

## بررسی تأثیر پذیری ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی حوضه آبخیز سد گلستان ۲ از تغییرات اقلیمی

مهدی ریاحی - دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات آب و هوایی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران  
غلامرضا روشن\* - استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران  
عبدالعظیم قانقرمه - استادیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیا دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۲/۱۵

### چکیده

بررسی هیدروژئومورفولوژی و پایش و پیش‌یابی بیلان آب در حوضه‌های آبخیز می‌تواند گامی مهم در آمایش سرزمین و دسترسی به توسعه پایدار باشد. لذا مطالعه‌ی حاضر با توجه به مدل بیلان آبی تورنت وایت، مازاد و کمبود آب در دسترس حوضه‌ی آبریز سد گلستان ۲ را برای دو دوره‌ی پایه (۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰) و آینده (۱۳۹۱ تا ۱۴۲۸) با استفاده از نتایج مدل گردش عمومی GISS و دو سناریوی تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 مورد واکاوی قرار داده است. نتایج این تحقیق گویای میانگین دمای پایه‌ی حوضه به میزان ۱۲,۵۱ درجه سانتیگراد بوده که با توجه به سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 بترتیب میانگین سالانه‌ی دما به مقادیر ۱۶,۶۰ و ۱۶,۹۶ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت. در ادامه خروجیها برای تغییرات مولفه‌ی بارش، گویای روند کاهشی آن برای هر دو دوره‌ی مطالعاتی پایه و شبیه‌سازی شده می‌باشد، بطوری که برای دوره‌ی پایه، شیب کاهشی بارش معادل ۴۱- میلیمتر و برای RCP4.5 و RCP8.5 بترتیب شامل ۹- و ۱۸- میلیمتر در هر دهه خواهد بود. در نهایت خروجیهای تحقیق حاضر نشان می‌دهند که با توجه به میانگین درازمدت دوره‌ی پایه، میانگین کمبود آبی ۵۰۵- میلیمتر و مازاد آبی ۶۱ میلیمتر بوده، حال آنکه با توجه به گرمایش جهانی بر مبنای سناریوی RCP4.5، میانگین سالانه‌ی کمبود آبی ۶۹۴- میلیمتر و مازاد آبی آن ۲ میلیمتر می‌باشد. اما در خصوص واکاوی نتایج RCP8.5 بترتیب میانگین سالانه کمبود و مازاد آبی حوضه با مقادیر ۷۱۵- و ۱ میلیمتر شبیه‌سازی شده‌اند. بنابراین انتظار می‌رود که با توجه به تغییرات اقلیمی آینده، حوضه‌ی آبریز سد گلستان ۲ دچار تنش کم آبی شدید گردد که این نیازمند اعمال مدیریت ریسک در تخصیص منابع آبی برای فعالیتهای مختلف جامعه‌ی مورد نظر بوده تا چالشهای آبی پیش روی به بحران آبی مبدل نگردد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، عدم قطعیت، بیلان آبی، کمبود و مازاد آبی، حوزه‌ی آبریز سد ۲ گلستان

## مقدمه

اصطلاح هیدرومورفولوژی توسط WFD<sup>۱</sup> اتحادیه اروپا (۲۰۰۰) برای بررسی هرنوع تغییرات در رژیم جریان، حمل رسوب، مورفولوژی رود و جابجایی‌های جانبی کانال معرفی گردید و به صورت یک موضوع میان رشته‌ای بین هیدرومورفولوژی، ژئومورفولوژی و اقلیم شناسی درآمد و دیدگاه‌ها و فرصت‌های جدیدی را برای توجه به فرایندهای فیزیکی در مدیریت رودخانه بوجود آورد (رینالدی و همکاران ۲۰۱۳). آب، منبعی طبیعی، کمیاب و حیاتی ولی تجدیدپذیر است که انسان به طور مستمر در هر زمان و مکان به آن نیاز دارد. آب کالایی با ارزش و غیر قابل جایگزین در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورهاست که نقش محوری در آمایش سرزمین را بر عهده داشته و زیر ساخت توسعه سایر بخش‌ها می باشد (امیدوار، ۱۳۹۴). اهمیت آب از دیدگاه قرآن کریم از دیرباز و از بدو پیدایش حیات نقش اساسی در ادامه زندگی و طبیعتاً موجودیت انسان ایفا کرده است. مقدار آب موجود در کره زمین تقریباً ثابت بوده است. آب به مصارف آشامیدن، کشاورزی، صنعت و غیره می رسد و زندگی بشر را بهبود می بخشد. اگر کره زمین از فضا رویت شود، رنگ طبیعی آن آبی دیده می شود یعنی کره ای که بیشتر سطح آن را آب پوشانده است. یعنی بخش اعظم سطح زمین را اقیانوس‌ها و دریاها فرا گرفته اند. اطلاعات مربوط به وضعیت موجودی و مصرف آب و تاثیر بالقوه تغییر اقلیم بر آب برای پشتیبانی تصمیمات سیاستی بسیار ناقص و ناکافی است. از این رو نیازی فوری به جمع آوری، تحلیل و مدلسازی داده‌ها در همه سطوح جهانی، منطقه ای و محلی و بهبود وضعیت سامانه‌های پایش وجود دارد (تقفیان و همکاران، ۱۳۸۹). از منظر تامین آب، تغییر اقلیم می تواند به صورت مستقیم بر چرخه آب و به واسطه آن بر کمیت و کیفیت منابع آب موجود به منظور تامین تقاضای بشر و محیط زیست تاثیر بگذارد. این موضوع می تواند به افزایش شدت بارندگی‌ها و به دنبال آن بروز سیل‌ها و در نتیجه تحمیل تلفات جانی و تخریب زیرساخت آبی، منجر شود. همچنین تغییر اقلیم می تواند سبب کاهش آورد رودخانه و جریان عبوری از رودخانه‌ها شده و بر موجودی آب و کیفیت آن برای رشد گیاهان و جانوران بومی، تامین آب آشامیدنی، تولید انرژی (برق آبی)، خنک کردن نیروگاه‌های حرارتی و کشتیرانی اثرگذار باشد (ارشدی، ۱۳۹۱). هرکشوری جهت رسیدن به توسعه پایدار باید سه عامل استراتژی و مهم منابع طبیعی، دسترسی به منابع آبی و قابلیت استفاده از زمین را مد نظر قرار دهد و این منابع مهم را شناسایی و در جهت بهره برداری صحیح مدیریت کند. به عبارت دیگر، تثبیت و پایداری یک حکومت و سرزمین و حتی شکل گیری آن، منوط به داشتن آب و خاک مناسب و بلایایی است که آن سرزمین را تهدید می کند (زمردیان، ۱۳۹۲). یکی از گام‌های توسعه پایدار شناخت بیلان آب منطقه است. لذا این ضرورت باعث می شود که مطالعه حاضر به بررسی نقش تغییرات اقلیمی بر روی بیلان آب حوضه آبریز سد گلستان ۲ تمرکز نماید. در راستای پژوهش حاضر، مطالعات گوناگونی در سطوح بین المللی و داخلی انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می شود:

گارسیا و همکاران در سال ۲۰۰۸، برای بررسی منابع آب سطحی از مدل فرآیند پیوسته HEC-HMS استفاده کردند. بدین منظور حوضه آبریز کانتابریا در اسپانیا برای این تحقیق انتخاب شد، همچنین برای برآورد پارامترهای ورودی به مدل از سیستم اطلاعات مکانی استفاده گردید. این محققین برای درجه بندی مدل از آنالیز حساسیت استفاده کردند که این درجه بندی در جهت همانندسازی حجم کل رواناب و شکل هیدروگراف انجام پذیرفت. در این مطالعه از سه دوره زمانی فصلی، ۶ ماهه و سالانه استفاده گردید که نتایج آن نشان داد که ضریب رواناب سالانه از ۰٫۵۱ در حوضه‌های کوچک تا ۰٫۶۷ برای حوضه‌های بزرگ متغیر است. افزایش دوبرابر غلظت گازهای گلخانه‌ای در پایان قرن در اثر فعالیت‌های انسان سبب تغییرات اساسی در اقلیم جهانی در آینده خواهد شد. این افزایش غلظت بر افزایش دمای هوا و دیگر متغیرهای اقلیمی اثر منفی می گذارد که به این پدیده تغییر اقلیم گفته می شود. پیش بینی می شود که دمای سالانه سطح جهان تا سال ۲۱۰۰ حدود ۱ تا ۳٫۵ درجه سانتیگراد افزایش یابد (هیأت بین الدول تغییر آب و هوا، ۲۰۰۷). شرودر و

<sup>۱</sup> - Water Framework Directive

همکاران ۲۰۱۳ در مقاله ای تحت عنوان فعل وانفعالات میان پوشش گیاهی و هیدروژئومورفولوژی به این نتیجه رسیده‌اند که فرایندهای هیدروژئومورفیک، پوشش گیاهی و بیوشیمی در دشت‌های سیلابی که پیچیدگی بیشتر است تداخل و درک ارتباط میان فرایندهای فیزیکی و بیولوژیکی را در اکوسیستم‌ها فراهم می‌کند. دشت‌های سیلابی و سیستم‌های رودخانه ای توسط چهار بعد هیدروژئومورفولوژی یعنی اجزای طولی، جانبی، عمودی و زمانی همراه شده است. در مطالعه ای که توسط ناکس و همکاران در سال ۲۰۱۰ انجام شد، به بررسی اثرات زمانی و مکانی تغییر اقلیم بر آب آبیاری مورد نیاز و عملکرد محصولات در منطقه ای در سوئیس پرداختند. آنها با استفاده از سناریوهای A2 و B2 برای شرایط اقلیمی ۲۰۵۰ پیش بینی کردند که نیاز آبی ۲۰ تا ۲۲ درصد افزایش می‌یابد. واندیل و همکاران در سال ۱۹۹۲، یک مدل بیلان آبی ماهانه را در ۷۹ حوضه آبخیز بلژیک، چین و برمه بکار بردند. نتایج بدست آمده نشان داد که یک مدل جهانی مناسب برای تمام حوضه‌های آبخیز وجود ندارد. آرنل (۱۹۹۲)، از یک مدل بیلان ماهانه برای بررسی عوامل کنترل کننده آثار تغییر اقلیم بر حوضه‌های آبریز انگلستان استفاده نمود. بدین منظور ایشان با تغییرات فرضی عوامل هواشناسی در مدل بیلان آبی ماهانه نشان دادند که در مقیاس ماهانه بیلان آب در تابستان و شرایط زمین شناسی حوضه اثر مهمی بر عکس العمل حوضه نسبت به حالت مشخص تغییر اقلیم دارد. سجادخان و همکاران (۲۰۰۴) سه روش ریزمقیاس نمایی آماری، الگوی مولد آب و هوایی ایستگاه لانگ آشتن و الگوی شبکه عصبی مصنوعی را از راه آزمون ناپارامتری آماری ویلکاکسون برای مقایسه داده‌های مشاهده شده و ریزمقیاس شده در ماه‌های مختلف برای دو ایستگاه در منطقه ای کوچک در کانادا استفاده کردند. براساس نتایج آن، روش ریزمقیاس نمایی آماری بیشترین کارایی و روش شبکه عصبی مصنوعی کمترین کارایی را داشت. مینو و همکاران (۲۰۱۲) از الگوی هیدرولوژیکی HEC-HMS برای الگوبندی هیدرولوژیکی منطقه رودخانه تونگا-بهادر هندوستان و از روش ریزمقیاس نمایی آماری برای ریزمقیاس نمایی دماهای کمینه و بیشینه و بارش روزانه در منطقه مطالعاتی استفاده کردند. نتایج بررسی بیلان آب، افزایش بارش و رواناب و کاهش تلفات تبخیر-تعرق واقعی را روی منطقه نشان داد. همچنین مطالعات دیگری در این زمینه وجود دارد که یا به بررسی اثر تغییر اقلیم بر بیلان آبی، یا واکاوی اثر عدم قطعیت بر تغییرات اقلیمی و رواناب منطقه و یا اینکه به بررسی مدیریت منابع آبی حوضه‌های مطالعاتی توجه نموده اند (رشمیدوی و همکاران، ۲۰۱۸، وانگ و یوفو، ۲۰۱۸، زانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

در کشور ما نیز مطالعات مختلفی در خصوص هیدروژئومورفولوژی و مولفه‌های ورودی و خروجی بیلان آبی حوضه‌های آبریز انجام شده است. شاهرخ وندی (۱۳۷۶) به بررسی هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کهمان پرداخت و نتیجه این تحقیق را می‌توان شناسایی عوامل موثر در به وجود آوردن ناهمواریهای ناشی از عمل آب، چگونگی تشکیل این نوع ناهمواریها، تعیین قابلیت‌ها و محدودیت‌ها و نمایش پدیده‌های ناشی از عمل آب دانست. (براتیان ۱۳۷۶) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود حوضه آبریز میان رودان را از لحاظ هیدروژئومورفولوژی مورد بررسی قرار داد که با توجه به نوع فرسایش حاکم بر منطقه، نقش آب‌های جاری در شکل‌زایی سطح زمین را عامل برتر معرفی می‌کند. (عطایی مقصود بیگی ۱۳۷۸) در پایان‌نامه خود، حوضه آبریز قره‌آقاج را از لحاظ خصوصیات هیدروژئومورفولوژیکی بررسی کرد و به این نتیجه رسید که اکثر عوارض فرمیک منطقه ناشی از عملکرد فرایند آب می‌باشد که گالی‌ها، قله‌های منفرد، دره‌های V شکل و U شکل از آن دسته‌اند. در مطالعه ای دیگر به منظور تهیه بیلان آب زیرزمینی و با استفاده از مدل‌های ریاضی، نهرهای موجود در مغرب رودخانه کن به عنوان عمده‌ترین مولفه ژئومورفولوژی در تغذیه آبخوان اراضی غرب تهران در نظر گرفته شد (خداپناه، ۱۳۷۹). بابائیان و همکاران (۱۳۸۶)، اقلیم ایران را در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی الگوی ECHO-G با بکارگیری روش LARS-WG الگوسازی کردند. با استفاده از الگوی ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG، خروجی الگوی گردش عمومی جو ECHO-G را با سناریوی A1 برای دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ بر روی ۴۳ ایستگاه همدیدی ایران ریزمقیاس کردند. نتایج حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و بسیار سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به مقدار

۰,۵ درجه سانتیگراد بود و پیش بینی می شد بیشترین افزایش دما در ماه های سرد سال رخ دهد. کریمی و اسلامی (۱۳۸۷) از شبکه عصبی با ۵ متغیر زمان وقوع اولین بارش ۴۷,۵ میلی متر پاییزه، میانگین بارش درازمدت، مقادیر بارش سال قبل، دو سال قبل و سه سال قبل در پیش بینی بارندگی استان کرمان استفاده کردند. اسکندری نیا (۱۳۸۷)، از شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد دبی رودخانه بختیاری استفاده نمود. وی با بکارگیری شبکه پرسپترون چند لایه در مدل سازی بارش-رواناب به این نتیجه رسید که با اضافه نمودن بارش روزهای قبل به ورودی مدل بهبود قابل توجهی در نتایج حاصل می گردد. فاتحی و مهدیان (۱۳۸۸) اعتقاد دارند بکار گیری شبکه های عصبی مصنوعی در مباحث آب بیشتر به پیش بینی جریانات رودخانه ای محدود بوده و در خصوص پیش بینی بارش کمتر استفاده شده است. نصری و همکاران (۱۳۸۸) از مدل شبکه عصبی مصنوعی چند لایه به منظور پیش بینی رواناب روزانه حوضه پلاسجان زاینده رود استفاده نمودند. در نتیجه شبکه عصبی مصنوعی با چهار لایه مخفی عملکرد بهتری به همراه داشت. فرامرزی و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از مدل SWAT اجزای بیلان آب را در کل ایران شبیه سازی کرده و ارتباط آنها را با تولید گندم، با در نظر گرفتن عملکرد سدها و اقدامات آبیاری اراضی کشاورزی بررسی کردند. ایشان بیلان آب کشور را که شامل جریان آب آبی (مقدار آبی که به آب زیرزمینی اضافه می شود)، جریان آب سبز (تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل) و ذخیره آب سبز (رطوبت خاک) را در سطح زیرحوضه و در مقیاس زمانی ماهانه بررسی و طبقه بندی کردند. دهقانی پور و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله خود، توانمندی الگوی ریزمقیاس نمایی آماری را در تولید داده های بارش، دما و تبخیر در ایستگاه هواشناسی همدیدی تبریز بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که الگوی ریز مقیاس نمایی آماری توانایی مناسبی در کوچک کردن داده های دما، تبخیر و بارش دارد. در این راستا مطالعات مختلف دیگر مرتبط با موضوع پژوهش حاضر وجود دارد که بدلیل فضای کم مقاله صرفا به ذکر نام آنها اکتفا شده است (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۶، نجفیان و همکاران، ۱۳۹۶، خلیل قربانی و همکاران، ۱۳۹۵، بحری و زاهدی، ۱۳۹۵). از آنجایی که کشور ایران در منطقه ای خشک و نیمه خشک واقع شده و با بحران آب مواجه است، بررسی تغییر اقلیم و اثرات آن بر سیستم هیدرولوژیک، می تواند زمینه ساز اتخاذ سیاستهای آینده جهت مدیریت همه جانبه و بهینه سازی حوضه های آبخیز باشد. مخصوصا آنکه اقتصاد جوامع شمال کشور بشدت وابسته به کشاورزی بوده و لذا هر گونه تغییرات در میزان آب قابل دسترس و بیلان آبی منطقه می تواند معیشت مردم این نواحی را با چالش و بحران مواجه نماید. لذا هدف پژوهش حاضر پایش و پیش یابی اثر تغییر اقلیم بر دگرگونی بیلان آب حوضه آبریز سد گلستان ۲، بعنوان گامی مهم بر مدیریت پیشگیری و کاهش ریسک منابع آبی به منظور دسترسی به توسعه ی پایدار ناحیه ی مورد مطالعاتی می باشد.

## ۲- مواد و روش ها

در این پژوهش به منظور ارزیابی پایش و پیش یابی تغییرات بیلان آب حوضه آبریز سد گلستان ۲، از مدل بیلان آبی تورنت وایت و بر مبنای دو سری داده های متفاوت زمانی استفاده شده است. در این تحقیق داده های پایه شامل یک سری زمانی ۴۰ ساله از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ و دیگری داده های شبیه سازی شده برای سالهای ۱۳۹۱ تا ۱۴۲۸ می باشد. داده های اقلیمی مورد استفاده در مدل بیلان آبی تورنت وایت شامل دما و بارش می باشد. لذا برای دوره ی پایه این داده ها بصورت ماهانه در دسترس می باشد و برای شبیه سازی داده های دما و بارش آینده، از خروجی مولفه های پیش یابی کننده ی مدل بزرگ مقیاس GISS، مستخرج از سایت داده ای bcsd وابسته به NASA (سازمان ملی فضایی آمریکا) با قدرت تفکیک ۲,۵\*۲,۵ درجه استفاده شده است. لازم به توضیح بوده که پیش یابی ها با استفاده از دو سناریوی تغییر اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 انجام پذیرفته است. از آنجا که قدرت تفکیک مدل GISS در ابعاد بزرگ می باشد، لذا با استفاده از یک روش رگرسیون چند متغیره، خروجیهای بارش و دما در ابعاد ۴۰۰۰\*۴۰۰۰ متر برای ۱۳۷ پیکسل مطالعاتی با بکارگیری نرم افزار Matlab، ریز مقیاس شده اند. همچنین جهت مکان یابی و تهیه نقشه توزیع مکانی-زمانی بیلان آب از نرم افزار Arc GIS و روش درون یابی کریجینگ استفاده گردیده است.

## ۲-۱- معرفی ریزمقیاس نمایی بارش و دمای حوضه های آبریز استان گلستان

ابتدا یک سری زمانی داده های بارش و دمای ماهانه برای سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ به منظور شبیه سازی و ریزمقیاس نمایی این دو مولفه برای دهه های آینده تهیه گردید. سپس از مرکز هواشناسی ناسا (thredds-ncss-grid-CMIP5) داده های مربوط به مولفه های پیش یابی کننده ی مدل گردش عمومی جو GISS، برای محدوده ۳۵ تا ۵۰ درجه شمالی و ۵۰ تا ۶۰ درجه شرقی دریافت گردید. مولفه های پیش یابی کننده ی مدل GISS شامل ۸۱ مولفه گردش عمومی جو می باشد که قدرت تفکیک آنها ۲,۵×۲,۵ درجه طول و عرض جغرافیایی می باشد (جدول ۱). به منظور پیش یابی و ریزمقیاس نمایی داده های بارشی و دمایی حوضه ی مطالعاتی، از بهترین رابطه حاصل شده بین مولفه های گردش برای دوره پایه استفاده شد که این دوره شامل سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ می باشد و سپس برای آموزش و آزمون، دوره ی پایه بصورت سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ تفکیک گردیدند. در نهایت با توجه با استفاده از روش همبستگی پارامتریک (پیرسون) روابط استحصال شده مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس براساس ضرایب تعیین و آزمون استقلال باقیمانده ها بر اساس روش دوربین واتسون، نتایج مدلسازیها صحت سنجی شد. لذا بر مبنای کمترین خطا در مدلسازیها مشخص شد که بهترین رابطه بین مولفه های گردش سطوح فشار (Geopotential Height) و باد عمودی (omega (=dp/dt)) در سه سطح ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال حاصل گردیده است که از این مولفه ها برای پیش بینی بارش و دمای دهه های آینده استفاده گردید.

جدول ۱: ۸۱ مولفه ی پیش بینی کننده ی مدل گردش عمومی جو GISS

| ردیف | مولفه گردشی   | ردیف | مولفه گردشی   |
|------|---|------|---|
| 1    | zg = Geopotential Height                            | 42   | ra = Carbon Mass Flux into Atmosphere due to Autotrophic (Plant) Respiration on Land    |
| 2    | wap = omega (=dp/dt)                                | 43   | psl = Sea Level Pressure  |
| 3    | vo = Sea Water Y Velocity                           | 44   | ps = Surface Air Pressure   |
| 4    | vas = Northward Near-Surface Wind                   | 45   | prw = Water Vapor Path  |
| 5    | va = Northward Wind                                 | 46   | prveg = Precipitation onto Canopy   |
| 6    | uo = Sea Water X Velocity                           | 47   | prsn = Snowfall Flux  |
| 7    | uas = Eastward Near-Surface Wind                    | 48   | prc = Convective Precipitation  |
| 8    | ua = Eastward Wind                                  | 49   | pr = Precipitation  |
| 9    | tsl = Temperature of Soil                           | 50   | npp = Carbon Mass Flux out of Atmosphere due to Net Primary Production on Land          |
| 10   | ts = Surface Temperature                            | 51   | nep = Net Carbon Mass Flux out of Atmosphere due to Net Ecosystem Productivity on Land. |
| 11   | transiy = Y-Component of Sea Ice Mass Transport     | 52   | mrsos = Moisture in Upper Portion of Soil Column  |
| 12   | transix = X-Component of Sea Ice Mass Transport     | 53   | mrso = Total Soil Moisture Content  |
| 13   | tran = Transpiration                                | 54   | mrros = Surface Runoff  |
| 14   | tos = Sea Surface Temperature                       | 55   | mrso = Total Soil Moisture Content  |
| 15   | thetao = Sea Water Potential Temperature            | 56   | mrro = Total Runoff   |
| 16   | tauv = Surface Downward Northward Wind Stress       | 57   | mrlsl = Water Content of Soil Layer   |
| 17   | tauu = Surface Downward Eastward Wind Stress        | 58   | mrfso = Soil Frozen Water Content   |
| 18   | tasmin = Daily Minimum Near-Surface Air Temperature | 59   | mc = Convective Mass Flux   |
| 19   | tasmax = Daily Maximum Near-Surface Air Temperature | 60   | huss = Near-Surface Specific Humidity   |
| 20   | tas = Near-Surface Air Temperature                  | 61   | hus = Specific Humidity   |
| 21   | ta = Air Temperature                                | 62   | hurs = Near-Surface Relative Humidity   |
| 22   | sos = Sea Surface Salinity                          | 63   | hur = Relative Humidity   |
| 23   | so = Sea Water Salinity                             | 64   | hfss = Surface Upward Sensible Heat Flux  |
| 24   | snw = Surface Snow Amount                           | 65   | hfsl = Surface Upward Latent Heat Flux  |
| 25   | snm = Surface Snow Melt                             | 66   | gpp = Carbon Mass Flux out of Atmosphere due to Gross Primary Production on Land        |
| 26   | snd = Snow Depth                                    | 67   | evspsblveg = Evaporation from Canopy  |
| 27   | snc = Snow Area Fraction                            | 68   | evspsblsoi = Water Evaporation from Soil  |
| 28   | sit = Sea Ice Thickness                             | 69   | evspsbl = Evaporation   |
| 29   | sic = Sea Ice Area Fraction                         | 70   | evap = Water Evaporation Flux from Sea Ice  |
| 30   | sfcWind = Near-Surface Wind Speed                   | 71   | clwvi = Condensed Water Path  |
| 31   | sci = Fraction of Time Shallow Convection Occurs    | 72   | clw = Mass Fraction of Cloud Liquid Water   |
| 32   | sbl = Surface Snow and Ice Sublimation Flux         | 73   | clt = Total Cloud Fraction  |

|    |  |    |   |
|----|--|----|---|
| 33 | rtmt = Net Downward Flux at Top of Model                                       | 74 | clivi = Ice Water Path                      |
| 34 | rsutcs = TOA Outgoing Clear-Sky Shortwave Radiation                            | 75 | cli = Mass Fraction of Cloud Ice            |
| 35 | rsut = TOA Outgoing Shortwave Radiation  | 76 | cl = Cloud Area Fraction                    |
| 36 | rsuscs = Surface Upwelling Clear-Sky Shortwave Radiation                       | 77 | ci = Fraction of Time Convection Occurs     |
| 37 | rsus = Surface Upwelling Shortwave Radiation                                   | 78 | cct = Air Pressure at Convective Cloud Top  |
| 38 | rlus = Surface Upwelling Longwave Radiation                                    | 79 | ccb = Air Pressure at Convective Cloud Base |
| 39 | rlds = Surface Downwelling Clear-Sky Longwave Radiation                        | 80 | cSoil = Carbon Mass in Soil Pool            |
| 40 | rlds = Surface Downwelling Longwave Radiation                                  | 81 | baresoilFrac = Bare Soil Fraction           |
| 41 | rh = Carbon Mass Flux into Atmosphere due to Heterotrophic Respiration on Land | -  | -   |

## ۲-۲- معرفی مدل بیلان آبی تورنت وایت

از آنجا که هدف این پژوهش تهیه نقشه بیلان آب به صورت ماهانه است، لذا نیاز بود با استفاده از داده های میانگین ماهانه بارش (P) و دما (T)، به ترتیب، ۶ مولفه ی تبخیر و تعرق بالقوه (PET)، تبخیر و تعرق واقعی (AET)، آب قابل دسترس ریشه گیاه (PAW)، تغییرات ذخیره رطوبتی خاک (DS)، مازاد آبی (Surplus) و کمبود آبی (Deficit) در محیط Excel محاسبه گردد. شایان ذکر می باشد که برآورد و محاسبه ی برخی از مولفه های مورد استفاده در تحقیق حاضر، وابسته به تیپ خاکی منطقه بوده که در ادامه به آن اشاره خواهد شد. لذا در گام اول مدل بیلان آبی، لازم می باشد که با استفاده از روش تورنت وایت، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر یک از ماه های سال بصورت روابط زیر محاسبه گردد (علیزاده، ۱۳۸۵):

الف- ابتدا نمایه حرارتی (Im) برای هر یک از ماه های سال از رابطه (۱) محاسبه می شود:

$$Im = \left(\frac{Tm}{5}\right)^{1.51} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه معادله Im نمایه حرارتی هر ماه و Tm متوسط دمای هوا در ماه مورد نظر می باشند. این کار برای تمام ۱۲ ماه سال انجام می گردد. در صورتی که متوسط دما در یک ماه صفر یا منفی باشد، Im برای آن ماه صفر در نظر گرفته می شود (مهدوی، ۱۳۹۲):

ب- نمایه حرارتی سال (I) از جمع نمایه های حرارتی ماهانه طی سال از طریق رابطه (۲) محاسبه خواهد شد (مهدوی، ۱۳۹۲):

$$I = \sum_{n=1}^{12} im \quad \text{رابطه (۲)}$$

ج- با داشتن نمایه حرارتی سالانه (I) ضریب a از رابطه (۳) محاسبه می گردد (مهدوی، ۱۳۹۲):

$$a = (6.75 * 10^{-7}) I^3 - (7.71 * 10^{-5}) I^2 + (1.792 * 10^{-2}) I + 0.492 \quad \text{رابطه (۳)}$$

د- برای هر یک از ماه های سال تبخیر و تعرق پتانسیل برحسب میلیمتر از رابطه (۴) محاسبه می گردد (علیزاده، ۱۳۸۵):

$$PET = \left(\frac{10 Tm}{I}\right)^a \quad \text{رابطه (۴)}$$

ه- لازم است تبخیر و تعرق پتانسیل با اعمال ضریب Nm برای ماه های مختلف اصلاح گردد. لذا محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از رابطه (۵) به شرح زیر است (مهدوی، ۱۳۹۲):

$$PET = 16 Nm \left(\frac{10 Tm}{I}\right)^a \quad \text{رابطه (۵)}$$

در گام دوم مدل سازی بیلان آبی حوضه ی مورد مطالعه، محاسبه ی تبخیر و تعرق واقعی (AET) نیاز است که به منظور دستیابی به مقدار آن از قوانین شرطی ذیل با استفاده از روابط (۶) و (۷) استفاده گردد است:

$$\text{IF } [(P) > (PET); PET = AET] \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\text{IF } [(P) \leq (PET); PAW(n) + P(o)] \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در روابط فوق، تبخیر و تعرق واقعی با توجه به مقدار بارش (P) و تبخیر و تعرق بالقوه (PET) ماه کنونی و شرایط رطوبتی خاک در ماه قبل محاسبه می‌گردد. بنابراین با استفاده از قانون شرط، اگر مقدار بارش بزرگتر از تبخیر و تعرق بالقوه (PET) باشد، پس مقدار AET برابر با مقدار PET خواهد بود و اگر مقدار بارش برابر یا کوچکتر از تبخیر و تعرق بالقوه (PET) باشد، مقدار عددی آب قابل دسترس ریشه گیاه (PAW) در ماه قبل با بارش ماه کنونی جمع می‌گردد و مقدار حاصله برابر با AET خواهد بود.

همانگونه که از رابطه ی شرطی (۷) مشخص می‌باشد، از مولفه ای تحت عنوان آب قابل دسترس ریشه گیاه (PAW) صحبت شده است. بدین ترتیب که برای محاسبه حداکثر آب موجود در گیاه (PAW<sub>MAX</sub>) و آب قابل دسترس ریشه گیاه (PAW) از رابطه (۸) و (۹) استفاده گردید:

$$\text{PAW}_{\text{MAX}} = (\text{FC} - \text{PWP}) * Z \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\text{PAW} = Z * 1000 * (\text{FC} - \text{PWP}) \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در روابط فوق، FC ظرفیت نفوذپذیری زمین، PWP نقطه پژمردگی بوده که مقادیر این دو مولفه بر مبنای تیپ متفاوت خاک از جدول (۲) استخراج شده است، همچنین مولفه ی Z عمق ریشه می‌باشد که برای ناحیه ی مطالعاتی ضریب آن ۰٫۶ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: تعیین ضرایب FC و PWP بر مبنای انواع بافت خاک

| Texture    | FC   | PWP  |
|------------|------|------|
| Clay       | 0.3  | 0.15 |
| Clay Loam  | 0.25 | 0.12 |
| Loam       | 0.2  | 0.1  |
| Sandy Loam | 0.12 | 0.05 |
| Sand       | 0.09 | 0.02 |

در ادامه جهت محاسبه مازاد آب نیاز است ابتدا تغییرات ذخیره رطوبتی خاک (DS) محاسبه گردد. بنابراین به منظور محاسبه ی مقدار این مولفه از رابطه (۱۰) استفاده شده است:

$$\text{DS} = \text{PAW}_0 - \text{PAW}_{n-1} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در رابطه فوق، PAW<sub>0</sub> مقدار بارانی است که قابل دسترس ریشه گیاه در ماه n ام باشد و PAW<sub>n-1</sub> نیز مقدار بارانی می‌باشد که قابل دسترس گیاه در یک ماه قبل از ماه n ام باشد.

بنابراین با استفاده از مقادیر فوق، مازاد و کمبود آبی از طریق روابط (۱۱) و (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$\text{Surplus} = p - \text{AET} - \text{DS} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در این رابطه، Surplus مازاد آبی، p بارش ماهانه، AET تبخیر واقعی و DS تغییرات ذخیره رطوبتی خاک است.

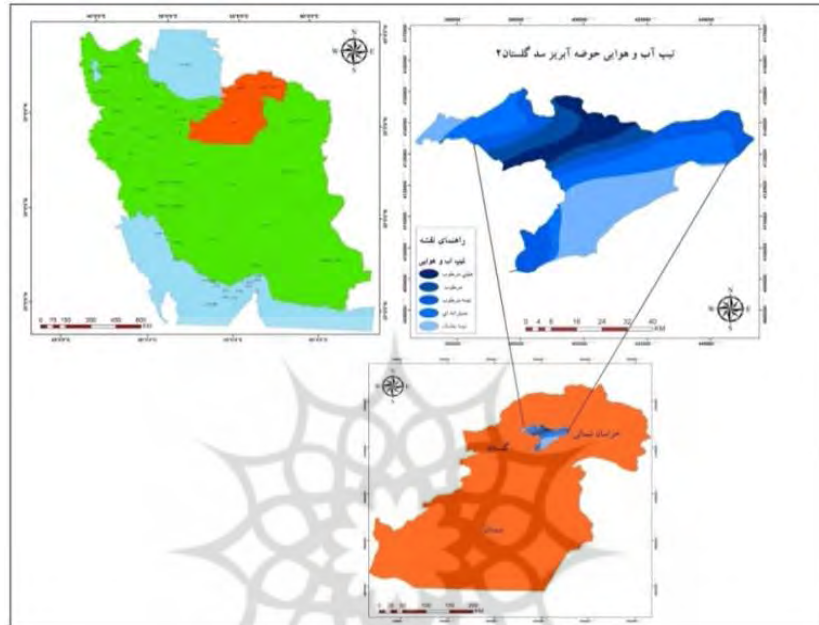
همچنین جهت محاسبه میزان کمبود آب (Deficit) از رابطه (۱۲) استفاده شده است:

$$\text{Deficit} = \text{PET} - \text{AET} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

### ۳- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز سد گلستان ۲ که قسمتی از حوضه آبریز گرگانرود می‌باشد، که دارای مختصات جغرافیایی ۳۷° ۲۴' ۰۶" تا ۳۷° ۴۷' ۳۷" عرض شمالی و ۵۵° ۲۲' ۳۹" تا ۵۶° ۰۴' ۳۹" طول شرقی است و در شمال شرقی شهرستان کلاله در استان گلستان و بین استان های سمنان و خراسان شمال قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه دارای دو رودخانه اصلی است که یکی از آنها رودخانه قرناوه (ساری سو) است که از ارتفاعات لسی باباشملک، گلیداغ و پالچقلی در شمال شرق کلاله سرچشمه گرفته و سرشاخه اصلی گرگانرود را تشکیل می‌دهد. حوضه آبریز سد گلستان ۲ دارای شیب

متوسط ۱۹ درصد می باشد و حداکثر و حداقل ارتفاع آن از سطح دریا ۲۴۰۰ و ۳۵ متر می باشد. با توجه به اینکه نواحی شمالی و مرکزی حوضه در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته و نوار رشته کوه البرز از آن عبور می کند، نسبت به نواحی شمال غربی و شرقی و جنوب شرقی و جنوب که در ارتفاع کمتر از ۵۰۰ متری قرار دارند، از شرایط اقلیمی مناسبتری برخوردار است، به طوری که مناطق شمالی و مرکزی حوضه، دارای تپ آب و هوایی خیلی مرطوب و مرطوب هستند (بنیزی، ۱۳۹۰).



شکل ۱: نقشه تپ آب و هوایی و موقعیت حوضه آبریز گلستان ۲ در سطح استان و کشور

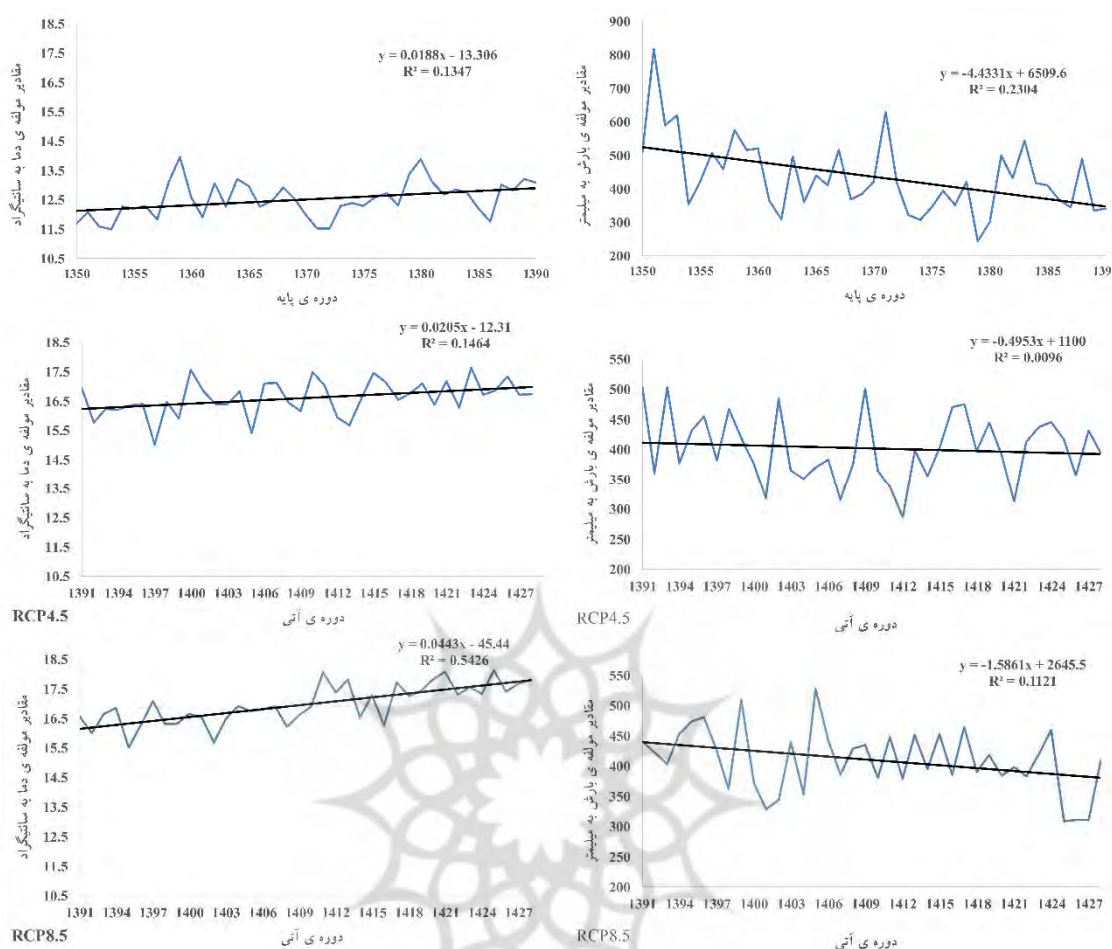
ویژگیهای ژئومورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه در این قسمت ناهمواریها، توپوگرافی، زمین شناسی، پوشش گیاهی و خاک و ... ارائه شود. نقشه طبقات ارتفاعی و شیب هم ارائه شود بهتر است.

#### ۴- یافته های پژوهش

##### ۴-۱- پایش و پیش یابی تغییرات مولفه ی دما و بارش

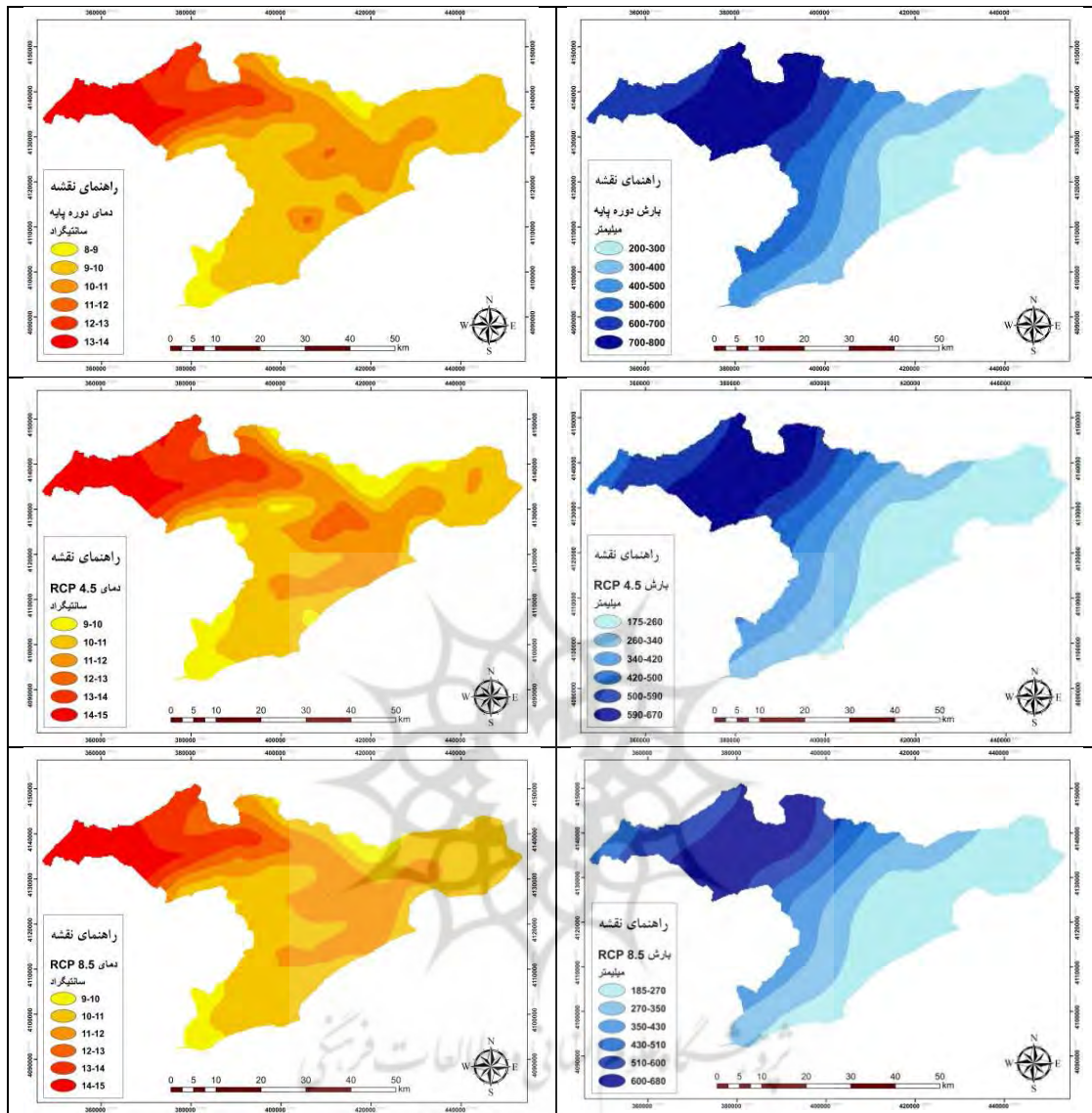
در این بخش از تحقیق، بدلیل حجم بالای خروجیها، صرفا تغییرات سالانه ی دما و بارش دوره ی پایه و پیش یابی شده مورد تحلیل قرار گرفته و نقشه های آن تهیه شده است. بر مبنای شکل (۲)، مشخص می گردد که میانگین دما برای دوره ی پایه ی حوضه ی مطالعاتی، ۱۲٫۵۱ درجه سانتیگراد می باشد که بر مبنای سناریوی RCP4.5 مقدار آن برای دوره ی پیش یابی شده ۱۶٫۶۰ و بر مبنای RCP8.5 معادل ۱۶٫۹۶ درجه سانتیگراد می باشد. بطور کلی برای هر سه نمودار دما ملاحظه می شود که روند دما صعودی و این تغییرات صعودی دما با توجه به مقادیر مولفه ی  $t_c$  در سطح ۹۵ درصد معنادار می باشد. نکته ی جالب توجه اینکه برای دوره ی پایه، بطور میانگین در هر دهه، ۰٫۱۹ صدم بر مقدار دما افزوده شده که این برای دوره ی آینده با توجه به سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 شامل مقادیر ۰٫۲۰ و ۰٫۳۸ صدم افزایش دما می باشد. در مجموع بر مبنای شکل (۳) ملاحظه می شود که بیشینه مقدار دما با آستانه های بین ۱۳ تا ۱۴ درجه سانتیگراد برای نواحی شمال غرب حوضه ی مطالعاتی بوده که این الگوی بیشینه مکانی دما برای دوره ی آتی نیز ملاحظه می شود. اما آستانه ی بیشینه ی دمایی برای آن با توجه به سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 شامل ۱۴ تا ۱۵ درجه سانتیگراد است.





شکل ۲: مقادیر پایش و پیش‌یابی شده‌ی دما و بارش سالانه برای حوضه‌ی مطالعاتی

در ادامه خروجیها برای تغییرات مولفه‌ی بارش، گویای روند کاهشی آن برای هر دو دوره‌ی مطالعاتی است. اما شدت روند کاهشی آن برای این دو دوره و سناریوهای مورد مطالعاتی متفاوت می‌باشد. در مجموع میانگین بارش بر مبنای دوره‌ی پایه عدد ۴۳۸ میلیمتر بوده که برای سناریوی RCP4.5 عدد ۴۰۱ میلیمتر را نشان می‌دهد و برای سناریوی RCP8.5 شامل ۴۰۹ میلیمتر می‌شود. نکته‌ی جالب توجه اینکه برای دوره‌ی پایه، شیب کاهشی بارش معادل ۴۱- میلیمتر در هر دهه بوده ولی برای RCP4.5 و RCP8.5 بترتیب شامل ۹- و ۱۸- میلیمتر در هر دهه است. علی‌رغم این موضوع، اگر چه تغییرات دهه‌ای برای دوره‌ی پایه از شیب کاهشی بیشتری در قیاس با دو سناریوی دیگر برخوردار می‌باشد، اما آستانه‌های بالایی بارش برای دوره‌ی پایه مقادیر بزرگتری را نشان می‌دهد. بطوری که این بیشینه حول و حوش مقادیر ۸۰۰ میلیمتر قرار دارد ولی برای دو سناریوی مطالعاتی تقریباً ۵۰۰ میلیمتر می‌باشد. اما با توجه به شکل (۳) که مقادیر بارش را نشان می‌دهد، بیشترین مقدار بارش در مناطق غربی حوضه و به طور متوسط بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ میلیمتر دیده می‌شود و کمترین مقدار آن در شرق حوضه، بین طبقه‌ی ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر دیده می‌شود. برای نقشه‌های پیش‌یابی شده نیز بیشینه آستانه بارش با توجه به RCP4.5 شامل ۵۹۰ تا ۶۷۰ میلیمتر و برای RCP8.5 شامل ۶۰۰ تا ۶۸۰ میلیمتر برای نواحی غربی حوضه می‌باشد (شکل ۳).

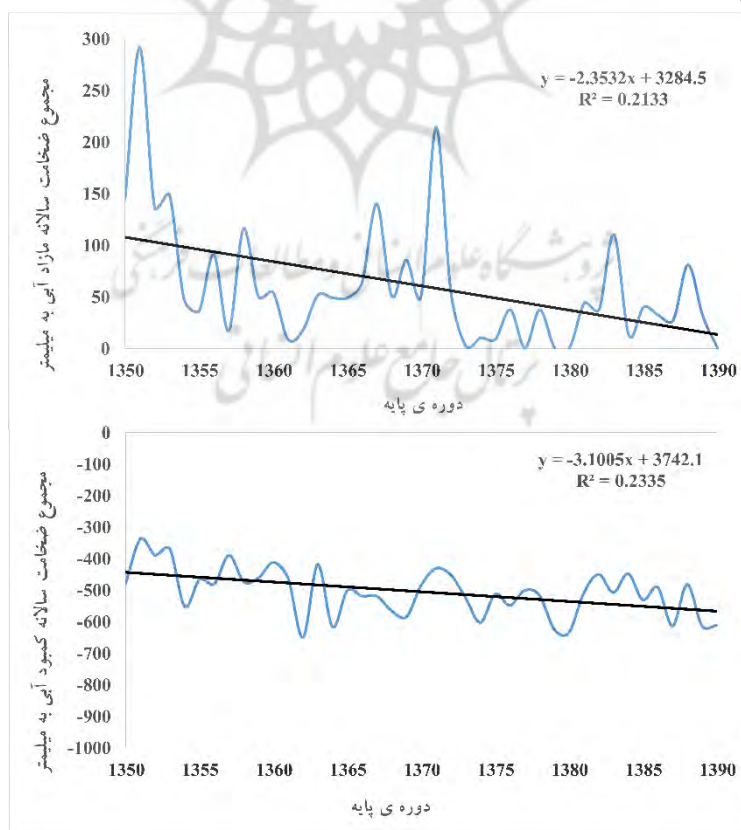


شکل ۳: نقشه سالانه تغییرات مکانی دما و بارش برای دوره ی پایه و دهه های آتی

#### ۴-۲- وضعیت سالانه مازاد و کمبود آب برای حوضه ی مطالعاتی

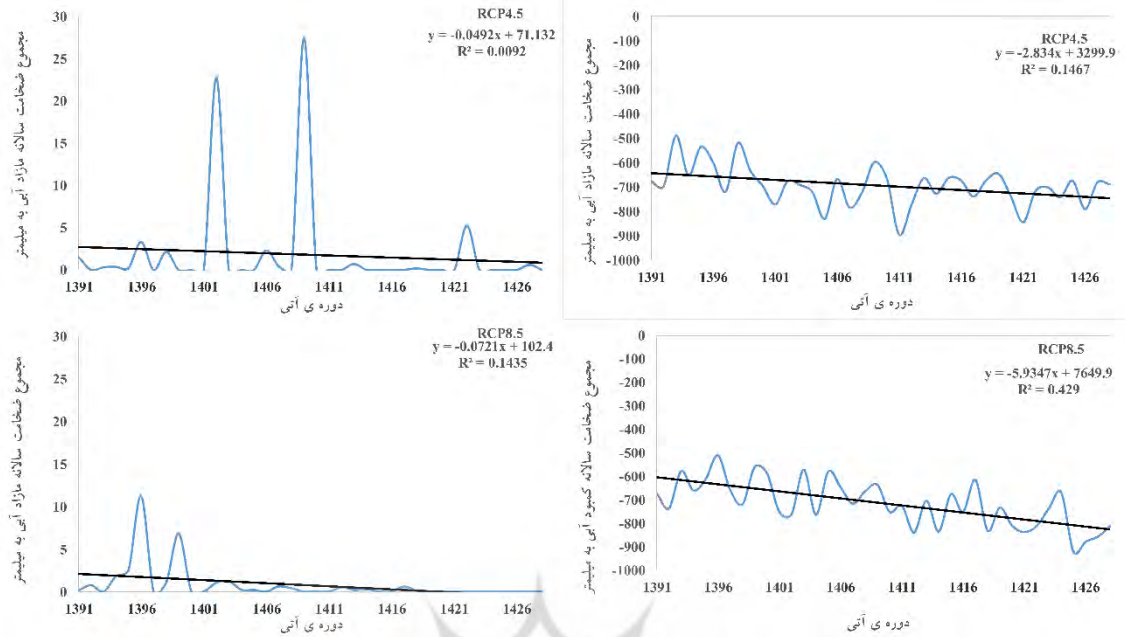
در این قسمت از پژوهش، مقادیر مازاد و کمبود آبی برای دو دوره ی پایه و پیش یابی شده مورد مقایسه قرار گرفته اند که نتایج در ادامه ارائه شده اند. با توجه به میانگین درازمدت دوره ی پایه، ملاحظه میشود که میانگین کمبود آبی ۵۰۵- میلیمتر و مازاد آبی ۶۱ میلیمتر می باشد. بنابراین در مجموع برای کل حوضه ی آبریز، حدود ۴۴۵- میلیمتر نیاز آبی در مقیاس سالانه ملاحظه می شود. همچنین بر مبنای شکل (۴)، ملاحظه می گردد که روند کمبود آبی با  $r = -0.48$  برای دوره ی پایه شدت نزولی می باشد که این بیان کننده ی تشدید کمبود آبی برای دوره های اخیر بوده و از طرف دیگر مازاد آبی نیز با  $r = -0.46$  نیز دارای روند کاهشی معناداری در سطح ۹۹ درصد می باشد. بر مبنای شکل (۶)، مشاهده می شود که کمینه طبقه ی کمبود آبی با مقادیر ۲۹۰- تا ۳۵۰- میلیمتر مربوط به پهنه هایی در مرکز حوضه ی آبریز می باشد و بیشینه ی کمبود آبی نیز با آستانه های ۶۱۰- تا ۶۷۰- میلیمتر به صورت دو پهنه در غرب و شرق حوضه اختصاص دارد. از طرف دیگر بیشینه ی مازاد آبی برای دوره ی پایه با مقادیر طبقات ۱۵۰ تا ۱۸۰ میلیمتر بصورت کمربندی متعلق به نواحی مرکزی حوضه و کمینه ی مازاد نیز با طبقات صفر تا ۳۰ میلیمتر متعلق به پهنه های نوار شرقی و غربی حوضه

می باشد، اگرچه پهنای وسعت آن برای نیمه ی شرقی بیشتر است. برای سناریوی RCP4.5 نیز، میانگین سالانه ی کمبود آبی ۶۹۴- میلیمتر بوده و مازاد آبی آن نیز ۲ میلیمتر می باشد. لذا در مجموع ۶۹۲- میلیمتر نیاز آبی برای دهه ی ۱۳۹۱ تا ۱۴۲۸ ملاحظه می شود. بر مبنای شکل (۵) ملاحظه می شود که روند کلی کمبود آبی برابر با مقدار  $r = -0.27$  بشدت نزولی بوده که همانند دوره ی پایه موید تشدید یافتن نیاز آبی می باشد و از طرف دیگر مازاد آبی نیز با  $r = -0.38$  از روند کاهشی معناداری در سطح ۹۵ درصد برخوردار است. در قیاس با دوره ی پایه، مشاهده می شود که به میزان ۱۸۸ میلیمتر به نیاز آبی افزوده خواهد شد که این به معنای افزایش ۳۷ درصدی کمبود آبی برای دهه های پیش روی در مقایسه با دوره ی پایه می باشد. بطوری که بیشینه کمبود آبی با توجه به شکل (۶)، برای نواحی مرکزی، شرقی و مناطقی از غرب حوضه دیده می شود اما بیشینه ی مازاد آبی برای پهنه ای از نواحی شمال و شمال غرب حوضه متمرکز شده است. در خصوص واکاوی نتایج RCP8.5 برای کمبود و مازاد آبی ملاحظه می شود که مقادیر میانگین سالانه ی آن بترتیب برای مازاد ۱ میلیمتر و برای کمبود ۷۱۵- میلیمتر بوده است. بنابراین بر اساس این سناریو میانگین سالانه ی نیاز آبی برای دهه های آتی شامل ۷۱۴ میلیمتر می باشد که در قیاس با نتایج سناریوی RCP4.5 به مقدار ۲۱ میلیمتر افزایش نشان می دهد و بر مبنای دوره ی پایه به میزان ۲۶۹ میلیمتر نیاز آبی افزایش داشته است. نتایج این سناریو نیز موید وجود بیشینه ی کمبود آبی برای پهنه های غرب و شرق حوضه با طبقات ۸۸۰- تا ۹۸۰- میلیمتر است و کمینه ی آن برای نواحی مرکزی و شمال منطقه مطالعاتی دیده می شود. از طرف دیگر روند کمبود آبی همانند دوره ی پایه و سناریوی RCP4.5 بشدت نزولی بوده که مقدار آن با  $r = -0.65$  موید افزایش نیاز آبی برای دهه های پیش روی بوده و مازاد آبی نیز با  $r = -0.37$  تغییرات کاهشی این مولفه در سطح معناداری ۹۹ درصد را برای میانگین سالانه ی کل حوضه ی مطالعاتی نشان می دهد (شکل ۵).

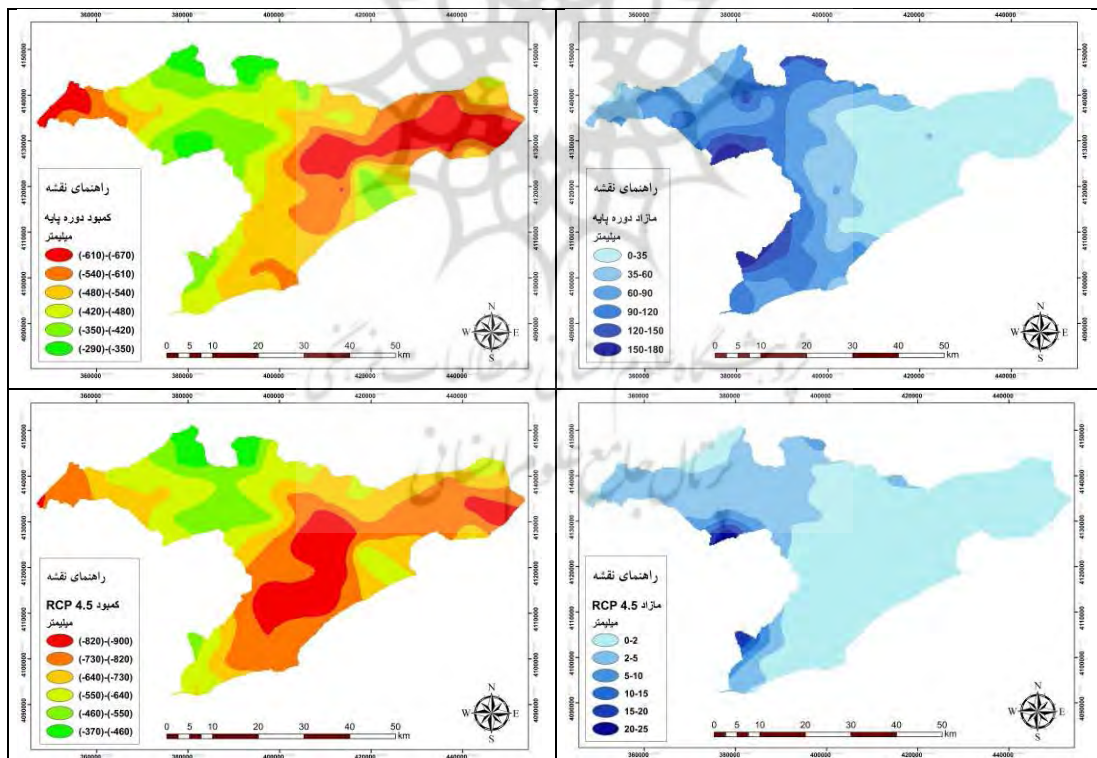


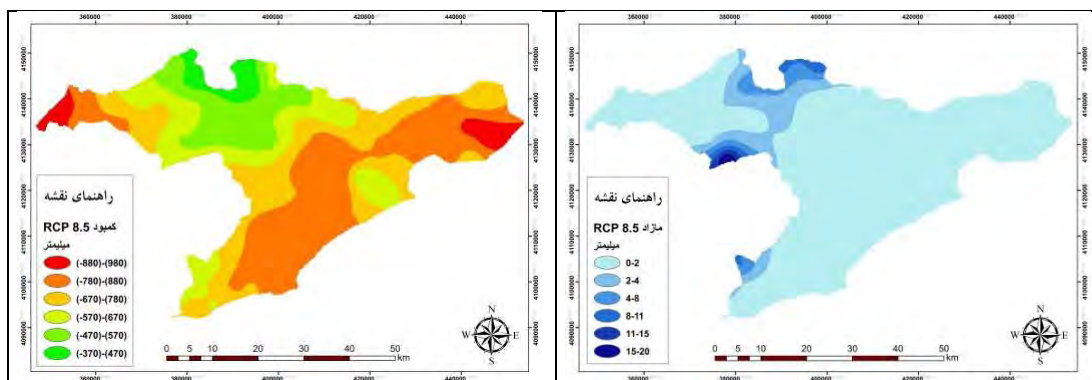
شکل ۴: نمودار سالانه روند تغییرات ضخامت کمبود و مازاد آبی حوضه آبریز سد گلستان ۲ برای دوره ی پایه





شکل ۵: نمودار سالانه روند تغییرات ضخامت کمبود و مازاد آبی حوضه آبریز سد گلستان ۲ با توجه به سناریوهای تغییر اقلیم

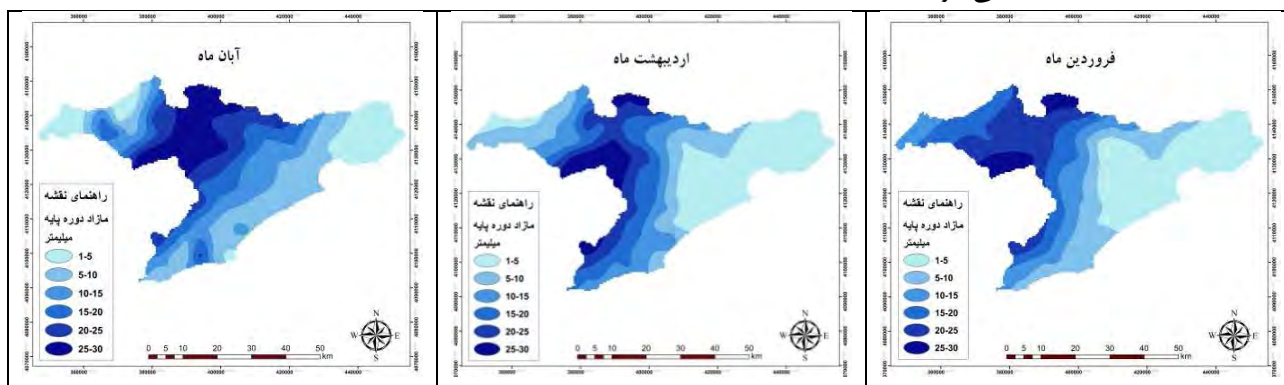


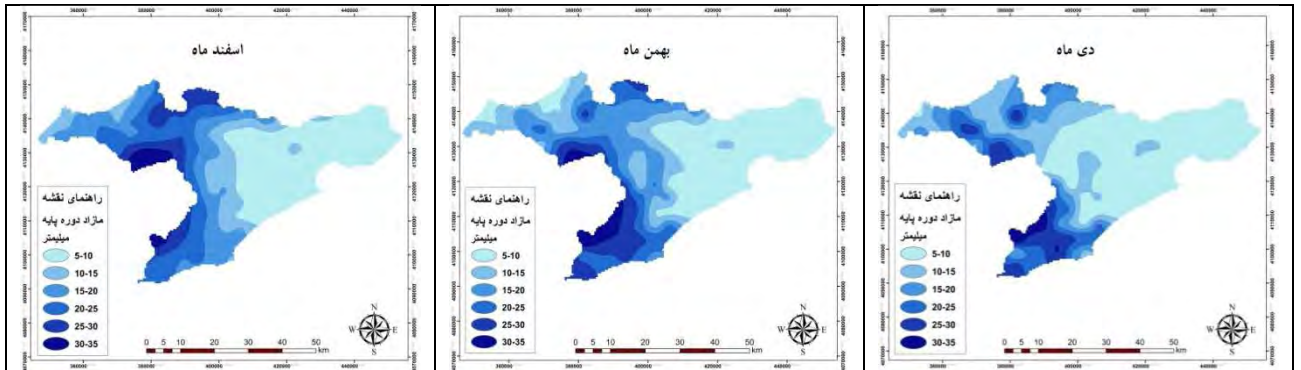


شکل ۶: نقشه توزیع مکانی میانگین مازاد و کمبود آب سالانه برای دوره ی پایه و آبی با توجه به سناریوهای تغییر اقلیم

### ۴-۳- پایش وضعیت هیدرولوژیکی (ماهانه مازاد و کمبود آب) در دوره پایه

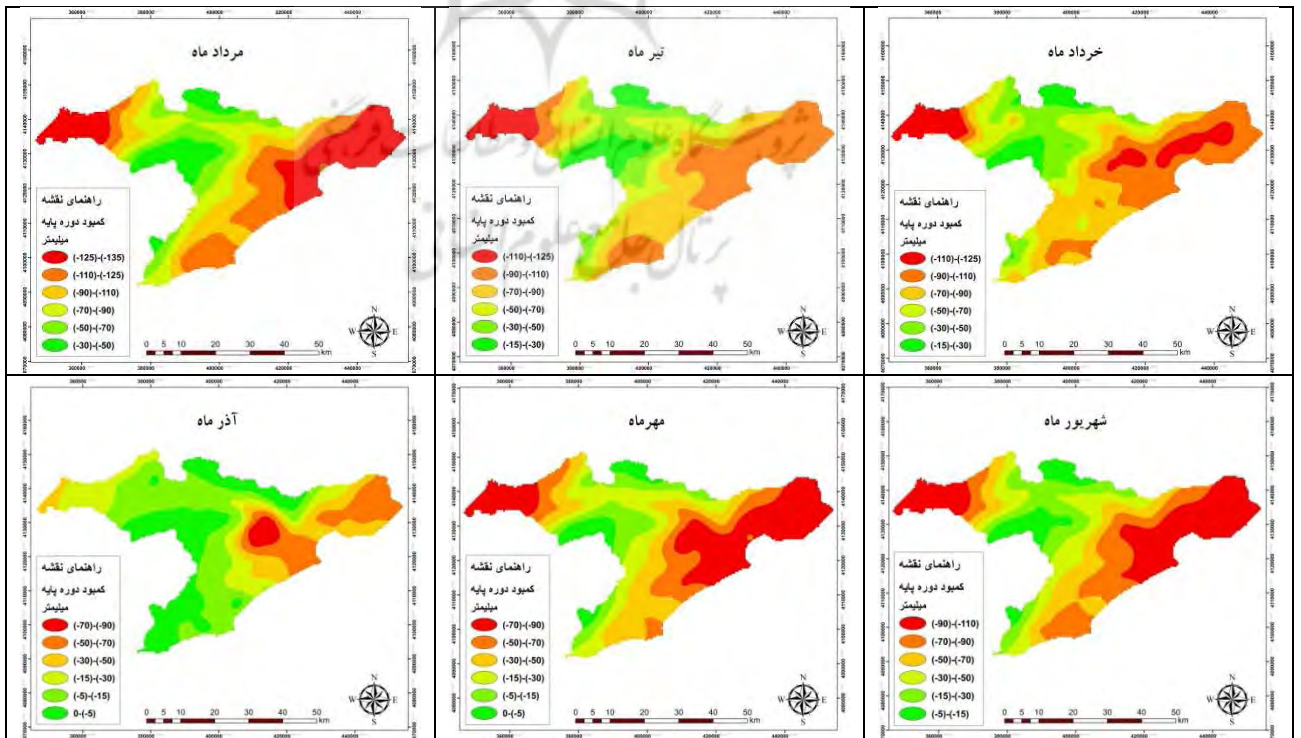
در این بخش از تحقیق، صرفاً نقشه‌ی مربوط به ماههایی که مازاد و یا کمبود آبی آنها مورد توجه بوده است ارائه و بر روی آنها تحلیلها صورت گرفته شده است و با توجه به فضای کم مقاله از ارائه‌ی نقشه‌ی سایر ماهها اجتناب شده است. بطوری که برای ماههای خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آذر که مازاد آبی قابل توجهی مشاهده نگردیده است، نقشه مربوط به آنها ارائه نشده است. لذا در ادامه با توجه به (شکل ۷)، نقشه میانگین مازاد آبی در ماه فروردین نشان می‌دهد که بیشینه‌ی مازاد آبی با طبقه‌ی ۲۰ تا ۳۰ میلیمتر مربوط به نواحی شمال غرب بصورت کمربندی به سمت جنوب غرب حوضه می‌باشد، و همچنین کمینه‌ی مازاد آبی حوضه متعلق به نیمه‌ی شرقی آن بودهبه طوری که مازاد آبی در این مناطق به ۱ تا ۱۰ میلیمتر کاهش می‌یابد. در ماه اردیبهشت نیز، همچنان بیشینه‌ی مازاد آبی با طبقه‌ی ۲۵ تا ۳۰ میلیمتر مربوط به نیمه‌ی غربی حوضه با تمرکز بر نواری از شمال غرب به جنوب غرب آن می‌باشد، از طرف دیگر در نواحی مرزی غرب حوضه، و همچنین شرق و جنوب شرق حوضه، مازاد آبی به ۱ تا ۵ میلیمتر کاهش می‌یابد که نسبت به فروردین ماه، ۵ میلیمتر ظرفیت آب موجود تقلیل یافته است. در ماه آبان نیز الگوی توزیع مکانی مازاد آبی مشابه دو ماه دیگر سال بوده با این تفاوت که در نوار مرزی غرب حوضه و نیمه شرقی که دارای کمینه‌ی مازاد آبی می‌باشند، در قیاس با دو ماه قبل، بر میزان مازاد آبی افزوده شده و به ۵ تا ۱۰ میلیمتر افزایش یافته است. در ادامه با توجه به (شکل ۷)، نقشه مازاد آبی در سه ماه دی، بهمن و اسفند گویای افزایش بیشینه‌ی طبقه‌ی مازاد آبی به میزان ۳۰ تا ۳۵ میلیمتر بوده که این طبقه بصورت پهنه‌ای برای شمال غرب تا جنوب غرب حوضه گسترش یافته است. همچنین کمینه‌ی پهنای مازاد آبی برای طبقات ۵ تا ۱۰ میلیمتر بوده که پهنای این طبقه برای دی ماه از مساحت بیشتری در قیاس با دو ماه بهمن و اسفند مشاهده می‌گردد.





شکل ۷: نقشه مازاد آبی ماهانه حوضه آبریز سد گلستان ۲ (ماه های فروردین، اردیبهشت، آبان، دی، بهمن و اسفند)

با استناد به (شکل ۸)، در ماه خرداد، اکثر مناطق حوضه دارای کمبود شدید آب می باشند و فقط مناطق محدودی از جمله مناطق شمالی و مرکزی حوضه دارای کمبود آبی کمتری نسبت به دیگر نقاط حوضه می باشند. همچنین حداقل میزان کمبود آبی در این ماه، در مناطق شمالی و مرکزی حوضه دیده می شود و در این مناطق، کمبود آبی به میزان ۱۵- تا ۳۰- میلیمتر می رسد. در نقشه کمبود آب در ماه تیر مشاهده می گردد که نواحی شرق و جنوب شرق و غرب حوضه در سری زمانی سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰، دچار کمبود آب به مقدار، ۹۰- تا ۱۲۵- میلیمتر است و از این نواحی به سمت قسمتهای مرکزی و شمالی حوضه از کمبود آب کاسته شده و این مقدار به حداقل می رسد. در مناطق مرکزی و شمالی حوضه، میزان کمبود آب به ۱۵- تا ۳۰- میلیمتر می رسد. همچنین در ماه مرداد نیز در نواحی غرب، شرق و جنوب شرق حوضه، کمبود آب نسبت به ماه تیر افزایش می یابد و میزان کمبود آب به ۱۲۵- تا ۱۳۵- میلیمتر می رسد. از نواحی شرق، جنوب شرق و غرب حوضه به سمت نواحی شمالی، مرکزی و جنوب غربی حوضه از میزان کمبود آب کاسته می شود. در نواحی شمالی و مرکزی و جنوب غربی حوضه، میزان کمبود آب در ماه مرداد به ۳۰- تا ۵۰- میلیمتر می رسد و بنابراین کمبود آبی افزایش یافته است.



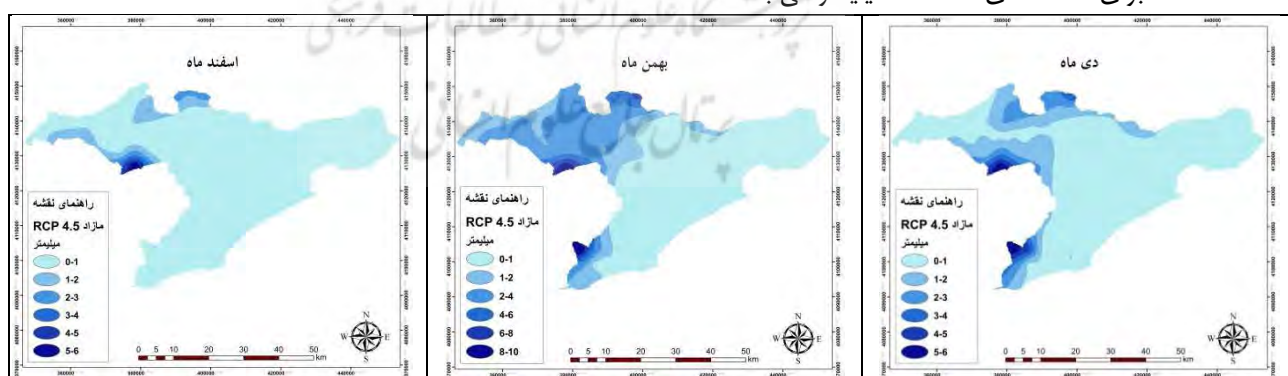
شکل ۸: نقشه کمبود آبی ماهانه حوضه آبریز سد گلستان ۲ (ماه های خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آذر)



در ماه شهریور نیز، کمبود آب نسبت به ماه‌های قبل فصل تابستان یعنی تیر و مرداد، کاهش می‌یابد. بنابراین حداکثر میزان تقاضای آبی در ماه شهریور در غرب، شرق و جنوب شرقی حوضه دیده می‌شود و در این نواحی کمبود آبی به ۹۰- تا ۱۱۰- میلی‌متر می‌رسد. همچنین حداقل میزان کمبود آبی در این ماه، در مناطق شمالی و مرکزی حوضه دیده می‌شود و در این مناطق، کمبود آبی به ۵- تا ۱۵- میلی‌متر می‌رسد. همچنین در نقشه کمبود آب در ماه مهر مشاهده می‌گردد که نواحی شرق و جنوب شرق و غرب حوضه با توجه به طول دوره‌ی مورد مطالعه، بطور میانگین دچار کمبود آب به مقدار ۷۰- تا ۹۰- میلی‌متر می‌باشند و از این نواحی به سمت مرکز و شمال حوضه از کمبود آب کاسته شده و کمبود آبی به حداقل می‌رسد. در ماه آذر نیز، کمبود آب نسبت به ماه مهر، کاهش می‌یابد. بنابراین حداکثر میزان کمبود آبی در ماه آذر در نواحی مرکزی و جنوب شرقی حوضه دیده می‌شود و در این نواحی کمبود آبی به ۵۰- تا ۷۰- میلی‌متر می‌رسد. همچنین حداقل میزان کمبود آبی در این ماه، در مناطق شمالی، غرب و جنوب غربی حوضه دیده می‌شود و در این مناطق، کمبود آبی به صفر تا ۵- میلی‌متر می‌رسد (شکل ۸). لازم به توضیح بوده که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، آبان، دی، بهمن و اسفند به دلیل وجود مازاد آب و عدم کمبود آب قابل توجه در سطح حوضه، نقشه‌سازی مربوط به کمبود آبی برای ماه‌های مذکور نمایش داده نشده است.

#### ۴-۴- پیش‌بینی ماهانه هیدرولوژیکی (مازاد و کمبود آب) با سناریوی RCP 4.5

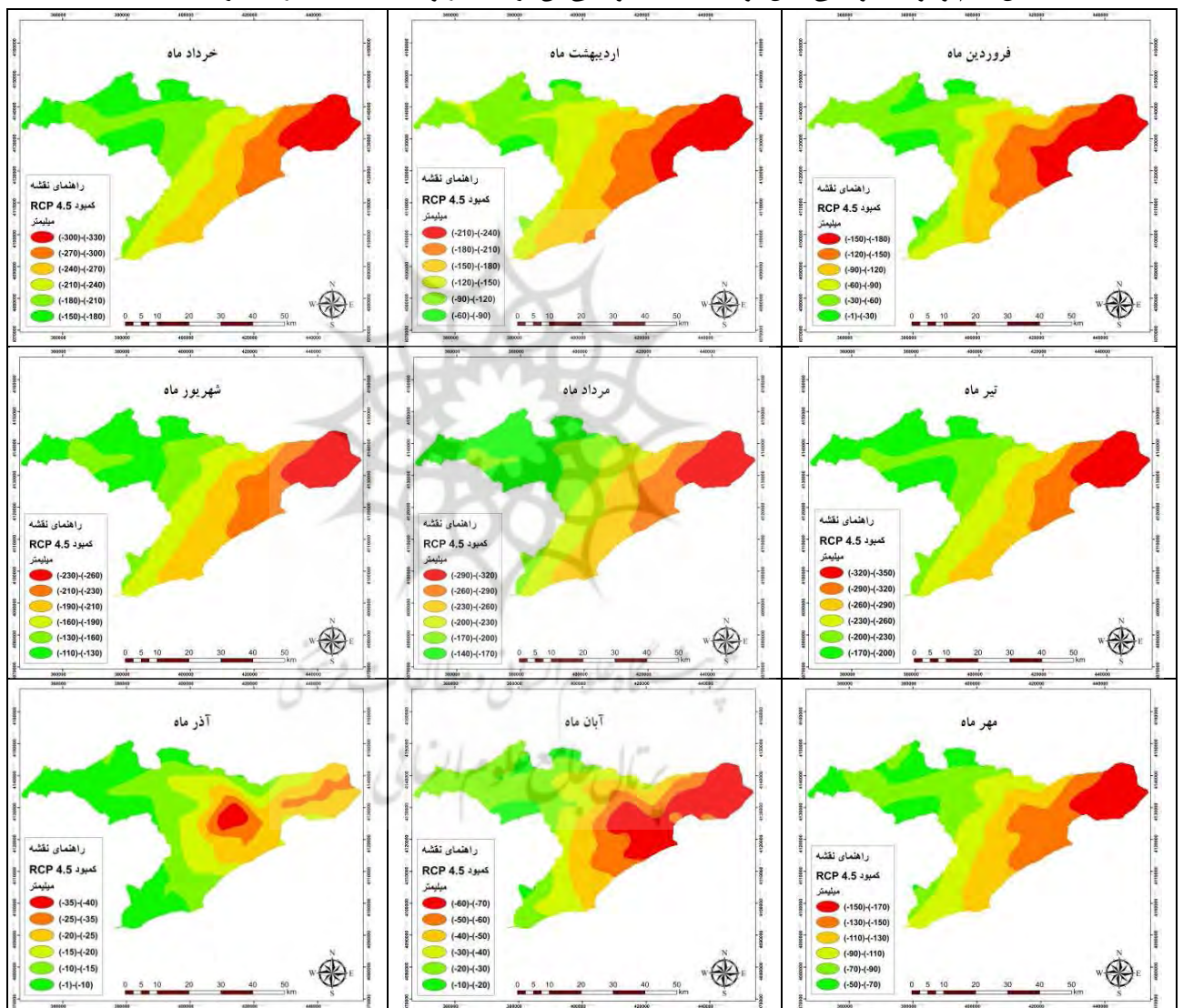
با توجه به (شکل ۹)، ملاحظه می‌گردد که برای دوره‌ی آینده صرفاً برای سه ماه دی، بهمن و اسفند مقادیر مازاد آبی کمی قابل توجه می‌باشد. از طرف دیگر برای سایر ماهها، مازاد آبی قابل توجهی مشاهده نریدید. لذا صرفاً خروجیهای این بخش برای این سه ماه متمرکز شده است. اما بیشترین مقدار مازاد آبی در دی ماه در مناطق مرکزی و جنوب غربی حوضه با متوسط ۵ تا ۶ میلی‌متر دیده می‌شود و در بقیه مناطق حوضه که دارای پهنای زیادی می‌باشد، مقادیر مازاد آبی بین صفر تا ۲ میلی‌متر می‌باشد. در بهمن ماه نیز، بیشینه‌ی مازاد آبی در غرب حوضه تمرکز یافته که مقادیر بیشینه‌ی طبقات آن در مقایسه با دی و اسفند چند میلی‌متر بیشتر می‌باشد. بطوری که در این ماه بیشینه طبقه مربوط به آستانه‌های ۸ تا ۱۰ میلی‌متر بوده اما برای دی و اسفند شامل ۵ تا ۶ میلی‌متر است. لازم به توضیح بوده که بیشینه‌ی طبقات مازاد آبی برای این سه ماه در مقایسه با دوره‌ی پایه‌ی آنها بشدت کاهش داشته است. بطوری که برای دوره‌ی پایه بیشینه مازاد آبی برای آستانه‌های ۳۰ تا ۳۵ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۹: نقشه پیش‌بینی مازاد آبی حوضه آبریز سد گلستان ۲ در ماه‌های دی، بهمن و اسفند با سناریوی RCP 4.5

اما با توجه به شکل (۱۰) که نقشه پیش‌بینی کمبود آبی حوضه آبریز سد گلستان ۲ با سناریوی RCP 4.5 را در دوره آتی نشان می‌دهد، در فروردین ماه بیشترین مقدار کمبود آب در شرق حوضه با متوسط ۱۵۰- تا ۱۸۰- میلی‌متر پیش‌بینی می‌شود و کمترین مقدار آن در غرب حوضه با متوسط ۱- تا ۳۰- میلی‌متر مشاهده می‌شود. همچنین در ماه اردیبهشت بیشترین کمبود آب در شرق حوضه به میزان ۲۱۰- تا ۲۴۰- میلی‌متر و کمترین مقدار کمبود آب در غرب حوضه با میزان ۶۰- تا ۹۰- میلی‌متر مشاهده شده است. در خرداد نیز بیشترین مقدار کمبود آب در شرق حوضه با طبقات ۳۰۰- تا ۳۳۰- میلی‌متر و کمترین مقدار آن در غرب حوضه به مقدار ۱۵۰- تا ۱۸۰- میلی‌متر پیش‌بینی می‌شود. با استناد به شکل (۱۰)،

که نقشه پیش بینی کمبود آب در ماه های تیر، مرداد و شهریور را با سناریوی RCP 4.5 نشان می دهد که برای تمامی این ماهها بیشینه ی کمبود آبی برای شرق حوضه بوده که مقدار آن از ۳۲۰ تا ۳۵۰- میلیمتر برای تیر، ۲۹۰- تا ۳۲۰- میلیمتر برای مرداد و ۲۳۰- تا ۲۶۰- میلیمتر برای شهریور متغیر می باشد. اما ملاحظه می گردد که در مقایسه با ماههای مختلف سال، بیشترین کمبود آبی در تابستان متمرکز شده است. بطوری که در فصل پاییز از شدت این کمبود آبی کاسته می شود. مصداق این واقعیت، وجود بیشینه کمبود آبی برای شرق حوضه با مقادیر به میزان ۱۵۰- تا ۱۷۰- میلیمتر در مهر، ۶۰- تا ۷۰- میلیمتر برای آبان و ۳۵- تا ۴۰- میلیمتر برای آذر ماه می باشد. در ماه های دی، بهمن و اسفند نیز به دلیل عدم وجود کمبود آبی قابل توجه، نقشه کمبود آبی آن برای سناریوی RCP 4.5 ارائه نگردید.



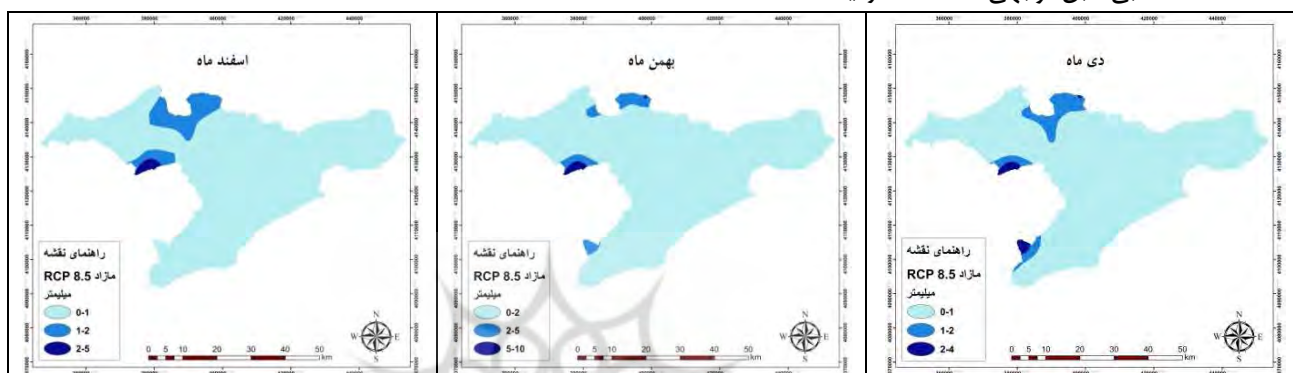
شکل ۱۰: نقشه پیش بینی کمبود آبی حوضه آبریز سد گلستان ۲ برای ماههای مختلف سال با توجه به سناریوی RCP 4.5

#### ۴-۵- پیش بینی ماهانه هیدرولوژیکی (مازاد و کمبود آب) با سناریوی RCP 8.5

در این بخش از تحقیق توزیع مکانی-زمانی کمبود و مازاد آبی برای ماههای مختلف سال با توجه به سناریوی RCP8.5 مورد واسنجی و تحلیل قرار گرفته شده است. با استناد به (شکل ۱۱)، که نقشه مازاد آبی ماه های دی، بهمن و اسفند را طی سال های ۱۳۹۱ تا ۱۴۲۸ نشان می دهد، ملاحظه می شود که حداقل مازاد آب در هر سه ماه بین صفر تا ۲ میلیمتر

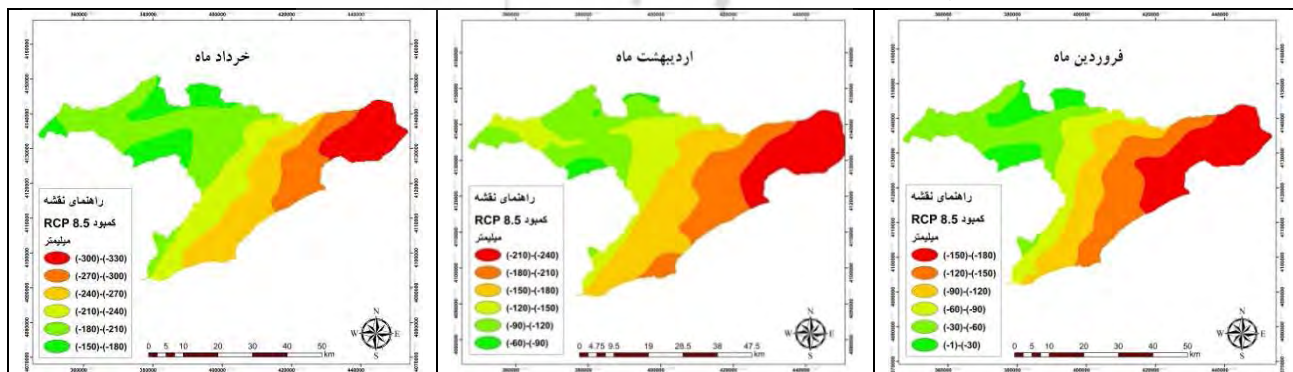


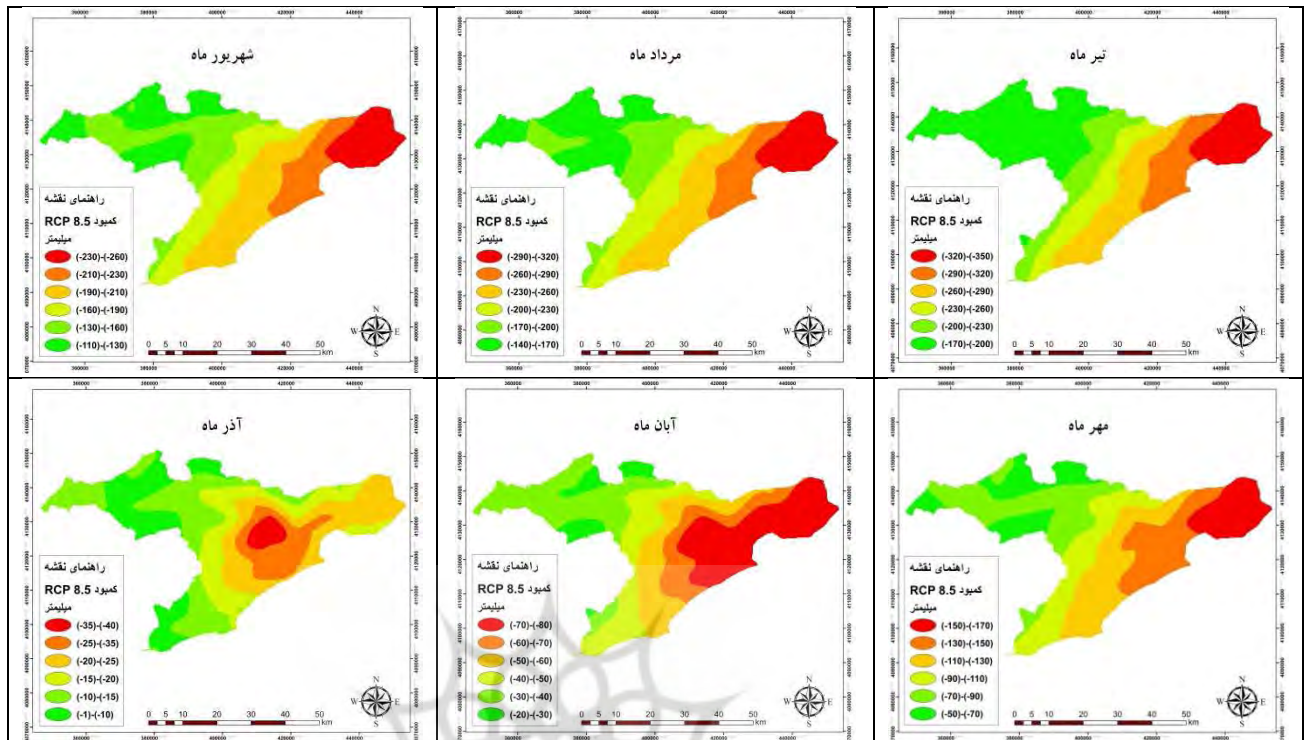
در شرق، غرب، شمال، جنوب و مناطق مرکزی حوضه پراکنده شده است. اما حداکثر مازاد آن در دی به طور متوسط ۲ تا ۴ میلیمتر، در بهمن ماه بین ۵ تا ۱۰ میلیمتر و در اسفند ماه بین ۲ تا ۵ میلیمتر بوده که پراکنش حداکثر مازاد آب در سطح حوضه در هر سه ماه مذکور به مناطق جنوب غربی و قسمت‌هایی از شمال حوضه محدود می‌شود. بنابراین با توجه به گرمایش جهانی و افزایش شدت تبخیر در طی دهه‌های آتی از مازاد آبی موجود در حوضه آبریز سد گلستان ۲ کاسته خواهد شد. بطوری که در مقایسه با سناریوی RCP4.5، مقادیر مازاد آبی برای این سه ماه کاهش داشته و کاهش آن نسبت به دوره‌ی پایه قابل توجه می‌باشد. نکته‌ی حائز اهمیت اینکه در ماه‌های فصول بهار، تابستان و پاییز هیچ پهنه‌ی مازاد آبی قابل توجهی مشاهده نگردید.



شکل ۱۱: نقشه پیش‌بینی مازاد آبی حوضه آبریز سد گلستان ۲ در ماه‌های دی، بهمن و اسفند با سناریوی RCP 8.5

در (شکل ۱۲)، نقشه کمبود آبی ۹ ماه از سال نمایش داده شده است. در تمامی این ماه‌ها، کمینه‌ی کمبود آبی برای نیمه غربی مشاهده می‌شود که حداقل کمینه‌ی آن از طبقه‌ی ۱- تا ۱۰- میلیمتر برای آذر ماه تا حداکثر کمینه‌ی ۱۷۰- تا ۲۰۰- میلیمتر برای تیرماه برای نیمه‌ی غربی حوضه ملاحظه می‌شود. اما با توجه به تمامی ماه‌های مطالعاتی، بیشینه‌ی کمبود آبی از لحاظ مکانی در نوار شرقی حوضه تمرکز یافته است. بطوری که بیشینه کمبود آبی برای نوار شرقی حوضه با طبقات رخداد ۳۲۰- تا ۳۵۰- میلیمتر برای تیرماه ملاحظه می‌شود و کمینه کمبود آبی برای نوار شرقی با طبقات رخداد ۳۵- تا ۴۰- میلیمتر به ماه آذر اختصاص یافته است. در مجموع الگوی مکانی پراکنش کمبود آبی برای سناریوی RCP8.5 با تفاوت جزئی مشابه RCP4.5 می‌باشد. حال آنچه قابل توجه می‌باشد، آنکه تغییرات این مولفه نسبت به دوره‌ی پایه گویای افزایش شدید کمبود آبی برای دوره‌ی آتی با توجه به سناریوی RCP8.5 است. لازم به توضیح بوده که در ماه‌های دی، بهمن و اسفند به دلیل عدم کمبود آب قابل توجه در سطح حوضه، نقشه مربوط به کمبود آب بر اساس سناریوی RCP 8.5 ارائه نگردید.





شکل ۱۲: نقشه پیش بینی هیدرولوژیکی کمبود آبی حوضه آبریز سد گلستان ۲ برای ماههای مختلف سال با توجه به سناریوی RCP 8.5

### بحث و نتیجه گیری

کشور ایران در منطقه ای خشک و نیمه خشک واقع شده و با بحران آب مواجه است. لذا پایش و پیش یابی بیابان آبی در حوضه های آبی مختلف آن می تواند گامی مهم در آمایش سرزمین و دسترسی به توسعه ی پایدار باشد. در مطالعه ی حاضر با استفاده از مدل بیابان آبی تورنت وایت، مازاد و کمبود آب در دسترس حوضه ی آبریز سد گلستان ۲ را برای دو دوره ی پایه (۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰) و آینده (۱۳۹۱ تا ۱۴۲۸) با استفاده از نتایج دو سناریوی تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 مورد ارزیابی قرار گرفته شد. اما پیش از مدلسازی تغییرات مازاد و کمبود آبی حوضه ی مطالعاتی، تغییرات دو مولفه ی بارش و دما برای دو دوره ی پایه و آینده مورد ارزیابی قرار گرفته شد. بگونه ای که نتایج این تحقیق نشان دادند که میانگین دمای پایه ی حوضه به میزان ۱۲٫۵۱ درجه سانتیگراد بوده که با توجه به سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 بترتیب میانگین سالانه ی دما به مقادیر ۱۶٫۶۰ و ۱۶٫۹۶ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت. نکته ی جالب توجه اینکه برای دوره ی پایه، بطور میانگین در هر دهه، ۰٫۱۹ صدم بر مقدار دما افزوده شده که این برای دوره ی آینده با توجه به سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 شامل مقادیر ۰٫۲۰ و ۰٫۳۸ صدم افزایش دما می باشد. در ادامه خروجیها برای تغییرات مولفه ی بارش، گویای روند کاهشی آن برای هر دو دوره ی مطالعاتی پایه و شبیه سازی شده می باشد، بطوری که برای دوره ی پایه، شیب کاهشی بارش معادل ۴۱- میلیمتر و برای RCP4.5 و RCP8.5 بترتیب شامل ۹- و ۱۸- میلیمتر در هر دهه خواهد بود. در نهایت خروجیهای تحقیق حاضر نشان می دهند که با توجه به میانگین درازمدت دوره ی پایه، میانگین کمبود آبی ۵۰٫۵- میلیمتر و مازاد آبی ۶۱ میلیمتر بوده، حال آنکه با توجه به گرمایش جهانی بر مبنای سناریوی RCP4.5، میانگین سالانه ی کمبود آبی ۶۹۴- میلیمتر و مازاد آبی آن ۲ میلیمتر می باشد. اما در خصوص واکاوی نتایج RCP8.5 بترتیب میانگین سالانه کمبود و مازاد آبی حوضه با مقادیر ۷۱۵- و ۱ میلیمتر شبیه سازی شده اند. از طرف دیگر یافته ها نشان دادند که روند کمبود آبی برای دوره ی پایه،  $r = -0.48$  برای سناریوی RCP4.5 شامل  $r = 0.27$  و برای سناریوی RCP8.5 شامل  $r = -0.65$  می باشد. بطوری که این روند نزولی بیان کننده ی تشدید کمبود

آبی برای دوره های اخیر و دهه های آینده می باشد. همچنین روند مزاد آبی حوزه نیز برای هر دو دوره ی پایه و آینده بصورت معناداری کاهش می باشد که مجموعاً این نتایج موید افزایش نیاز آبی حوزه در سالهای پیش روی خواهد بود. بنابراین انتظار می رود که با توجه به تغییرات اقلیمی آینده، حوضه ی آبریز سد گلستان ۲ دچار تنش کم آبی شدید گردد. لذا باید مدیریت ریسک در تخصیص منابع آبی برای فعالیتهای مختلف جامعه، بسمتی هدایت شود که چالشهای آبی پیش روی به بحران آبی مبدل نگردد و بتوان با اتخاذ سیاستهای مختلف از جمله سازگاری با تنشهای آبی آینده، اثرات منفی آن را کاهش داد.

### منابع و مأخذ

- اسکندری نیا، ا. (۱۳۸۷). "تاثیر عامل بارش پیشین در برآورد جریان رودخانه توسط مدل سازی هوشمند بارش-رواناب" مجموعه مقالات هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز، ایران، اردیبهشت ۱۳۸۸.
- ارشدی، محمد، پشتوان، حمید. (۱۳۹۱)، " گزارش های راهبردی سیاست های آبی (۱)، سازگاری مدیریت منابع آب با تغییر اقلیم " مرکز نشر مدیریت پایدار آب، شماره ۱.
- امیدوار، کمال، (۱۳۹۴). "منابع آب ایران". انتشارات دانشگاه یزد.
- بابائیان، ا. نجفی نیک، ز. حبیبی نوخندان، م.، زابل عباسی، ف.، ادب، ح. و ملیبوسی، ش. (۱۳۸۶). " مدل سازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G " کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب. ۲۴ بهمن ۱۳۸۶.
- بنیزی، مصطفی. (۱۳۹۰). " ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر سیل خیزی حوضه آبریز سد بوستان " ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان.
- بحری، معصومه. زاهدی، احسان. (۱۳۹۵). " بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی جریان سطحی رودخانه حوضه آبخیز آراز کوسه " نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۴۲.
- پرهیزکاری، ابودر. محمودی، ابوالفضل. شوکت فدایی، محسن. (۱۳۹۶). " ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس و تولیدات کشاورزی در حوضه آبریز شاهرود " تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۹، شماره ۱، (صص ۲۳-۵۰).
- ثقفیان، ب. و فرازجو ح. و سپهری ع. و نجفی نژاد ع. (۱۳۸۹)، " بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل خیزی حوضه آبریز سد گلستان " تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱ (پیاپی ۴).
- جعفری، محمد، (۱۳۸۹). " توابع آماری در نرم افزار Excel " دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران.
- خدایانه، لیلا، (۱۳۷۹). "تهیه بیلان و مدل ریاضی آب های زیرزمینی غرب رودخانه کن. " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- دهقانی پور، ا.ح.، حسن زاده، م.ج.، عطاری، ج. و عراقی نژاد، ش. (۱۳۹۰). " ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز) " یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. ۱۸-۲۰ بهمن ۱۳۹۰.
- زمردیان، محمدجعفر، (۱۳۹۲)، "کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه ریزی شهری و روستایی. " دانشگاه پیام نور.
- علیزاده، امین، (۱۳۸۵). "اصول هیدرولوژی کاربردی " انتشارات آستان قدس رضوی.
- فاتحی مرج، ا. و مهدیان م.ح. (۱۳۸۸)، " پیش بینی بارش پاییزه با استفاده از شاخص های انسو به روش شبکه عصبی در حوضه دریاچه ارومیه " پژوهش های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۸۴: ۴۲-۵۲.

- فرامرزی، م. عباس پور، ک، (۱۳۸۸). "طبقه بندی و مدل سازی آب های آبی و سبز و ذخایر آبی قابل دسترس در ایران." مجله پژوهش های هیدرولوژیکی، شماره ۲۳، صفحه ۴۸۶ تا ۵۰۱.
- قهرمان، بیژن، (۱۳۹۳). "پیش نویس دستورالعمل روش های محاسبه بیلان منابع آب." دانشگاه فردوسی مشهد.
- قربانی، خلیل. سهرابیان، الهه. سالاری جزی، میثم. عبدالحسینی، محمد. (۱۳۹۵). "پیش بینی اثر تغییر اقلیم بر روند دبی ماهانه رودخانه با بکاربردن مدل هیدرولوژیکی IHACRES (مطالعه موردی: حوضه آبریز گالیکش)" نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال پنجم، شماره چهارم.
- قادری، فرهاد و پورفلاح، سپیده، (۱۳۹۴). "بررسی کارایی سناریو جابجایی آب مازاد بین مراکز مصرف به منظور جبران کمبود آب در استان سیستان و بلوچستان" سومین کنفرانس بین المللی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- کریمی گوغری ش. و اسلامی، (۱۳۸۷). "پیش بینی بارندگی سالانه در استان کرمان با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی" مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲: ۱۲۳-۱۳۲.
- مهدوی، محمد، (۱۳۹۲). "هیدرولوژی کاربردی" جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران
- نصری، م. مدرس، ر. دستورانی، م.ت. (۱۳۸۸). "کاربرد مدل شبکه عصبی در برآورد رواناب، مطالعه موردی: حوضه آبریز پلاسجان." فصلنامه آمایش محیط، جلد ۲، شماره ۵: ۲۳-۳۷.
- نجفیان، سحر. یزدانی، محمدرضا. آذری، آرش. رحیمی، محمد. (۱۳۹۶). "تاثیر تغییر اقلیم بر روی دبی حداکثر روزانه تحت شرایط عدم قطعیت (حوضه دینور استان کرمانشاه)" نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و چهارم، شماره اول.
- براتیان، علی، ۱۳۷۶، ریخت شناسی حوضه آبی میان رودان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان
- شاهرخ وندی، سید منصور، ۱۳۷۶، هیدروژئومورفولوژی حوضه کهمان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- شایان، سیاوش، ۱۳۸۲، ویژگی های ژئومورفیک مخروط افکنه حوضه گاماسیاب، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، شماره ۶۱، ص ۳-۴.
- عطایی مقصود بیگی، خدیجه، ۱۳۷۸، هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز قره آقاج، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- Arnel, W. Nigel (1992). Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in humid temperate environmental, *Journal of hydrology*, 132.
- Cheng long Zhang, Fan Zhang, Shanshan Guo, Xiao Liu, Ping Guo, Inexact nonlinear improved fuzzy chance-constrained programming model for irrigation water management under uncertainty, *Journal of Hydrology*, Volume 556, January 2018, Pages 397-408.
- Dyck, S. 1983. Overveiw on the natural variability in the flow of the Nile River. *Water Ressources Research* 32, 13-17.
- Garcia, A, Sainz, A, Revilla, J, Alvarez, C, Juanes, J, Puente, A, (2008), "Surface Water Resources Assessment in Scarcely Gauged Basins in the North of Spain". *Journal of Hydrology*, 356:312-326.
- IPCC. 2007. "Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change". Cambridge university press, Cambridg.
- Knox J. W. Rodriguez Diaz J. Nixon D. and Mkhwanazi M, (2010). A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in Swaziland. "A gricultural systems. 103:63-72.

- Meenu, R., REHANA, S. and Mujumdar, P.P. (2012) Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga-Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM." *Hydrological Processes*. Published online in Wiley online Library. DOI: 10.1002/hyp.9220.
- Pumo, D., Arnone, E., Francipane, A., Caracciolo, D., Noto, L.V., Potential implications of climate change and urbanization on watershed hydrology, *Journal of Hydrology* (2017), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.002>.
- Reshmidevi T.V., Nagesh Kumar D., R.Mehrotra,A.Sharma, Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs, *Journal of Hydrology*, Volume 556, January 2018, Pages 1192-1204.
- Sajjad khan, M., Coulibaly, P. Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods." *Journal of Hydrology*. 319: 357-382.
- Vandewiele, G.I, Xu, C, Ni-Lar-Win, Y(1992). Methodology and comparative study of monthly water balance models in Belgium, china and Burma, *journal of hydrology*, 43.
- Weiguang Wang, Jian yu Fu, Global assessment of predictability of water availability: A bivariate probabilistic Budyko analysis, *Journal of Hydrology*, Volume 557, February 2018, Pages 643-650.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F. & Bussettini, M., 2013, A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI), *Geomorphology* 180–181: 96–108.
- Sheroder,2013, Interactions among Hydro geomorphology, Vegetation, And Nutrient Biogeochemistry in Flood Plain eco system, *Eco geomorphology*, 12.303-321.

