

اثر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه کارواندر

الناز خزاعی فیض آباد^۱، محمدرضا پودینه^۲، محسن حمیدیان پور^۳

چکیده

پدیده تغییر اقلیم در چند دهه اخیر در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرم‌تر شدن دمای کلی زمین بوقوع پیوسته است. به طوری که منجر به تغییرات قابل توجه در عناصر هواشناسی و در نتیجه وضعیت منابع آب در مناطق شده است. خشکسالی‌های پی‌درپی، سیلاب‌های بزرگ، هاریکن‌های دریایی و ... از جمله پیامدهای تغییر اقلیم است. هدف از این تحقیق بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه کارواندر است. در این تحقیق از داده‌های CORDEX مدل REMO تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در بازه زمانی پایه (۱۳۸۴-۱۳۶۵) و بازه زمانی آینده (۱۴۰۰-۱۴۳۴) استفاده شد. طی این تحقیق از مدل SDSM و Linear Scaling برای ریزمقیاس سازی داده‌های اقلیمی استفاده گردید. نتایج بدست آمده مدل SDSM نشان داد که بین رواناب رودخانه کارواندر و ۲۶ پارامتر بزرگ مقیاس اقلیمی (NCEP) همبستگی قابل قبولی وجود ندارد. سپس با روش Linear Scaling همبستگی بالایی بین بارش و رواناب مشاهده شد و مدل اقلیمی REMO در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی عملکرد مناسبی نشان داد. پارامترهای اقلیمی برای دوره زمانی آینده (۱۴۰۰-۱۴۳۴) شبیه سازی و با دوره مشاهداتی (۱۳۶۵-۱۳۸۴) مقایسه شد. طبق نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت که رواناب کل حوضه در سری زمانی آینده و تحت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 افزایش داشته است. جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی تخصیص آب از مدل ارزیابی و برنامه ریزی آب (WEAP) استفاده شد. نتایج مدل WEAP برای سه سناریو افزایش سطح کشاورزی، پیشرفت صنعتی و افزایش جمعیت نشان دهنده، افزایش نیاز آب در حوضه آبریز و افزایش نیاز تامین نشده برای کشاورزی، شرب و صنعت در منطقه است.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، رواناب، ریزمقیاس‌نمایی، مدل SDSM، CORDEX، مدل WEAP، حوضه کارواندر.

۱. کارشناسی ارشد آب و هواشناسی کاربردی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲. استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. mrpoodineh@gep.usb.ac.ir

۳. استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. mhamidianpour@gep.usb.ac.ir

افزایش جمعیت و متعاقب آن افزایش نیاز به منابع آب از اهم دغدغه‌های ذهنی پژوهشگران بویژه در حیطه اقلیم شناسی می‌باشد. جدیدترین طبقه‌بندی اقلیمی در ایران نشان می‌دهد که حدود ۳۲ درصد مساحت ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است و بیش از ۱۲ درصد مساحت ایران با بحران کم‌آبی شدید روبرو هستند (مسعودیان، ۱۳۹۰). در نیم قرن اخیر، آب‌وهوا و محیط زیست جهانی دست‌خوش تغییرات بزرگی شده است. گسترش صنعت و استفاده از سوخت‌های فسیلی جهت تولید انرژی مورد نیاز بشر، منجر به افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای چون CO_2 ، CH_4 ، N_2O و به ویژه CO_2 شده است. آنچه مسلم است افزایش گازهای جاذب گرما در جو زمین، درجه حرارت زمین را افزایش خواهد داد و از آنجا که میزان درجه حرارت با سایر مؤلفه‌های اقلیمی در اندرکنش متقابل قرار دارد، انتظار می‌رود که تغییرات قابل ملاحظه‌ای در آب و هوای جهانی رخ دهد. گرم شدن کره زمین منجر به تغییر بیلان تابش از سطح زمین، گردش اتمسفر، تغییر توزیع مکانی و زمانی و شدت بارش شده و به چرخش بخار آب سرعت می‌بخشد (منصوری و همکاران، ۱۳۹۳). افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت بشری در کنار تغییر کاربری اراضی، توسعه کشاورزی، طرح‌های توسعه منابع آب و ... می‌تواند سبب تغییرات اساسی روی جریان رودخانه‌ها و رواناب شود. (آشفته و بزرگ حداد، ۱۳۹۳). تغییر اقلیم علاوه بر تأثیر مستقیم بر عوامل اقلیمی، به صورت غیرمستقیم بر اقتصاد، جامعه، کشاورزی و ... تأثیرگذار است و پیامدهایی چون سیل، خشک‌سالی، مهاجرت، فقر و ... را به همراه دارد. بنابراین بررسی این موضوع برای تعیین سازوکارهای الزام و آمادگی بیشتر جهت مقابله و کاهش نتایج منفی حاصل از پدیده تغییر اقلیم ضروری به نظر می‌رسد که ویژگی‌های اقلیمی - هیدرولوژیکی از قبیل تبخیر، رواناب و رطوبت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به آنکه آب و مسائل مربوط به آن از جمله دغدغه‌های اصلی بشر در دوره‌های آتی به حساب می‌آید، جهت مدیریت هر چه بهتر منابع آب ضرورت دارد وقوع تغییرات اقلیمی و میزان تأثیرگذاری آن بر منابع آب ارزیابی گردد. همچنین این تغییرات می‌تواند خسارات بسیار قابل ملاحظه‌ای را در مناطقی که آسیب‌پذیری بخش آب آنها در وضع موجود قابل توجه است ایجاد کند. ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد. هر تغییری در اقلیم روی عناصر هیدرولوژی اثر می‌گذارد. رواناب رودخانه‌ها، آب‌های زیر زمینی، شدت سیلاب و خشکی‌ها، همگی متأثر از بارش و دما که مهمترین عناصر اقلیمی هستند، می‌باشند (هدایتی دزفولی و همکاران، ۱۳۸۳). با توجه به اینکه آب یکی از منابعی است که در معرض خطرات ناشی تغییرات اقلیم قرار دارد، بررسی تغییرات آن در سال‌های آینده می‌تواند در مدیریت خشکسالی و سیلاب‌های ناگهانی و تبخیر زیاد و ... موثر باشد و مدیریت منابع آب نقش قاطعی در حمایت از اقتصاد منطقه خواهد داشت (روشنی، ۱۳۸۲). اهمیت پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب رودخانه‌ها، بررسی رفتار رودخانه ویژه میزان آبدهی آن در دوره‌های آتی تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم جهت مدیریت منابع آب و ارائه راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم مفید و ضروری است. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر متغیرهای اقلیمی کره زمین شده و پیش‌بینی می‌شود که این تغییرات در آینده نیز ادامه یابد. با توجه به تغییر اقلیم، رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و در نتیجه فراوانی وقوع و شدت سیلاب و میزان تولید رسوب نیز تغییر می‌کند. لذا به منظور برآورد آبدهی رودخانه در درازمدت، ضروریست اثرات تغییر اقلیم بر آنها ارزیابی شود (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵). به همین ترتیب پوشش برف که به عنوان منابع آبی

بسیاری از حوضه‌ها در سطح کره زمین به شمار می‌رود از کاهش ۱۰ درصدی در چند دهه اخیر برخوردار شده و این کاهش در یخ‌های دریاهای نیمکره شمالی نیز مشاهده شده است که خود عامل بالا آمدن سطح آب دریاها است. همچنین افزایش دما به افزایش تبخیر و تعرق منجر می‌شود و اتمسفر را قادر می‌سازد تا مقادیر بیشتری از بخار آب را جا به جا کند. بنابراین گرم شدن جهانی زمین، ممکن است چرخه هیدرولوژی را تسریع بخشد و منابع آب جهانی دوباره توزیع گردد. این امر موجب تغییر بیش‌تر پارامترهای اقلیمی می‌شود (علیچانی و همکاران، ۱۳۸۴). در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی یک حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم، عدم قطعیت‌های گوناگونی بر نتایج نهایی تأثیرگذار است که با نادیده گرفتن هر یک از آن‌ها از اعتبار نتایج کاسته می‌شود (منصوری و همکاران، ۱۳۹۳). این اثرات برای رژیم‌های مختلف هیدرولوژی متفاوت هستند. برای مثال رژیم‌های که جریان‌های آن‌ها بسیار تحت تأثیر ریزش برف و ذوب برف آن می‌باشد، خیلی متأثر از تغییرات دما می‌باشند، زیرا این تغییرات باعث تغییر حالت ریزش از برف به باران و همچنین تغییر زمان ذوب برف می‌شوند (میلر، ۲۰۰۱). هدف از این پژوهش بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی رواناب رودخانه کارواندر است. تغییرات حجم آب این رودخانه در منطقه مورد مطالعه با توجه به افزایش جمعیت و متعاقب آن افزایش تقاضا برای آب بسیار حائز اهمیت است.

پیشینه پژوهش

در رابطه با موضوع تغییر اقلیم و پیامدهای آن مطالعاتی زیادی انجام شده است در ایران مسباح بوانی و مرید (۱۳۸۴) با بررسی اثرات تغییر اقلیم روی دما و بارندگی و رواناب در حوضه رودخانه زاینده‌رود اصفهان تحت سناریوی اقلیمی و برای دو دوره زمانی دریافتند که کاهش بارندگی به میزان ۱۰ تا ۱۶ درصد، افزایش دما به میزان ۳/۲ تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد و همچنین کاهش رواناب تا ۵/۸ درصد برای اواسط و اواخر قرن ۲۱ رخ خواهد داد. عباسی و همکاران (۱۳۸۹) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G پرداختند. نتایج نشان داد که تعداد روزهای خشک در شهرستان‌های شمالی این استان شامل بشرویه، فردوس و قائن افزایش و در شهرستان‌های جنوبی آن شامل بیرجند، خور بیرجند و نهبندان کاهش می‌یابد و به طوری کلی خشکسالی این استان در دوره ۲۰۳۹-۲۰۲۰ کاهش می‌یابد. زهرایی و همکاران (۱۳۸۹) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از سناریوهای A1B، A2 و B1 تا سال ۲۰۵۰ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان دهنده تغییرات متنوع و جدی در استان می‌باشد. از طرفی در صورت وقوع سناریوهای مورد بررسی ورودی سد پیشین میزان ۱۹ تا ۲۳ درصد کاهش می‌یابد. فولاد و همکاران (۱۳۹۰) اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای بارش و دما با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو در حوضه آبریز رودخانه کرخ را مطالعه کردند. بدین منظور از خروجی دو مدل گردش عمومی جو Hadcm3 و CGCM3 تحت سناریوی A2 استفاده کردند. نتایج افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی‌ها را در دوره ۲۰۴۰-۲۰۷۰ برای منطقه مورد مطالعه نشان داد. ثانی خانی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی تأثیر تغییر اقلیم را بر روی رواناب رودخانه حوضه آجی‌چای در آذربایجان شرقی با استفاده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو GCMs و ریزمقیاس نمایی آن توسط مدل LARS-WG پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از کاهش قابل توجه مقدار رواناب رودخانه آجی‌چای در آینده بود. دلاور و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به منظور شبیه‌سازی نوسانات دریاچه ارومیه از روش شبکه عصبی مصنوعی بهره بردند و سپس نقش تغییر اقلیم در تراز آینده دریاچه را تحت سناریوهایی A و B با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های اقلیمی به کمک الگوی ریزمقیاس نمایی LARS-WG تحلیل کردند. نتایج

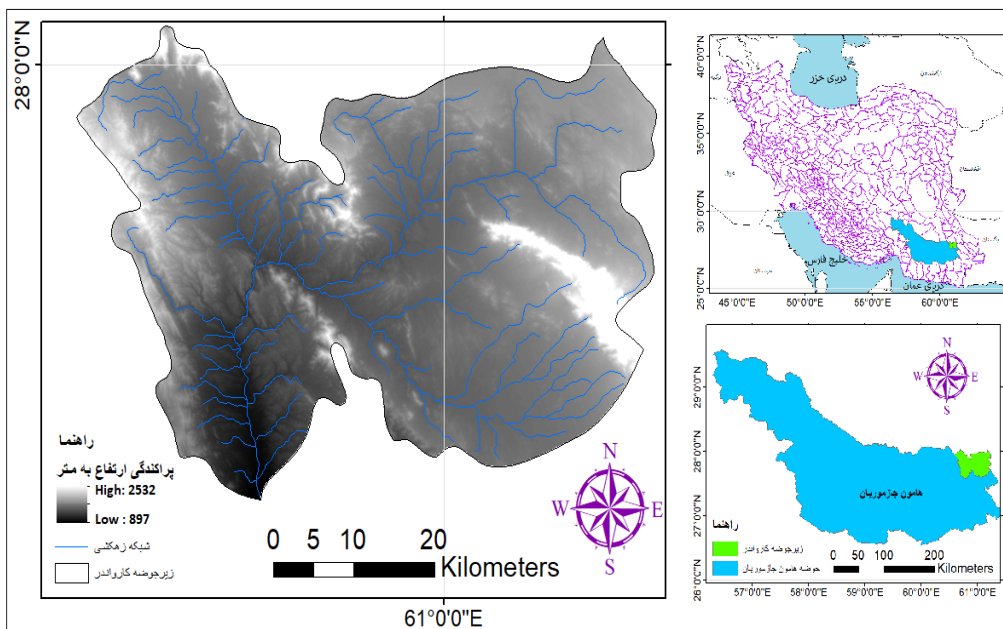
تحقیق حاضر نشان داد که تراز دریاچه طی سال‌های آینده روند کاهشی خواهد داشت. هاشمی و همکاران (۱۳۹۴) با مدل‌سازی دوره‌های خشک نشان داد که بر اساس هر دو سناریو (A2, B1) در دهه‌ی ۲۰۵۰ نواحی جنوب شرق و مرکز، دارای طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک هستند، به طوری که در خوش‌بینانه‌ترین حالت (سناریوی B1) دوره‌های خشک به طور متوسط ۳ روز نسبت به وضعیت مشابه گذشته طولانی‌تر می‌شوند. اما حداکثر طول دوره‌های خشک پیش‌بینی شده در نوار شمالی و سواحل خزر نسبت به وضعیت دوره‌های خشک مشاهداتی تغییرات چندانی نداشته است. در پهنه‌ی شمال غرب نیز طول دوره‌های خشک نسبت به وضعیت گذشته ۵ روز طولانی‌تر می‌شود که خود نشان از افزایش آهنگ خشکی در این نواحی دارد. پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۵) در یک مطالعه موردی در ایستگاه یزد، به پیش‌بینی تغییر اقلیم تحت تأثیر تغییر اقلیم در سه دهه آینده به کمک مدل HadCM3 و سناریوهای A2 و B2 و شاخص‌های خشک‌سالی RDI و SPI تا سال ۲۰۳۹ پرداختند. نتایج نشان از وجود نوسانات سال‌های خشک و تر در منطقه دارد و همچنین استفاده از چندین مدل چرخش عمومی جهت کاهش عدم قطعیت الزامی شمرده شد. عباس‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی تغییرات دمای حداکثر روزانه بر روی کشور ایران در دو دوره (۲۰۴۱-۷۰ و ۲۰۷۱-۹۹) و بر اساس خروجی دو مدل گردش عمومی جو Hadcm3 و CGCM3 تحت سناریوهای انتشار موجود (B2, B1, A1B, A2) مورد بررسی مقایسه‌ای قرار دادند. یافته‌های پژوهش بر روی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که دمای ایران به طور متوسط در دهه‌های میانی و پایانی قرن بیست و یکم، بین ۱ تا ۲ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد، که البته این افزایش دما بر اساس سناریوهای مختلف مدل Hadcm3 نسبت به مدل CGCM3 شدیدتر بوده است. در خارج از ایران نیز تورکش و همکاران (۱۹۹۶) تغییرپذیری روند میانگین دمای سالانه را در یک دوره ۶۳ ساله در ۸۵ ایستگاه ترکیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آنان در مقیاس منطقه‌ای نشان داد که در سری‌های میانگین دمای ناحیه آناتولی شرقی، روند افزایش دما و در نواحی ساحلی آن روند کاهش دما به خصوص در دو دهه اخیر صورت گرفته است. آرن برگ و هارموس (۱۹۹۶) یک مدل ۱۷ پارامتره پیشرفته رواناب را با یک مدل یک پارامتره بارش - رواناب مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که وقتی داده‌های مناسب برای مدل‌های پیچیده در اختیار نباشد، همیشه یک مدل ساده‌تر ترجیح داده می‌شود. یتر و همکاران (۱۹۹۸) اثر تغییر اقلیم بر حوضه رودخانه نیل را با استفاده از ۵ مدل گردش عمومی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که جریان آب رودخانه و حجم آب دریاچه و باتلاق افزایش می‌یابد. پایین و همکاران (۲۰۰۲) تغییرات اقلیم در حوضه رودخانه کلمبیا با استفاده از مدل RCM¹ برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که تغییر اقلیم باعث افزایش ۱/۲ درجه سانتی‌گراد دما و کاهش بارش به میزان ۳ درصد خواهد شد و همچنین افزایش رواناب در زمستان و کاهش رواناب در فصول دیگر را پیش‌بینی کردند. ویلی و هریس (۲۰۰۶) اثر تغییر اقلیم بر میزان جریان‌های کم رودخانه تیمز در انگلستان را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه منابع عدم قطعیت مربوط به مدل‌های GCM روش‌های کوچک مقیاس کردن، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های مختلف شبیه‌سازی بارش-رواناب و عدم قطعیت مربوط به پارامترهای آنها شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که تغییر جریان کم به عدم قطعیت در ساختار مدل‌های GCM و روش ریزمقیاس کردن حساس بوده، اما حساسیت کمتری نسبت به عدم قطعیت ناشی از مدل هیدرولوژیکی و سناریوهای انتشار دارد. هرتیگ و ژوکوییت (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای تحت عنوان کوچک مقیاس کردن تغییر اقلیم آینده، به بررسی سناریوهای دما برای منطقه مدیترانه پرداختند. در این مطالعه از دو مدل چرخش عمومی جو OPYC3/ECHAM4 و HadCM3 و سناریو B2 طبق SRES استفاده شد. نتایج حاصله، افزایش دما را برای همه منطقه مدیترانه برای همه

ماه‌های سال در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نشان داد و افزایش دما به بالای ۴ درجه سانتی‌گراد تا پایان این قرن، تحت شرایط هشدار دهنده‌ای افزایش گازهای گلخانه‌ای پیش‌بینی شد. استیل و همکاران (۲۰۰۸) در کشور ایرلند با استفاده از مدل گردش عمومی ECHAM5 و سناریوی انتشار A1B، رواناب را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از مدل مفهومی بارش-رواناب HBV-Light برای بررسی وضعیت جریان رودخانه در دوره آتی ۲۰۶۰-۲۰۱۰ استفاده گردید. در ابتدا داده‌های بارش و دمایی استخراج شده از مدل ECHAM5 با استفاده از روش ریزمقیاس کردن مکانی تناسبی، ریزمقیاس شده و به مدل بارش-رواناب معرفی گردید. نتایج در مجموع نشان داد که بارش زمستانه و بارش تابستانه به ترتیب افزایش و کاهش دارند. همچنین میزان رواناب رودخانه تحت تأثیر تغییر اقلیم تغییر خواهد کرد. چو و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل ریزمقیاس گردانی آماری (SDSM) را به منظور کوچک مقیاس نمودن درجه حرارت، تبخیر و بارش در حوضه رودخانه هایهه در چین مورد ارزیابی قرار دادند. آنها از خروجی مدل HADCM3 تحت سناریو A2 و B2 استفاده نمودند. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که الگوی تغییرات متغیرهای اقلیمی می‌تواند با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی شود. ضرغامی و همکاران (۲۰۱۱) برای پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی بر اساس خروجی‌های مدل HADCM3 از مدل LARS-WG، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و نتیجه گرفتند جریان رودخانه در دوره آتی کاهش خواهد یافت. نجفی و همکاران (۲۰۱۱) چهار مدل هیدرولوژیکی را با سطوح مختلف از پیچیدگی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که انتخاب مدل هیدرولوژیکی در فصول خشک نسبت به فصول مرطوب در مناطقی که ریزش‌های جوی بصورت بارش باران است از اهمیت بیشتری برخوردار است. گزارش چهارم پنل بین‌الدول (IPCC^۱) در رابطه با تغییر اقلیم نیز نشان داد که پیش‌بینی‌های بدست آمده از مدل‌های GCM مختلف بزرگ‌ترین منابع عدم قطعیت در پیش‌بینی اثرات آن بر منابع آب هستند. تن و همکاران (۲۰۱۲) به مقایسه عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های بارش و رواناب بر نتایج حاصل از تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب در استرالیا پرداختند و بدین منظور از خروجی ۱۵ مدل گردش عمومی و ۵ مدل مفهومی بارش-رواناب استفاده کردند. اکثر نتایج حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو، خشکی را به ویژه در جنوبی‌ترین بخش منطقه مورد بررسی، پیش‌بینی کرده که کاهش قابل‌ملاحظه‌ای را در حجم رواناب نشان داد. نتایج این بررسی عدم قطعیت ناشی از مدل‌های گردش عمومی جو را به مراتب بزرگ‌تر از عدم قطعیت مدل‌های بارش-رواناب نشان داد. به طوری که برای بررسی چگونگی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب از نتایج ۱۵ مدل گردش عمومی جو برای تنها یک مدل بارش-رواناب استفاده شد و در حدود ۲۸ تا ۳۵ درصد اختلاف بین حداقل و حداکثر نتایج برای مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر رواناب فصلی و دبی حداکثر به دست آمد. در صورتی که این اختلاف با کاربرد نتایج یک مدل گردش عمومی جو برای شبیه‌سازی رواناب با استفاده از ۵ مدل بارش-رواناب به مراتب کم‌تر و در حدود ۷ درصد بوده است. بازکورت و لطفی سن (۲۰۱۳) با بررسی اثر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در حوضه یوفریت به این نتیجه دست یافتند که دمای سطحی سالانه با در نظر گرفتن یک سناریوی خاص (A1F1) در زمستان در داخل حوضه در بیشترین مقدار خود به میزان ۶/۱ درجه سانتیگراد در مناطق کوهستانی افزایش می‌یابد. طبری و همکاران (۲۰۱۴) مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در اقلیم‌های مختلف ایران (۸ ایستگاه مطالعاتی)، در یک دوره ۴۱ ساله مطالعه کردند. با فرض دامنه‌ای از نوسانات در پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مقدار تغییرات این پارامتر را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک زیاده‌تر از مناطق مرطوب است. بیشترین تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع حدود ۹٪ و در مناطق خشک رخ داده است. ابراهیم پور و

همکاران (۲۰۱۵) اثرات تغییر اقلیم در ۵ ایستگاه سینوپتیک ایران با اقلیم های مختلف تحت سناریوهای A2 و B2 بررسی کردند. نتایج این بررسی ها نشان داد که در اکثر ماه‌ها و در همه ایستگاه های مورد مطالعه، تبخیر و تعرق مرجع در اقلیم آینده روند افزایشی خواهد داشت. در نتیجه این شرایط شدت خشکی افزایش یافته، نیاز آبی گیاهان افزایش می یابد و منابع آبی کشور با بحران روبرو خواهند شد. تائو و همکاران (۲۰۱۵) اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در حوضه رودخانه کیانگ جیانگ چین را تحت سناریوهای RCP و با مدل SDSM جهت ریزمقیاس نمایی، بررسی کردند. نتایج نشان داد که در دوره‌های آتی، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تحت تمامی سناریوها افزایش خواهد یافت و میزان افزایش به منطقه و نوع سناریو بستگی دارد و بیشترین نرخ افزایشی تحت سناریو RPC 8.5 مشاهده شد.

داده ها و روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه شامل حوضه آبریز رودخانه کارواندر در جنوب شهرستان خاش، در شمال شهرستان ایرانشهر و در غرب شهرستان‌های زاہلی و سراوان واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارش سالانه منطقه بر اساس ایستگاه کارواندر در دوره شاخص، حدود ۲۱۶/۲۷ میلیمتر محاسبه شده است. بیشترین بارش سالانه در ایستگاه کارواندر، ۴۹۷/۸ میلیمتر می‌باشد و کمترین بارش سالانه ثبت شده ۶۰/۶ میلیمتر می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز کارواندر (منبع: نگارندگان)

جدول ۱. درصد بارش ماهانه و فصلی ایستگاه کارواندر نسبت به کل بارش سالانه (منبع: اداره هواشناسی کاربردی زاهدان)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
بازه زمانی	۱۹/۲۹	۹/۹۹	۱۲/۱۹	۹/۶۸	۱۷/۶۶	۹/۹۱	۳۳/۴۲	۹/۳۷	۶/۰۷	۲۸/۵۸	۳۲/۸۹	۴۰/۸۸

ماهانه درصد	۸/۷۶	۴/۵۴	۴/۴۰	۸/۰۲	۴/۵۰	۱۰/۶۴	۶/۲۶	۲/۷۶	۱۲/۹۹	۱۴/۹۵	۱۸/۵۸
بارش فصلی	۴۱/۴۷			۳۷/۲۶			۳۸/۸۷			۱۰۲/۳۵	
بارش فصلی درصد	۱۸/۸۵			۱۶/۹۳			۱۷/۶۷			۴۶/۵۳	

در این مطالعه از دو نوع داده ایستگاه‌های مشاهداتی و داده های مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) استفاده شده است. داده‌های ایستگاهی شامل بارش، دما و میزان رواناب از سازمان هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان در دوره‌ی آماری ۹۶-۱۳۶۵ (۲۰۱۸-۱۹۸۶) و داده‌های مدل از وبسایت CMPI5 و CORDEX دریافت شد. مدل‌های گردش عمومی جو از جمله مهم‌ترین ابزار مطالعه پیامدهای تغییر اقلیم می‌باشند. با این وجود به دلایل فن‌آورانه و همچنین شناخت کم بشر از رفتار اقلیم قادر به تهیه مدل‌های با قدرت تفکیک بالا نمی‌باشند. بنابراین به منظور استفاده از این مدل‌ها نیاز به ریزگردانی آنها می‌باشند. در این خصوص روش‌های متعددی به شکل دینامیکی و آماری پیشنهاد شده است. که در این مطالعه از روش ریزگردانی آماری استفاده شده است (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵).

روش ریزگردانی Linear Scaling

هدف روش Linear Scaling یکسان‌سازی میانگین مقادیر تصحیح شده ماهانه با مقادیر مشاهده شده بر پایه تفاوت بین مشاهدات و داده‌های خام مدل‌های GCMs می‌باشد. در این خصوص بارش به صورت معمول با یک ضریب و دما با یک جزء جمع زده شده و ریزگردانی و اصلاح بایاس صورت می‌گیرد (روابط ۱ و ۲):

$$P_{cor.m.d} = P_{raw.m.d} \times \frac{\mu(P_{obs.m})}{\mu(P_{raw.m})} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$T_{cor.m.d} = T_{raw.m.d} + \mu(T_{obs.m}) - \mu(T_{raw.m}) \quad \text{رابطه ۲}$$

که P_{raw} و T_{raw} مقادیر تصحیح شده بارش و دما در روز d از ماه m هستند و P_{obs} و T_{obs} مقادیر خام بارش و دما در روز d از ماه m هستند. U نشان دهنده عملگر امید است که نمایشگر مقدار میانگین بارش مشاهده شده در ماه داده شده m هست. با استفاده از روش Linear Scaling Bias Correction خروجی بدست آمده به صورت ریزگردانی می‌باشد (فانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

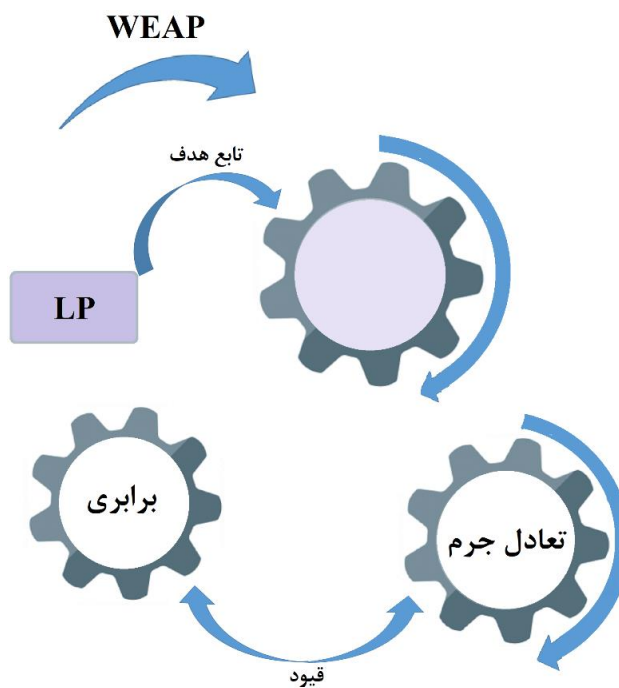
پس از ریزگردانی داده های مورد استفاده رابطه‌ی بین داده‌های مشاهده شده و داده‌های تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۶۸ یا ۸۴-۱۳۶۵) مدل‌های GCMs محاسبه گردید. بر اساس رابطه فوق و همچنین رابطه‌ای که بین بارش و روان‌آب وجود دارد اقدام به پیش‌نمایی^۲ مقدار روان‌آب در دوره‌های آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۵ میلادی یا ۱۴۳۴-۱۴۰۰ شمسی) مبتنی بر سناریوهای تغییر اقلیم انجام شد. در نهایت به منظور تخصیص منابع آب در راستای تغییرات اقلیمی از مدل WEAP نیز بهره گرفته شد. نیاز به ذکر است که دوره‌های آتی در مطالعات اقلیم به سه دوره نزدیک، میانی و دور تقسیم می‌شوند که در این مطالعه دوره نزدیک در نظر گرفته شده است. ضمن اینکه سال پایانی اجرای مدل‌های گردش عمومی جو در دوره‌ی تاریخی سال ۲۰۰۵ می‌باشد. بنابراین از این موضوع نیز تبعیت شده است.

۱ - Fang

۲ - Projection

مدل WEAP

مدل WEAP به عنوان یک ابزار مناسب برای برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم افزار با استفاده از رویکرد جامع برای شبیه‌سازی سیستم‌های آبی توسط موسسه محیط زیست استکهلم جهت از بین بردن فاصله مدیریت منابع و هیدرولوژی حوضه توسعه داده شده است که نرم افزاری جامع و انعطاف‌پذیر برای تحلیل سیاست‌ها می‌باشد (سی^۱، ۲۰۰۷). این مدل بر اساس معادلات پایه بیلان آب کار کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه مستقل یا سیستم‌های پیچیده به کار برد. علاوه بر این، WEAP محدوده زیادی از مسائل مانند تحلیل نیاز هر بخش، حفاظت آب، حق‌آبه‌ها و اولویت آلودگی، نیازهای اکوسیستم، ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل منفعت - هزینه طرح و غیره را تحت پوشش قرار می‌دهد (سیبر و پارکی^۲، ۲۰۰۷). این مدل از یک الگوریتم برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسائل تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند که تابع هدف آن حداکثر کردن درصد تامین نیازهای مراکز تقاضا با توجه به اولویت عرضه و تقاضا، تعادل جرمی و سایر قیود می‌باشند. تمامی قیود به‌طور متناوب برای هر گام زمانی و با توجه به اولویت عرضه و تقاضا تعریف می‌شود. WEAP در هر گام زمانی معادله تعادل جرمی آب را برای هر گره و شاخه محاسبه می‌کند. با این فرض که عملکرد اجزا سیستم به جز در مخازن و رطوبت خاک در هر گام زمانی مستقل از گام‌های دیگر می‌باشد. گام‌های زمانی با توجه به بزرگی حوضه می‌تواند کوچک (روزانه، ۱۰ روزه) یا بزرگ (ماهانه یا بیشتر) در نظر گرفته شود (یتز^۳ و همکاران، ۲۰۰۵).



شکل ۲: تابع هدف و قیود در مدل WEAP (موسوی، ۱۳۸۹)

۱ - SEI

۲- Sieber and Purkey

۳ - Yates

به منظور اولویت بندی در تخصیص منابع آب، هر یک از مراکز تقاضا، مخازن و نیازهای زیست محیطی با عددی به عنوان عدد اولویت تعریف می‌شوند. این عدد می‌تواند از ۱ تا ۹۹ تغییر کند که عدد کمتر بیانگر اولویت بیشتر است. معمولاً اولویت مخازن برابر با ۹ تعریف می‌گردد. بدین معنا که زمانی آبیگری می‌شوند که نیازهای تمام مراکز تقاضا برآورده شود. این گونه اولویت بندی در شرایطی که محدودیت منابع آب وجود دارد اهمیت می‌یابد. زیرا در این شرایط ابتدا نیازهای با اولویت بالاتر تامین می‌گردد و در صورتی که اولویت‌ها در مراکز تقاضا برابر باشد، در صورت وجود کمبود به صورت مساوی بین آنها تقسیم می‌گردد (زارع زاده، ۱۳۹۱).

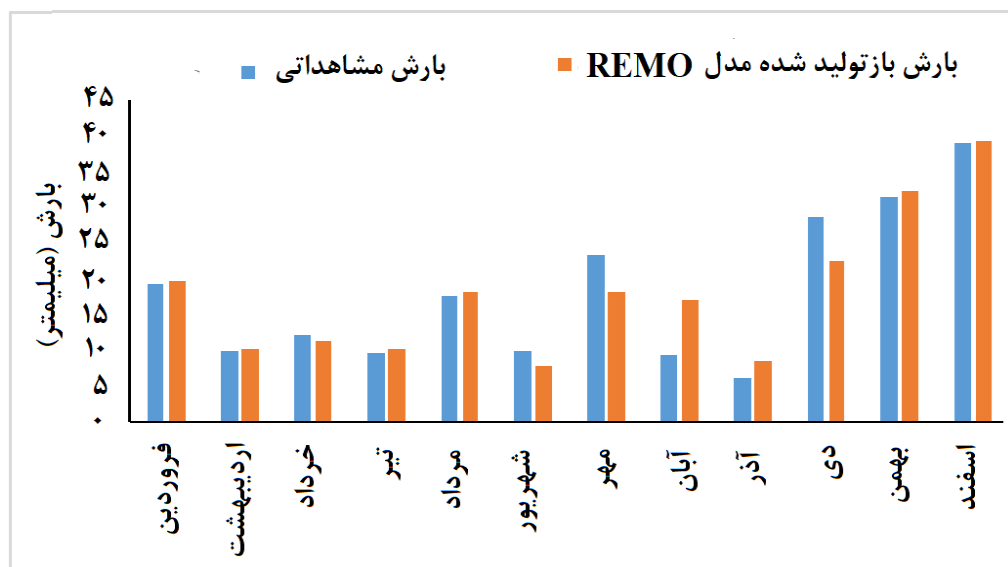
تحلیل نتایج و بحث

در راستای اهداف مطالعه پیش‌رو و نوشتار بخش روش پژوهش، مطالعه در سه قسمت مقایسه داده‌های بارش مدل و مشاهداتی، شبیه‌سازی رواناب و تخصیص منابع آب با استفاده از مدل WEAP انجام خواهد گرفت که در هر بخش به صورت مجزا بحث خواهد شد.

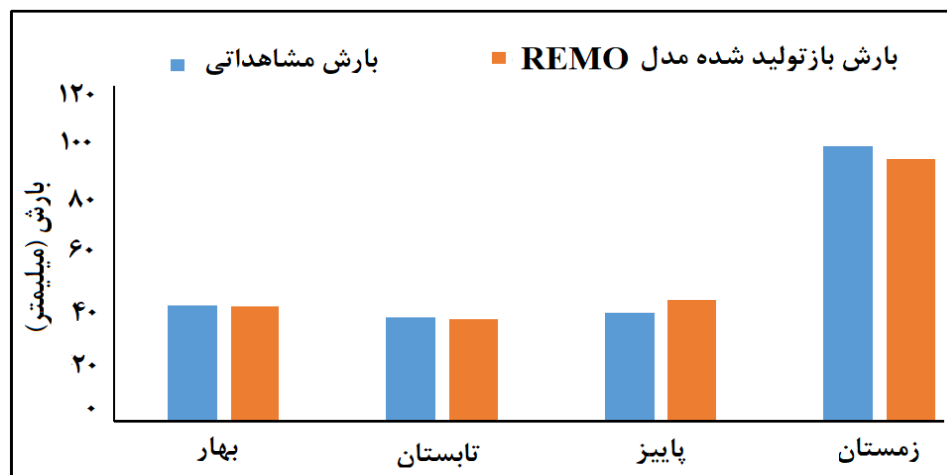
مقایسه داده بارش تولید شده مدل با بارش مشاهداتی (۱۳۸۴-۱۳۶۵)

اولین اقدام به منظور بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر روی رواناب رودخانه مورد مطالعه بررسی کارایی مدل به کارگرفته شده می‌باشد. بدین منظور که آیا مدل REMO قابلیت استفاده در پیش‌نمایی داده‌های آینده را دارد یا خیر؟ بنابراین نخست به مقایسه داده‌های بارش تولید شده مدل با بارش مشاهدات اقدام شد و نتایج در شکل (۳) آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد مدل به خوبی توانسته است که مقدار بارش را در گذشته شبیه‌سازی نماید. تفاوت مقادیر بارش مشاهداتی با بارش بازتولید شده مدل REMO در بیشتر ماه‌ها ۱ میلیمتر می‌باشد و بیشترین اختلاف در ماه‌های دی، آبان، مهر و آذر است که اختلاف ۵ تا ۶ میلیمتر را نشان می‌دهد. این مقایسه نشان داد که مدل REMO از دقت قابل قبولی برای بازتولید داده‌های بارش این ایستگاه برخوردار است.

در بازه زمانی فصلی نیز عملکرد مدل REMO در بازتولید داده‌های بارش از دقت قابل قبولی برخوردار است (شکل ۴). در فصل بهار تقریباً مقدار بارش بازتولید شده مدل با بارش مشاهداتی برابر می‌باشد و بیشترین اختلاف در فصول زمستان و پاییز می‌باشد که اختلاف بارش بازتولید شده مدل و بارش مشاهداتی به حدود ۵ میلیمتر می‌رسد.



شکل ۳: مقایسه بارش بازتولید شده مدل و داده بارش ماهانه مشاهداتی ایستگاه کارواندر (۱۳۸۴-۱۳۶۵)



شکل ۴: مقایسه بارش بازتولید شده مدل و داده بارش ماهانه مشاهداتی ایستگاه کارواندر (۱۳۸۴-۱۳۶۵)

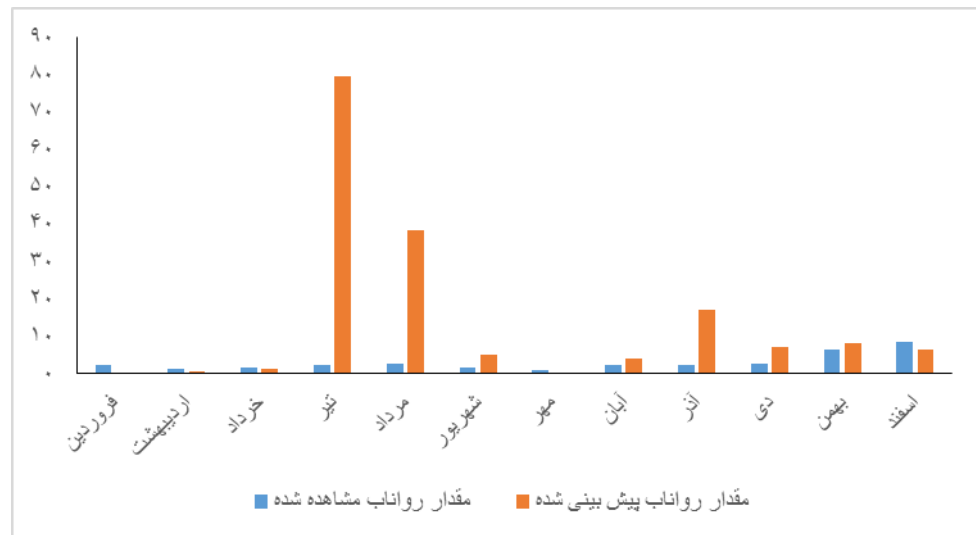
رابطه بارش - رواناب در دوره پایه در جدول ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است همبستگی معنادار قوی بین بارش و رواناب حوضه در همه ماه های سال برقرار است.

جدول ۲: روابط رگرسیونی، ضریب تعیین و معناداری ارتباط بارش - رواناب در دوره پایه در زیر حوضه کارواندر

رابطه رگرسیونی بارش - رواناب حوضه کارواندر	sig	ضریب تعیین (R^2)	ماه	ردیف
$y = 0.1666x - 1.0545$	۰/۰۰۰	۰/۶۸۲۲	فروردین	۱
$y = 0.1083x + 0.2318$	۰/۰۰۰	۰/۷۹۹۶	اردیبهشت	۲
$y = 0.0923x + 0.296$	۰/۰۰۰	۰/۹۰۲	خرداد	۳
$y = 0.2446x - 0.1426$	۰/۰۰۰	۰/۶۴۱۹	تیر	۴
$y = 0.1839x - 0.2664$	۰/۰۰۰	۰/۶۰۰۵	مرداد	۵
$y = 0.1425x + 0.0491$	۰/۰۰۰	۰/۷۷۳۶	شهریور	۶
$y = 0.0235x + 0.1631$	۰/۰۰۰	۰/۶۷۹۴	مهر	۷
$y = 0.2252x + 0.0909$	۰/۰۰۰	۰/۹۱۸۳	آبان	۸
$y = 0.3425x + 0.2023$	۰/۰۰۰	۰/۵۹۹۵	آذر	۹
$y = 0.0999x - 0.1758$	۰/۰۰۰	۰/۸۰۸۲	دی	۱۰
$y = 0.1619x + 0.9231$	۰/۰۰۰	۰/۸۱۲۹	بهمن	۱۱
$y = 0.266x - 2.3307$	۰/۰۰۰	۰/۶۹۷۱	اسفند	۱۲

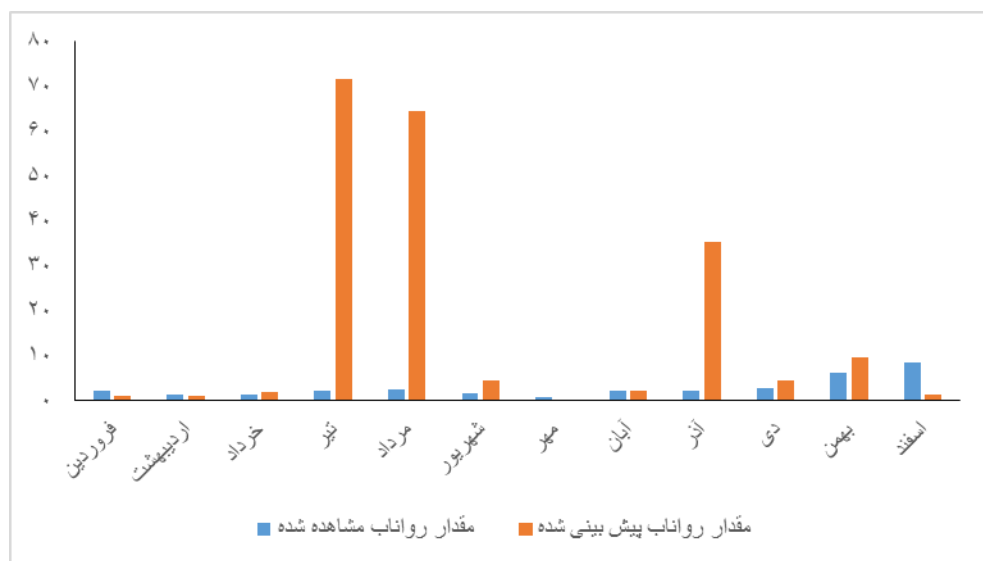
شبیه سازی رواناب آینده با سناریو $RCP4.5$ و $RCP8.5$

با استفاده از روابط رگرسیونی بدست آمده از مدل بارش - رواناب حوضه برای دوره پایه (جدول ۲)، از این روابط برای محاسبه رواناب حوضه کارواندر در ماه های مختلف، با توجه به خروجی های هر دو سناریوی $RCP8.5$ و $RCP4.5$ استفاده شد. شکل ۵ بیان کننده افزایش میانگین رواناب آینده یعنی طی دوره ۱۴۰۰ تا ۱۴۳۴ نسبت به گذشته میانگین رواناب (دوره پایه) است. یک روند افزایشی بر اساس مدل $REMO$ و $RCP4.5$ در معادله یک مجهولی مشاهده می شود. در ماه های تیر و مرداد افزایش چشمگیری در رواناب آینده مشاهده می شود که دلیل آن را می توان تقویت سامانه موسمی در اثر تغییر اقلیم در سالیان آتی معرفی کرد.



شکل ۵: مقایسه میانگین ماهانه تغییرات دبی دوره‌ی پایه و دوره آبی سناریو RCP4.5 در حوضه کارواندر

در شکل ۶ نیز افزایش چشمگیری در میانگین رواناب آینده دوره ۱۴۰۰ تا ۱۴۳۴ نسبت به گذشته میانگین رواناب یا دوره پایه که در برگیرنده سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴ می‌باشد مشاهده می‌شود. این روند افزایشی که بر اساس سناریو REMO و RCP8.5 در معادله یک مجهولی مشاهده می‌شود در ماه تیر و مرداد افزایش چشمگیری از رواناب را نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد همانند سناریو RCP4.5 علت این امر تقویت سامانه موسمی و افزایش رطوبت جو بخاطر گرمایش جهانی باشد.



شکل ۶: مقایسه میانگین ماهانه تغییرات دبی در دوره‌ی پایه و دوره آبی تحت RCP8.5 در حوضه کارواندر

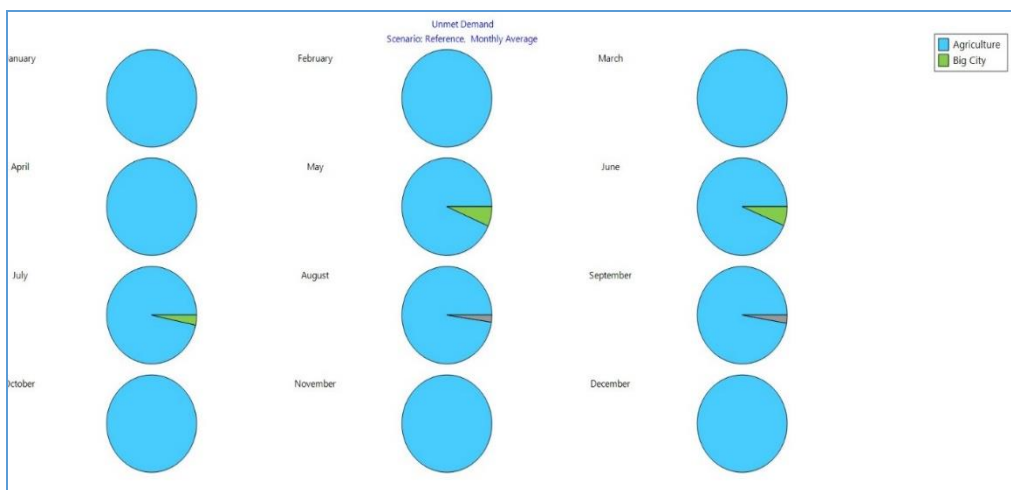
نتایج مدل WEAP

برای برآورد نیاز آبی در حوضه کارواندر از میانگین دبی ماهانه بلندمدت ایستگاه دامن استفاده شد. جمعیت بخش ایرندگان در آخرین سرشماری (۱۸۰۰۰ نفر) و مساحت بخش (۲۰۰۰ کیلومتر مربع) به عنوان دو عامل مهم در ایجاد

سناریو برای مصرف آب در بخش شرب و کشاورزی در نظر گرفته شد. مدلسازی بین بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۵ انجام شد.

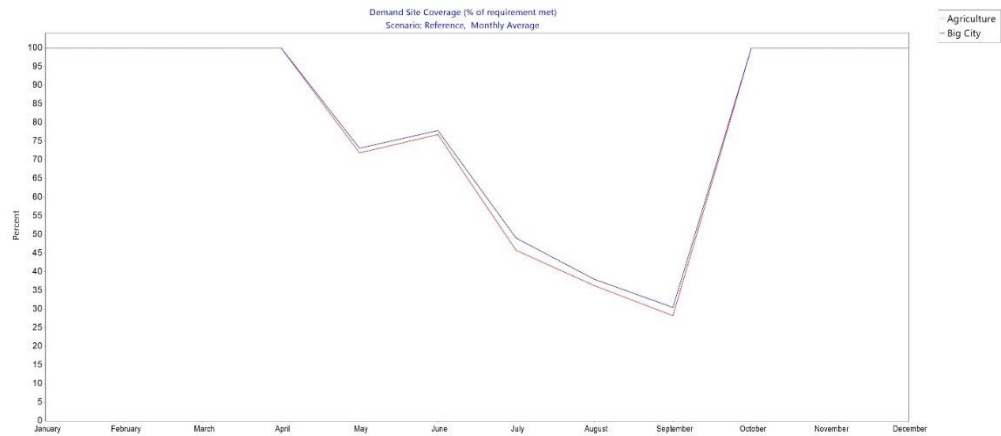
جهت اجرای مدل ابتدا محدوده حوضه از طریق لایه GIS زیرحوضه های ایران در نرم افزار WEAP فراخوان شد. سپس مسیر کلی رودخانه کارواندر در سطح حوضه ترسیم شد و مقادیر متوسط دبی ماهانه ایستگاه دامن در جدول داده‌ها وارد شد. دو گره با عنوان مرکز شهر و کشاورزی ایجاد شدند. با توجه به مقدار جمعیت و وسعت اراضی کشاورزی منطقه (وسعت بخش کارواندر) مسیر رفت و برگشتی آب برای هر گره ایجاد شد. مسیر رفت برای تقاضای آب و مسیر برگشت به رودخانه مازاد مصرف هر بخش است. چون در منطقه مورد مطالعه صنایع خاصی و مهمی موجود نبود از نیاز آبی این بخش صرف نظر شد. نتایج مدل برای تقاضا و مازاد آب حوضه نشان داد که در تمام ماه-های سال تقاضای مازاد برای آب در بخش کشاورزی وجود دارد. این میزان به سبب ثابت فرض کردن سطح اراضی و مقدار جمعیت (به سبب کوتاهی دوره) برای تمامی سال‌ها مقادیر مشابهی نشان می‌دهد و طبق انتظار غالب منابع آب رودخانه صرف بخش کشاورزی می‌شود (به دلیل یکسان بودن شرایط شکل آورده نشده است).

بر اساس موقعیت حوضه و ماه‌های مختلف سال، میزان نیاز آبی حوضه در بخش شرب و کشاورزی برای ماه‌های مختلف تعیین گردید. بر این اساس ماه‌های می تا سپتامبر همراه با تنش کم‌آبی، هم برای بخش شرب و هم بخش کشاورزی هستند. که در سه‌ماه تابستان شدت تنش آبی و نیاز به آب در هر دو بخش افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند (شکل ۸).



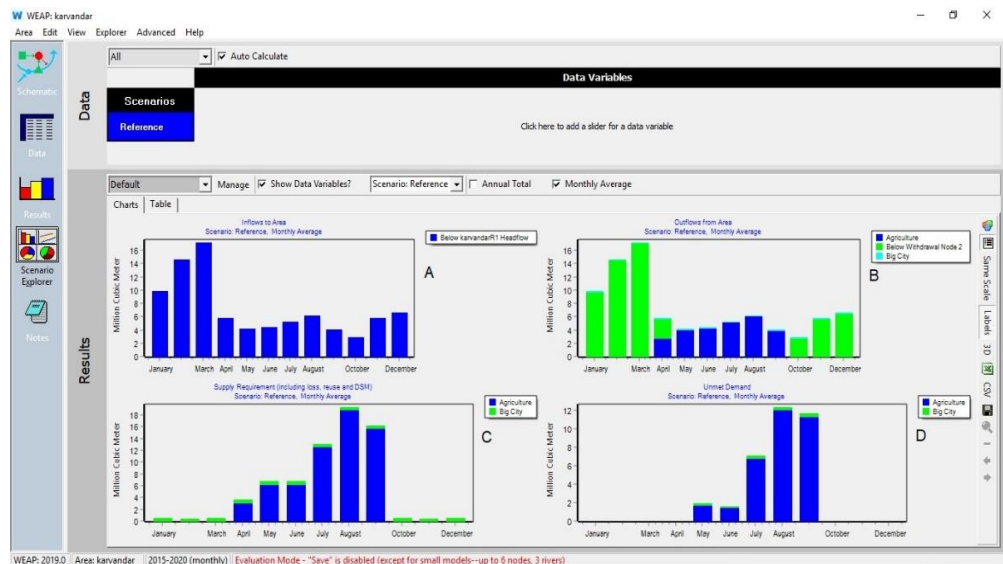
شکل ۸: کمبود و نیاز به آب بر اساس ماه‌های مختلف سال در بخش کشاورزی و شرب

در شکل ۹ نیز میزان عدم نیاز آب برای ماه‌های مختلف به درصد نشان داده شده است. بر اساس این نمودار ماه‌های سرد سال از نظر منابع آب با چالش قابل توجهی روبرو نیستند ولی ماه‌های گرم سال نیاز آبی بالایی دارند. که کمترین درصد عدم نیاز آبی مربوط به ماه سپتامبر است.



شکل ۹: مقادیر عدم نیاز آبی ماهانه به درصد

در قسمت A شکل ۱۰ میزان آب ورودی حوضه (میلیون متر مکعب) نشان داده شده است. همانطور که مشخص است دوره سرد سال به سبب دریافت نزولات جوی بالاتر، مقادیر آب بالاتر وارد حوضه می کند در حالیکه در دوره گرم سال به سبب کاهش بارندگی، مقدار آب ورودی به حوضه کاهش می یابد و این در حالی است که بیشترین نیاز آبی حوضه در این ماه ها است. در قسمت B مقادیر مصرف آب در بخش کشاورزی، شرب و هرز آب در ماه های مختلف نشان داده شده است. در فصول زمستان و پاییز تقریباً غالب آب حوضه از اوتلت خارج شده و فقط بخش کوچکی در شرب استفاده می شود. از ماه آوریل تا سپتامبر آب کل حوضه کنترل شده و هدررفت آب به صفر می رسد و غالب آب در بخش کشاورزی مصرف می شود. در قسمت C مقدار تقاضا برای آب در ماه های مختلف بر حسب میلیون متر مکعب نمایش داده شده است. که به ترتیب ماه های آگوست، سپتامبر و جولای بیشترین تقاضا برای دریافت آب را دارند و در بخش D میزان کمبود آب بر حسب میلیون متر مکعب برای ماه های سال مشخص شده است. که مطابق انتظار بیشترین کمبود آب مربوط به ماه های آگوست، سپتامبر و جولای می باشد.



شکل ۱۰. A میانگین ماهانه جریان ورودی به منطقه (میلیون متر مکعب)، B میانگین ماهانه جریان خروجی از منطقه (میلیون متر مکعب) C تهیه نیاز ماهانه (شامل: اتلاف، دوباره استفاده شده و مدیریت بخش تقاضا)، D عدم رضایت متقاضیان بطور ماهانه

نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه کارواندر انجام شد. بدین منظور ابتدا اثر تغییر اقلیم روی پارامترهای بارش و دما برای یک دوره آماری ۳۴ ساله (۱۴۰۰-۱۴۳۴)، برای ایستگاه کارواندر تحت مدل REMO از مدل گردش عمومی جو بررسی شد. پس از بررسی شرایط اقلیمی آینده (۱۴۰۰-۱۴۳۴) با دوره پایه در نظر گرفته شده (۱۳۸۴-۱۳۶۵) از خروجی‌های مدل اقلیمی برای بررسی رواناب رودخانه در دوره آینده استفاده می‌شود. در ادامه به مقایسه تغییرات آورد رودخانه در دو دوره آینده و پایه پرداخته شد. در انتها نیز از خروجی‌های بدست آمده در مدل یکپارچه منابع آب WEAP استفاده شده است. در این قسمت نیازهای کشاورزی و شرب برای حوضه آبریز کارواندر تحت سناریوهای تخصیص بهینه مختلف آب، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج داده‌های بازتولید شده مدل REMO برای ایستگاه کارواندر در دوره پایه مورد بررسی (۱۳۸۴-۱۳۶۵) و داده‌های بارش مشاهداتی ماهانه طی همین بازه زمانی نشان داد که این مدل دقت بالایی در شبیه‌سازی بارش ماهانه در این ایستگاه دارد. انحراف از مقادیر مشاهده شده بارش بین ۱ تا ۶ میلیمتر متغیر است. که بیشترین انحراف از بارش مشاهداتی در ماه‌های دی، آبان، مهر و آذر مشاهده می‌شود. نتایج بازتولید داده‌های بارش توسط مدل REMO در بازه زمانی فصلی نیز از دقت بالایی برخوردار است. در این بازه زمانی بازتولید داده‌های دوره گرم سال (بهار و تابستان) از دقت بالاتری نسبت به دوره سرد سال (پاییز و زمستان) برخوردار بوده است.

از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برای بررسی ارتباط بارش - رواناب حوضه در دوره مطالعاتی پایه (۱۳۶۵-۱۳۸۴) بهره گرفته شد. با برآورد بارش دوره آبی این معادلات در برآورد رواناب دوره آبی بکار رفت. نتایج مدل رگرسیونی برای دوره پایه نشان داد که ارتباط مستقیم و معنادار بسیار قوی، در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین بارش ایستگاه کارواندر و رواناب ایستگاه دامن وجود است. بررسی ماهانه ارتباط بارش رواناب نشان می‌دهد که از آغاز بهار همبستگی بارش و رواناب افزایش (ضریب تعیین به ترتیب ماه ۰/۶۸، ۰/۸۰ و ۰/۹۰) می‌یابد ولی با شروع فصل تابستان این همبستگی بطور چشمگیری تضعیف شده است (ضریب تعیین به ترتیب ماه ۰/۶۴، ۰/۵۵۷ و ۰/۷۷). در ماه‌های سرد سال بجز آذرماه در سایر ماه‌ها ارتباط بسیار قوی بین بارش و رواناب وجود دارد. محاسبه رواناب حوضه کارواندر در ماه‌های مختلف، با توجه به خروجی‌های دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد که میانگین رواناب آینده طی دوره ۱۴۰۰ تا ۱۴۳۴ نسبت به گذشته میانگین رواناب یا دوره پایه، در هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 یک روند افزایشی را نشان داد. که در ماه‌های تیر و مرداد میزان افزایش رواناب بسیار چشمگیرتر خواهد بود و دلیل آن را می‌توان به اثر تغییر اقلیم بر نفوذپذیری سامانه موسمی هند ربط داد. در واقع سامانه موسمی به سبب گرمایش جهانی دارای دامنه تغییرپذیری مکانی بالاتری خواهد بود و به عرض‌های بالاتر نیز نفوذ خواهد کرد. چون ویژگی این سامانه هوای مرطوب گرم است. پتانسیل بالایی در ایجاد بارش‌های سیلابی خواهد داشت. در نتیجه در دهه‌های آبی، دوره گرم سال نسبت به دوره سرد سال در حوضه آبریز کارواندر دوره پرآب‌تری خواهد بود و لزوم مدیریت این منابع به شدت احساس می‌شود.

از سیستم ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP) برای بررسی نیاز آب حوضه با توجه به خروجی مدل‌های اقلیمی استفاده شد. بدین منظور از مساحت حوضه (تحت عنوان اراضی قابل کشت) و جمعیت آخرین سرشماری بخش ایرندگان (تحت عنوان مصرف کنندگان آب در بخش‌ها مختلف حوضه) استفاده شد. به سبب عدم توسعه صنایع و همچنین محدودیت استفاده این مدل از بررسی بخش صنعت صرف نظر شد و فقط بخش شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل برای تقاضا و مازاد آب حوضه نشان داد که در تمام ماه‌های سال تقاضای مازاد برای آب در بخش کشاورزی وجود دارد. این میزان به سبب ثابت فرض کردن سطح اراضی و مقدار جمعیت (به سبب

کوتاهی دوره) برای تمامی سال‌ها مقادیر مشابهی نشان داد. میزان نیاز آبی حوضه در بخش شرب و کشاورزی برای ماه‌های مختلف سال نشان داد که ماه‌های می تا سپتامبر همراه با تنش کم‌آبی، هم برای بخش شرب و هم بخش کشاورزی هستند. که در سه‌ماه تابستان شدت تنش آبی و نیاز به آب در هر دو بخش افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. ماه‌های سرد سال از نظر منابع آب با چالش قابل توجهی روبرو نیستند ولی ماه‌های گرم سال نیاز آبی بالایی خواهند داشت. با توجه به خروجی مدل‌های اقلیمی و همچنین خروجی مدل WEAP به نظر می‌رسد که در صورت اجرای برنامه‌های مدون کنترل رواناب‌ها و هرزآب‌ها بخش زیادی از نیازهای آبی حوضه در دوره گرم سال مرتفع گردد.

منابع

۱. آشفته، پریسا سادات، امید بزرگ حداد، (۱۳۹۳)، ارزیابی تقابلات بین نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری بر رواناب، نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۱، صص ۱۱۲-۱۰۳.
۲. پورمحمدی، سمانه، محمدتقی دستورانی، علیرضا مساح بوانی، مسعود گودرزی، هادی جعفری و محمدحسین رحیمیان، (۱۳۹۵)، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه و ارائه راهکارهای سازگاری با اثرات آن (مطالعه موردی: حوضه آبریز تویسرکان همدان)، نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۳۷.
۳. ثانی خانی، هائی، یعقوب دین پژوه، سعید پور یوسف، سروین زمانزاد قویدل و بهاره صولتی (۱۳۹۲). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی). نشریه آب و خاک، جلد ۲۷، شماره ۶، صص ۱۲۳۴-۱۲۲۵.
۴. حمیدیان‌پور، محسن، عباس مفیدی و محمد سلیقه (۱۳۹۵). تحلیل ماهیت و ساختار باد سیستان، مجله ژئوفیزیک ایران، سال دهم شماره ۲ صص ۱۰۹-۸۳.
۵. دلاور، مجید، ام‌السلّمه بابایی و ابراهیم فتاحی (۱۳۹۳). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۱۳۹۳، شماره ۱۹، صص ۶۵-۵۳.
۶. روشنی، محمود و قاسم عزیزی، (۱۳۸۲). بررسی تغییرات اقلیمی سواحل دریایی خزر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۷. زارع‌زاده، محبوبه، سعید مریر، عبدالرحیم صلوی تبار، کاوه مدنی، (۱۳۹۱). ارزیابی منابع آب حوضه آبریز قزل اوزن- سفیدرود تحت تاثیر تغییر اقلیم و طرح‌های آبی، آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲.
۸. زهرایی، بنفشه، نصری محسن و روزبھانی عباس (۱۳۸۹). مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب استان سیستان و بلوچستان. چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، ص ۲۱۹.
۹. مسعودیان، ابوالفضل، (۱۳۹۰)، آب و هوایی ایران، انتشارات شریعه توس مشهد، ص ۱.
۱۰. منصوری، بهاره، حجت احمدزاده، علیرضا مساح بوانی، سعید مریر، مجید دلاور و سعید لطفی، (۱۳۹۳)، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زربندهرود با استفاده از مدل SWAT، نشریه آب و خاک، شماره ۶، صص ۱۲۰۳-۱۱۹۱.
۱۱. هدایتی دزفولی، اکرم، فاطمه رحیم زاده، (۱۳۸۳)، تاثیر تغییر اقلیم بر وری مدیریت منابع آب، اولین کنفرانس مدیریت منابع آب.
۱۲. عباسی، فاطمه، ملبوسی شراره، بابائیان ایمان، اثمري مرتضی و برهانی رضا (۱۳۸۹). یش بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۲، صص ۲۳۳-۲۱۸.
۱۳. عباس نیا، محسن، تقی طاوسی، محمود خسرویی و حسین توروس، ۱۳۹۵، تحلیل دامنه عدم قطعیت تغییرات آینده دمای حداکثر روزانه بر روی ایران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (وزارت علوم)، شماره ۹۷، صص ۴۴-۲۹.
۱۴. علیجانی، بهلول، زین‌العابدین جعفر پور و غلامرضا جانباز قبادی، (۱۳۸۴). تحلیل خشکسالی‌های دوره سرد سواحل جنوبی دریای خزر، فصلنامه سرزمین، دوره ۲، شماره ۳، صص ۲۹-۱۷.

۱۵. فولاد، فواد، مطیعی همایون، افشین شریفان رضا و زمانی نوری علیرضا (۱۳۹۰). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه کرج (سد امیرکبیر). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب.
۱۶. مساح بوانی، علیرضا و سعید مرید (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره ۴.
۱۷. هاشمی‌عنا، سید کرامت، محمود خسرویی و تقی طاوسی (۱۳۹۴). شبیه سازی طولانی ترین طول دوره خشک با رویکرد تغییر اقلیم در گستره‌ی ایران زمین. نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ششم، شماره ۲۲، صص ۱۸-۳۳.
18. Arnbjerg-Nielsen, K., & Harremoës, P. (1996), Prediction of hydrological reduction factor and initial loss in urban surface runoff from small ungauged catchments. *Atmospheric research*, 42(1-4), pp. 137-147.
19. Bozkurt, D. & Lutfi Sen, O., (2013), Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, pp. 149-161.
20. Chu, J. T., Xia, J., Xu, C. Y., & Singh, V. P. (2010). Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1-2), 149-161.
21. Fang, G., Yang, J. Chen, Y.N., and Zammit, C., (2015). Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for hydrologic impact study in an arid area in china. *Hydrology and Earth System*, 19(6), 2547-2559.
22. Ebrahimpour M, Ghahreman N, Orang M. (2014), Assessment of Climate Change Impacts on Reference Evapotranspiration and Simulation of Daily Weather Data Using SIMETAWS, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(2): 1-10.
23. Hertig, E. and jacobeit, J, (2008), Downscaling future climate change: Temperature Scenarios for the Mediterranean area, *Global and plan etary change*, Vol. 63, pp. 127-131.
24. Miller, N. L., Bashford, K. E., & Strem, E. (2001), Climate change sensitivity study of California hydrology: a report to the California Energy Commission, Lawrence Berkeley National Laboratory Technical Report, (49110).
25. Najafi M.R., Moradkhani H. and Jung I.W. (2011), Assessing the uncertainties of hydrologic model selection in climate change impact studies, *Hydrol, Process*, 25 (18), pp. 2814-2826.
26. Payne, J. T., Wood, A. W., Hamlet, A. F., Palmer, R. N., & Lettenmaier, D. P. (2004), Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin. *Climatic change*, 62(1-3), pp. 233-256.
27. Steele-Dunne, S., Lynch, P., Mcgrath, R., Smmler, t., wang, SH., Hanafin, J., and Nolan, P. (2008), The impacts of climate change on hydrology in Ireland, *J. Hydrol*, Vol. 356, pp. 28-45.
28. Sieber. J., and D. Purkey. (2007), WEAP21 User guide <http://seius.org/publications-PDF/SEL-WEAP21UserGuide-07>.
29. Tabari, H., Marofi, S., Aeni, A., Talae, P.H. and K. Mohammadi. (2014), Sensitivity of evapotranspiration to climatic change in different climates, *Global and Planetary Change*, 115: 16-23.

30. Tao X, Chena H, Xua C, Houa Y, Jiea M. (2015). Analysis and prediction of reference evapotranspiration with climate change in Xiangjiang River Basin China, *Water Science and Engineering*, 8(4): 273- 281.
31. Teng, J., Vaze, J., Chiew, F.H.S., Wangand, B. and Perraud, J.M (2012), Estimating the Relative Uncertainties Sourced from GCMs and Hydrological Models in Modeling Climate Change Impact on Runoff, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 13, No. 1, pp. 122-139.
32. Turkesh, m. s. andkilic, g. (1996), observndchange in max and minimum temperatures in turkey, *International journal of climatology*, (6), pp. 463-477.
33. Wilby RL, Dawson CW (2007), *SDSM4.2 – A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Impacts*, User Manual 1–94.
34. Wilby, R. L., & Harris, I. (2006). A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2).
35. Yates, D. N., & Strzepek, K. M. (1998), Modeling the Nile Basin under climatic change. *Journal of Hydrologic Engineering*, 3(2), pp. 98-108.
36. Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005), WEAP21-A demand, priority, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics, *Water International*, 30(4), 487-500.
37. Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., & Kanani, R. (2011), Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, 78, pp. 137-146.