

## ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی در دوره‌های آتی، مطالعه موردی: دشت چمچمال

صادق مومنه<sup>۱</sup>، آرش آذری<sup>۲\*</sup> و افشین اقبالزاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، <sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه و <sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۹

### چکیده

در این پژوهش، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی دشت چمچمال در دو دوره ۲۰ ساله آتی پرداخته شد. برای شبیه‌سازی آبخوان، از مدل آب زیرزمینی Groundwater Modeling System استفاده کرده و برای ارزیابی و تصدیق عملکرد مدل به ترتیب برای دو دوره ۱۸ ماهه واسنجی و صحت‌سنجی انجام شد. در بررسی اثر تغییر اقلیم بر نوسانات تراز آب زیرزمینی منطقه در دوره آتی شش مدل گردش عمومی جو-اقیانوسی (AOGCM) تحت سه سناریو انتشار A2، A1B و B1 مورد استفاده قرار گرفت. سپس، برای در نظر گرفتن عدم قطعیت پیش‌بینی مدل‌های تغییر اقلیم برای پارامترهای دما و بارش از دو روش وزن‌دهی و استخراج سطوح احتمالاتی استفاده شد. نتایج پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای سناریوهای A2، A1B و B1 و دو سطح احتمال ۹۰ و ۵۰ درصد به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات میانگین دما به میزان  $+0/57$ ،  $+0/57$ ،  $+0/57$ ،  $-0/04$  و  $+0/6$  درجه سانتی‌گراد و تغییرات میانگین بارش به میزان  $+0/12$ ،  $-1/8$ ،  $+2/49$ ،  $-31/78$  و  $-2/33$  درصد طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ بود. به همین ترتیب، برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تغییرات میانگین دما  $+1/92$ ،  $+2/12$ ،  $+1/46$  و  $+0/98$  درجه سانتی‌گراد و تغییرات میانگین بارش به میزان  $-20/59$ ،  $-26/07$ ،  $-19/55$ ،  $-47/15$  و  $-15/74$  درصد برآورد شد. نهایتاً، اثر تغییر اقلیم بر تراز آبخوان تحت سناریوها مشخص شد. نتایج نشان داد، سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای A2، A1B و B1 و دو سطح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ بین  $-9/6$  تا  $-17/92$  متر افت خواهد داشت که نسبت به دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۶ به میزان  $-1/06$  تا  $-9/38$  متر تغییر تراز را نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** سناریوهای اقلیمی، عدم قطعیت، مدل گردش عمومی جو-اقیانوسی (AOGCM)، مدل GMS، مدل LARS-WG

### مقدمه

سریع‌ترین فعالیت‌های انسانی از جمله رشد شهرنشینی، رشد صنایع و دیگر فعالیت‌های زراعی و اقتصادی به‌خصوص در کشورهای توسعه‌نیافته و در حال توسعه، منجر به کاهش منابع آب و دیگر منابع کره زمین شده است. این امر موجب خسارت قابل توجهی به محیط

آب زیرزمینی یک منبع طبیعی ارزشمند است که برای اهداف مختلفی مانند مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mohanty و همکاران، ۲۰۱۳). امروزه، رشد جمعیت و افزایش

مدل آب زیرزمینی  $GMS^3$  بهره گرفته شده است. بهترین ابزار برای بررسی و تولید سناریوهای اقلیمی و تاثیرگازهای گلخانه‌ای بر جو زمین در مقیاس منطقه-ای، به‌کارگیری مدل گردش عمومی جو-اقیانوسی  $(AOGCM)$  است (Wilby و Harris، ۲۰۰۶). در مطالعات تغییر اقلیم، عدم قطعیت‌های (Uncertainty) مختلفی بر نتایج نهایی تاثیر می‌گذارند و با نادیده‌گرفتن آن‌ها از اعتبار نتایج کاسته می‌شود (IPCC، ۲۰۱۰). تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن یکی از مشکلات اساسی در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی است و تخمین دقیق آن در دوره آتی ضرورت می‌یابد. با توجه به نگرانی جهانی برای پایداری منابع آب زیرزمینی، مدلسازی گسترده جریان آب زیرزمینی برای برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد منابع آب زیرزمینی در یک حوضه آب زیرزمینی ضروری است (Mohanty و همکاران، ۲۰۱۳).

Dehn و همکاران (۲۰۰۰)، به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی بخش شمالی ایتالیا پرداختند و نتایج نشان داد که افزایش دما و کاهش بارش در دوره آتی موجب کاهش سطح آب‌های زیرزمینی می‌شود. همچنین، Allen و Scibek (۲۰۰۶) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تغذیه و سطح آب زیرزمینی در دوره‌های مختلف آتی پرداختند و شاهد تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه بودند. Groves و همکاران (۲۰۰۸) تحقیقاتی را با در نظر گرفتن عدم قطعیت در طرح تغییر اقلیم جهانی برای برنامه‌ریزی و مدیریت آب منطقه مورد مطالعه (منطقه جنوبی کالیفرنیا) انجام دادند و تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که تغییرات آب و هوایی منطقه موجب افزایش تقاضای آب، کاهش عرضه آب و همچنین، در کاهش پایداری بازده آب موثر است. Goderniaux و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهش خود به اثر تغییر اقلیم بر ذخایر آب زیرزمینی و سطحی پرداختند و نتایج، افت آب زیرزمینی و کاهش قابل توجه جریان آب سطحی را در حوضه Geer بلژیک نشان داد. Chen و همکاران (۲۰۱۰)، رویکرد شبکه عصبی مصنوعی برای

فیزیکی، از جمله تخریب و تخلیه منابع طبیعی و استفاده ناپایدار از منابع آب و به‌ویژه منابع آب زیرزمینی می‌شود. همچنین، تاثیر تغییر اقلیم<sup>۱</sup> بر چرخه آب و هوایی و افزایش دما، موجب تسریع در کاهش منابع آب موجود شده است (Aacharyya، ۲۰۱۴). هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۲</sup> (IPCC) تخمین می‌زند که میانگین جهانی دما از سال ۱۸۶۱ به میزان  $0.6 \pm 0.2$  درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و پیش‌بینی‌ها نشان از افزایش دو تا چهار درجه سانتی‌گراد دما در طول ۱۰۰ سال آینده را می‌دهد. سطح دریا در جهان بین ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متر از اواخر قرن ۱۹ افزایش یافته است (IPCC، ۲۰۰۷). همچنین، می‌توان به‌عنوان یک نتیجه مستقیم از دمای بالاتر به این امر اشاره کرد که با تغییر در نرخ بارش و تبخیر، تاثیر قابل توجهی در چرخه آب به همراه خواهد داشت. تبعات منفی پیش‌بینی شده ناشی از افزایش دما، شامل بیشتر شدن روزافزون حوادث آب و هوایی شدید، احتمال بیشتر جاری شدن سیل، افزایش خشکسالی و ترسالی می‌باشد. تاثیر منفی این امر به‌ویژه در مناطق گرمسیری که عمدتاً از کشورهای در حال توسعه هستند، به‌وقوع خواهد پیوست (Kumar و Singh، ۲۰۱۵). با توجه به گزارشات IPCC، پدیده تغییر اقلیم موجب تغییر در الگوی بارش و ذوب برف و در نتیجه تغییر در دسترسی به آب شرب و کشاورزی نیز می‌شود (IPCC، ۲۰۰۷).

تغییرات دما و بارش در آینده، بر میزان تغذیه آبخوان اثرگذار و یک اصل پذیرفته شده است و واکنش آبخوان‌های آزاد به تغییرات میزان پارامترهای دما و بارش، تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی است (Loaiciga و Zektser، ۱۹۹۳؛ Changnon و همکاران، ۱۹۸۸). برای بررسی نوسانات منابع آب زیرزمینی از مدل‌های ریاضی آب‌های زیرزمینی به‌عنوان روش ارزان، سریع و با قابلیت حل مسائل پیچیده، در تعیین چگونگی حرکت، بیلان، تراز سطح آب زیرزمینی و مدیریت بهره‌برداری از آبخوان استفاده می‌شود (Kersic، ۱۹۹۷). به همین سبب، در این پژوهش از

<sup>3</sup> Groundwater Modeling System

<sup>4</sup> Atmosphere- Ocean General Circulation Model

<sup>1</sup> Climate change

<sup>2</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change

Crosbie و همکاران (۲۰۱۳) و Meixner و همکاران (۲۰۱۶) و همچنین Rossman و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی اثرات بالقوه تغییرات اقلیم در تغذیه آب‌های زیرزمینی به ترتیب در آبخوان دشت‌های مرتفع ایالات متحده آمریکا، غرب ایالات متحده و ناحیه سندهیلز نبراسکا، ایالات متحده آمریکا پرداخته‌اند و نتایج شامل افزایش و کاهش تغذیه در دشت‌ها مختلف منطقه مورد مطالعه را نشان داد. Seeboonruang (۲۰۱۶)، به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی و آسیب‌پذیری مناطق خشک در شرق تایلند پرداخت و به‌طور کلی بیان کرد که هنگامی که آب سطحی در طول زمان کاهش می‌یابد، آب‌های زیرزمینی جایگزین منابع تامین آب سطحی در نظر گرفته می‌شود و این امر باعث تشدید کاهش منابع آب زیرزمینی می‌شود. خروجی مدل نشان داد که در مناطقی از محدوده مورد مطالعه، بارش در آینده کاهش می‌یابد و با کاهش میزان تغذیه آبخوان، موجب کاهش منابع آب زیرزمینی می‌شود. Boughariou و همکاران (۲۰۱۸)، با مدل‌سازی آبخوان به‌وسیله مدل MODFLOW، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی پرداخته‌اند و نتایج پیش‌بینی تحت سناریوهای مختلف نشان از آن است که بارندگی در سال ۲۰۲۰ و در سال ۲۰۵۰ به میزان شش و ۱۵ درصد کاهش یافت و تجزیه و تحلیل‌های به‌دست آمده حاکی از کاهش تراز آب زیرزمینی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم است.

در گذشته، مطالعه اندکی درباره موضوع اثر تغییر اقلیم بر نوسانات منابع آب زیرزمینی در کشور صورت پذیرفته ولی، در سال‌های اخیر این مطالعات رو به افزایش بوده و برخی از تحقیقات صورت پذیرفته را می‌توان نام برد. از جمله، Karamoz و همکاران (۲۰۱۱)، Shakiba و Cheshmi (۲۰۱۱)، Akbarzadeh و همکاران (۲۰۱۴)، Salami و همکاران (۲۰۱۵)، Akhoni Pourhosseini و همکاران (۲۰۱۵)، Razaie Banafsheh و همکاران (۲۰۱۵)، Ansari و همکاران (۲۰۱۶)، Jalili و همکاران (۲۰۱۶)، Haghghi و همکاران (۲۰۱۶) و همچنین، Soleimani و همکاران (۲۰۱۷) است که همگی به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در

اندازه‌گیری اثرات تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در پایین‌آوردن سطح آب زیرزمینی در منطقه واکیانو در دشت شمال چین پرداختند و نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد، تراز آب زیرزمینی سالانه ۲۰ سانتی‌متر کاهش می‌یابد. آن‌ها نیز بیان داشتند که موثرترین راه کاهش سقوط تراز آب زیرزمینی، کاهش آبیاری با اتخاذ اقدامات تصفیه آب و بازگشت مجدد آب به چرخه است. Jackson و همکاران (۲۰۱۱)، تأثیر تغییر اقلیم با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوسی (AOGCM) بر منابع آب زیرزمینی بریتانیا را بررسی کردند. نتایج برای دوره‌های مختلف نشان داد که دما افزایش و تغییرات بارش در ماه‌های مختلف خواهد داشت و تغذیه سالانه آبخوان نیز دچار نوسان خواهد شد. Senatore و همکاران (۲۰۱۱)، اثرات تغییر اقلیم با کاربرد برون‌داد مدل‌های منطقه‌ای تحت سناریوهای مختلف بر حوضه رودخانه Crati در جنوب کشور ایتالیا را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها به‌وسیله مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای (RCMs)<sup>۱</sup> پیش‌بینی کردند که در دوره آتی (۲۰۹۹-۲۰۷۰) میانگین دمای این حوضه (بین ۳/۵ تا ۳/۹ درجه سانتی‌گراد) افزایش یافته، بارش نیز (به مقدار نه تا ۲۱ درصد) کاهش خواهد یافت. این شرایط موجب کاهش شدید برف تجمعی سالانه (به میزان ۸۲ تا ۹۲ درصد) خواهد شد. همچنین، میزان آب‌های زیرسطحی ( $11/6 \pm 1/4$  و  $6/5 \pm 1/4$  درصد) و رواناب سطحی ( $41/2 \pm 5$  و  $25/4 \pm 6$  درصد) تغییرات قابل توجهی خواهند داشت. Babaeian و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی رفتار منابع آب حوضه قره‌قوم تحت شرایط تغییر اقلیم پرداختند و دریافتند که تغییر اقلیم در دوره آتی موجب کاهش بارش به میزان ۲۰/۲ تا ۲۵/۹ درصد و افزایش دما به میزان ۰/۹۵ تا ۳/۸ درجه سلسیوس خواهد شد. Boucefiane و Meddi (۲۰۱۳)، تأثیر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی در حوضه‌ای در کشور الجزایر برای دوره‌های مختلف بررسی کردند و پیش‌بینی نشان داد که تراز آب زیرزمینی در سال ۲۰۲۰ به میزان ۴/۴ تا ۶/۶ درصد و در سال ۲۰۵۰ به میزان ۹/۷ تا ۱۴/۸ درصد کاهش خواهد یافت.

<sup>۱</sup> Regional Climate Models

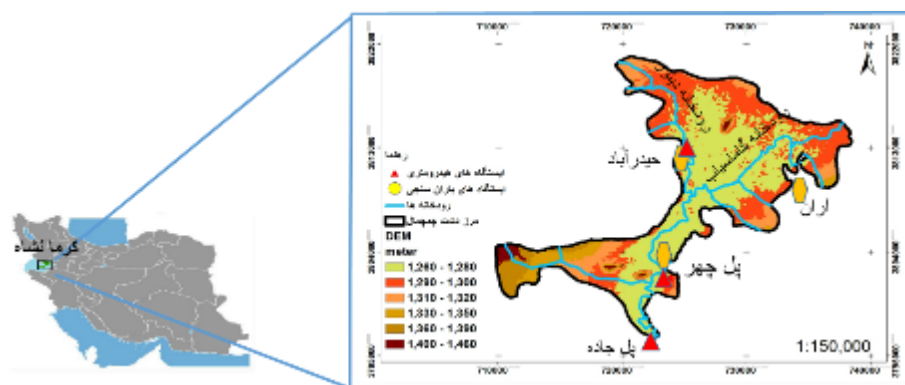
در غرب ایران پرداخته شد و نسبت به مطالعات گذشته، نتایج جامع‌تر و با تنوع بیشتری (۱۰ حالت مختلف) و با در نظر گرفتن عدم قطعیت به دو روش مختلف (یعنی روش وزن‌دهی و روش استخراج سطوح احتمالاتی)، ارائه شده است.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** منطقه مورد مطالعه، دشت چمچمال با وسعت ۲۱۱ کیلومتر مربع واقع در استان کرمانشاه است. این دشت در محدوده شهرستان‌های هرسین و صحنه است. این منطقه در محدوده جغرافیایی با مختصاتی به عرض جغرافیایی  $34^{\circ} 20'$  تا  $34^{\circ} 36'$  و طول جغرافیایی  $47^{\circ} 21'$  تا  $47^{\circ} 37'$  واقع است. ضخامت متوسط لایه آبخوان دشت حدود ۱۰۹ متر و متوسط ضخامت لایه اشباع آبخوان دشت ۹۷ متر است. رودخانه گاماسیاب در جهت شرقی-غربی و رودخانه دینور در جهت شمال به جنوب در این دشت جریان دارند و در نزدیکی بخش بیستون این دو رودخانه به هم می‌پیوندند و این رودخانه‌ها از نظر حوزه آبخیز بخشی از سر شاخه‌های حوضه رودخانه کرخه محسوب می‌شوند.

مناطق مختلف کشور پرداختند و اغلب برای بررسی اثرات تغییر اقلیم از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) استفاده کردند و برای انطباق مقیاس خروجی مدل‌ها با مقیاس مورد نیاز مطالعات محلی تغییر اقلیم، داده‌های بارش و دما به وسیله مدل LARS-WG و مدل SDSM ریزمقیاس کردند و برای مدل‌سازی آب زیرزمینی آبخوان در شرایط پایدار و ناپایدار با استفاده از مدل‌های PMWIN و MODFLOW به کار برده‌اند و پس از اطمینان از صحت مدل، با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در دوره آتی تحت سناریوهای مختلف پرداخته‌اند. جمع‌بندی نتایج تحقیقات آنان حاکی از افزایش دما و کاهش بارش است و پیامد آن نیز افت تراز آب زیرزمینی را در پی داشته است.

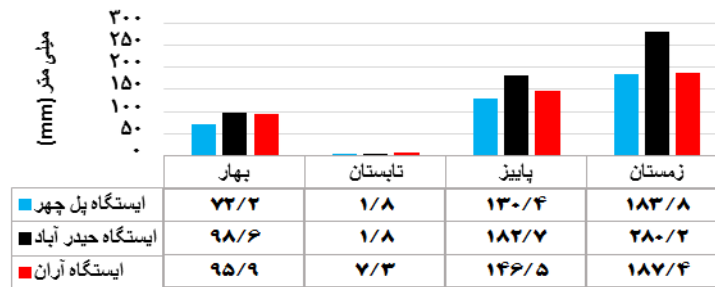
از آن‌جا که تغییر اقلیم در بیشتر تحقیقات ذکر شده بالا، موجب کاهش بارش و افزایش دما در دوره‌های آتی شد و موجب اثرگذاری منفی بر ذخایر آب زیرزمینی مناطق مختلف شد، در این پژوهش، به بررسی این اثرات برای پیش‌بینی ماهانه آب‌های زیرزمینی در محل دشت چمچمال واقع در کرمانشاه،



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

برای تعیین اقلیم منطقه نیز از دو روش طبقه‌بندی دومارتن و روش طبقه‌بندی آمبرژه استفاده شد و نتایج نشان داد که قسمتی از دشت منطقه، دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک است، اما در ناحیه شمال و شمال غربی دشت با توجه به بارندگی بیشتر دارای اقلیم سرد و نیمه‌مرطوب است.

بیشترین میزان بارندگی منطقه در میانگین بلندمدت ماهانه برای سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۱ به میزان ۷۹ میلی‌متر در ماه اسفند و بیشترین میزان متوسط دما برای میانگین بلندمدت  $27/2$  درجه سانتی‌گراد در ماه تیر صورت گرفته است. متوسط بارندگی سالانه کل حوضه ۴۷۳ میلی‌متر در طول این دوره بوده است.



شکل ۲- میزان میانگین بلندمدت بارش در فصول مختلف سال ایستگاه‌های مختلف در دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱

AOGCM شامل HADCM3، GFCM21، INCM3، IPCM4، MPEH5 و NCCCS تحت سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 و دو سطح احتمال ۹۰ و ۵۰ درصد مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

**سناریوهای انتشار:** چون پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به‌طور قطعی ممکن نیست، راه‌حل جایگزین، مشخص کردن امکان‌های رخداد گوناگون برای آن‌ها است که سناریوی اقلیمی نامیده می‌شود. از گزارش ویژه سناریو انتشار<sup>۴</sup> (SRES) که به‌وسیله هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم تهیه شده و شامل سناریوهای انتشار (A1T، A1FI و A1B) A1، A2، B1 و B2 است که هر سناریو ذکرشده به جنبه‌های گوناگونی مانند زیست-محیطی، اقتصادی، رشد و توسعه فناوری، تغییرات جمعیتی، عملکرد یکپارچه و یا محلی در جهان و غیره تاکید کرده‌اند. پیش‌بینی مدل‌های AOGCM در مراکز تحقیقاتی و بر اساس سناریوهای مختلف، منتشرشده IPCC صورت گرفته است (IPCC، ۲۰۰۱).

**ریزمقیاس‌نمایی:** با توجه به این نکته که خروجی این مدل‌ها (AOGCM) دارای دقت مکانی و زمانی کافی برای مطالعات تأثیر تغییر اقلیم بر سامانه‌های هیدرولوژی نیست، لازم است، داده‌های خروجی مدل‌های گردش عمومی کوچک مقیاس شوند. به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی (Down Scaling) داده‌های اقلیمی روزانه برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از مدل LARS-WG استفاده شد. مدل LARS-WG اولین بار به‌وسیله Semenov در سال ۱۹۹۱ معرفی شد (Racsko و همکاران، ۱۹۹۱؛ Semenov و

**داده‌های هواشناسی و هیدرومتری به‌کار رفته در پژوهش:** برای بررسی آب و هوایی و داده‌های مورد نیاز مدل‌سازی، در این پژوهش، برای داده‌های مشاهداتی از ایستگاه محلی با دوره آماری مختلف که در محدوده دشت وجود دارند، استفاده شده است. داده‌های مدل گردش عمومی و سناریوهای انتشار برای دوره پایه از پایگاه سناریو شبکه‌ای تغییر اقلیم کانادا<sup>۱</sup> (CCCSN)، استخراج شد (Ghasemi و همکاران، ۲۰۱۳؛ Graham و همکاران، ۲۰۰۷). مشخصات و طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول زیر آورده شده است.

**مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوسی (AOGCM):** مدل‌های گردش عمومی ساختار بسیار پیچیده دارند که در آن‌ها شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی شامل تغییرات و حرکات اتمسفر و همیسفر کره زمین و تبادلات گرمایی و اندرکنش بین یخ و اقیانوس‌ها و خشکی‌های کره زمین پرداخته می‌شود (Xu، ۱۹۹۹). از مدل‌های گردش عمومی<sup>۲</sup> GCM برای شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش و تحت سناریوهای انتشار مختلف استفاده می‌شود و اخیراً به معنای دومی با عنوان مدل جهانی آب و هوا<sup>۳</sup> نیز شناخته می‌شود و جی‌سی‌ام‌ها (GCMs)، مدل گردش عمومی جوی و اقیانوسی (AGCM و OGCM) را شامل می‌شود که ترکیبی از هر دو دسته در مدل‌های کنونی با عنوان AOGCM عرضه می‌شود که یک نوع از مدل آب و هوا است (Graham و همکاران، ۲۰۰۷؛ IPCC، ۲۰۰۱). در این پژوهش، از شش مدل گردش عمومی

<sup>۱</sup> Canadian Climate Change Scenarios Network

<sup>۲</sup> Model General Circulation

<sup>۳</sup> Global climate model

<sup>۴</sup> Special Report on Emission Scenarios

همکاران، ۱۹۹۹). ورودی آن نیز سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش مشاهداتی ایستگاه‌های محلی می‌باشد و خروجی مدل، داده‌های آتی ریزمقیاس‌نمایی شده به معنای مختص کردن داده‌ها به منطقه مورد نظر است (Semenov و همکاران، ۱۹۹۹).

**استخراج سطوح احتمالاتی:** در روش استخراج سطوح احتمالاتی (روش تناسبی) از ترکیب از شش مدل گردش عمومی AOGCM تحت سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 برای هر ماه، ۱۸ مقدار

پیش‌بینی برای تغییرات دما و بارش حاصل شد و به ترتیب  $\Delta T$  و  $\Delta P$  در سال‌های آتی تخمین زده شد. سپس با استفاده از توزیع مناسب در هر ماه مقادیر  $\Delta T$  و  $\Delta P$  آینده در سطوح احتمال ۹۰ و ۵۰ درصد برآورد شد و در نهایت در دو سطح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد با در نظر عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی به پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بارش و دما پرداخته شد (Wilby و Harris، ۲۰۰۶؛ Ashofteh و Bozorg Haddad، ۲۰۱۳؛ Ghasemi و همکاران، ۲۰۱۳).

جدول ۱- موقعیت، نوع و طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	طول دوره آماری
پل چهر	هیدرومتری	۳۴/۳۵	۴۷/۴۳	۱۲۸۰	۲۰۰۸-۲۰۱۱
حیدرآباد	هیدرومتری	۳۴/۴۳	۴۷/۴۵	۱۲۹۰	۲۰۰۸-۲۰۱۱
پل جاده	هیدرومتری	۳۴/۲۸	۴۷/۴۲	۱۲۷۵	۲۰۰۸-۲۰۱۱
پل چهر	تبخیرسنجی	۳۴/۳۵	۴۷/۴۳	۱۲۸۰	۱۹۹۱-۲۰۱۰
حیدرآباد	باران‌سنجی	۳۴/۴۳	۴۷/۴۵	۱۳۰۷	۱۹۹۱-۲۰۱۰
آران	باران‌سنجی	۳۴/۴۰	۴۷/۵۵	۱۴۴۳	۱۹۹۱-۲۰۱۰
کرمانشاه	سینوپتیک	۳۴/۳۵	۴۷/۱۵	۱۳۱۸	۱۹۹۱-۲۰۱۰

**اعتبارسنجی مدل‌های اقلیمی:** برای آن‌که داده‌های خروجی مدل‌های AOGCM با استفاده از داده‌های مشاهداتی (دوره پایه) به دست آمده از ایستگاه‌های محلی، اعتبارسنجی (validation) شوند و برای ارزیابی قدرت پیش‌بینی مدل‌ها در آینده و همچنین، انتخاب مدل کارآمدتر از شاخص‌های آماری تحلیل خطا<sup>۱</sup> RMSE، MAE<sup>۲</sup> و NS استفاده شده است (Ashofteh و Bozorg Haddad، ۲۰۱۳؛ Husseini khah و همکاران، ۲۰۱۴). بهترین پیش‌بینی از میان مدل‌های مختلف گردش عمومی زمانی رخ می‌دهد که معیارهای (مجذور میانگین مربعات خطا) RMSE و (میانگین خطا مطلق) MAE کمترین و در شاخص NS (Nash-Sutcliffe) بیشترین مقدار را داشته باشند (Kamal و Massah Bavani، ۲۰۱۱).

**عدم قطعیت و وزن‌دهی:** عدم قطعیت به معنی خطا، نبود و یا کمبود اطلاعات وضعیت موجود در

نتایج یک فرایند است. عدم قطعیت مدل‌ها در واقع تفاوت بین نتایج مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) است که ناشی از عوامل انسانی و پیچیدگی و محدودیت آماری است. در مطالعات تغییر اقلیم، عدم قطعیت‌های مختلفی بر نتایج نهایی تاثیر می‌گذارند و با نادیده گرفتن آن‌ها از اعتبار نتایج کاسته می‌شود (IPCC، ۲۰۱۰). برای کاهش عدم قطعیت مدل‌ها در مطالعات تغییر اقلیم نباید به یک مدل گردش عمومی اکتفا کرد و باید سعی کرد که از نتایج چند مدل و سناریو کمک گرفته شود تا گستره وسیعی برای تحلیل ایجاد شود و عدم قطعیت را در تولید داده‌های اقلیمی آینده را به کمینه برساند. برای بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو علاوه بر روش استخراج سطوح احتمالاتی، از روش وزن‌دهی پارامترهای مدل‌سازی استفاده شد (Ansari و همکاران، ۲۰۱۴؛ New و Hulme، ۲۰۰۰) که از رابطه زیر به دست آمد.

<sup>۱</sup> Root-Mean-Square Error

<sup>۲</sup> Mean Absolute Error

Mahmoodian Shooshtari، ۲۰۱۵). پس از تکمیل واسنجی برای تصدیق عملکرد مدل، صحت‌سنجی (verification) مدل صورت گرفت (Ansari و همکاران، ۲۰۱۶). معیار واسنجی و معیار صحت‌سنجی مدل آب زیرزمینی نیز میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) مشخص شد (Mahmoodian Shooshtari، ۲۰۱۵؛ Boyse و همکاران، ۲۰۱۵).

### نتایج و بحث

**اعتبارسنجی مدل‌های اقلیمی:** در این پژوهش میزان شاخص‌ها برای هر شش مدل AOGCM محاسبه شد که مدل HADCM3 با ضرایب ۰/۵۴، ۰/۴۱ و ۰/۷ برای بارش و مدل IPCM4 با ضرایب ۱/۷، ۱/۴۷ و ۰/۹۶ برای دما به ترتیب در شاخص RMSE و MAE کمترین و NS بیشترین میزان نسبت به مدل‌های دیگر دارا هستند که بیشترین دقت و کارایی برای پیش‌بینی پارامترهای بارش و دما خواهند داشت (Kamal و Massah Bavani، ۲۰۱۱).

**تحلیل و بررسی عدم قطعیت:** در این پژوهش شش مدل گردش عمومی AOGCM شامل HADCM3، GFCM21، INCM3، IPCM4، MPEH5 و NCCCS با سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 مورد بررسی قرار گرفتند و از گزارش چهارم (Fuorth Assessment) Report, AR4 هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم از جمله گزارش ویژه سناریو انتشار (SRES) استفاده شد. برای بررسی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو از دو روش استخراج سطوح احتمالاتی و وزن‌دهی پارامترهای مدل‌سازی استفاده شد. میزان انحراف پارامترهای هواشناسی شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی این دوره با توجه به معادله (۱)، وزن‌دهی شدند. بنابراین، می‌توان به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شود. ضریب وزنی به‌دست آمده در جدول ۲ آمده است.

در جدول ۲، ضریب وزنی بارش برای ایستگاه پل‌چهر است و ضریب وزنی برای پارامتر دما در ایستگاه پل‌چهر و پارامتر بارش در ایستگاه‌های حیدرآباد، آران نیز به‌طور مشابه محاسبه شد.

$$W_i = \frac{1/\Delta T_i}{\sum_{i=1}^N 1/\Delta T_i} \quad (1)$$

که در آن،  $W_i$  وزن به‌دست آمده در ماه مورد نظر و  $\Delta T_i$  مبین قدر مطلق انحراف میانگین طولانی‌مدت پارامتر اقلیمی شبیه‌سازی شده به‌وسیله هر یک از مدل‌ها در دوره پایه از میانگین بلندمدت داده‌های مشاهداتی و  $N$  تعداد مدل گردش عمومی و میانگین بلندمدت برای هر ماه ( $1 \leq i \leq 12$ ) است.

**مدل آب زیرزمینی GMS:** مدل آب زیرزمینی در تعریف خاص آن روابطی است که سامانه طبیعی آبخوان و عوامل تغذیه و تخلیه آن و تغییرات سطح ایستابی به‌صورت مکانی و زمانی نشان می‌دهد. تا این مدل بر اساس اطلاعاتی که به آن داده می‌شود، شرایط طبیعی آبخوان را شبیه‌سازی کند (Mahmoodian Shooshtari، ۲۰۱۵). در این پژوهش از مدل  $GMS^1$  که عملکرد آن به‌صورت یک رابط بین مدل GIS و مدل MODFLOW می‌باشد و به‌منظور ساخت مدل مفهومی (Conceptual Model) و تبدیل به عددی آبخوان، مورد استفاده قرار گرفته است (Ansari و همکاران، ۲۰۱۶). مدل عددی GMS بر پایه حل معادله حاکم بر جریان زیرزمینی، معادله لاپلاس است که با توجه به شرایط جریان در دو حالت ماندگار و غیرماندگار ارائه شده است. فرم کلی معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی مطابق معادله (۲) برای حالت غیرماندگار، رابطه (۳) برای حالت ماندگار است (Mahmoodian Shooshtari، ۲۰۱۵ و Salami و همکاران، ۲۰۱۵) عبارت است از:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ K_{xx} h \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_{yy} h \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_{zz} h \frac{\partial h}{\partial z} \right] \pm W = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ K_{xx} h \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_{yy} h \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_{zz} h \frac{\partial h}{\partial z} \right] \pm W = 0 \quad (3)$$

که در آن  $K_{xx}$ ،  $K_{yy}$  و  $K_{zz}$  هدایت هیدرولیکی،  $W$  بیانگر تغذیه یا تخلیه آب زیرزمینی،  $h$  بار پتانسیل (هد هیدرولیکی)،  $S_y$  آبدهی ویژه و  $t$  زمان می‌باشد.

**واسنجی و صحت‌سنجی مدل آب زیرزمینی:** برای تطبیق و عملکرد مناسب شبیه‌سازی مدل، واسنجی<sup>۲</sup> مدل برای شبیه‌سازی آبخوان صورت پذیرفت

<sup>1</sup> Groundwater Modeling System

<sup>2</sup> Calibration

مدل‌های AOGCM در تخمین میانگین بلندمدت دما و بارش ماهانه دوره پایه منطقه با یکدیگر تطابق نداشته که بیانگر عدم قطعیت در نتایج این مدل‌هاست و همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده شد، هر مدل، در هر ماه و در هر سناریو دارای وزن متفاوتی است که به وضوح عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای اثبات می‌کند. در مجموع برای هر سه ایستگاه و برای همه سناریوها، مدل HADCM3 با ضریب وزنی ۰/۲۸ و مدل

IPCM4 با ضریب وزنی ۰/۲۴ به ترتیب برای شبیه‌سازی بارش و دما مدل‌های برگزیده حوضه چمچمال هستند. با اعمال ضرایب وزن‌دهی به‌دست آمده (مانند جدول ۲) به پیش‌بینی‌های شش مدل AOGCM دوره‌های آبی که به‌وسیله مدل LARS ریزمقیاس شدند، یک پیش‌بینی واحد (ترکیبی از مدل‌ها) مختص هر سناریو و برای پارامتر دما و بارش در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ برای هر ماه مختلف به‌دست آمد.

جدول ۲- ضریب وزنی مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای A2، A1B و B1 در ماه‌های مختلف سال برای میانگین بلندمدت بارش ایستگاه پل‌چهر

بارش												پارامتر	
jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec	مدل	سناریو
۰/۹۴	۰/۴۷	۰/۶۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۵۲	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۹۹	HADCM3	A2
۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۹۰	۰/۳۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۱۴	۰/۰۰	GFCM21	
۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۰	INCM3	
۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۶۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۰	IPCM4	
۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۹۱	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۴۴	۰/۰۱	MPEH5	
۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۰۰	NCCCSM	
۰/۵۵	۰/۳۱	۰/۷۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۵۲	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۵۷	HADCM3	A1B
۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۳۷	۰/۱۸	۰/۱۱	GFCM21	
۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۵	INCM3	
۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۱۴	۰/۷۶	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۰۵	IPCM4	
۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۹۰	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۱۳	MPEH5	
۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۴۰	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۰۹	NCCCSM	
۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۶۲	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۸۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۸۱	HADCM3	B1
۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۷۸	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۱۹	۰/۰۶	GFCM21	
۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۲	INCM3	
۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۲	IPCM4	
۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۹۸	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۳۹	۰/۰۵	MPEH5	
۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۶۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۴	NCCCSM	

تحت سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 برای ماه‌های مختلف و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد با اعمال مقادیر  $\Delta T$  و  $\Delta P$  به‌دست آمده، مقادیری برای متغیرهای بارش و دما دوره‌های آبی (۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶) حاصل شد. نتایج به‌دست آمده به‌صورت شکل‌های ۳ و ۴ قابل مشاهده است.

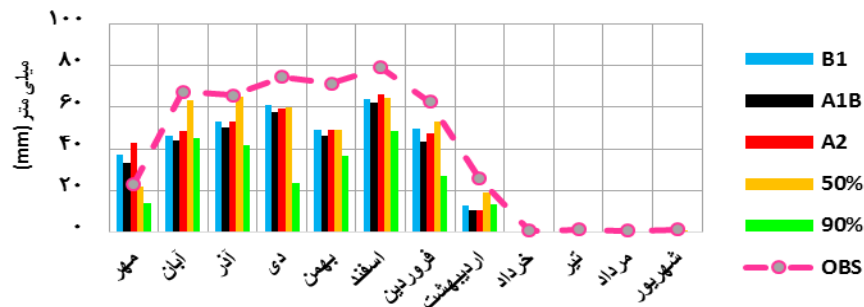
همان‌گونه که نتایج نشان داد، در بیشتر ماه‌های مختلف سال میزان بارش، کاهش خواهد یافت. نتایج پیش‌بینی میانگین بلندمدت بارش طی دوره آماری

بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما در دوره‌های آبی: شناخت نوسانات زمانی و مکانی پارامترهای دما و بارش تحت شرایط تغییر اقلیم و تاثیرات آن بر منابع آب و کشاورزی، نقش قابل توجه- ای در مدیریت منابع آب خواهد داشت. در این پژوهش، برای دست‌یابی به مقادیر نوسانات بارش و دما در دوره‌های آبی از شش مدل گردش عمومی AOGCM و با اعمال ضرایب وزن‌دهی به‌دست آمده، به پیش‌بینی‌های شش مدل AOGCM دوره‌های آبی

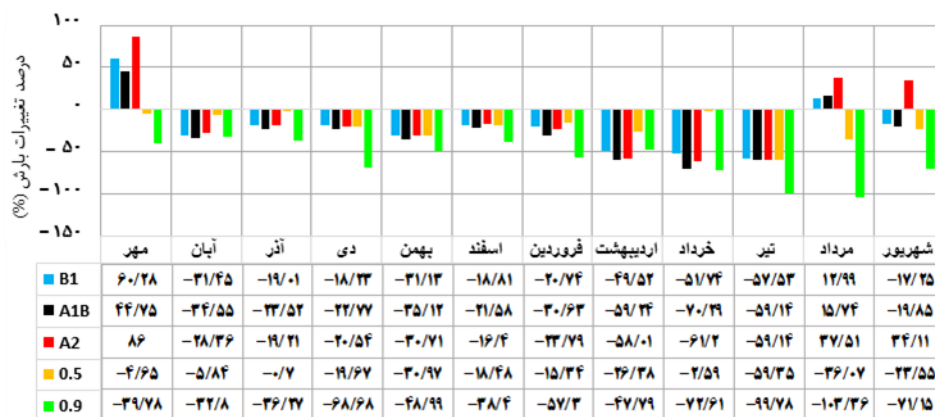


میزان ۲۰/۵۹-، ۲۶/۰۷-، ۱۹/۵۵-، ۴۷/۱۵- و ۱۵/۷۴- درصد کاهش به دست آمد. بارش در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ کاهش بیشتری یافته، نتایج نشان داد که هر چه زمان به سمت آینده پیش می‌رود، روند نزولی مقادیر بارش شدیدتر خواهد شد.

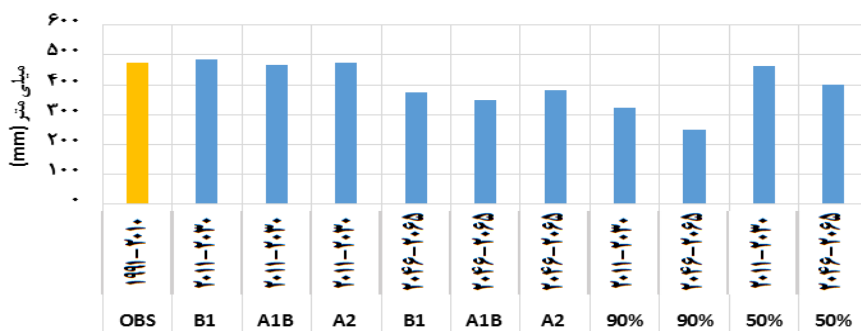
۲۰۱۱-۲۰۳۰، برای سناریوهای A1B و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد به ترتیب به میزان ۱/۸-، ۳۱/۷۸- و ۲/۳۳- درصد کاهش و در سناریوهای A2 و B1 بارش به میزان ۰/۱۲+، ۲/۴۹+ درصد افزایش نشان داد و برای میانگین بلندمدت بارش طی دوره آماری ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوهای A2، A1B و B1 و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد به ترتیب،



شکل ۳- پیش‌بینی میانگین بلندمدت بارش تحت سناریوهای A2، A1B و B1 و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در مقایسه با دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱

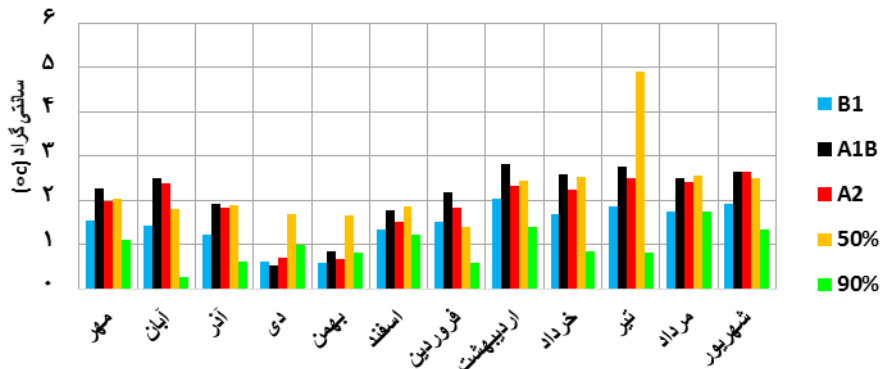


شکل ۴- درصد تغییرات بارش در ماه‌های مختلف، تحت سناریوهای A2، A1B و B1 و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱



شکل ۵- پیش‌بینی میانگین بلندمدت بارش سالانه تحت سناریوهای A2، A1B و B1 و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در مقایسه با دوره مشاهداتی<sup>۱</sup> ۱۹۹۱-۲۰۱۰

<sup>1</sup> Observation (OBS)



شکل ۶- اختلاف دمای بلندمدت در ماه‌های مختلف برای سناریوهای A2، A1B و B1 و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره پایه ۱۹۹۱-۲۰۱۰

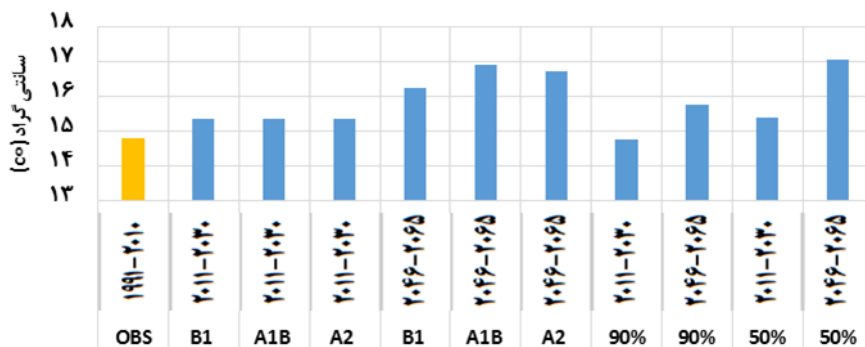
مشاهده می‌شود، طی دوره ۲۰ سال گذشته (مهر ۱۳۷۵ تا شهریور ۱۳۹۴) ۸/۵۴- متر کاهش نشان می‌دهد و نیز طی ۳۶ ماه مدل‌سازی (مهر ۱۳۸۷ الی شهریور ۱۳۹۰) به‌وسیله مدل GMS نیز تراز آب زیرزمینی به میزان ۰/۷- متر افت مشاهده شد.

مقایسه‌هایی که در شکل ۹ صورت گرفت، رابطه مستقیم بارش و رابطه عکس دما، با تراز آبخوان را نشان داد. نتیجه‌گیری دیگری که از نمودارهای شکل ۹ می‌توان گرفت آن است که علاوه بر اثرات دما و بارش و با توجه به آن‌که در ماه‌های فروردین تا شهریور به دلیل افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی به‌طور صعودی برداشت آب زیرزمینی از چاه‌ها افزایش یافته و تراز آب زیرزمینی روند کاهشی داشته است.

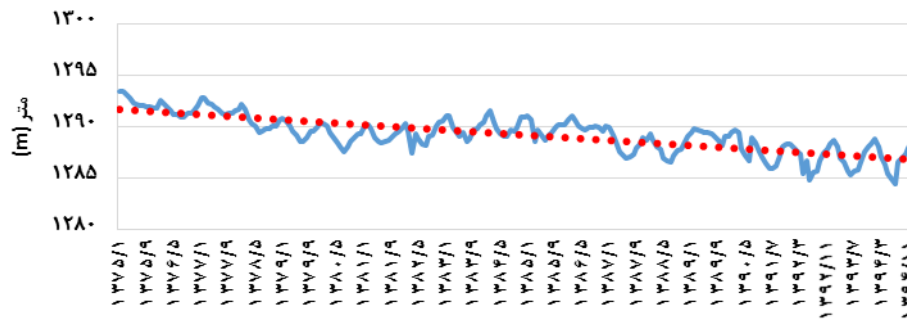
**واسنجی مدل آب زیرزمینی:** در این پژوهش، برای تطبیق و عملکرد مناسب شبیه‌سازی مدل، واسنجی مدل برای شبیه‌سازی آبخوان انجام گرفت. واسنجی مدل برای دو حالت ماندگار و غیرماندگار صورت پذیرفت.

همان‌گونه که نتایج نشان داد، در بیشتر ماه‌های مختلف سال دما افزایش خواهد یافت. نتایج پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای سناریوهای A2، A1B و B1 و سطح احتمالاتی ۵۰ درصد به ترتیب، میانگین بلندمدت دما به میزان  $+0/57$ ،  $+0/57$  و  $+0/6$  درجه سانتی‌گراد افزایش و تنها در سطح احتمالاتی ۹۰ درصد،  $-0/4$  سانتی‌گراد کاهش را طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نشان داد و همچنین، تغییرات میانگین بلندمدت دما برای سناریوهای A2، A1B و B1 و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد به ترتیب،  $+1/92$ ،  $+2/12$ ،  $+1/46$ ،  $+0/98$  و  $+2/3$  درجه سانتی‌گراد افزایش طی دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ به دست آمد. دما در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ افزایش بیشتری یافته، نتایج نشان داد که هر چه زمان به سمت آینده پیش می‌رود، دما روند افزایشی بیشتری دارد.

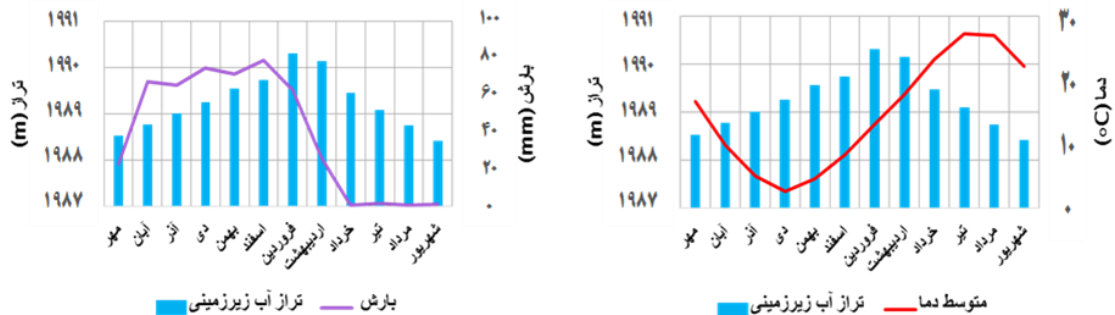
**بررسی روند تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در دوره مشاهداتی:** روند تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی دشت چمچمال همان‌گونه که در شکل ۸



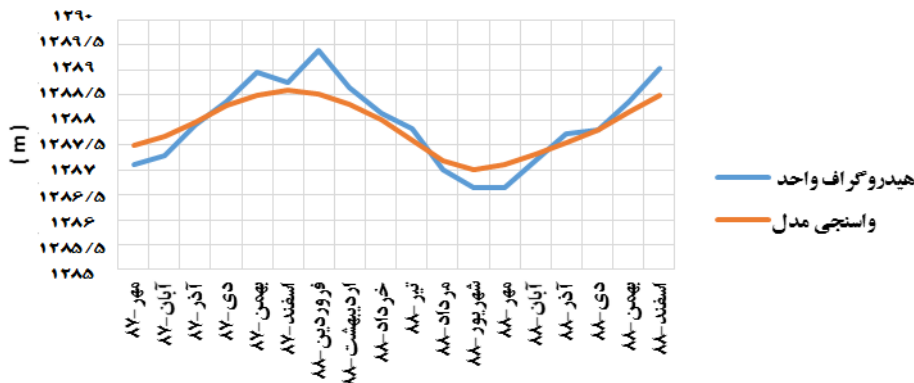
شکل ۷- مقایسه پیش‌بینی میانگین بلندمدت متوسط دمای سالانه تحت سناریوهای A2، A1B و B1 و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ با دوره پایه ۱۹۹۱-۲۰۱۰



شکل ۸- هیدروگراف واحد دشت چمچمال و روند تغییر سطح آب زیرزمینی



شکل ۹- مقایسه میانگین بلندمدت تراز آب زیرزمینی (۲۰۱۶-۱۹۹۶) با میانگین بلندمدت بارش و دما (۲۰۱۰-۱۹۹۱) در ماه‌های مختلف سال، دشت چمچمال



شکل ۱۰- مقایسه تراز آب زیرزمینی مدل واسنجی شده و هیدروگراف واحد آب زیرزمینی، دشت چمچمال

در دامنه قابل قبول قرار دارد. در گام بعد برای حالت غیرماندگار مقادیر خطاها در گام‌های زمانی (۱۸ ماهه) مختلف پس از واسنجی مدل، در همه ماه‌ها در محدوده قابل قبول ( $\pm 1$  متر) قرار دارد که حاکی از عملکرد مناسب مدل‌سازی انجام شده است (Mahmoodian Shooshtari, 2015; Ansari و همکاران، 2016).

واسنجی مدل برای حالت ماندگار برای شهریور ماه ۱۳۸۹ که ثبات خوبی در تراز سطح آب زیرزمینی داشت انجام شد و برای حالت غیرماندگار، دوره ۱۸ ماهه (مهر ۱۳۸۷ تا اسفند ۱۳۸۸) واسنجی شد. میزان خطای RMSE و MAE برای حالت ماندگار و غیرماندگار به قرار زیر است. میزان خطا در حالت ماندگار بعد از واسنجی مدل

جدول ۳- میزان شاخص‌های ME، MAE و RMSE برای حالت ماندگار

میانگین خطا (ME)	۰/۱۵۷
میانگین خطای مطلق (MAE)	۰/۴۳۷
مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)	۰/۵۱۱

جدول ۴- میزان شاخص‌های MAE، ME و RMSE در کل دوره ۱۸ ماهه واسنجی (غیرماندگار)

میانگین خطا (ME)	-۰/۰۵۷
میانگین خطای مطلق (MAE)	۰/۵۳۰
مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)	۰/۶۷۰

مقادیر خطاها در گام‌های زمانی (۱۸ ماهه) مختلف طی دوره صحت‌سنجی مدل، در همه ماه‌ها در محدوده قابل قبول قرار دارد که حاکی از انطباق مناسب مدل شبیه‌سازی شده با شرایط طبیعی آبخوان است.

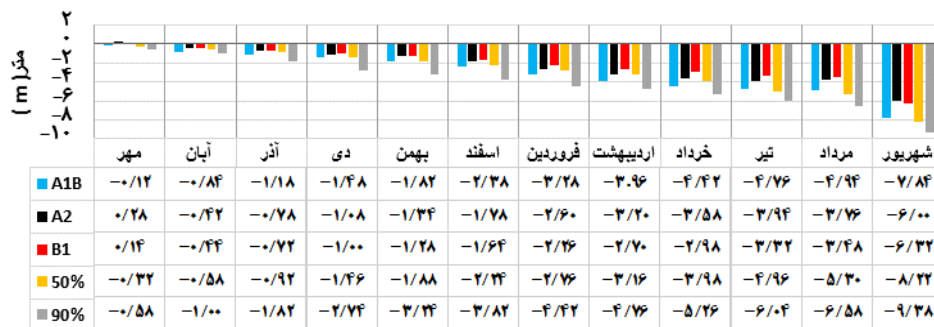
صحت‌سنجی مدل آب زیرزمینی: برای تصدیق عملکرد مدل، صحت‌سنجی مدل برای دوره ۱۸ ماهه (فروردین ۱۳۸۹ الی شهریور ۱۳۹۰)، صورت پذیرفت و مقدار شاخص‌های RMSE و MAE به دست آمده نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل شبیه‌سازی است.

جدول ۵- میزان شاخص‌های MAE، ME و RMSE در کل دوره ۱۸ ماهه صحت‌سنجی

میانگین خطا (ME)	۰/۲۲۴
میانگین خطای مطلق (MAE)	۰/۶۴۲
مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)	۰/۸۶۳

رودخانه‌ها، تبخیر آب زیرزمینی و برداشت از چاه‌های آب زیرزمینی آبخوان، مدل مفهومی مجدداً اجرا و شبیه‌سازی برای دوره‌های آتی انجام گرفت. خروجی نتایج افت سطح آب زیرزمینی در همه سناریوهای اقلیمی A2، A1B و B1 و دو سطح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۶ نشان داد، مقادیر ۲۰۴۶ نسبت به دوره ۲۰۱۵-۲۰۳۰ افت تراز آب زیرزمینی در جدول ۶ آمده است. میزان تغییرات آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف برای دوره‌های آتی به شکل زیر آمده است.

تأثیرات متغیرهای اقلیمی بر تراز آب زیرزمینی منطقه در دوره‌های آتی: درگام بعد از صحت‌سنجی مدل پیش‌بینی وضعیت آبی آبخوان تحت تاثیر تغییر اقلیم در دو دوره آبی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ با استفاده از مدل MODFLOW انجام گرفت. برای این منظور با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم برای سناریوهای A2، A1B و B1 و دو سطح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد، مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان نوسانات آبخوان محاسبه شد. برای این کار، پس از تغییرات ایجادشده در پارامترهای مختلفی که بارش و دما بر آن تاثیر گذاشته‌اند، از جمله تغذیه آبخوان، دبی



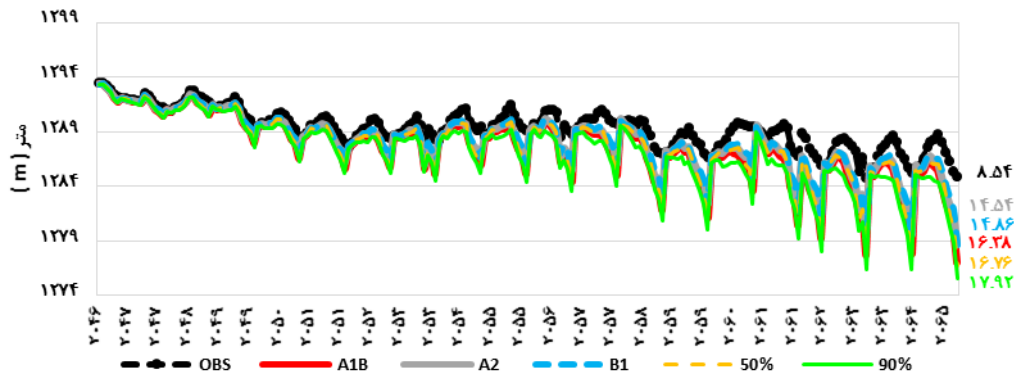
شکل ۱۱- میزان نوسانات تراز سطح آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره ۱۹۹۶-۲۰۱۵

نیز، تغییر بارش (کاهش کمتر بارش) در دوره‌های آتی و حتی در ماه‌هایی افزایش بارش برای سه سناریو A2، A1B و B1 است. از طرفی، افزایش دمای کمتری

افت تراز آب زیرزمینی همان‌گونه که در شکل ۱۱ مشاهده شد، در شش ماه مهر تا اسفند (فصل پاییز و زمستان) افت تراز آب زیرزمینی کمتر است و علت آن

در این شش ماه رخ داد و حتی در برخی از سناریوها کاهش دما مشاهده می‌شود. شش ماه فروردین تا شهریور (فصل بهار و تابستان) نسبت به شش ماه قبل (فصل پاییز و زمستان) افت تراز آب زیرزمینی افزایش بیشتری دارد زیرا که افزایش دما و کاهش بارش در این ماه‌ها بیشتر است. افت تراز آب زیرزمینی طی دوره

در این شش ماه رخ داد و حتی در برخی از سناریوها کاهش دما مشاهده می‌شود. شش ماه فروردین تا شهریور (فصل بهار و تابستان) نسبت به شش ماه قبل (فصل پاییز و زمستان) افت تراز آب زیرزمینی افزایش بیشتری دارد زیرا که افزایش دما و کاهش بارش در این ماه‌ها بیشتر است. افت تراز آب زیرزمینی طی دوره



شکل ۱۲- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت چمچمال، تحت سناریوهای A1B و A2 و B1 و سطوح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در مقایسه با دوره پایه (مشاهداتی) ۱۹۹۶-۲۰۱۵

جدول ۶- پیش‌بینی میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی بارش و دما، افت تراز آب زیرزمینی نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۵-۱۹۹۶) و افت تراز آب زیرزمینی پایان دوره، تحت سناریوهای مختلف در دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶

سناریو	۲۰۳۰-۲۰۱۱			۲۰۶۵-۲۰۴۶			دوره
	تغییرات دما (C°)	تغییرات بارش (درصد)	افت تراز آب زیرزمینی (m)	تغییرات دما (C°)	تغییرات بارش (درصد)	افت تراز آب زیرزمینی (m)	
B1	۰/۵۷	۲/۴۹	-۹/۶۰	۱/۴۶	-۱۹/۵۵	-۱۴/۸۶	B1
A1B	۰/۵۷	-۱/۸۰	-۱۰/۷۶	۲/۱۲	-۲۶/۰۷	-۱۶/۳۸	A1B
A2	۰/۵۷	۰/۱۲	-۱۰/۷۴	۱/۹۲	-۲۰/۵۹	-۱۴/۵۴	A2
50%	۰/۶۰	-۲/۳۳	-۱۲/۵۲	۲/۳۰	-۱۵/۷۴	-۱۶/۷۶	50%
90%	-۰/۰۴	-۳۱/۷۸	-۱۵/۷۲	۰/۹۸	-۴۷/۱۵	-۱۷/۹۲	90%

### نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی دشت چمچمال با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوسی (AOGCM) است. باتوجه به روند تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت چمچمال طی دوره ۲۰ ساله گذشته (مهر ۱۳۷۵ تا شهریور ۱۳۹۴) ۸/۵۴- متر کاهش نشان می‌دهد که این میزان افت، اهمیت و ضرورت ارزیابی این تاثیرات بر منطقه را تاکید می‌کند. در این راستا، برای بررسی تاثیر تغییر اقلیم تحت شرایط عدم قطعیت، برای اعتباربخشی و بالابردن دقت در نتایج

پیش‌بینی‌ها بارش و دما از روش‌های وزن‌دهی و استخراج سطوح احتمالاتی استفاده شد. در روش وزن‌دهی به یک مدل اکتفا نشده، از شش مدل گردش عمومی AOGCM شامل مدل‌های HADCM3، GFCM21، INCM3، JPCM4، MPEH5 و NCCCSM تحت سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 و خروجی این مدل‌ها به میزان تطابق با داده‌های مشاهداتی منطقه وزن بیشتری دریافت کردند و در روش استخراج سطوح احتمالاتی از دو سطح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد از خروجی شش مدل و سه سناریوی اشاره‌شده، مورد استفاده قرار گرفته است. در مجموع،

میانگین دما  $1/92+$ ،  $2/12+$ ،  $1/46+$ ،  $0/98+$  و  $2/3+$  درجه سانتی‌گراد و تغییرات میانگین بارش به میزان  $20/59-$ ،  $26/07-$ ،  $19/55-$ ،  $47/15-$  و  $15/74-$  درصد برآورد شد. در مجموع در دوره‌های آبی دما در فصل زمستان نسبت به فصول دیگر افزایش کمتری مشاهده شد و بارش نیز در فصل بهار کاهش بیشتری نسبت به فصول دیگر داشته است. نهایتاً، اثر تغییر اقلیم بر تراز آبخوان تحت سناریوها مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان نوسانات آبخوان محاسبه شد. نتایج نشان داد، سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای A2، A1B و B1 و دو سطح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد برای دوره‌های  $2011-2030$  و  $2046-2065$  بین  $9/6-$  تا  $17/92-$  متر افت خواهد داشت که نسبت به دوره  $2015-1996$  به میزان  $1/06-$  تا  $9/38-$  متر تغییر تراز را نشان داد که مقدار متوسط افت سالانه سطح آب زیرزمینی از  $0/427$  متر، تحت سناریوهای مختلف در دوره‌های آبی، به  $0/48$  تا  $0/896$  متر افزایش می‌یابد. همچنین، مشاهده شد که سناریوی اقلیمی B1 کمترین افت تراز آب زیرزمینی و سناریو سطح احتمالاتی ۹۰ درصد نیز بیشترین افت تراز آب زیرزمینی را در پی دارند. نتایج بررسی‌ها در همه سناریوها نشان داد (مطابق جدول ۶) که دوره زمانی  $2046-2065$  نسبت به دوره زمانی  $2011-2030$  با افزایش دما، کاهش بارش و افت تراز آب زیرزمینی بیشتری همراه است و با توجه به تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده از این پژوهش و گزارش‌های IPCC و همچنین، مطالعات دیگر محققان مانند Babaeian و همکاران (۲۰۱۳)، حاکی از آن است که هرچه به سمت سال‌های آینده پیش می‌رویم، اثرات تغییر اقلیم تشدید شده و موجب کاهش و هدر رفت منابع آب موجود می‌شود و ممکن است، مشکلات بیشتری را پدید آورد. این میزان کاهش بارش و افزایش دما و به موجب آن افزایش تبخیر، باعث تغییراتی در چرخه آب و هوایی موجود می‌شود که کاهش آب سطحی و کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و در پی آن افت سطح آب زیرزمینی را به دنبال داشت. علاوه بر این، تغییرات مشاهده‌شده می‌تواند بر الگو بارش و تقویم کشت محصولات کشاورزی نیز اثرگذار باشد. برای سازگاری و جلوگیری از تبعات منفی ناشی اثر تغییر

برای سه ایستگاه پل‌چهر، ایستگاه حیدرآباد و ایستگاه آران و برای همه سناریوها، مدل HADCM3 با ضریب وزنی  $0/28$  و مدل IPCM4 با ضریب وزنی  $0/24$  به‌ترتیب برای شبیه‌سازی بارش و دما مدل‌های برگزیده حوضه چمچمال هستند که با اعتبارسنجی مدل‌ها که با استفاده از معیارهای عملکرد شامل RMSE، MAE و NS صورت پذیرفت، نیز هم‌خوانی دارند. برای بررسی مدل آب زیرزمینی از مدل GMS استفاده شد و میزان مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) حاصل از مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی دشت چمچمال در طی دوره ۱۸ ماهه واسنجی  $0/67$  و دوره ۱۸ ماهه صحت‌سنجی  $0/863$  برآورد شد که حاکی از عملکرد مناسب مدل‌سازی انجام‌شده است. بررسی‌ها نشان داد، شکل ۹ که در دوره ۲۰ ساله مشاهداتی (مهر ۱۳۷۵ تا شهریور ۱۳۹۴)، رابطه مستقیم بارش و رابطه عکس دما با تراز آبخوان وجود دارد و علاوه بر اثرات دما و بارش و با توجه به آن‌که در ماه‌های فروردین تا شهریور به دلیل افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی، به‌طور صعودی برداشت آب زیرزمینی از چاه‌ها افزایش یافته، تراز آب زیرزمینی در این ماه‌ها روند کاهشی داشته است. افت تراز آب زیرزمینی در طی دوره مشاهداتی می‌تواند ناشی از اثرات تغییر اقلیم و نیز افزایش برداشت آب زیرزمینی و به دلیل افزایش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی، افزایش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری و غیره است. نتایج پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای سناریوهای مختلف همان‌گونه که در جدول ۶ دیده شد، در اغلب سناریوها، پارامتر دما افزایش و بارش کاهش یافت که با گزارش‌های IPCC و همچنین، تحقیقات دیگر محققان از جمله Babaeian و همکاران (۲۰۱۳)، Ghasemi و همکاران (۲۰۱۳) و Razaie Banafsheh و همکاران (۲۰۱۵) تطابق دارد. نتایج پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای سناریوهای A2، A1B و B1 و دو سطح احتمال ۹۰ و ۵۰ درصد به‌ترتیب نشان‌دهنده تغییرات میانگین دما به میزان  $0/57+$ ،  $0/57+$ ،  $0/04-$  و  $0/06+$  درجه سانتی‌گراد و تغییرات میانگین بارش به میزان  $0/12+$ ،  $1/8-$ ،  $2/49+$ ،  $31/78-$  و  $2/33-$  درصد طی دوره  $2011-2030$  بود. به همین ترتیب، برای دوره  $2046-2065$  تغییرات

اقلیم بر منطقه باید با اتخاذ استراتژی‌های موثرتر و پایدارتر و با به‌کارگیری آن در مدیریت صحیح منابع آب، از آثار سوء تغییر اقلیم بر منابع آب منطقه کاست، تا به حفظ هر چه بهتر این منابع منجر شود.

#### منابع مورد استفاده

1. Acharyya, A. 2014. Groundwater, climate change and sustainable well being of the poor: policy options for South Asia, China and Africa. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 157: 226 – 235.
2. Akbarzadeh, Y., M. Eslahi, F. Sadeghi Shaghaghgi and M.D. Babaie. 2014. Investigating the effects of climate change on groundwater resources, a case study: Sufi Chay Basin. Second Regional Conference on Climate Change and Earth's Heat, Zanjan, Climate Change Research Institute and Ground Warming (in Persian).
3. Akhoni Pourhosseini, F., S. Darbandi and I. Asadi. 2015. Assessing the impact of climate change on groundwater resources. Water Engineering Conference and Exhibition, Tehran (in Persian).
4. Ansari, S., A.R. Massah Bavani and A. Roozbahani. 2016. Effects of Climate change on groundwater recharge, a case study: Sefid Dasht Plain. *Journal of Water and Soil*, 30(2): 416-431 (in Persian).
5. Ansari, H., M. Khadivi, N. Salehnia and I. Babaeian. 2014. Evaluation of uncertainty LARS Model under scenarios A1B, A2 and B1 in Precipitation and Temperature Forecast, a case study: Mashhad Synoptic Stations. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(8): 664-672 (in Persian).
6. Ashofteh, P. and O. Bozorg Haddad. 2013. Probabilistic approach to assessing the impacts of climate change on water resources. *Journal of Water Resources Engineering*, 6: 51-66 (in Persian).
7. Babaeian, I., M. Zarghami, M. Koochi, O. Babaeian, M. Karimian and R. Modirian. 2013. Water resources assessment over Gharaghom Catchment under climate change, case study of Daregaz Sub-basin. *Journal of Water and Soil*, 27(5): 907-918 (in Persian).
8. Boyce, S.E., T. Nishikawa and W.W. Yeh. 2015. Reduced order modeling of the Newton formulation of MODFLOW to solve unconfined groundwater flow. *Advances in Water Resources*, 83: 250-262.
9. Changnon, S.A., F.A. Huff and C.F. Hsu. 1988. Relations between precipitation and shallow groundwater in Illinois. *Journal of Climate*, 1: 1239–1250.
10. Chen, H., S. Wang, Z. Gao and Y. Hu. 2010. Artificial neural network approach for quantifying climate change and human activities impacts on shallow groundwater level, a case study of Wuqiao in North China Plain. *IEEE 2010 18th International Conference on Geoinformatics Beijing, China* [doi:10.1109\_GEOINFORMATICS.2010.5567678].
11. Crosbie, R.S., B.R. Scanlon, F.S. Mpelasoka, R.C. Reedy, J.B. Gates and L. Zhang. 2013. Potential climate change effects on groundwater recharge in the High Plains Aquifer, USA. *Water Resources Research*, 49, doi: 10.1002/wrcr.20292.
12. Dehn, M., G. Burger, J. Buma and P. Gasparetto. 2000. Impact of climate change on slope stability using expanded downscaling. *Engineering Geology*, 55: 193–204.
13. Ghasemi, A., A. Fattahi and O.S. Babaei. 2013. The impact of climate change on runoff with the uncertainty approach to the models of general circulation of barley. *Geographical Studies in Arid Areas*, 13(4): 53-37 (in Persian).
14. Goderniaux, P., S. Brouyère, H.J. Fowler, S. Blenkinsop and R. Therrien. 2009. Large scale surface–subsurface hydrological model to assess climate change impacts on groundwater reserves. *Journal of Hydrology*, 373: 122-138.
15. Graham, P., S. Hagemann, S. Juan and M. Beniston. 2007. On interpreting hydrological change from regional climate models. *Journal of Climatic Change*, 81: 97-122.
16. Groves, D.G., D. Yates and C. Tebaldi. 2008. Developing and applying uncertain global climate change projections for regional water management planning. *Water Resources Research*, 44: 1-16.
17. Haghghi, P., S.J. Sadatinejad, A.A. Matkan and H.M. Jahangir. 2016. Impact of climate change on renewable groundwater resources, a case study: Bakhtegan Watershed Bakhtegan. MSc Thesis, University of Tehran, 128 pages (in Persian).
18. Husseini khah, M., H. Zayni Wand, A. Haghizadeh and N. Tahmasebi Pour. 2014. Verification of temperature and precipitation values of general circulation models at stations in Kermanshah, Ravansar and Eslamabade Gharb, 1(3): 195-206 (in Persian).
19. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Third assessment report on climate change. 4th Assessment Report on Climate Change, <http://www.ipcc.ch>.
20. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2010. Meeting report IPCC expert meeting on assessing and combining multi model climate projections. National Center for Atmospheric Research, Boulder Colorado, USA, 115 pages.
21. Jackson, C., R. Meister and C. Prudhomme. 2011. Modeling the effects of climate change and its uncertainty on UK Chalk groundwater resources from an ensemble of global climate model projections. *Journal of Hydrology*, 399: 12-28.

22. Jalili, K., A.R. Moradi and O. Bozorg Haddad. 2016. Assessment of climate change impacts on water resources in Islam Abad Aquifer and land allocation optimization. *Scientific Journal of the Ecosystem of the Desert*, 5(11): 11-27 (in Persian).
23. Kamal, AR. and AR. Massah Bavani. 2011. Evaluation of uncertainty of AOGCM-AR4 models and hydrologic models in estimating temperature, precipitation and runoff of Ghareh Sou Basin under the influence of climate change. *Iranian Journal of Water Research*, 5(9): 50-39 (in Persian).
24. Karamoz, M., A. Aboul Pour and S. Nazif. 2011. Evaluation of the effect of climate change on groundwater resources in the case of Rafsanjan Plain. Fourth Iranian Conference on Resources Management, Tehran, Amir Kabir University of Technology, 13 and 14 May (in Persian).
25. Kumar, C.P. and S. Singh. 2015. Climate change effects on groundwater resources. *Journal of Environmental Research*, 3(4): 264-271.
26. Mahmoodian Shoostari, M. 2015. *Hydraulics of groundwater*. Shahid Chamran University Press, 539 pages (in Persian).
27. Meddi, M. and A. Boucefiane. 2013. Climate change impact on groundwater in Cheliff-Zahrez Basin, Algeria. ICESD 2013: January 19-20, Dubai, UAE, APCBEE Procedia, 5: 446-450.
28. Meixner, T., A.H. Manning, D.A. Stonestrom, D.M. Allen, H. Ajami, K.W. Blasch, A.E. Brookfield, C.L. Castro, J.F. Clark, D.J. Gochis and A.L. Flint. 2016. Implications of projected climate change for groundwater recharge in the western United States. *Journal of Hydrology*, 534: 124-138.
29. Mohanty, S., M.K. Jha, A. Kumar and D. Panda. 2013. Comparative evaluation of numerical model and artificial neural network for simulating groundwater flow in Kathajodi-Surua Interbasin of Odisha, India. *Journal of Hydrology*, 495: 38-51.
30. New, M. and M. Hulme. 2000. Representing uncertainty in climate change scenarios: a Monte-Carlo approach. *Integrated Assessment*, 1: 203-213.
31. Racsco, P., L. Szeidl and M. Semenov. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling*, 57: 27-41.
32. Razaie Banafsheh, M., T. Jalali Ansaroodi, M. Zarghami and A. Asghari Moghaddam. 2015. Investigate of climate change impacts on groundwater level in Tasuj Basin by statistical downscaling method. *Iran-Water Resources Research*, 11(2): 106-116 (in Persian).
33. Rossman, N.R., V.A. Zlotnik and C.M. Rowe. 2017. Using cumulative potential recharge for selection of GCM projections to force regional groundwater models: a Nebraska Sand Hills example. *Journal of Hydrology*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.019>.
34. Salami, H., H. Nassery and A. Massah Bavani. 2015. Probabilistic forecast of climate change effects on Hamadan-Bahar Aquifer. *Journal of Water and Irrigation Management*, 5(1): 27-41 (in Persian).
35. Scibek, J. and D.M. Allen. 2006. Modeled impacts of predicted climate change on recharge and groundwater levels. *Water Resources Research*, 42(W11405), doi: 10.1029/2005WR004742.
36. Seeboonruang, U. 2016. Impact assessment of climate change on groundwater and vulnerability to drought of areas in Eastern Thailand. *Environmental Earth Sciences*, 75(1): 42-58.
37. Semenov, M.A. and R.J. Brooks. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climate Research*, 11(2): 137-148.
38. Semenov, M.A. and P. Stratonovitch. 2010. The use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41: 1-14.
39. Senatore, A., G. Mendicino, G. Smiatek and H. Kunstmann. 2011. Regional climate change projections and hydrological impact analysis for a Mediterranean basin in Southern Italy. *Journal of Hydrology*, 399(2011): 70-92.
40. Shakiba, A. and A. Cheshmi. 2011. Assessing the impact of climate change on groundwater resources in the Ramhormoz Plain using the NARX Neural Network. *Journal of Earth Science Researches*, 8(2): 46-57.
41. Soleimani, F., A. Kolahchi and A. Arsham. 2017. Investigation of climate change effect on groundwater balance and level in Plain Ramhormoz. *Extension and Development of Watershed Management*, 5(17): 17-35 (in Persian).
42. Wilby, R. and I. Harris. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames. UK, *Water Resources Research*, 42(2): 23-40.
43. Xu, C. 1999. From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. *Progress in Physical Geography*, 232: 229-249.
44. Zektser, I.S. and H.A. Loaiciga .1993. Groundwater fluxes in the global hydrologic cycle: past, present and future. *Journal of Hydrology*, 144: 405-427.