

## بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت سفیددشت)

ثمین انصاری<sup>۱\*</sup> - علیرضا مساح بوانی<sup>۲</sup> - عباس روزبهانی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۵

### چکیده

امروزه موضوع تغییر اقلیم و مشکلات ناشی از آن از بحران‌های اساسی مدیریت منابع آب می‌باشد و از طرف دیگر با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تامین آب می‌باشد تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر آب‌های زیرزمینی و تخمین دقیق میزان تغذیه آنها در دوره‌آتی ضرورت می‌یابد. در این تحقیق برای بررسی اثرات سناریوهای تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی، مطالعه موردی بر روی دشت سفیددشت واقع در حوزه آبریز مخزن چغاخور واقع در استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفته است. در راستای این هدف از یکی از مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو<sup>۴</sup> AOGCM با نام HadCM3 برای شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی دما و بارش تحت سناریوهای انتشار B1 و A2 در دوره‌آتی استفاده شد. همچنین به منظور ریز مقیاس نمائی داده‌های اقلیمی روزانه جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از مدل LARS-WG استفاده شد. برای شبیه‌سازی رواناب سطحی منطقه، مدل IHACRES با داده‌های ماهانه دما، بارش و رواناب مشاهداتی واسنجی گردید. در ادامه به منظور مدل‌سازی سطح آب زیرزمینی منطقه، مدل GMS در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار برای یک سال آبی واسنجی شده و سپس با استفاده از داده‌های چهار سال آبی صحت سنجی شد. نهایتاً رواناب تولیدی و بارش در دوره‌آتی تحت عنوان پارامتر تغذیه به مدل سفره آب زیرزمینی وارد شده و اثر تغییرات اقلیمی در سطح ایستابی زیرزمینی با شبیه‌سازی آبخوان نام برده توسط نرم افزار GMS<sup>۵</sup> مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که بارندگی در دوره‌آتی تحت سناریوی‌های B1 و A2 به ترتیب حدود ۲۶ و ۳۳ درصد افزایش خواهد داشت. همچنین در دوره‌آتی در انتهای دوره (سال ۲۰۳۵) میزان تجمعی تغذیه آب زیرزمینی در سناریوی A2 به B1 حدود ۱۰ متر مکعب بر ثانیه افزایش داشته که حاکی از افزایش اثرات تغییر اقلیم در سناریوی A2 نسبت به سناریوی B1 می‌باشد. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی این منطقه به منظور برنامه‌ریزی برای تعیین میزان بهره‌برداری از این منابع با لحاظ شرایط اقلیمی پیشرو در دوره آتی و ارائه راهکارهای سازگار با تغییر اقلیم جهت حفظ این منابع و مدیریت صحیح آبخوان به مدیران مربوطه کمک شایانی می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی آبخوان، سناریوهای اقلیمی، AOGCM، GMS، IHACREST، LARS-WG

### مقدمه

اقلیم نامیده می‌شود (۱۶). با توجه به گزارشات IPCC در سال ۲۰۰۷ (۱۰)، پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی اثرات قابل توجهی بر سامانه‌های مختلف نظیر منابع آب، کشاورزی، بهداشت و صنعت دارد. لذا افزایش پیوسته انتشار گازهای گلخانه‌ای این اثرات را تشدید خواهد کرد که از جمله این اثرات گرم‌تر شدن هوا، تغییر در الگوی بارش و ذوب برف و در نتیجه تغییر در دسترسی به آب شرب و کشاورزی می‌باشد. منابع آب زیرزمینی از طریق تعامل مستقیم با منابع آب سطحی مثل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و تعامل غیر مستقیم از طریق روند تغذیه، با پدیده تغییر اقلیم در ارتباط است. تغییرات اقلیم با تغییر در شرایط تغذیه ناشی از بارندگی و رواناب به صورت غیر

صنعتی شدن جوامع در چند دهه اخیر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای شده است. این افزایش سبب گرم‌تر شدن جو کره زمین می‌شود. گرم‌تر شدن کره زمین نیز به نوبه خود بر وضعیت اجزاء دیگر سیستم اقلیم تاثیر گذاشته و موجب وقوع تغییراتی در اقلیم می‌شود که تفاوت‌های اساسی با روند طبیعی این تغییرات دارد. این پدیده، تغییر

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران  
\* نویسنده مسئول: (samin\_ansari@ut.ac.ir)

تویس و آلن<sup>۷</sup> (۲۱) از سناریوهای تغییر اقلیم پیش‌بینی شده آتی از سه مدل GCM برای تعیین حساسیت تغذیه به مدل‌های مختلف اقلیمی در منطقه کشاورزی تحت آبیاری استفاده کرده و چگونگی برگشت آب آبیاری به تغذیه آب‌زیرزمینی تحت شرایط اقلیم جاری و آینده را مدل‌سازی کردند. پاسکال و همکاران<sup>۸</sup> (۵) جهت ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی از مدل هیدرولوژیکی سطحی و زیرسطحی در مقیاس بزرگ استفاده کردند. در این تحقیق شبیه‌سازی تغییر اقلیم از سناریوهای شش مدل اقلیم منطقه‌ای از سری سناریوی انتشار A2 (RCM) برگرفته شده است. برای سناریوی تغییر اقلیم مورد نظر، شبیه‌سازی‌های جریان سطحی و زیرسطحی نشان می‌دهد که افزایش چشمگیری در سطوح آب زیرزمینی صورت می‌پذیرد و میزان جریان آب سطحی تا سال ۲۰۸۰ (بین ۹ درصد تا ۳۳ درصد) افزایش پیدا می‌کند. جکسون و همکاران<sup>۹</sup> (۱۱) در تحقیق تحقیقی مدل‌سازی آثار تغییر اقلیم و تعیین عدم قطعیت آن را تحت سناریوی انتشار A2) بروی منابع آب‌زیرزمینی چالک در جنوب مرکزی انگلیس انجام دادند میانگین کل، یک کاهش ۴/۹ درصدی در تغذیه آب‌زیرزمینی سالانه را تا سال ۲۰۸۰ نشان می‌دهد.

پاسکال و همکاران (۶) در ادامه مطالعات خود مدل‌سازی اثرات تغییرات اقلیم را بر منابع آب‌زیرزمینی با استفاده از سناریوهای آب و هوایی تصادفی موقتی انجام دادند و ۳۰ سناریوی تغییر اقلیم را برای هر یک از شش مدل اقلیمی منطقه‌ای (RCMS) در حوضه Geer، بلژیک برای سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۸۵ تولید کردند در این مطالعه با استفاده از یک تولیدکننده تصادفی آب و هوا در ترکیب با مدل هیدرولوژیکی یکپارچه سطحی-زیرسطحی Hydro Geo Sphere استفاده شده است. این تحقیق نتایج واقعی‌تری را از پیش‌بینی سطح آب‌زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیمی آینده ارائه می‌دهد و نتایج نشان می‌دهد که با وجود بزرگ بودن فاصله اطمینان ۹۵٪ محاسبه شده اطراف سطح آب‌های زیرزمینی پیش‌بینی شده، اثرات تغییرات اقلیم بیشتر از تغییرات طبیعی آب و هوا تا سال ۲۰۸۵ می‌باشد.

راسل کروسبی و همکاران<sup>۱۰</sup> (۱۷) اثرات بالقوه تغییرات اقلیم را در تغذیه آب‌های زیرزمینی در آبخوان دشت‌های مرتفع ایالات متحده آمریکا مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه ۱۶ مدل اقلیم جهانی GCM و سه سناریوی گرم شدن کره زمین به منظور بررسی تغییرات در نرخ تغذیه آب‌های زیرزمینی در سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ مورد استفاده قرار گرفت و تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از خاک، پوشش گیاهی، جو و مدل انتقال WAVES برای انواع خاک و

مستقیم بر تخلیه و ذخیره آب زیرزمینی اثر می‌گذارند. تاکنون تحقیقات اندکی در این خصوص صورت گرفته که بر برخی از آنها اشاره می‌شود.

اکارت و آلبریت (۴) اثرات تغییر اقلیم را بر تغذیه آب زیرزمینی و جریان آبراهه‌ای در مرکز اروپا مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، تاثیرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی و جریان آبراهه‌ای در محدوده ارتفاعات پائین اروپا توسط مدل SWAT<sup>۱</sup>، و تحت دو سناریوی تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار گرفته است. نشان داده شد که در دوره‌های (۲۰۹۰-۲۰۷۰) در تابستان میانگین ماهانه تغذیه آب-زیرزمینی و جریان آبراهه‌ای تا ۵۰٪ کاهش پیدا می‌کند. برویر و داسارگوس<sup>۲</sup> (۳) بمنظور بررسی اثرات مستقیم پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی حوضه گیر<sup>۳</sup> در کشور بلژیک از داده‌های مدل‌های گردش عمومی CGCM1، HadCM2، ECHAM4 در سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰، ۲۰۹۹-۲۰۷۰ استفاده کردند. نتایج نشان داد ذخائر و سطح آب‌زیرزمینی این حوضه تحت اثرات تغییر-اقلیم در اکثر سناریوها کاهش خواهند یافت. در تحقیقی که توسط هولمن (۸)<sup>۴</sup> انجام گرفت، اثر تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی و روش روش Regis برای تخمین تغذیه آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. این روش آثار مستقیم و غیر مستقیم تغییر اقلیم و تغییرات اجتماعی اقتصادی و عدم قطعیت‌های موجود و نقص‌های بالقوه‌ای که در ارتباط با تعیین میزان تغذیه در آینده و مطالعات مدل‌سازی آب زیرزمینی وجود دارد، را شامل می‌شود. این محقق (۹) در تحقیقی دیگر از بخشی از روش Regis مربوط به تغذیه آب زیرزمینی و از مدل HadCM2 برای تولید سناریوهای اقلیمی استفاده کرد و تحت دو سناریوی انتشار پایین و بالا اقدام به پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در ۵۰ سال آینده نمود.

جیکاما و سایکس<sup>۵</sup> (۱۴) اثرات زمانی و مکانی تغییر اقلیم را بر تغذیه آب زیرزمینی در حوضه رودخانه گرنده واقع در کانادا مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، از پیش‌بینی‌های گزارش سوم IPCC جهت بررسی اثر تغییر اقلیم استفاده گردید. هشت سناریوی اقلیمی برای این منطقه بررسی گردید و با تغییر دادن پارامترهای ورودی مدل HELP3 مدل‌سازی انجام شد. نتایج نشان داد که تغییر بارندگی، بیشترین اثر را بر چرخه هیدرولوژیکی دارد، در حالی که تابش خورشیدی کمترین تاثیر را داشته است. تغذیه زیرزمینی تحت تمام سناریوها روند افزایشی داشته و تخییر-تغرق نیز در تمام موارد افزایش یافته است.

1- Soil and water assessment tool

2- Dassargues and Brouyere

3- Geer

4- Holman

5- Jyrkama and Sykes

6- Grand

7- Toews and Allen

8- Pascal Goderniaux

9- Christopher R. Jackson, Rakia Meister, Christel Prudhomme

10- Russell S. Crosbie

قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین تهاجم آب شور به سمت آب شیرین حدود ۳۹۰ متر بوده و تحت سناریوی A2 اتفاق می‌افتد و کمترین تهاجم آب شور به سمت آب شیرین حدود ۲۳۰ متر بوده و در سناریوهای A1B و B2 اتفاق می‌افتد.

با توجه به اهمیت اثرات تغییر اقلیم بر منابع تأمین آب به خصوص منابع با ارزش آب زیرزمینی، تحقیق در این زمینه ضروری می‌باشد. تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییر اقلیم و اثرات آن بر تغذیه ناشی از بارش و رواناب حاصل از آن بر سیستم‌های آب زیرزمینی در یک مطالعه موردی در منطقه اقلیم خشک سرد ایران، انجام گرفته است. در این منطقه برداشت‌های روزافزون برای مصرف آب کشاورزی موجب افت سطح آب در مرکز دشت شده که با انجام این تحقیق و تعیین وضعیت آبخوان تحت سناریوهای تغییر اقلیم در دوره آتی، می‌توان برنامه‌ریزی اصولی جهت کنترل برداشت و طرح‌های توسعه و علاج بخشی آبخوان در منطقه ارائه داد.

### منطقه مورد مطالعه

دشت سفیددشت، در استان چهارمحال و بختیاری قرار داشته و در محدوده طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۴ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). آب و هوای غالب در منطقه، آب و هوای کوهستانی و کوهپایه‌ای بوده و ارتفاع این دشت از سطح دریا بیش از ۲۰۰۰ متر می‌باشد. خروجی آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت سفیددشت از طریق رودخانه بیژگرد از محدوده مطالعاتی خارج می‌گردد. آبخوان سفیددشت در یک ناودیس متقارن که محور آن را می‌توان در امتداد تقریبی شمال- جنوب و در امتداد فرضی جاده شهرکرد- بروجن در نظر گرفت، گسترش دارد. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک و حفاری‌ها، عموماً در نواحی ورودی و شمالی دشت درصد عناصر درشت دانه‌تر بیشتر بوده و به سمت نواحی خروجی و جنوبی دشت به تدریج قطر ذرات کاهش می‌یابد.

### مواد و روش‌ها

#### ۳-۱-۱- اطلاعات پایه

#### ۳-۱-۱- مطالعات هیدروکلیماتولوژی

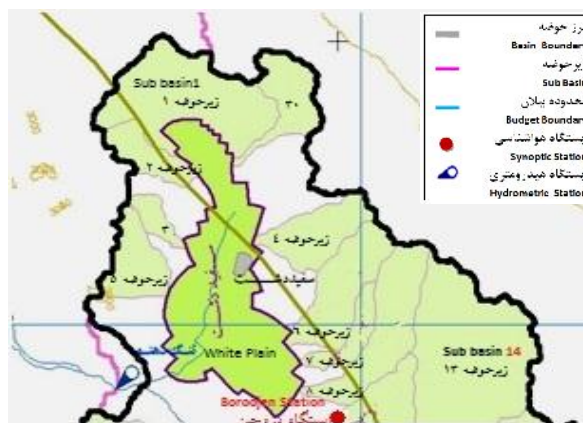
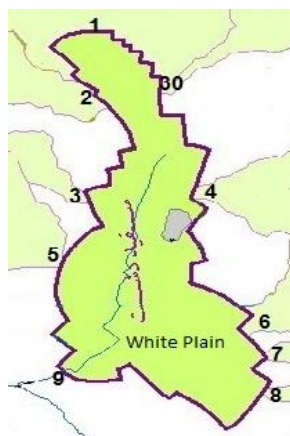
اطلاعات هواشناسی شامل باران سنجی، دماسنجی و اقلیم شناسی (رطوبت نسبی، روزهای یخبندان، ساعت‌های آفتابی، باد و تبخیر و تعرق) از ایستگاه سینوپتیک بروجن که نزدیک‌ترین ایستگاه به این محدوده می‌باشد، گردآوری شده است.

پوشش گیاهی مدلسازی شد. نتایج شامل افزایش تغذیه در دشت‌های مرتفع شمالی (+۸)، کاهش اندک در دشت مرتفع مرکزی (۳-) و کاهش بیشتری در دشت‌های مرتفع جنوبی (۱۰-) می‌باشد و همچنین مناطق با نرخ تغذیه بیشتر به تغییرات در بارش کمتر حساس می‌باشند.

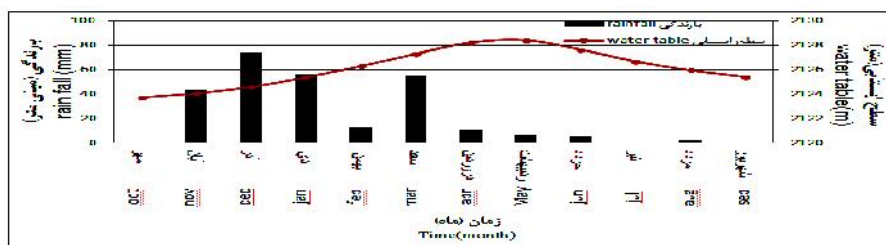
بارت کوری لایک و کری مک کواری<sup>۱</sup> (۱) عدم قطعیت در تخمین تغذیه آب زیرزمینی در دوره‌آتی در شرق کانادا را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق هفت سناریوی اقلیمی ریزمقیاس شده از انتخاب و ترکیب مدل‌های GCM و سناریوهای انتشار و روش‌های ریزمقیاس نمایی تولید شده‌اند و برآورد تغذیه دوره‌آتی به وسیله مدل HELP3 برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت این هفت سناریو صورت گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که تغذیه پیش‌بینی شده نسبت به تغییر در روش‌های ریزمقیاس نمایی و مدل‌های GCM از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشد. تغییرات متوسط تغذیه سالانه از ۵۸٪ افزایش تا ۶٪ کاهش نسبت به دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۰۰ متفاوت بوده است. با توجه به رنج وسیع اعداد حاصل روش‌های احتمالاتی جهت بهبود نتایج پیشنهاد گردیده است.

در تحقیقی دیگر بارت کوری لایک و همکاران (۲) تاثیر بالقوه تغییرات اقلیمی در زمان بندی، مقدار و درجه حرارت تخلیه آب‌زیر زمینی سفره‌های آب آزاد کم عمق دچار انجماد و ذوب شدن فصلی را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق هفت سناریوهای اقلیمی ریزمقیاس شده در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با اجرای مدل‌های ForHyM2 و HELP3 جهت پیش‌بینی دمای روزانه سطح زمین و تغذیه آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. سپس شرایط سطحی تحت عنوان شرایط مرزی برای شبیه‌سازی زیر سطحی به کار برده شده و شبیه‌سازی زیرسطحی توسط مدل SUTRA اصلاح شده برای فرآیندهای ذوب و انجماد دینامیک انجام شده است. شبیه‌سازی SUTRA افزایش بالقوه ای را در مقدار (تا ۳۴٪) و در درجه حرارت (۳/۶ °C) تخلیه آب زیرزمینی به رودخانه مجاور در طول ماه‌های تابستان نشان داد که به سبب افزایش در درجه حرارت هوا و بارش پیش‌بینی شده می‌باشد همچنین نشان داده شده است که پاسخ حرارتی آب‌های زیرزمینی به تغییرات اقلیمی به شدت وابسته به ابعاد آبخوان می‌باشد.

طوفان تبریزی و همکاران (۲۰) در تحقیقی آثار تغییر اقلیم را بر منابع آب زیرزمینی شیرین در مناطق ساحلی مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق ناحیه اختلاط بین آب شور و شیرین در آبخوان دیر-کنگان واقع در استان بوشهر با استفاده از مدل‌های MODFLOW و MT3DMS شبیه‌سازی گردید و اثر تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار (A2، A1B و B1) مدل HadCM3 در دوره آتی مورد بررسی



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی دشت سفید دشت به همراه محدوده بیلان آب زیرزمینی شکل ۲- نقاط آبدهی ورودی و خروجی Figure 2- Input and output discharge points Figure 1- Thelocation of White Plain case study and groundwater balance area



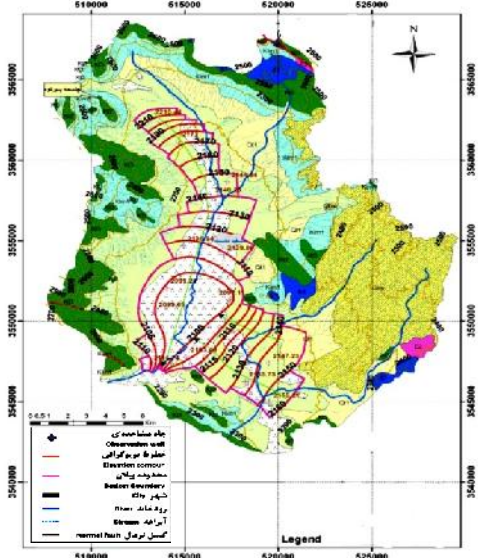
شکل ۳- هیدروگراف واحد آب زیرزمینی سفید دشت در سال ۸۴-۱۳۸۳ Figure 3- Unit hydrograph of White Plain groundwater in 2004- 2005

### ۳-۱-۲- منابع و مصارف آب

منابع آب مورد استفاده در دشت سفید دشت ترکیبی از منابع آب سطحی و زیرزمینی می باشد که عمدتاً برای مصارف کشاورزی استفاده می شود. چاه های در دست بهره برداری در قسمت های میانی دشت بیشتر از حواشی دشت می باشد. قنوات محدوده بیشتر در قسمت های شمالی و جنوب شرقی دشت متمرکز هستند. در مجموع ۲۱۰ حلقه چاه برای مصارف کشاورزی، ۴ حلقه چاه جهت مصارف شرب و ۹ حلقه چاه جهت مصارف صنعتی می باشد و تعداد قنوات دایر ۱۲ رشته گزارش شده است (۱۵). انتخاب محدوده بیلان آب زیرزمینی بر اساس مواردی نظیر جان مائی چاه های مشاهده ای، محل های تجمع چاه های بهره برداری، زمین شناسی محدوده مطالعاتی و خطوط هم تراز آب زیرزمینی صورت گرفته است. سطح محدوده بیلان برای سال آب ۸۴-۱۳۸۳ برابر با ۸۴/۸۲ کیلومتر مربع برآورد شده است.

متوسط بارندگی سالانه در دشت سفید دشت برابر ۳۶۱ میلی متر و دمای متوسط سالانه حدود ۱۱/۴ درجه سانتی گراد برآورد شده است. اطلاعات هیدرولوژی شامل شبکه آب سنجی و محاسبه آبدهی از ایستگاه های هیدرومتری محدوده بدست آمده است. ارتفاعات حوضه آبریز با توجه به رواناب های سطحی ایجاد شده به تعدادی زیر حوضه تقسیم می گردد که شکل ۱ موقعیت این زیرحوضه ها را نشان می دهد. در راستای برآورد آبدهی در محل های مورد نظر، آبدهی ایستگاه های مجاور بررسی شده است (شکل ۲). در شکل ۲ نقطه ۹ نقطه خروجی دشت و بقیه نقاط ورودی به دشت از آب های سطحی هستند.

ویژگی های هیدروژئولوژیکی آبخوان از تهیه هیدروگراف واحد (شکل ۳)، نقشه تراز متوسط آب زیرزمینی و نقشه هدایت هیدرولیکی حاصل می گردد. با در دست داشتن آمار ماهانه ۱۴ حلقه چاه مشاهداتی نقشه تراز متوسط آب زیرزمینی برای سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ ترسیم می گردد (شکل ۴) و با داشتن نقشه قابلیت انتقال (حاصله از آزمایش پمپاژ T) و ضخامت لایه خروجی از نرم افزار GIS، نقشه هدایت هیدرولیکی k بدست می آید.



شکل ۴ - نقشه تراز متوسط آبخوان سفید دشت در سال ۸۴-۱۳۸۳  
Figure 4- Groundwater contour map of Sefid-dashti aquifer in 2004- 2005

به ترتیب برای دوره‌های مرطوب و خشک و نفوذ حاصل از رواناب- های با ضرایب ۱۰ و ۷ درصد به ترتیب برای دوره‌های مرطوب و خشک.

– نفوذ آب‌های برگشتی از مصارف چاه‌های بهره‌برداری کشاورزی با ضرائب نفوذ ۲۴ و ۱۸ درصد به ترتیب برای دوره‌های مرطوب و خشک، نفوذ آب‌های برگشتی از ۶۵ درصد مصارف چاه‌های بهره‌برداری شرب، نفوذ آب‌های برگشتی از ۵۰ درصد مصارف چاه‌های بهره‌برداری صنعتی و نفوذ آب‌های برگشتی از مصارف قنوات در حال بهره‌برداری برای مقاصد کشاورزی با ضرائب نفوذ ۱۰ و ۲۰ درصد به ترتیب برای دوره‌های مرطوب و خشک. همچنین عوامل موثر زیر در تخلیه از آبخوان سفیددشت شناسایی شده‌است:

- تخلیه جبهه‌های خروجی آب‌برزمینی از محدوده بیلان: مقادیر جبهه‌های خروجی زیرزمینی از محدوده بیلان از طریق ۱ مقطع خروجی جریان آب‌برزمینی با استفاده از رابطه داری محاسبه می‌گردد.
- تخلیه چاه‌های کشاورزی، شرب و صنعت به ترتیب به میزان ۵۵/۵، ۱/۸ و ۲/۶ میلیون متر مکعب و میزان ۱/۲۶ میلیون متر مکعب در سال تخلیه از قنوات کشاورزی.

### ۳-۲- مدل آب زیرزمینی GMS

در این تحقیق از برنامه رابط GMS برای برقراری رابطه بین نرم افزار GIS و کد MODFLOW به منظور ساخت مدل مفهومی

### ۳-۱-۳- بیلان آب زیرزمینی در محدوده مورد بررسی

معادله کلی بیلان آب‌برزمینی به صورت رابطه ۱ اعمال می‌شود:

$$\Delta V = Q_{in} - Q_{out} \quad (1)$$

که در آن  $Q_{in}$  مجموع عوامل موثر در تغذیه،  $Q_{out}$  مجموع عوامل موثر در تخلیه آبخوان و  $V$  تغییرات حجم ذخیره آب در آبخوان در طول دوره بیلان می‌باشد. از طرفی مقدار تغییرات حجم مخزن آب‌برزمینی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta V = \pm SA\Delta h \quad (2)$$

که در آن  $S$  آبدهی ویژه بر حسب درصد و بدون بعد،  $A$  سطح آبخوان بر حسب کیلومتر مربع و  $\Delta h$  عبارت است از متوسط تغییرات سطح آب محدوده بیلان بر اساس هیدروگراف واحد محدوده بیلان که در شکل ۳ ارائه شده است بنابراین  $S$  بر اساس تراز کردن موارد تغذیه و تخلیه در بیلان با استفاده از روابط (۱) و (۲) برابر با ۶٪ تعیین شده است. در خصوص منطقه مورد مطالعه عوامل زیر در تغذیه آبخوان دشت شناخته شده‌اند:

الف) تغذیه از جبهه‌های ورودی آب‌برزمینی: مقدار جریان زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان، با استفاده از نقشه تراز متوسط سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ و نقشه قابلیت انتقال و اندازه‌گیری طول هر یک از مقاطع و گرادیان هیدرولیک و معادله داری تعیین شده است.

تغذیه سطحی شامل

نفوذ مستقیم ریزش‌های جوی با ضرایب نفوذ ۱۵ و ۱۰ درصد

۱۳۸۳ به صورت زون‌بندی به مدل وارد و در طی عملیات واسنجی، تدقیق می‌شوند. در حالت غیر ماندگار تغییرات ماهانه آبخوان بررسی می‌گردد. خروجی مدل در حالت ماندگار (هدایت هیدرولیکی) مبنای حالت غیر ماندگار قرار می‌گیرد. تراز سطح آب در چاه‌های مشاهداتی برای ۱۲ ماه سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ استخراج گردیده، نقشه تراز سطح آب در مدل برای هر ماه تهیه و مقادیر مرزی به مدل وارد شده است. پارامترهای آبدهی ویژه و تغذیه در ۱۲ ماه سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ برای ۱۴ پیژومتر واسنجی شده‌اند و در محل هر یک پیژومترها مقادیر خطای نهائی شبیه‌سازی بدست می‌آید.

**مرحله صحت‌سنجی:** عملیات تصدیق مدل از سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ تا سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ به مدت ۴ سال انجام می‌شود آبخوان دشت سفیددشت توسط مدل آب‌های زیر زمینی GMS شبیه‌سازی و نتایج آن با داده‌های مشاهداتی آبخوان مقایسه می‌گردد.

### ۳-۳- استخراج داده‌های اقلیمی و تولید سناریوهای تغییر اقلیم

#### ۳-۳-۱- تولید سناریوهای اقلیمی ماهانه از مدل‌های AOGCM

با توجه به مطالعات صورت گرفته معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوس (AOGCM) می‌باشند (۲۲). در این تحقیق از یکی از مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو با نام HadCM3 تحت سناریوهای انتشار گاز گلخانه‌ای A2 و B1 برای پیش‌بینی تغییرات اقلیم منطقه استفاده می‌شود. مجموعه داده‌های دما و بارش مربوط به منطقه در دوره‌های ۲۱ ساله پایه (۲۰۰۸-۱۹۸۸) و آینده (۲۰۳۵-۲۰۱۵)، از طریق مرکز توزیع داده IPCC قابل دسترسی می‌باشند.

برای بررسی عملکرد این مدل در شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش منطقه، مقادیر میانگین ماهانه دما و بارندگی شبیه‌سازی شده توسط این مدل در دوره پایه با مقادیر مشاهداتی متناظر ایستگاه مورد مطالعه در همان دوره مقایسه گردید شکل‌های (۵ و ۶)، با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که مدل، میانگین دمای ماهانه را نسبت به میانگین بارش ماهانه، بهتر شبیه‌سازی کرده است.

جهت بررسی عملکرد مدل از سه معیار ضریب همبستگی<sup>۱</sup> (r)، جذر میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (RMSE) و متوسط خطای مطلق<sup>۳</sup> (MAE) استفاده شده است. مقادیر معیارهای عملکرد مدل HadCM3 برای شبیه‌سازی بارش و دما در جدول (۱) ارائه شده است.

و عددی آبخوان استفاده می‌شود. مدل عددی GMS بر پایه حل معادله حرکت آب‌های زیرزمینی می‌باشد به طوری که حرکت سه بعدی آب زیرزمینی با چگالی ثابت بوسیله معادله دیفرانسیل جزئی (رابطه ۳) با استفاده از روش تفاضل محدود و بر اساس معادله پیوستگی حل می‌شود (۷).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right] = \frac{\partial}{\partial y} \left[ k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right] - w = s_s \quad (3)$$

که در آن K هدایت هیدرولیکی، h بار پتانسیل، W بیانگر شار حجمی در واحد حجم - نشانگر تغذیه و تخلیه آب،  $s_s$  ذخیره مخصوص مواد متخلخل و t زمان می‌باشد.

### ۳-۲-۱- مدل مفهومی و عددی آبخوان سفیددشت

ساختار مدل مفهومی آبخوان سفیددشت شامل محدوده‌ی مدل‌سازی و توزیع اولیه پارامترهای هیدروژئولوژیکی (هدایت- هیدرولیکی و آبدهی ویژه)، تخلیه چاه‌های بهره‌برداری و میزان آب برگشتی آن‌ها، چاه‌های مشاهداتی، قنوت و چشمه‌ها، میزان تغذیه از سطح به آبخوان و شرایط مرزی آبخوان است. در این تحقیق مدل‌سازی برای یک سیستم آب زیرزمینی یک لایه انجام شده است و محدوده مدل‌سازی منطبق بر محدوده بیان آب زیرزمینی می‌باشد. مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی بر اساس مقادیر قابلیت انتقال آب خوان و مقادیر اولیه پارامتر آبدهی ویژه با توجه به دانه‌بندی به صورت زون‌بندی در نظر گرفته شده است.

میزان آب برگشتی با توجه به ضرایب آب برگشتی به صورت نقطه‌ای به آبخوان تزریق شده است. برای تهیه نقشه اولیه تغذیه از سطح، بر اساس رواناب‌های وارده از زیر حوضه‌های اطراف زون‌بندی انجام گرفته است. با احتساب ضرایب نفوذ، مقادیر تغذیه (بارندگی و رواناب) برای هر زون وارد می‌شود. مرزهای مدل مفهومی شامل مرزهای هد مشخص و مرزهای منطبق بر خطوط جریان می‌باشند. به کمک مدل GMS، مدل مفهومی به صورت خودکار به مدل عددی تبدیل و کلیه عوامل مؤثر در تغذیه و تخلیه آبخوان به مدل عددی وارد می‌شوند.

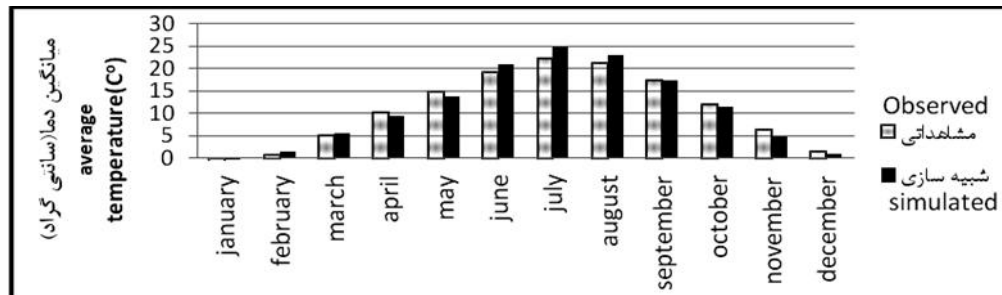
**مرحله واسنجی:** در مرحله واسنجی، پارامترهای ورودی مدل شامل داده‌های هیدرولیکی و هیدرودینامیکی تا تطابق قابل قبول بین سطح آب زیرزمینی مشاهده‌ای در پیژومترها و سطح آب زیرزمینی محاسبه شده بوسیله مدل تنظیم می‌شوند و واسنجی به دو صورت ماندگار و غیر ماندگار انجام می‌شود. در حالت ماندگار متوسط روزانه پارامترهای تغذیه و تخلیه و متوسط تراز سطح آب به مدل وارد گردیده است. مقادیر هد در سلول‌های مرزی بر اساس نقشه‌ی تراز متوسط سطح آب سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ محاسبه شده و به مدل وارد شده است. پارامترهای هدایت هیدرولیکی و تغذیه سال آبی ۸۴-

1- Correlation Coefficient  
2- Root Mean Square Error  
3- Mean Absolute Error

جدول ۱- عملکرد مدل HadCM3 برای شبیه سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش

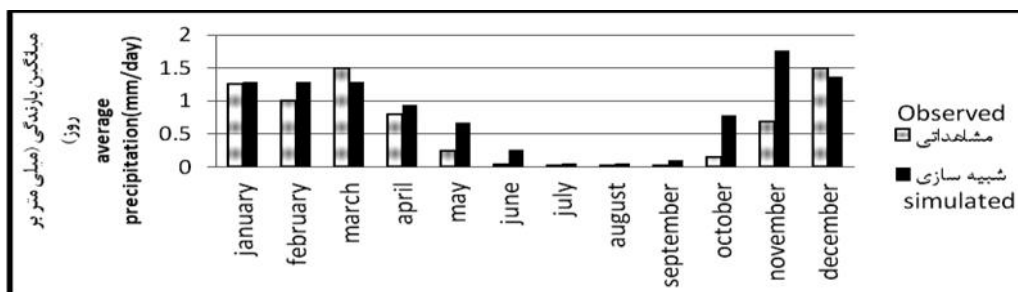
Table 1- HadCM3 model Performance to simulate temperature and precipitation of climate parameters

پارامترهای اقلیمی	MAE	RMSE
Precipitation بارش	0.82	0.41
دما Temperature	0.99	1.36



شکل ۵- میانگین ۲۱ ساله ماهانه دمای مشاهداتی معرف حوضه و مدل HadCM3

Figure 5- 21-year average of basin and HadCM3 model observed monthly temperature



شکل ۶- میانگین ۲۱ ساله ماهانه بارندگی مشاهداتی معرف حوضه و مدل HadCM3

Figure 6- The average of 21 years of basin and HadCM3 model observed monthly precipitation

برای هر سلول از شبکه محاسباتی به صورت جداگانه تحت سناریوی انتشار A2 و B1 محاسبه می شود (۱۳). در جداول (۲) و (۳) به ترتیب سناریوی های تغییر اقلیم دما و بارش تحت سناریوی انتشار A2 و B1 ارائه شده است.

### ۳-۲- تولید سناریوهای تغییر اقلیم

برای ایجاد سناریوی تغییر اقلیم در مدل HadCM3 مقادیر اختلاف دما و نسبت بارندگی بین میانگین ماهانه ۲۱ سال در دوره های آتی (۲۰۳۵-۲۰۱۵) و دوره شبیه سازی شده پایه (۲۰۰۸-۱۹۸۸)

جدول ۲- سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما (درجه سانتی گراد) برای میانگین بلند مدت ۲۱ ساله تحت سناریوی A2 و B1

Table 2- Climate change scenarios for temperature (° C) for 21-year long-term average (A2, B1)

سناریو Scenario	ماه (Month) دوره (Period)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
		A2	1988-2008	-0.21	1.53	5.49	9.52	13.87	21.03	24.85	22.93	17.38	11.54
	2015-2035	0.18	1.92	6.22	10.16	14.93	21.74	25.42	23.69	18.26	12.82	5.27	1.43
	t	0.39	0.39	0.73	0.63	1.06	0.71	0.56	0.76	0.88	1.29	0.50	0.56
B1	1988-2008	-0.21	1.53	5.49	9.52	13.87	21.03	24.85	22.93	17.38	11.54	4.77	0.87
	2015-2035	0.42	2.14	5.57	9.05	14.31	21.44	25.38	24.02	17.73	12.08	4.37	0.99
	t	0.63	0.6	0.08	-0.47	0.44	0.41	0.53	1.09	0.35	0.54	-0.4	0.13

جدول ۳- سناریوی تغییر اقلیم مربوط به بارش (میلی متر بر روز) برای میانگین بلند مدت ۲۱ ساله تحت سناریوی A2 و B1

Table 3- Climate change scenarios for precipitation ( $^{\circ}$  C) for 21-year long-term average (A2, B1)

سناریو Scenario	ماه (Month) دوره (Period)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
		A2	1988-2008	1.29	1.29	1.29	0.95	0.67	0.26	0.05	0.05	0.10	0.78
	2015-2035	1.48	1.20	1.57	1.14	0.59	0.26	0.07	0.06	0.13	0.79	1.76	1.61
	p	1.15	0.93	1.22	1.21	0.88	0.97	1.42	1.04	1.38	1.01	1.00	1.18
B1	1988-2008	1.29	1.29	1.29	0.95	0.67	0.26	0.05	0.05	0.10	0.78	1.77	1.37
	2015-2035	1.38	1.31	1.53	1.44	0.70	0.26	0.09	0.05	0.14	0.74	1.89	1.73
	p	1.08	1.02	1.19	1.52	1.04	0.98	1.70	0.83	1.48	0.95	1.07	1.26

(۲۰۱۵) فایل سناریوی تغییر اقلیم مربوط به مدل B2 و HADCM3- A2 به مدل وارد گردید. این فایل تغییرات نسبی در بارندگی ماهانه و تغییرات مطلق در دمای حداقل و حداکثر ماهانه دوره آبی نسبت به دوره پایه می باشد. با معرفی این فایل و تعیین تعداد سال های تولید داده، ۱۰ سری ۲۱ ساله از دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش روزانه بر اساس نتایج مدل HADCM3 تحت دو سناریو در دوره ۲۰۳۵-۲۰۱۵ و جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت های حاکم تولید می گردد.

#### ۳-۴- شبیه سازی رواناب تحت سناریوهای تغییر اقلیم

در این تحقیق به منظور شبیه سازی رواناب حوضه با استفاده داده های دما و بارندگی آبی مربوط به سناریوهای تغییر اقلیم از مدل IHACRES استفاده شد. ساختار مفهومی این مدل شامل یک مدول غیر خطی کاهش<sup>۲</sup> و یک مدول خطی هیدروگراف<sup>۳</sup> می باشد. به این منظور در ابتدا بارندگی و دما در هر گام زمانی توسط مدول غیر خطی، به بارندگی موثر تبدیل شده و سپس به وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می شود (۱۲). شکل (۷) چگونگی شبیه سازی بارش- رواناب توسط مدل IHACRES را نشان می دهد.

**واسنجی مدل:** جهت واسنجی مدل می بایست بهترین دوره که در آن بهترین ارتباط بین دما و بارش مشاهداتی ایستگاه بروجن و رواناب مشاهداتی حوضه برقرار می گردد را انتخاب نمود. بدین منظور داده های دما در فایل \*.tem\* و بارش و دبی مشاهداتی منطقه در فایل \*.dat\* به مدل معرفی شده و سپس مقادیر پارامترهای w ثابت زمانی خشک شدن حوضه<sup>۴</sup> و f فاکتور تعدیل دما<sup>۵</sup> و دوره زمانی برای واسنجی در مدل تغییر داده می شود و عملکرد مدل با دو معیار ضریب تعیین R<sup>2</sup> و |Bias| بین رواناب مشاهداتی و شبیه سازی شده بررسی و مدل برای بهترین دوره به ازای بالاترین R<sup>2</sup> و |Bias| واسنجی شده و مقادیر w و f برای بهترین عملکرد مدل انتخاب می شود.

#### ۳-۳- ریزمقیاس نمایی<sup>۱</sup> و تولید سناریوهای اقلیمی روزانه توسط مدل LARS-WG

به جهت بزرگ بودن مقیاس سلول های محاسباتی نسبت به وسعت منطقه مطالعاتی، قدرت تفکیک مکانی کم مدل- های AOGCM و عدم قطعیت بزرگ در این مدل ها، کوچک مقیاس نمودن لازم و ضروری است. در این تحقیق به منظور ریزمقیاس نمایی داده ها جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه ای از سناریوهای اقلیمی مدل های AOGCM از مولد آب و هوای تصادفی LARS-WG برای شبیه سازی داده های جوی استفاده شده است (۱۸).

**واسنجی مدل:** در ابتدا مشخصات ایستگاه (نام، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) و داده های مشاهداتی ۲۱ ساله از ۲۰۰۸-۱۹۸۸ شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی به مدل وارد گردید. در طی عملیات واسنجی، مدل با استفاده از فایل های ورودی و تحلیل داده های ایستگاه، مشخصه های آماری (پارامترهای آماری داده های مشاهده شده و آماره های مربوط به داده های مشاهده شده) را تعیین نموده و در مرحله صحت سنجی و تولید سری های زمانی استفاده می کند.

**صحت سنجی مدل:** در این مرحله داده های تولید شده با فرض اینکه هیچ گونه تغییر اقلیمی وجود ندارد برای هر تعداد سال براساس فایل پارامتر ایستگاه منتخب تولید می شود و سپس از آن مشخصه های آماری داده های هواشناسی مشاهده شده و تولید شده مقایسه می گردند. در این مدل مقایسه بین داده های مشاهده شده و تولید شده با استفاده از طریق آزمون کای- اسکوتر برای توابع احتمالاتی، آزمون آماری t استیودنت برای میانگین ها و آزمون F فیشر برای انحراف از معیار انجام می شود.

**تولید داده های هواشناسی:** این مرحله شامل شبیه سازی داده های هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش) برای هر تعداد سال دلخواه بر طبق سناریوی تغییر اقلیم مد نظر می باشد (۱۹). برای تولید سری های زمانی روزانه دما و بارش در آینده (دوره ۲۰۳۵-۲۰۱۵)

2- Non- linear loss module  
3- Linear unit hydrograph module  
4- Catchment drying time constant  
5- Temperature modulation factor

1- Downscaling



سناریوی A2 و B1 محاسبه شده است. در مرحله بعد جهت بررسی تراز سطح آب در آبخوان با استفاده از مدل آب‌های زیرزمینی که در ابتدای بخش روش‌شناسی معرفی شد، تغذیه دوره‌آبی به صورت ماهانه و زون‌بندی به مدل وارد شده است.

### نتایج و بحث

#### ۴-۱- نتایج واسنجی مدل بارش- رواناب IHACRES

در واسنجی مدل IHACRES مقادیر  $w=6$  و  $f=7/7$  به ازای بهترین عملکرد مدل حاصل گردیده و در دوره صحت‌سنجی عملکرد مدل تایید شد. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی در جدول (۴) ارائه شده است.

شکل‌های (۸) و (۹) وضعیت عملکرد مدل IHACRES را در دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌های ۱۳ و ۱۴ مشاهده می‌شود مدل IHACRES در شبیه‌سازی رواناب، مقادیر حداقل را به خوبی شبیه‌سازی کرده است و اگر چه مقادیر حداکثر در دوره صحت‌سنجی خیلی خوب شبیه‌سازی نشده اما در مجموع دارای ضریب نش و عملکرد قابل قبولی می‌باشد.

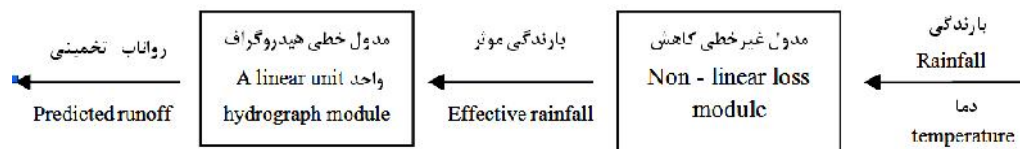
**صحت‌سنجی مدل:** مدل با پارامترهای  $w$  و  $f$  حاصل از دوره واسنجی در دوره دیگری صحت‌سنجی شده و به ازای  $R^2 > 0.7$  دقت آن در شبیه‌سازی بارش رواناب تایید شده است.

#### تولید رواناب دوره آبی

در نهایت با استفاده از داده‌های دما و بارش تولیدشده توسط LARS-WG برای سناریوی A2 و B1 و با اجرای مدل شبیه‌ساز IHACRES، سری رواناب ماهانه در بازه زمانی (۲۰۳۵-۲۰۱۵) برای دو سناریوی A2 و B1 شبیه‌سازی شده است که نتایج آن در بخش بعدی ارائه می‌شود.

#### ۳-۵- تعیین میزان تغذیه آب زیرزمینی دشت مورد بررسی در دوره آبی

در نهایت با استفاده از سری‌های زمانی دما و بارش بدست آمده از محاسبات اقلیمی، محاسبه میزان تغذیه آب‌زیرزمینی از منابع آب سطحی در دوره‌آبی صورت گرفته است. با توجه به ضریب رواناب دشت سفیددشت و نیز ضرایب نفوذ از رواناب و نفوذ مستقیم از بارش در این منطقه، میزان تغذیه آب‌زیرزمینی منطقه مطالعاتی برای سال‌های ۲۰۳۵-۲۰۱۵ (۹۵-۱۳۹۴، تا ۱۴-۱۴۱۳) تحت هر دو

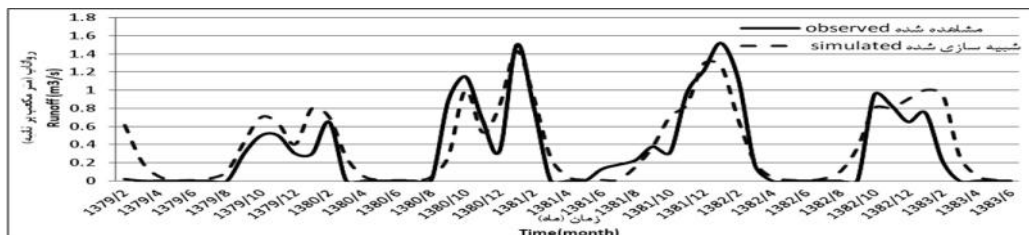


شکل ۷- چگونگی شبیه‌سازی بارش- رواناب همراه با مدول‌های خطی و غیرخطی در مدل IHACRES  
Figure 7- How to simulate rainfall - runoff by linear and non-linear Module in IHACRES model

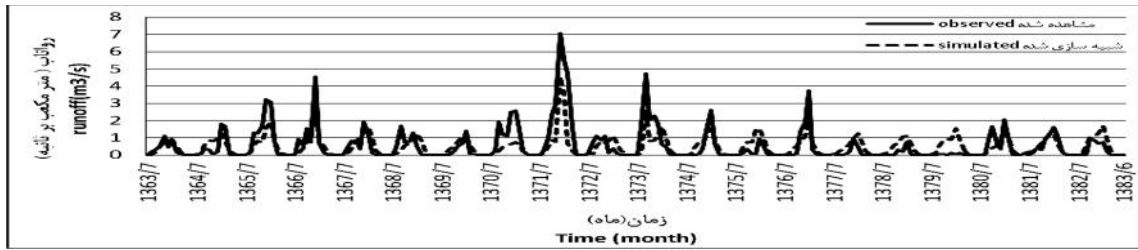
جدول ۴- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES

Table 4- The results of calibration and verification IHACRES model

واسنجی Calibration	$ Bias (mm.yr)=11.5$ و $R^2=0.8$ و $f=7.7$ و $w=6$
صحت‌سنجی Verification	$ Bias (mm.yr)10=$ و $R^2=0.71$



شکل ۸- سری زمانی رواناب مشاهداتی و مدل شده در دوره واسنجی IHACRES  
Figure 8- Observed and modeled runoff time series during the calibration period



شکل ۹- سری زمانی رواناب مشاهداتی و مدل شده در دوره صحت سنجی IHACRES  
Figure 9- Observed and modeled runoff time series during the verification period

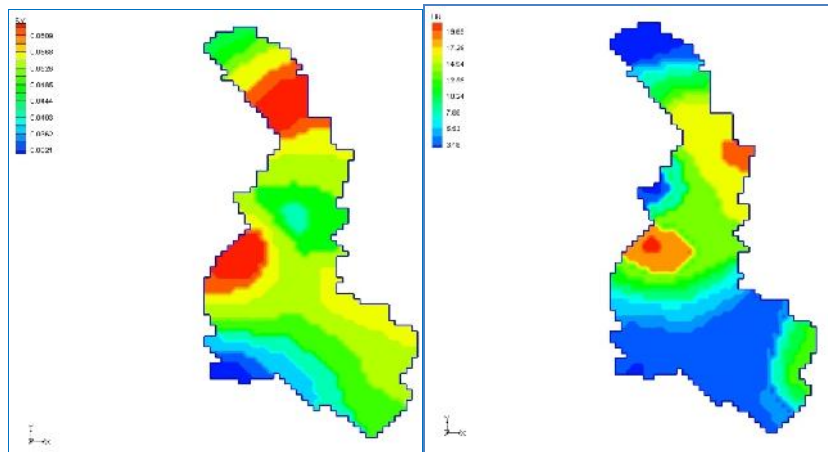
(۱۱) مقادیر واسنجی شده هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه را نشان می‌دهد.

معیار جذر میانگین مربعات خطا RMSE، در حالت ماندگار ۱/۶ و در حالت غیر ماندگار، ۱/۹ به دست آمد که نشان گر دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی وضعیت آبخوان است. در شکل (۱۲) میانگین خطا و متوسط خطای مطلق و جذر میانگین مربعات خطا در طول دوره واسنجی غیر ماندگار برای هر ماه ارائه گردیده است.

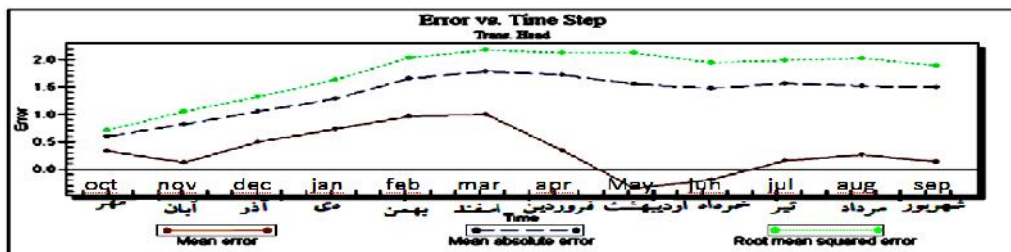
#### ۴-۲- نتایج واسنجی مدل GMS

جهت واسنجی، شبیه‌سازی نقشه هم ارتفاع سنگ کف، نقشه تراز سطح آب زیرزمینی و شبیه‌سازی تراز سطح زمین توسط مدل به ترتیب براساس نقشه هم ارتفاع سنگ کف، داده های پیزومترها و نقشه توپوگرافی انجام می‌گیرد.

در حالت ماندگار پارامتر هدایت هیدرولیکی و در حالت غیر ماندگار پارامتر آبدهی ویژه واسنجی می‌گردند و در محل هر یک از پیزومترها مقادیر خطای نهائی شبیه‌سازی بدست می‌آید. شکل (۱۰) و



شکل ۱۰- هدایت هیدرولیکی بر حسب متر در روز  
شکل ۱۱- توزیع مقادیر واسنجی شده آبدهی ویژه در محدوده مدل‌سازی  
Figure 10- Hydraulic conductivity m/day  
Figure 11- Distribution of calibrated specific yield values in modeling area



شکل ۱۲- مقادیر خطای نهائی شبیه‌سازی در چاه‌های مشاهده ای در طول دوره واسنجی غیر ماندگار سال آبی ۸۴-۱۳۸۳  
Figure 12- Error Simulation in observed well during the unsteady calibration (2004-2005)

۳-۴ نتایج واسنجی مدل LARS-WG جهت مقایسه توزیع‌های احتمال و آزمون کای-اسکور  
جهت مقایسه میانگین‌های ماهانه متغیرهای بارندگی، دمای حداقل و  
دمای حداکثر انجام شده است.

جدول ۵- نتایج آزمون کای-اسکور و آزمون t برای بارندگی مشاهده شده و تولید شده LARS-WG  
Table 5- The results of Chi-square and t-test for observed and generated precipitation LARS-WG

Month	KS-test	p-value	میانگین داده های مشاهده شده	میانگین داده‌های تولید شده	آزمون t	p-value
			Average of observed data	Average of generated data		
Jan	0.036	1	45.69	49.72	-0.488	0.629
Feb	0.085	1	35.15	49.81	-1.676	0.101
Mar	0.094	0.9999	50.92	52.32	-0.154	0.878
Apr	0.077	1	30.91	27.26	0.502	0.618
May	0.098	0.9997	7.99	9.09	-0.363	0.719
Jun	0.435	0.0173	1.11	2.41	-1.231	0.225
Jul	0.5	0.0038	0.68	0.41	0.825	0.414
Aug	0.5	0.0038	0.06	0.15	-1.467	0.15
Sep	0.388	0.0456	0.31	0.94	-1.494	0.143
Oct	0.097	0.9998	5.44	6.68	-0.383	0.703
Nov	0.082	1	24.47	33.21	-0.848	0.401
Dec	0.11	0.9981	52.1	59.38	-0.611	0.545

جدول ۶- نتایج آزمون کای-اسکور و آزمون t برای دمای حداقل مشاهده شده و تولید شده LARS-WG  
Table 6- The results of Chi-square and t-test for observed and generated minimum temperature LARS-WG

Month	KS-test	p-value	میانگین داده های مشاهده شده	میانگین داده‌های تولید شده	آزمون t	p-value
			Average of observed data	Average of generated data		
Jan	0.106	0.9989	-8.14	-8.27	0.184	0.855
Feb	0.106	0.9989	-5.05	-5.33	0.569	0.573
Mar	0.053	1	-1.33	-1.13	-0.634	0.53
Apr	0.106	0.9989	3.33	3.08	0.938	0.354
May	0.106	0.9989	6.71	6.47	1.099	0.278
Jun	0.053	1	9.64	9.62	0.1	0.921
Jul	0.053	1	13.07	13.21	-0.622	0.537
Aug	0.105	0.9991	11.54	11.38	1.022	0.313
Sep	0.105	0.9991	7.46	7.56	-0.459	0.649
Oct	0.053	1	3.16	3.16	0	1
Nov	0.053	1	-0.75	-0.52	-0.772	0.445
Dec	0.105	0.9991	-4.54	-4.44	-0.148	0.883

جدول ۷- نتایج آزمون کای-اسکور و آزمون t برای دمای حداکثر مشاهده شده و تولید شده LARS-WG  
Table 7- The results of Chi-square and t-test for observed and generated maximum temperature LARS-WG

Month	KS-test	p-value	میانگین داده های مشاهده شده	میانگین داده‌های تولید شده	آزمون t	p-value
			Average of observed data	Average of generated data		
Jan	0.106	0.9989	3.45	3.45	-0.008	0.993
Feb	0.106	0.9989	6.51	6.33	0.405	0.687
Mar	0.105	0.9991	11.31	11.13	0.329	0.744
Apr	0.053	1	17.13	17.27	-0.337	0.738
May	0.053	1	22.79	23.07	-0.78	0.44
Jun	0.106	0.9989	28.84	28.66	0.687	0.496
Jul	0.105	0.9991	31.57	31.63	-0.183	0.855
Aug	0.106	0.9989	30.88	30.65	0.958	0.344
Sep	0.106	0.9989	27.16	27.13	0.1	0.92
Oct	0.053	1	20.9	20.7	0.736	0.466
Nov	0.053	1	13.33	13.32	0.022	0.982
Dec	0.106	0.9989	7.63	7.54	0.125	0.901

#### ۴-۲-۴-۴-۴ دما

میانگین دمای ماهانه در دوره آتی نسبت به میانگین دمای ماهانه در دوره پایه در هر دو سناریو روندی افزایشی دارد و به طور میانگین حدود ۱ درجه افزایش داشته است. شکل (۱۴) میانگین متحرک ۵ سالانه دما را در دوره های پایه و آتی (تحت سناریوی های A2 و B1) نشان می دهد.

#### ۴-۳-۴-۴ تغذیه

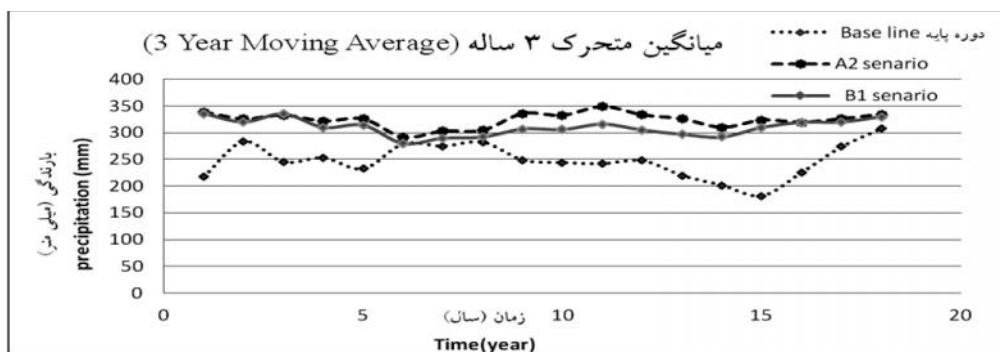
به جهت اختلاف کم اثر دو سناریوی انتشار A2 و B1 بر روی تغذیه آب زیرزمینی، برای مقایسه بهتر نمودار تجمعی تغذیه سالانه تحت این دو سناریوی انتشار در دوره آتی (۲۰۳۵-۲۰۱۵) رسم شده و در شکل (۱۵) ارائه شده است. با توجه به شکل ملاحظه می گردد که در انتهای دوره آتی (سال ۲۰۳۵) میزان تجمعی تغذیه آب زیرزمینی در سناریوی A2 به B1 حدود ۱۰ متر مکعب بر ثانیه افزایش داشته است.

نتایج آزمون ها نشان می دهد مقادیر P همگی در سطح معنی داری ۱ درصد قابل قبول بوده و می توان گفت مدل LARS-WG توانمندی لازم را برای شبیه سازی متغیرهای بارندگی و دمای ایستگاه منتخب دارد. جداول (۵) و (۶) و (۷) نتایج این آزمون ها را برای بارندگی، دمای حداقل و دمای حداکثر مشاهده شده و تولید شده نشان می دهند.

#### ۴-۴-۴-۴ شبیه سازی متغیرهای اقلیمی، رواناب و سطح آب- زیرزمینی در آینده

##### ۴-۴-۴-۱ بارندگی

بارندگی ماهانه در دوره آتی نسبت به بارندگی در دوره پایه نوسانات کمتری را برای هر دو سناریو A2 و B1 نشان می دهد. افزایش بارندگی در دوره آتی تحت سناریوی A2 نسبت به دوره پایه ۳۳/۳ درصد و تحت سناریوی B2 نسبت به دوره پایه ۲۶/۶ درصد می باشد. شکل (۱۳) میانگین متحرک ۳ سالانه بارندگی را در دوره های پایه و آتی (تحت سناریوی های A2 و B1) نشان می دهد.



شکل ۱۳- روند تغییرات میانگین متحرک ۳ ساله بارش در دوره پایه و در دوره آتی برای سناریو های انتشار (A2 و B1)

Figure 13- Trend of 3-year moving average changes of precipitation in the baseline and future periods for emission scenarios



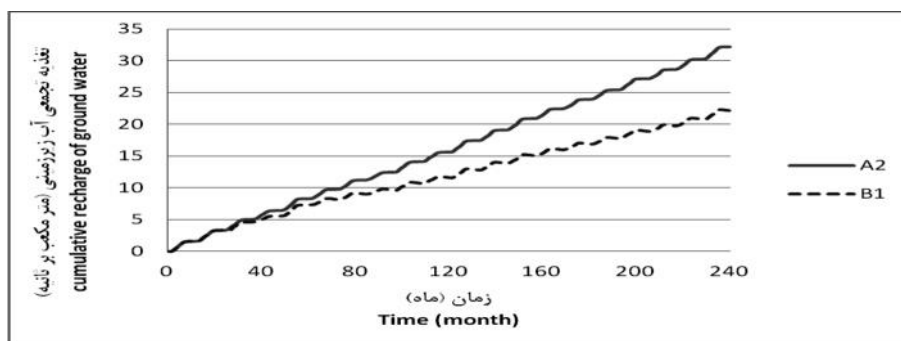
شکل ۱۴- روند تغییرات میانگین متحرک ۵ ساله دما در دوره پایه و در دوره آتی برای سناریو های انتشار (A2 و B1)

Figure 14- Trend of 3-year moving average changes of temperature in the baseline and future periods for emission scenarios

۴-۴-۴- سطح آب زیرزمینی

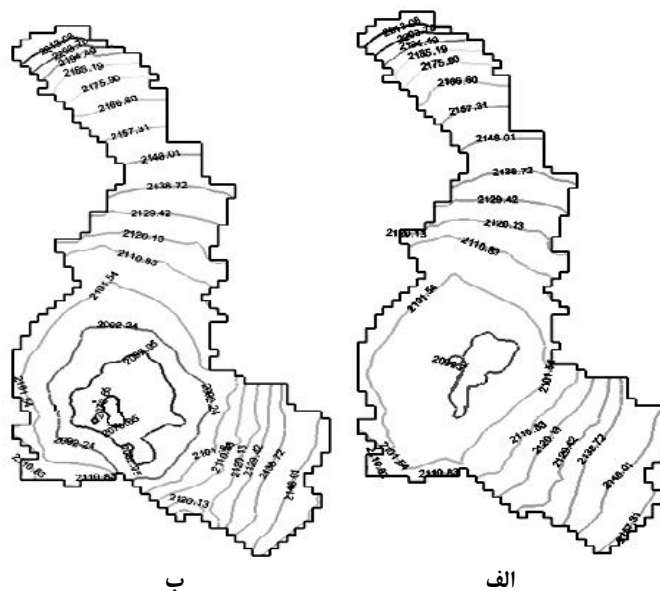
با فرض یکسان بودن روند برداشت چاه‌ها در دوره آبی با دوره پایه، حتی با وجود افزایش تغذیه در دوره آبی افت سطح آب در مرکز دشت به علت بهره‌برداری بیش از حد قابل مشاهده می‌باشد. شکل (۱۶) افت سطح آب در قسمت مرکزی آبخوان را در انتهای دوره شبیه‌سازی (۲۰۳۵) نسبت به ابتدای دوره (۲۰۱۵) تحت سناریوی A2 در دوره آبی نشان می‌دهد. در نتیجه برای برداشت از چاه‌ها در دوره آبی، می‌بایست برنامه‌ریزی شده و محدودیت ایجاد نمود.

به عبارتی تاثیر تغییر اقلیم در دوره آبی بر پارامترهای هیدرو- اقلیمی در سناریوی A2 با شرایط رشد سریع اقتصادی و دیدگاه منطقه‌ای نسبت سناریوی B1 با در نظر گرفتن مسائل محیط زیستی و دیدگاه جهانی، بیشتر خواهد بود. با وارد کردن تغذیه در دوره آبی اثر آن بر روی سطح آب زیرزمینی بررسی می‌گردد که آیا این افزایش بر اثر تغییر اقلیم می‌تواند روند افت سطح ایستابی را با همین میزان مصرف فعلی جبران نماید.



شکل ۱۵- تغذیه تجمعی سالانه دشت سفید دشت تحت دو سناریوی انتشار A2 و B1

Figure 15- Annual cumulative recharge of Plain White plain under two emission scenarios A2 and B1



شکل ۱۶- تراز سطح آب شبیه سازی شده در دوره آبی الف: در ابتدای دوره شبیه سازی شده (۲۰۱۵) ب: انتهای دوره شبیه سازی (۲۰۳۵)

Figure 16- A simulated water level in future period (a) in the beginning of the simulation period (2015) (b): at the end of the simulation period (2035)

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

همانطور که اشاره شد بحث بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرزمینی در کشور ما از اهمیت زیادی برخوردار است، بخصوص با توجه به اینکه تمرکز بسیاری از مصارف کشور بر پایه استحصال آب زیرزمینی بوده و رشد روز افزون این مصرف، آبخوان‌ها را با مشکل جدی مواجه نموده است. بحث بررسی تاثیر سناریوهای تغییر اقلیم در افق درازمدت بسیار اهمیت دارد. در این راستا با استفاده از یک رویکرد گام به گام مدل‌سازی و شبیه‌سازی، تاثیر تغییر اقلیم بر روی تغذیه و سطح آبخوان منطقه در دوره آتی بررسی شده و مشخص می‌گردد که با همین روند برداشت در دشت چه شرایطی را تجربه خواهیم کرد که در تحقیقات صورت گرفته در کشور خلا این گونه مطالعه جامع از مدل‌سازی در شرایط اقلیمی خشک و سرد که در مناطق مختلفی از ایران حاکم است، دیده می‌شود. از اینرو در تحقیق حاضر به تولید سناریوهای تغییر اقلیم B1 و A2 برای دو متغیر مهم بارش و دما در حوضه دشت سفیددشت در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد و برای ریزمقیاس‌سازی این سناریوها از مدل

LARS-WG و به شکل روزانه استفاده گردید. همچنین با استفاده از خروجی‌های حاصله و در قالب مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی IHACRES، مدل‌سازی بارش-رواناب حوضه صورت گرفت و میزان تغذیه آب زیرزمینی ناشی از پارامترهای مختلف مستقیم و غیرمستقیم تاثیرگذار بر آبخوان این دشت در افق زمانی سال‌های آبی ۹۵-۱۳۹۴ الی ۱۴-۱۴۱۳ بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش میانگین دما حدود ۱ درجه و بارندگی (سناریوی A2 حدود ۳۳ درصد و سناریوی B1 حدود ۲۶ درصد) بوده و نهایتاً تحت هر دو سناریو نرخ تغذیه آبخوان افزایش می‌یابد. لیکن مصارف بالای دشت همچنان اجازه بازگشت به تراز متعادل آبخوان را حتی با وجود افزایش تغذیه ورودی به آن نمی‌دهند. لذا برنامه‌ریزی اصولی جهت کنترل برداشت و علاج بخشی آبخوان از جمله طرح‌هایی مانند سد زیرزمینی، تغذیه مصنوعی و غیره لازم و ضروری است. نتایج این تحقیق می‌تواند در قابل سناریوهای دیگر اقلیمی و همچنین مدل‌های ریزمقیاس‌سازی و تحلیل بارش-رواناب دیگر نیز مورد تحلیل حساسیت و ارزیابی بیشتر قرار گیرد.

## منابع

- 1- Barret L., Kurylyk Kerry T., and Mac Quarrie B. 2013. The uncertainty associated with estimating future groundwater recharge: A summary of recent research and an example from a small unconfined aquifer in a northern humid-continental climate. *Journal of Hydrology*, Volume 492, 7 June 2013, Pages 244–253.
- 2- Barret L., Kurylyk Kerry T., Mac Quarrie B., and Clifford Voss I. 2014. Climate change impacts on the temperature and magnitude of groundwater discharge from shallow, unconfined aquifers. *Water Resources Research*, Volume 50, Issue 4, pages 3253–3274.
- 3- Brouyere S., and Dassargues V. 2004. Spatially Distributed, Physically-Based Modelling for Simulating the Impact of Climate Change on groundwater Reserves. *Proceeding of British Hydrological Society*, 9: 1-15.
- 4- Eckhardt K., and Ulbrich U. 2002. Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *Journal of Hydrology* 284, 244–252.
- 5- Goderniaux P. 2009. Largescale surface–subsurface hydrological model to assess climate change impacts on groundwater reserves. *Journal of Hydrology* 373, 122– 138.
- 6- Goderniaux P., Brouyère S., Blenkinsop S., Aidan Burton Hayley J., Fowler Philippe O., and Alain D. 2011. Modeling climate change impacts on groundwater resources using transient stochastic climatic scenarios. *Water Resources Research* Volume 47, W12516.
- 7- Harbough A.W., Banta E.R., Hill M.C., and McDonald M.G. 2000. MODFLOW –2000 the U.S. Geological survey Modular Groundwater Model. User guide To Modularization Concepts and Groundwater Flow Process.
- 8- Holman I.P., Rounsevell M.D.A., Harrison P.A., Nicholls R.J., Berry P.M., Audsley E., and Shackley S. 2005. A regional, multi-sectoral and integrated assessment of the impacts of climate and socio-economic change in the UK: Part I Methodology. *Climate Change* (in press).
- 9- Holman I.P. 2006. Climate change impacts on groundwater recharge-uncertainty, shortcomings, and the way forward? , *Hydrogeology Journal*, 14.
- 10- IPCC 2007. Summary for Policymakers in Climate Change. Solomom S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K.B, Tignor M, Miller H.L (eds). The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- 11- Jackson C. R., Meister R., and Prudhomme C. 2010. *Journal of Hydrology* 399, 12–28.
- 12- Jakeman A.J., and Hornberger G.M 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? , *Water Resources Research*, 29(8).
- 13- Jones P.D., and Hulme M. 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation:

- methods and illustrations. *International journal of climatology* 16: 361-377.
- 14- Jyrkama M.I., and Sykes J.F. 2007. The impact of climate change spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed (Ontario). *Journal of Hydrology*, 338: 237-250.
  - 15- Mahab GHodss Consulting Engineering Company. *The White Plain groundwater studies*. (2008).
  - 16- Massah A.R., and Morid S. 2006. Evaluation of posterior distribution of uncertainty bands due to climate change on probability distribution of runoff, using Bayesian approach. In: *Proceeding. Second National Conference on Water Resources Management*. Esfahan. Iran. 22-23 January, (in Persian)
  - 17- Russell S., Crosbie Bridget R., Scanlon Freddie S., Mpelasoka Robert C., Reedy John B., Gates and Zhang L. 2013. Potential climate change effects on groundwater recharge in the High Plains Aquifer, USA. *Water Resources Research*, vol49, 1-16, doi: 10.1002.wrcr.20292.
  - 18- Semenov M.A., and Barrow E.M. 2002. *LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies (version3.0). User's manual*.
  - 19- Semenov M.A., and Stratonovitch P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. [http://www.int-res.com/articles/cr\\_oa/c041p001.pdf](http://www.int-res.com/articles/cr_oa/c041p001.pdf)
  - 20- Toufan Tabrizi N. 2009. The effect of climate change on fresh groundwater resources in coastal areas (case study: Dirkan Plain, Iran). (in Persian with English abstract)
  - 21- Toews M.W., and Allen D.M. 2009. Evaluating different GCMs for predicting spatial recharge in an irrigated arid region. *Journal of Hydrology*, 374: 265-281.
  - 22- Wilby R.L., and Harris I. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, vol 42, w02419, 10 pp.

## Effects of Climate Change on Groundwater Recharge (Case Study: Sefid Dasht Plain)

S. Ansari<sup>1\*</sup> - A. R. Massah Bavani<sup>2</sup> - A. Roozbahani<sup>3</sup>

Received: 19-11- 2014

Accepted: 06-09- 2015

**Introduction:** Nowadays, the issue of climate change and its related problems are fundamental crisis in water resource management. On the other hand, considering that groundwater is the most important water resources, determination of the effects of climate change on groundwater and estimation the amount of their recharge will be necessary in the future.

**Materials and Methods:** In this research, to analyze the effects of climate change scenarios on groundwater resources, a case study has been applied to the Sefid Dasht Plain located in Chahar Mahal and Bakhtiari Province in Iran. One of the three Atmospheric-Ocean General Circulation Models (AOGCM) which is called HadCM3, under the emission scenarios A2 and B1 is used to predict time series of climate variables of temperature and precipitation in the future. In order to downscale the data for producing the regional climate scenarios, LARS-WG model has been applied. Also, IHACRES model is calibrated and used for simulation of rainfall - runoff with monthly temperature, precipitation and runoff data. The predicted runoff and precipitation production in future have been considered as recharge parameters in the ground water model and the effects of climate change scenarios on the ground water table has been studied. To simulate the aquifer, GMS software has been used. GMS model is calibrated in both steady and unsteady state for one year available data and verification model has been performed by using the calibration parameters for four years.

**Results and Discussion:** Results of T- test shows that LARS-WG model was able to simulate precipitation and temperature selected station appropriately. Calibration of IHACRES model indicated the best performance with  $w=6$  و  $f=7.7$  and the results shows that IHACRES model simulated minimum amount of runoff appropriately. Although it didn't simulate the maximum amount of runoff accurately, but its performance and Nash coefficient is acceptable. Results indicate that changes of monthly precipitation in the future period are less than the base period in both scenarios A2 and B1. Precipitation increases about 26 and 33 percent under the scenario B1 and A2 respectively in the future compared to the base period. The monthly average temperature in the future compared to monthly average temperature in the base period has been increasing in both scenarios about 1 degree. Root Mean Square Error criteria for aquifer simulation was 1.6 in steady state and 1.9 in unsteady state. This result indicates that the aquifer has been accurately simulated. Assuming the same rate of pumping wells in the future period and in the base period, despite the increasing of recharge in the future period, water levels decrease notably in the central plains due to exceeding operation. At the end of the period (year 2035) the amount of cumulative groundwater recharges in the scenario A2 compared to scenario B1 increases about 10 cubic meters per second, which shows that the impacts of climate change in the A2 scenario compared to the B1 scenario is more.

**Conclusion:** Study the impact of climate change is important in our country because the major uses of water supply of groundwater. Enormous use of this resource has been defected aquifer problematically. So, it is necessary to survey impacts of climate change in future period on recharge and water levels aquifer by modeling and simulation. It is useful to predict the future conditions of groundwater. Although the recharge increases in future period, but with respect to high rate of groundwater use, it is impossible to achieve an equivalent level of aquifer without any planning. We need to control on pumping well and treatment of aquifer such as underground water dam, artificial recharge and etc. results of this research can be evaluated by other climatic scenarios, downscaling models and rainfall-runoff models. The results of this research, considerably helps to assess the effects of climate change scenarios on ground water resources as well as its proper planning and management.

**Keywords:** AOGCM, GMS, IHACRES, Climate Scenarios, LARS-WG, Simulation of Aquifer

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Irrigation and Drainage Engineering Department, College of Abouraihan, University of Tehran, Respectively  
(\* - Corresponding Author Email: a\_ansari25@yahoo.com)