Zabol Abbasi, F. Habibi Nokhandan, M. Adab, H., & Malbousi, S. (2009). Evaluation of Climate Change in the Country in the Period 2010 - 2039, Using the Microscale Exponential Model of Public Circulation Model ECHO-G. *Journal of Geography and Development. Sistan and Baluchistan University*. 16. pp. 152-135.
 13. Bab Hakami, A. Gholami Sefid Koochi, M. A., & Emadi, A. (2020). The effect of climate change on reference evapotranspiration in Mazandaran province. *Iranian Soil and Water Research*. 51 (2).pp. 401-387.
 14. Barzegari, F., & Malekinejad, H. (2018). Investigation of the effects of climate change on water needs and sustainability of water consumption in the agricultural sector of Yazd-Ardakan plain. *Journal of Agricultural Ecology*. 10 (4).pp.1176-1161.
 15. Behmanesh, J. Azad Talatpeh, N. Montaseri, M. Rezaei, H., & Khalili, K. (2015). The effect of climate change on reference evapotranspiration, lack of rainfall and lack of air vapor pressure in Urmia. *Journal of Soil and Water Knowledge*. 25 (2).pp.91-79.
 16. Chen, X., Qi, Z., Gui, D., Gu, Z., Ma, L., Zeng, F., & Li, L. (2019). Simulating impacts of climate change on cotton yield and water requirement using RZWQM2. *Agricultural Water Management*. 222. pp. 231-241.
 17. Dashti, Q. Bagheri, P. Pishbahar, I., & Majnuni, A. (2018). Evaluation of the effect of climate change on evapotranspiration and yield of dryland wheat in Ahar city. *Iranian*

33. Vaziri, J. Salamat, A. Entesari, M. R. Meschi, M., & Heidari Dehghani Sanich, H. (2008). evapotranspiration of plants (instructions for calculating the water required by plants). Publication of National Irrigation and Drainage Committee of Iran. First Edition. Tehran.
34. Yang, L. Feng, Q. Adamowski, J.F. Yin, Z. Wen, X. Wu, M. Jia, B. & Hao, Q. (2020). Spatio-temporal variation of reference evapotranspiration in northwest China based on CORDEX-EA. *Atmospheric Research*. 238. pp.104-868.
35. Ye, Q. Yang, X. Dai, Sh. Chen, G. Li, Y. & Zhang, C. (2015). Effects of climate change on suitable rice cropping areas, cropping systems and crop water requirements in southern China. *Agricultural Water Management*. 159. pp.35-44.
36. Yukimoto, S., Adachi, Y., & Hosaka, M. (2012). A new global climate model of the Meteorological Research Institute: MRICGCM3: model description and basic performance (special issue on recent development on climate models and future climate projections), *J. Meteorol. Soc. Jpn.* 90.pp. 23-64. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2012-a02>.
37. Zarandi, S. A. (2013). Rainfall analysis in Khorasan Razavi province. Master Thesis. Faculty of Geography and Environmental Sciences. Department of Geography. Sabzevar.
38. Zarrin, A., & Dadashi Rudbari, Ab. A. (2021). Predicting Iran's temperature in the near future (2021-2040) based on the CMIP6 multi-model Hamadi approach. *Natural Geography Research*. 53 (1).pp.90-75.
26. Mir Hosseini, S. M. R. Ghasemieh, H., & Abdullahi, Kh. (2021). Predicting the amount of monthly potential evapotranspiration under RCP scenarios in future periods (Case study: Golpayegan watershed). *Echo Hydrology*. 8 (1).pp. 220 – 205.
27. Mohammadi, H. Miri, M. Rahimi, M., & Taybi, S. (2012). The effect of temperature on water requirement of cotton in Sabzevar city. *Geographical Quarterly of the Land*. 10 (40).pp. 29-15.
28. Razinei, T., & Pereira, L. (2013). Estimation of ETo with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. *Agricultural Water Management*. 121. pp. 1– 18.
29. Salari Fanoodi, M. R. Khosravi, M. Tavousi, T., & Hamidianpour, M. (2020). Comparison and evaluation of precipitation accuracy of Cordex database with station data (Case study: summer precipitation in southeastern Iran). *Journal of Climatological Research*. 11 (43).pp. 32-15.
30. Saberi, H. (2014). Investigating the effect of climate change on the amount of water requirement of plants in different climates. Master Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences. Faculty of Water and Soil Engineering. Gorgan.
31. Shrestha, S., Thin, N. M. M., & Deb, P. (2014). Assessment of climate change impacts on irrigation water requirement and rice yield for Ngamoeyeik Irrigation Project in Myanmar. *Journal of water and climate change*. 5(3).pp.427-442.
32. Terzago, S. Hardenberg, J. V. Palazzi, E., & Provenzale, A. (2017). Snow water equivalent in the Alps as seen by gridded data sets CMIP5 and CORDEX climate models. *The Cryosphere*. 11. pp.1625-1645.