

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۲، پاییز ۱۳۹۶، صص ۸۹-۱۱۰

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵

## بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبخیز تویسرکان به کمک مدل‌های گردش عمومی جو

سمانه پورمحمدی<sup>۱\*</sup>

محمدتقی دستورانی<sup>۲</sup>

علیرضا مساح بوانی<sup>۳</sup>

هادی جعفری<sup>۴</sup>

### چکیده

تغییر اقلیم تأثیر زیادی بر تمامی ابعاد زندگی بشر گذاشته است. از جمله تأثیرات محسوسه که تغییر اقلیم داشته است، کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور بوده که دستخوش تغییراتی زیادی شده است. تغییرات اقلیمی بر میزان، زمان و نوع بارش، تأثیر در کیفیت آب، باعث افزایش خشکسالی، افزایش تقاضا برای آب، تغییر در نوع مدیریت منابع آب و همچنین افزایش سطح آب دریاها و مشکلات ناشی از آن می‌شود. تغییر اقلیم بر دامنه‌ی تغییرات دمایی نیز تأثیرات زیادی داشته است به طوری که بر مقادیر حد نهایی دمای کمینه و بیشینه مؤثر بوده و دامنه‌ی تغییرات دمایی را تحت تأثیر قرار داده است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی آثار تغییر اقلیم بر بارش، دمای کمینه و بیشینه به کمک مدل گردش عمومی جو تحت دو سناریوی A1B و B1 در دوره ۲۰۳۹-

۱- محقق موسسه تحقیقات آب ایران (کارشناس مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها) تهران (نویسنده‌ی مسئول).  
E-mail: s.poormohammadi@gmail.com

۲- استاد دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

۳- دانشیار دانشگاه تهران پردیس ابوریحان، تهران.

۴- استادیار هیدروژئولوژی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

۲۰۱۱ می‌باشد. به این منظور با استفاده از توزیع آماری بتا تغییرات بارش، دمای کمینه و بیشینه استخراج شده از ۱۵ مدل گردش عمومی جو، در احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد محاسبه گردید. نتایج نشان داد که از احتمال وقوع ۲۰ به ۸۰ درصد تحت هر دو سناریوی A1B و B1 دمای کمینه و بیشینه در حال افزایش و بارش در حال کاهش می‌باشد. دمای کمینه و بیشینه تحت سناریوی A1B بیشتر از سناریوی B1 افزایش یافته است و بارش تحت تأثیر سناریوی B1 نسبت به سناریوی A1B بیشتر کاهش یافته است. در نهایت نتایج نشان داد که بارش ۱۹ تا ۲۲٪ کاهش و دمای کمینه ۱۳ تا ۲۰٪ و دمای بیشینه ۴/۲ تا ۴/۶ درصد نسبت به دوره‌ی پایه در حوضه‌ی آبخیز تویسرکان افزایش یافته است.

**کلمات کلیدی:** تغییر اقلیم، LARS-WG، حوضه‌ی آبخیز تویسرکان، تابع توزیع بتا.

## مقدمه

امروزه پدیده‌ی تغییر اقلیم به عنوان مسئله‌ای ملی و فراملی حائز اهمیت و مورد توجه محافل علمی و حتی سیاسی می‌باشد. پدیده‌ی تغییر اقلیم با تأثیر روی بارش، درجه حرارت و میزان رسوب تولیدی به صورت غیرمستقیم کیفیت آب را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در تحقیقی که توسط انصاری (۱۳۹۰: ۱۱۰) صورت گرفت به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی پرداخت. در این تحقیق از مدل هد سی ام تری<sup>۱</sup> تحت سناریوی A2 به پیش‌بینی دما و بارش در دوره‌ی آتی ۲۰۳۴-۲۰۱۵ استفاده شد، همچنین از مدل جی ام اس<sup>۲</sup> برای تعیین بیلان آب زیرزمینی و تعیین سطح ایستابی دشت استفاده شد. جهت کوچک مقیاس کردن

1- Hadcm3

2- GMS

داده‌های اقلیمی از مدل لارس-دلیو جی<sup>۱</sup> استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح ایستابی در دوره‌های آبی تحت شرایط کاهش تغذیه‌ی ناشی از بارش کاهش محسوسی خواهد داشت. در تحقیقی که توسط دستورانی و همکاران (۲۰۱۱: ۱۴) صورت گرفت به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه یزد پرداختند. در این تحقیق دو شاخص خشکسالی RDI و SPI را تحت تأثیر مدل‌های گردش عمومی جو Hadcm3 و تحت دو سناریوی A2 و B2 مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق که توسط دستورانی و همکاران (۲۰۱۱: ۴۹) صورت گرفت به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه یزد صورت گرفت، از مدل Hadcm3 و تحت دو سناریوی A2 و B2 جهت شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه در دوره‌ی آبی ۲۰۱۱-۲۰۳۹ استفاده کردند. نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره‌ی آبی ۰/۴ میلی‌متر در سال افزایش خواهد یافت ژانگ و نیرینگ<sup>۲</sup> (۲۰۰۵: ۱۲۱) مطالعه‌ای را با هدف محاسبه پتانسیل تأثیرات تغییر اقلیم روی فرسایش خاک، رواناب سطحی و تولید گندم در مرکز اوکلاهما انجام دادند. کوهن<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶: ۳۴) آثار زمین‌شناسی و چینه‌شناسی را بر عکس‌العمل‌های آب‌های سطحی / آب‌های زیرزمینی، تبخیر و تعرق و تغذیه تحت شرایط تغییرات اقلیم طولانی مدت، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نوسانات با دامنه‌ی بیشتر و دوره‌ی طولانی‌تر در بخش‌هایی از حوضه‌های آبریز به سبب پاسخ سیستم لایه‌ی آبدار در ارتباط با نوسانات اقلیم کوتاه‌مدت به وقوع می‌پیوندد. جیکاما و سایکس<sup>۴</sup> (۲۰۰۷: ۱۱۴) اثرات زمانی و مکانی تغییر اقلیم را بر تغذیه‌ی آب زیرزمینی در حوضه‌ی رودخانه‌ی Grand واقع

---

1- LARS-WG

2- Zhang and Nearing

3- Cohen et al.,

4- Jyrkama and Sykes

در کانادا مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، از پیش‌بینی‌های گزارش سوم IPCC جهت بررسی اثر تغییر اقلیم استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییر بارندگی، بیشترین اثر را بر چرخه هیدرولوژیکی دارد، در حالی که تابش خورشیدی کمترین تأثیر را داشته است. بورنس و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۷: ۲۱) از آزمون ناپارامتری من‌کندال و بر اساس داده‌های درجه حرارت ۹ ایستگاه، بارندگی ۱۲ ایستگاه و اندازه‌گیری جریان در ۸ ایستگاه، به ارزیابی روندهای سالانه، ماهانه و چندماهه در درجه حرارت هوا، مقدار بارش، رواناب، تبخیر و تعرق (PET) در منطقه طی دوره ۱۹۵۲-۲۰۰۵ پرداختند. پاسکال و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۹: ۶۲) جهت ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی از مدل هیدرولوژیکی سطحی و زیرسطحی در مقیاس بزرگ در حوضه‌ای در آمریکا استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که افزایش چشمگیری در سطوح آب زیرزمینی صورت پذیرد و میزان جریان آب سطحی تا سال ۲۰۸۰ (بین ۹ درصد تا ۳۳ درصد) افزایش پیدا کند. جکسون و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰: ۸۴) در تحقیقی مدل سازی آثار تغییر اقلیم و تعیین عدم قطعیت آن بر منابع آب زیرزمینی را از طریق مجموع پروژه‌های مدل اقلیم جهانی انجام دادند. جونگ و چانگ<sup>۴</sup> (۲۰۱۰: ۶۸) به ارزیابی روندهای رواناب آینده تحت چندین سناریوی تغییر اقلیم در حوضه رودخانه ویلامت<sup>۵</sup> اورگان آمریکا پرداختند. در این مطالعه روندهای مؤلفه‌های رواناب فصلی در حوضه رودخانه Willamette اورگان برای قرن ۲۱ مورد بررسی قرار گرفت. آبازیید و الشیناوی<sup>۶</sup> (۲۰۱۱: ۶۱) در تحقیقی تأثیر تغییر اقلیم در ارتباط با افزایش سطح دریا و ورود آب شور به سفره‌ی

1- Burnes et al.,

2- Pascal Goderniaux

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

4- Jung and Chang

5- Willamette

6- Abayazid Elshinnawand

آب زیرزمینی در کشور مصر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات پیش‌بینی نشان می‌دهد که سطح مشترک آب شور/ آب شیرین در سال‌های (۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰) به ترتیب تا ۳۵ متر، ۱۸۰ متر، ۵۰۹ متر و ۱۰۶۵/۸ متر در مناطق مورد مطالعه خواهد رسید که در نتیجه‌ی تغییر اقلیم و افزایش سطح دریا می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات تغییر اقلیم بر حوضه‌ی آبخیز تویسرکان توسط مدل گردش عمومی جو تحت دو سناریوی A1B و B1 می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه‌ی مطالعاتی

این تحقیق در حوضه‌ی آبخیز تویسرکان در استان همدان در غرب کشور ایران انجام شد. حوضه‌ی آبخیز تویسرکان به وسعت ۷۹۱/۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد که ۲۰/۷ درصد از مساحت آن را دشت تویسرکان با مساحت به وسعت ۱۶۴/۴۶ کیلومتر مربع تشکیل می‌دهد. این حوضه‌ی آبخیز دارای کاربری اراضی متعددی بوده و بخش اصلی دشت را مناطق کشاورزی آبی و دیم تشکیل می‌دهد. به عبارتی، ۲۴ درصد از حوضه‌ی آبخیز دارای کاربری اراضی دیم و آبی می‌باشد.

در این تحقیق با رویکرد جدیدی اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آتی با احتمال وقوع ۲۰٪، ۵۰٪ و ۸۰٪ شد. به این منظور از مدل گردش عمومی جو و ۲ سناریوی A1B و B1 استفاده شد. به این منظور سه گام اساسی جهت شبیه‌سازی دما و بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم برداشته شد. (۱) مرحله آماده‌سازی داده‌ها: از آنجایی که ایستگاه سینوپتیک تویسرکان تنها دارای ۸ سال دوره‌ی آماری بود و جهت کالیبره کردن و شبیه‌سازی مدل در دوره‌های آتی سابقه‌ی کافی نداشت بنابراین با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان شامل: دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی به ایستگاه تویسرکان با رابطه‌ی

رگرسیون فصلی تعمیم داده شد. و در ادامه از داده‌های بارش ایستگاه باران‌سنج سرابی استفاده شد. طول دوره آماری در دوره پایه ۱۸ سال در نظر گرفته شد. آماره‌های خطای ریشه‌ی خطای استاندارد، خطای مطلق و ضریب نش ساتکلیف نیز برای داده‌های شبیه‌سازی شده دوره پایه و دوره آتی تعیین شدند. (۲) در گام بعدی از ۱۵ مدل اقلیمی تغییرات دمای کمینه ( $\Delta T_{min}$ )، تغییرات دمای بیشینه ( $\Delta T_{max}$ ) و نسبت تغییرات بارش ( $\Delta P$ ) برای دو سناریوی A1B و B1 برای ۱۲ ماه سال از مدل لارس استخراج گردید. با مقایسه‌ی مقادیر حاصل از ۱۵ مدل گردش عمومی جو می‌توان محدوده‌ی تغییرات متغیرهای اقلیمی را مشخص نمود. لیست مدل‌های استفاده شده در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) مدل‌های گردش عمومی جو مورد استفاده جهت تعیین تغییرات دما و بارش در دوره‌های آتی

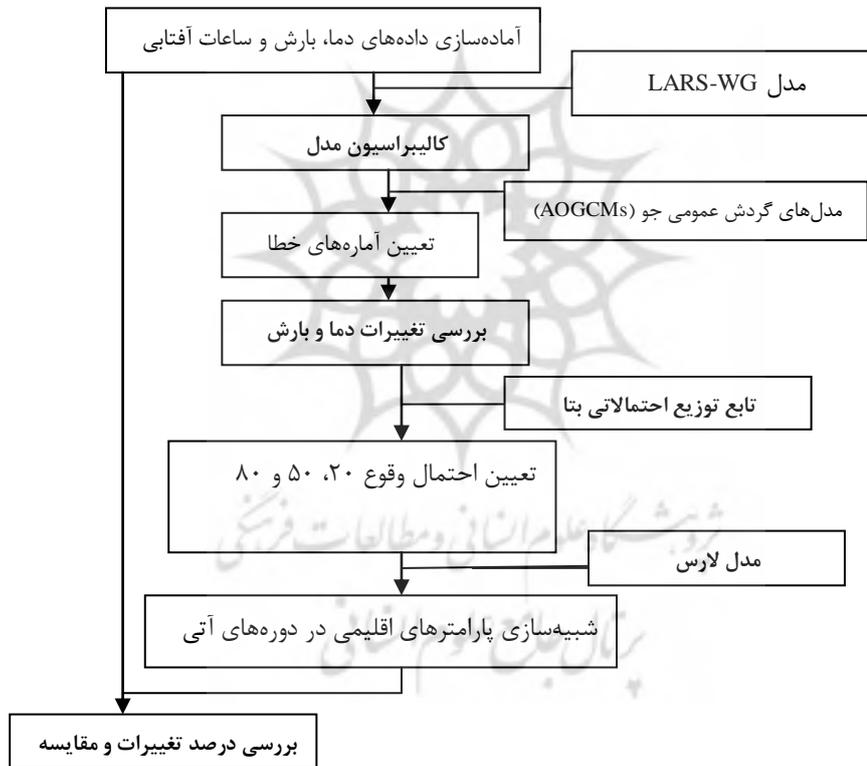
نام مدل	کشور گسترش‌دهنده	قدرت تفکیک مکانی (درجه)
HadCM3	انگلستان	۲.۲۵*۳.۷۵
HadGEM	انگلستان	۱.۳*۱/۹
BCM2	نروژ	۱/۹*۱/۹
CGMR	کانادا	۱/۹*۱/۹
CNCM3	کانادا	۲/۸*۲/۸
CSMK3	استرالیا	۱/۹*۱/۹
FGOALS	چین	۲/۸*۲/۸
GFCM2	آمریکا	۲*۲/۵
GISAOM	آمریکا	۳*۴
INCM3	روسیه	۴*۵
IPC4	فرانسه	۳/۷۵*۲/۵
MICM2	ژاپن	۲/۸*۲/۸
ECHAM5	آلمان	۱/۹*۱/۹
CCSM3	آمریکا	۱/۴*۱/۴
NC PCM	آمریکا	۲/۸*۲/۸

جهت ارزیابی احتمالاتی تغییرات اقلیمی بایستی احتمالات گسسته به صورت توابع پیوسته ارائه شوند و از آنجایی که  $\Delta T$  و  $\Delta P$  مستخرج از ۱۵ مدل گردش عمومی جو، از نظر تعداد، کم می‌باشد نمی‌توان توزیع مناسبی برای هر سه پارامتر در هر ماه بارش نمود و روش‌های معمول در بارش کارایی خود را از دست می‌دهند. بنابراین با بررسی توابع مختلف تابع توزیع بتا به علت خصوصیات خاصی که این تابع دارد، انتخاب گردید و توجه به محدودیت‌های موجود می‌تواند تحلیل مناسب و قابل قبولی داشته باشد (گوهری، ۱۳۹۲). بنابراین در این تحقیق بعد از دریافت ضرایب تغییرات دما و بارش دو سناریوی  $A1B$  و  $B1$ ، از توزیع احتمالاتی بتا جهت تعیین احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد بارش، دمای کمینه و بیشینه استفاده شد. توزیع بتا، توزیع احتمالاتی پیوسته‌ای است که بر بازه ۰ تا ۱ تعریف می‌شود و دارای دو پارامتر شکل است. توزیع بتا دارای کاربرد وسیعی در آمار بیزی می‌باشد. این توزیع توسط دو پارامتر شکل و حد بالا و پائین داده‌ها تعریف می‌شود. این توزیع می‌تواند با تغییر دو پارامتر شکل بر اساس چگالی داده‌ها تعیین شود. بنابراین با توجه به تعداد کم سناریوی‌های تغییر اقلیم می‌تواند توزیع مناسبی برای فرموله کردن عدم قطعیت‌ها به شمار آید. تابع احتمالاتی چگالی بتا به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$f(x) = \frac{(X-a)^{p-1}(b-X)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1} \Gamma(p, q)} \quad a \ll X \ll b; \quad p, q > 0 \quad (1)$$

در این معادله  $p$  و  $q$  پارامترهای شکل و  $a$  و  $b$  پارامترهای حد پائین و بالای داده‌ها  $B(p, q)$  تابع توزیع بتا می‌باشند. با استفاده از این توزیع سطوح مختلف احتمالاتی سناریوی‌های تغییر اقلیم برای بارش و دما تعیین شد (گوهری، ۹۲: ۳) در گام بعدی، تغییرات دمایی بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه تحت سناریوی

A1B و B1 و احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ وارد مدل لارس شد و پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش، تشعشع و ساعات آفتابی برای دوره‌ی آتی ۲۰۳۱-۲۰۱۱ شبیه‌سازی شد. داده‌ها به صورت سالانه و ماهانه مرتب شده و درصد تغییرات فصلی و سالانه هر یک از پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی شده نسبت به دوره‌ی پایه بررسی شد. در شکل (۱) مراحل انجام شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آتی نمایش داده شده است.



شکل (۱) مراحل انجام بخش تغییر اقلیم

معرفی سناریوهای اقلیمی: در خانواده سناریوهای گروه A1 یک جهان با رشد سریع اقتصادی، افزایش رشد جمعیت که در اواسط قرن ۲۱ به اوج خود خواهد رسید و از آن به بعد کاهش می‌یابد و معرفی تکنولوژی‌های جدید و کارا تر در نظر گرفته شده است. در این خانواده به مسائل اقتصادی نسبت به محیط زیست بیشتر تأکید شده و دیدگاه‌ها به جای منطقه‌ای، جهانی می‌باشد. سه زیرشاخه متفاوت برای گروه A1 بر اساس نوع تکنولوژی مورد استفاده در قرن ۲۱ در نظر گرفته شده است: تشدید استفاده از سوخت فسیلی (A1FI)، استفاده از منابع انرژی غیرفسیلی (A1T) و استفاده از منابع فسیلی و غیرفسیلی به صورت متعادل (A1B).

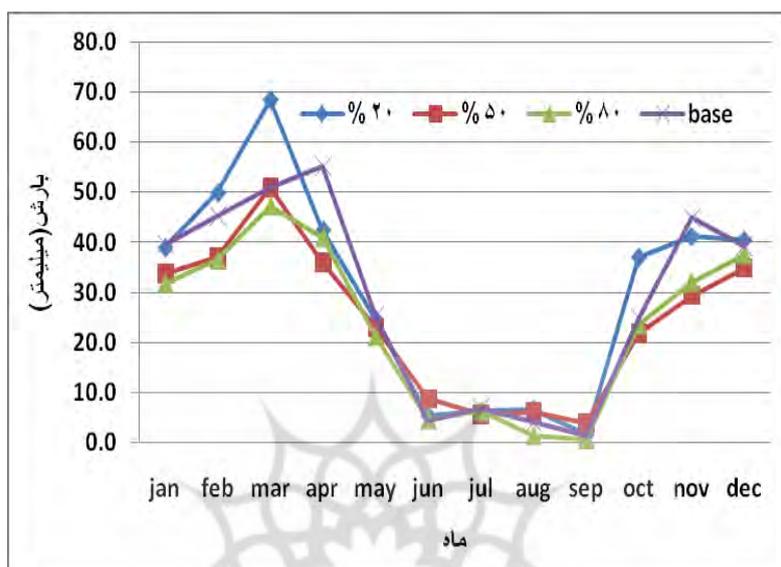
### یافته‌های تحقیق

جدول (۲) مقادیر آماره‌های خطای مدل LARS-WG را برای پارامترهای، دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش نشان می‌دهد. مقادیر ضرایب همبستگی، نش سائکلیف، ریشه خطای استاندارد و ریشه‌ی خطای مطلق در جدول (۲) همگی نشان‌دهنده‌ی همبستگی بالای مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی و خطای کم داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG می‌باشد. به طور کلی نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که مدل به خوبی برای دشت تویسرکان کالیبره شده است.

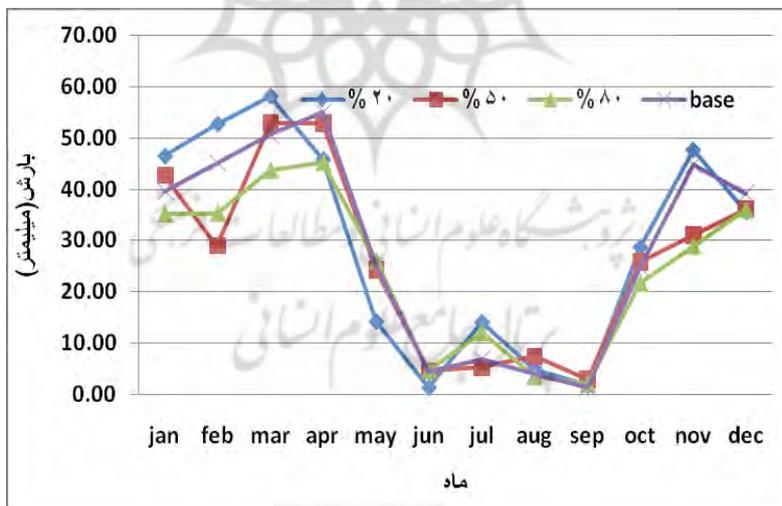
جدول (۲) مقادیر آماره‌های خطای مدل LARS-WG

نام پارامتر	همبستگی	ریشه خطای مطلق	ریشه استاندارد خطا	ضریب نش سائکلیف
بارش	۰/۹۶	۲/۴۳	۳/۵۷	۰/۹۶
دمای کمینه	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۹۹
دمای بیشینه	۰/۹۹	۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۹۹

در اشکال ۲ و ۳ تغییرات بارش تحت تأثیر سناریوی B1 و A1B در احتمال وقوع‌های ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد به صورت ماهانه نشان داده شده است.

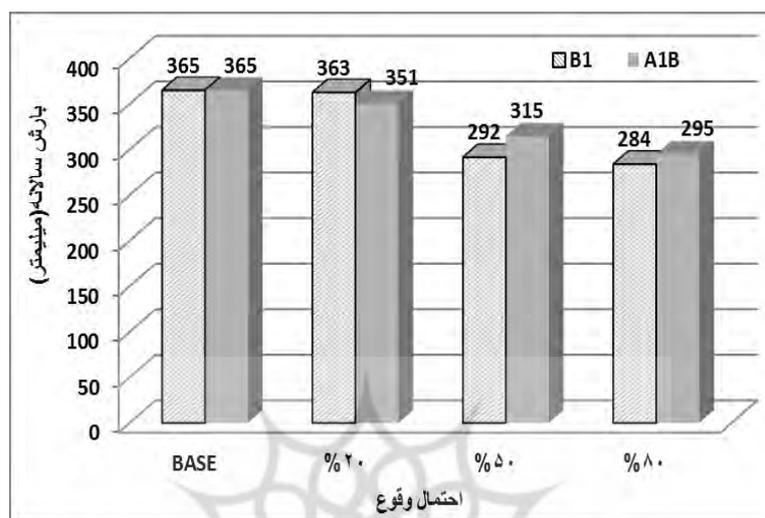


شکل (۲) تغییرات بارش در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی B1



شکل (۳) تغییرات بارش در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی A1B

در شکل (۴) مقایسه‌ی تغییرات سالانه بارش در احتمال وقوع‌های مختلف تحت سناریوی A1B و B1 دیده می‌شود. همان‌طور که مشخص می‌باشد میزان بارش از احتمال وقوع ۲۰٪ به ۸۰٪ تحت هر دو سناریو کمتر می‌شود. تحت سناریوی B1 مقادیر بارش ۳۶۳، ۲۹۲ و ۲۸۴ میلی‌متر به ترتیب در احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد رخ می‌دهد و تحت سناریوی A1B مقادیر ۳۵۱، ۳۱۵ و ۲۹۵ میلی‌متر به ترتیب در احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد رخ خواهد داد. شکل (۶) همچنین نشان می‌دهد که مقدار کاهش بارش تحت سناریوی B1 از سناریوی A1B در هر سه نوع احتمال وقوع بیشتر می‌باشد. از آنجایی که احتمال وقوع ۸۰٪ محتمل‌ترین حالت خواهد بود، بنابراین تغییرات بارش فصلی تحت سناریوی A1B و B1 در احتمال وقوع ۸۰٪ و مقایسه‌ی آن با بارش فصلی دوره‌ی پایه بررسی می‌شود (جدول ۳). با توجه به جدول (۳)، در دوره‌ی آتی نه تنها میزان بارش در فصول مختلف تغییر کرده است بلکه الگوی توزیع بارش نیز متفاوت شده است. در دوره‌ی پایه بیشترین میزان بارش در فصل زمستان (۱۴۰ میلی‌متر) و سپس پائیز (۱۱۹ میلی‌متر) رخ داده است، این در حالیست که تحت سناریوی B1 و با احتمال وقوع ۸۰٪، بیشترین میزان بارش در فصل پائیز (۱۰۸ میلی‌متر) و بعد از آن بهار (۸۴ میلی‌متر) می‌باشد. در ضمن بیشترین میزان کاهش بارش تحت این سناریو در فصل زمستان رخ خواهد داد. در فصل زمستان تحت سناریوی A1B و احتمال وقوع ۸۰٪ الگوی توزیع بارش همانند دوره‌ی پایه بوده به طوری که در زمستان با مقدار ۱۳۵ میلی‌متر بیشترین میزان بارش و بعد از آن فصل بهار به میزان ۸۷ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین میزان کاهش بارش تحت این سناریو، در فصل پائیز خواهد بود. به طور کلی با احتمال وقوع ۸۰٪ تحت سناریوهای A1B و B1 بیشترین کاهش بارش، در فصول پائیز و زمستان رخ می‌دهد.

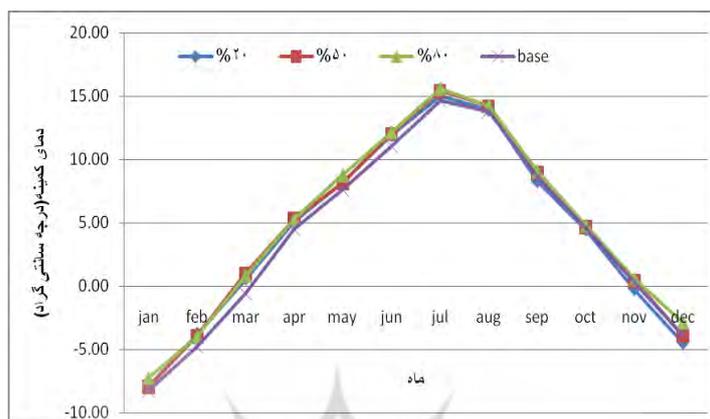


شکل (۵) تغییرات سالانه بارش در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی B1 و A1B

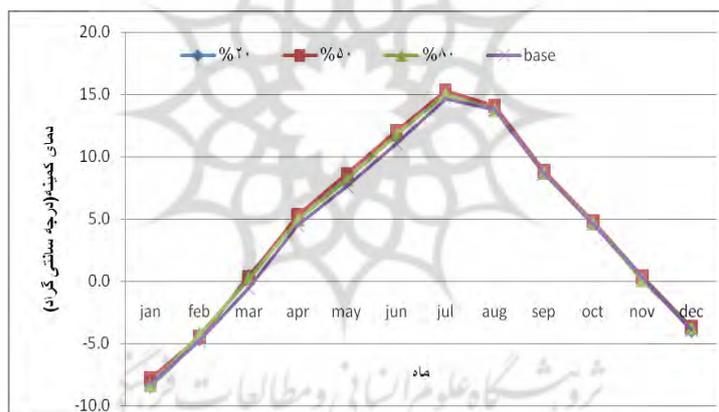
جدول (۳) بارش فصلی دوره‌ی پایه و تحت سناریوهای B1 و A1B (واحد: میلی‌متر)

دوره‌ی پایه	B1 (%۸۰)	A1B (%۸۰)	فصل
۱۱۹	۱۰۸	۸۷	پائیز
۱۴۰	۳۸	۱۳۵	زمستان
۸۹	۸۴	۷۶	بهار
۱۷	۱۲	۱۸	تابستان

اشکال ۶ و ۷ دمای کمینه در احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰٪ تحت سناریوی B1 و A1B به طور ماهانه در مقایسه با دوره‌ی پایه مشاهده می‌شود.



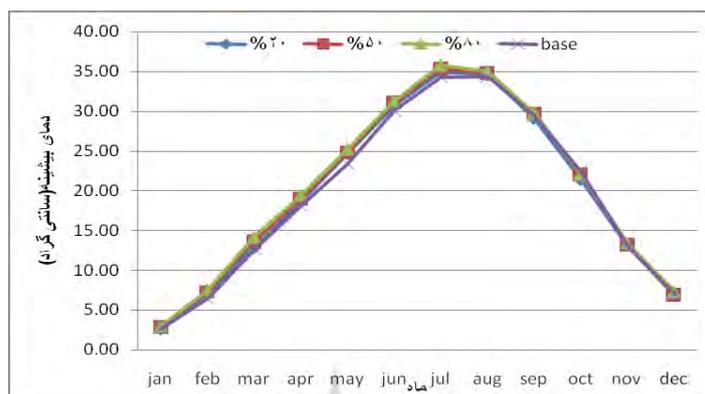
شکل (۶) دمای کمینه در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی A1B



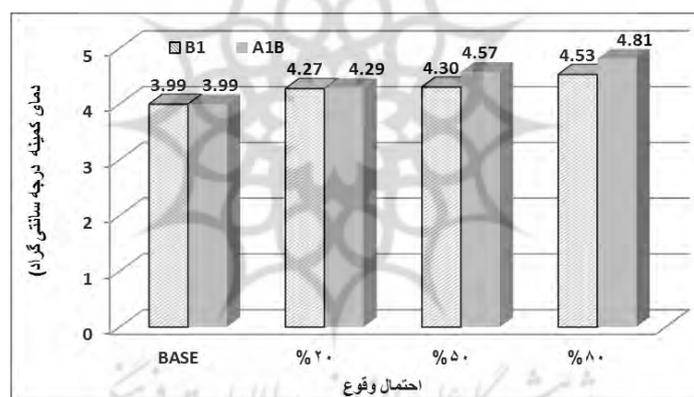
شکل (۷) دمای کمینه در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی B1

شکل (۸) مقایسه‌ی تغییرات سالانه کمینه در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی A1B و B1 را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص می‌باشد تحت هر دو سناریوی مذکور، از احتمال وقوع ۲۰٪ به ۸۰٪ دمای کمینه در دوره‌های آبی افزایش می‌یابد. در سناریوی B1 دمای کمینه از احتمال وقوع ۲۰٪ به ۸۰٪ به ترتیب از ۴/۲۷ به ۴/۵۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در سناریوی A1B دمای کمینه

از احتمال وقوع ۲۰٪ به ۸۰٪ به ترتیب از ۴/۲۹ به ۴/۸۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. به طور کلی افزایش دمای کمینه تحت سناریوی A1B بیشتر از B1 می‌باشد و تحت هر دو سناریو دمای کمینه در دوره‌های آتی بیشتر خواهد شد. جدول (۴) تغییرات فصلی دمای کمینه‌ی دوره‌ی پایه و تحت سناریوهای A1B و B1 با احتمال وقوع ۸۰٪ را نشان می‌دهد. بیشترین تغییرات فصلی دمای کمینه تحت سناریوی A1B به ترتیب در فصل بهار و پاییز به میزان ۱ و ۰/۵ درجه سانتی‌گراد بوده و تحت سناریوی B1، در فصل بهار و زمستان به ترتیب به میزان ۱ و ۰/۶ درجه سانتی‌گراد است. دمای بیشینه: اشکال ۹ و ۱۰ به ترتیب تغییرات بیشینه‌ی دمای ماهانه تحت سناریوهای A1B و B1 را در احتمال وقوع‌های ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد را در قیاس با دوره‌ی پایه نمایش می‌دهد. مقایسه تغییرات سالانه‌ی بیشینه‌ی دما در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی A1B و B1 را نمایش می‌دهد. دمای بیشینه از احتمال وقوع ۲۰ به ۸۰ درصد تحت هر دو سناریو در حال افزایش می‌باشد. در سناریوی B1 دما از ۱۹/۳۶ در احتمال وقوع ۲۰٪ به ۲۰/۳۷ در احتمال وقوع ۸۰ درصد رسیده است. تحت سناریوی A1B نیز دمای بیشینه از ۱۹/۷۷ درجه سانتی‌گراد در سال به ۲۰/۴۴ درجه سانتی‌گراد در سال افزایش یافته است. به طور کلی افزایش دما تحت سناریوی A1B در تمامی احتمال وقوع‌ها بیشتر از B1 می‌باشد. در جدول (۵) تغییرات فصلی دمای بیشینه دوره‌ی پایه و تحت سناریوهای A1B و B1 را در احتمال وقوع ۸۰٪ در قیاس با دوره‌ی پایه نشان داده شده است. تحت هر دو سناریو افزایش دما در تمامی فصول محسوس می‌باشد. بیشترین افزایش دما مربوط به فصل بهار بوده که متوسط دمای بیشینه از ۲۳/۹ به ۲۵/۴ و ۲۵/۳ درجه سانتی‌گراد به ترتیب تحت سناریوهای A1B و B1 می‌رسد. فصل زمستان با افزایش دمایی ۱/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد تحت سناریوی A1B و فصل تابستان با افزایش دمایی ۱/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد در رتبه‌ی دوم، افزایش دمای بیشینه قرار دارند.



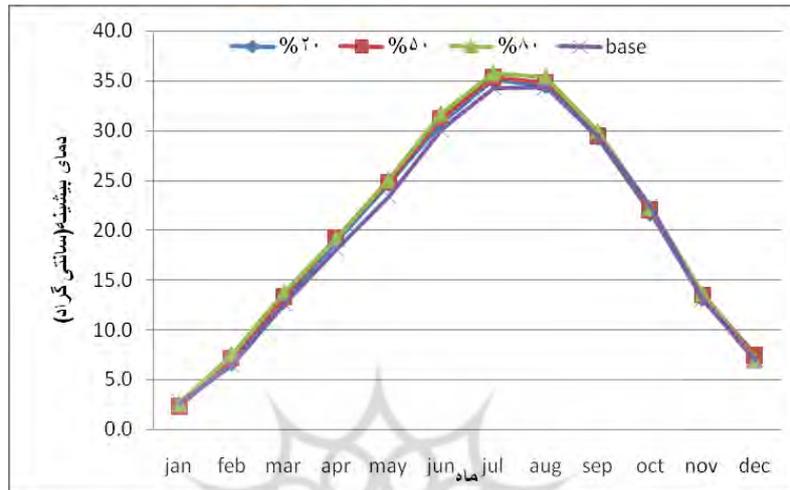
شکل (۸) دمای بیشینه در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی A1B



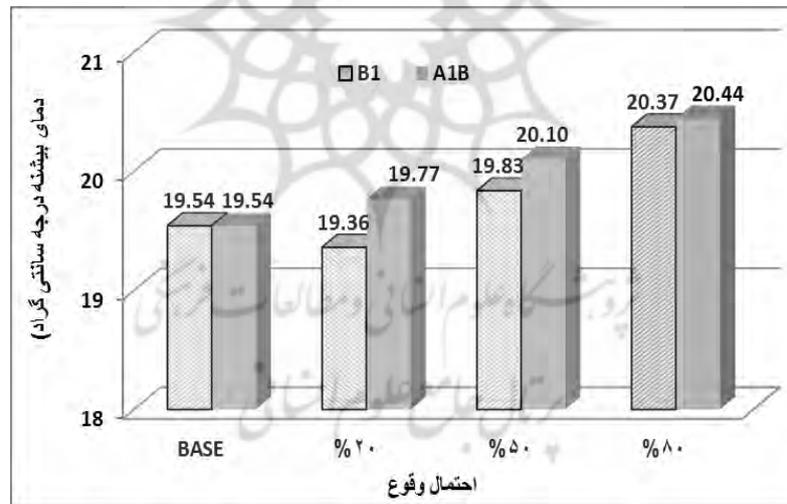
شکل (۹) تغییرات سالانه کمینه در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی B1 و A1B

جدول (۴) دمای کمینه دوره پایه و تحت A1B و B1 (واحد: درجه سانتی گراد)

دوره‌ی پایه	B1 (%۸۰)	A1B (%۸۰)	فصل
۰/۳	۰/۳	۰/۸	پائیز
-۴/۶	-۴	-۴/۶	زمستان
۷/۷	۸/۷	۸/۷	بهار
۱۲/۳	۱۲/۷	۱۳	تابستان



شکل (۱۰) دمای بیشینه در احتمال وقوع مختلف تحت سناریوی B1



شکل (۱۱) تغییرات سالانه بیشینه دما در احتمال وقوع مختلف سناریوی B1 و A1B

جدول (۵) دمای بیشینه‌ی دوره‌ی پایه و تحت A1B و B1 (واحد: درجه سانتی‌گراد)

فصل	A1B (%۸۰)	B1 (%۸۰)	دوره‌ی پایه
پائیز	۱۴/۳	۱۴/۳	۱۴/۲
زمستان	۸/۳	۸	۷/۲
بهار	۲۵/۴	۲۵/۳	۲۳/۹
تابستان	۳۳/۶	۳۳/۷	۳۲/۷
	۰/۸	۰/۳	۰/۳
زمستان	-۴/۶	-۴	-۴/۶
بهار	۸/۷	۸/۷	۷/۷

در جدول (۶) بررسی درصد تغییرات پارامترهای اقلیمی تحت تأثیر دو سناریوی A1B و B1 نسبت به دوره‌ی پایه ارائه شده است. در احتمال وقوع ۸۰٪، ۱۹/۱ درصد کاهش بارش، ۴/۶ درصد افزایش دمای بیشینه و ۲۰ درصد افزایش دمای کمینه در دوره‌های آتی تحت سناریوی A1B وجود خواهد داشت و تحت تأثیر سناریوی B1 و احتمال وقوع ۸۰٪، کاهش بارش ۲۲ درصد، کمینه‌ی دما ۱۳ درصد و بیشینه‌ی دما، ۴/۲ درصد افزایش داشته است.

جدول (۶) بررسی درصد تغییرات پارامترهای اقلیمی نسبت به دوره‌ی پایه

نام سناریو	احتمال وقوع	بارش (%)	دمای بیشینه (%)	دمای کمینه (%)
A1B	۲۰٪	-۳/۸	۱	۷/۲
	۵۰٪	-۱۳/۷	۲/۸	۱۴/۵
	۸۰٪	-۱۹/۱	۴/۶	۲۰
B1	۲۰٪	۱/۵	-۰/۹	۷
	۵۰٪	-۲۰	۱/۵	۷/۷
	۸۰٪	-۲۲	۴/۲	۱۳

با تحلیل صورت گرفته در بالا به طور کلی می‌توان بیان داشت تغییر اقلیم در دوره‌های آتی باعث افزایش دمای کمینه و بیشینه و کاهش بارش در دشت توپسرکان خواهد شد. تغییرات دما و بارش بر منابع آب دشت تأثیر می‌گذارد. از مهم‌ترین این تغییرات تغییر الگوی بارش فصلی و افزایش دما در فصول سرد سال می‌باشد. این تغییرات بر الگوی کشت منطقه نیز تأثیر بسزایی خواهد داشت به طوری که کشت دیم منطقه با توجه به کاهش بارش محدود شده و زمان آن نیز با توجه به تغییرات زمانی متفاوت خواهد شد.

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که از احتمال وقوع ۲۰ به ۸۰ درصد تحت هر دو سناریوی A1B و B1 دمای کمینه و بیشینه در حال افزایش و بارش در حال کاهش می‌باشد. دمای کمینه و بیشینه تحت سناریوی A1B بیشتر از سناریوی B1 افزایش یافته است و بارش تحت تأثیر سناریوی B1 نسبت به سناریوی A1B بیشتر کاهش یافته است. در نهایت نتایج نشان داد که بارش ۱۹ تا ۲۲٪ کاهش و دمای کمینه ۱۳ تا ۲۰٪ و دمای بیشینه ۴/۲ تا ۴/۶ درصد نسبت به دوره‌ی پایه در حوضه‌ی آبخیز توپسرکان افزایش یافته است. همچنین مشخص شد که بیشترین کاهش بارش در فصول سرد سال یعنی پائیز و زمستان رخ خواهد داد. تحت تأثیر تغییر اقلیم، نه تنها بارش کاهش یافته است، بلکه الگوی بارش نیز تحت اثرات تغییر اقلیم در دشت توپسرکان متفاوت شده است. به طوری که بیشترین مقدار بارش از زمستان و پائیز در دوره‌ی پایه به زمستان و بهار تحت سناریوی A1B و به پائیز و بهار تحت سناریوی B1 تغییر پیدا کرده است. همین امر بر الگوی کشت آبی و دیم منطقه و حتی گونه‌های کشت شده و پوشش طبیعی منطقه تأثیر گذار خواهد بود. بالطبع کاهش بارش و تغییر الگوی زمانی آن، بر رژیم جریان و رودخانه و زمان دبی پیک نیز تأثیرگذار خواهد بود. در ارتباط با دمای کمینه دشت توپسرکان تحت اثر تغییر

اقلیم و در هر دو سناریو، افزایش محسوسی دیده می‌شود. بیشترین افزایش دمای کمینه در فصول سرد و معتدل سال رخ داده است؛ به طوری که تحت سناریوی A1B، فصول بهار و پائیز و تحت سناریوی B1، فصول بهار و زمستان بیشترین میزان افزایش را داشته‌اند. دمای بیشینه‌ی دشت تویسرکان نیز تحت هر دو سناریو افزایش داشته است و بیشترین افزایش در فصل بهار تحت هر دو سناریو رخ داده است. باید توجه شود گرم شدن هوا علاوه بر تأثیری که بر سیمای کشاورزی و منابع طبیعی منطقه خواهد داشت و مشکلات زیست محیطی که برای گونه‌های گیاهی و جانوری ایجاد خواهد نمود، باعث ذوب برف به ویژه در فصل بهار شده و ممکن است همراه با رگبارهای بهاره تولید سیلاب‌های سهمگین نموده و از وسعت و زمان نگهداشت ذخایر برفی منطقه خواهد کاست.

## منابع

- انصاری مهابادی، ثمین (۱۳۹۰)، اثرات تغییر اقلیم بر سطح و بیلان آب زیرمینی در دوره‌های آتی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته‌ی عمران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات (تهران).
- پورمحمدی، سمانه و حسین ملکی‌نژاد (۱۳۹۳)، طبقه‌بندی مناطق همگن اقلیمی کشور ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از تکنیک گشتاور خطی، پژوهشنامه‌ی مدیریت حوضه‌ی آبخیز، دانشگاه ساری.
- دستورانی، محمدتقی؛ پورمحمدی، سمانه؛ مساح‌بوانی، علیرضا و محمدحسن رحیمیان (۱۳۹۲)، بررسی تبخیر و تعرق ایستگاه یزد تحت تأثیر عدم قطعیت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق، مجله‌ی مدیریت حوضه‌های آبخیزداری دانشکده‌ی منابع طبیعی ساری.
- گوهری علیرضا (۱۳۹۲)، ارائه راهکارهای سازگاری با سطوح احتمالی مختلف تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه‌ی زاینده‌رود با رویکرد دینامیک سیستم‌ها، رساله‌ی دکتری، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده‌ی کشاورزی.
- Abayazid Hala, Ibrahim Al-Shinnawy (2012), **Coastal Lake Sustainability: Threats And Opportunities With Climate Change**, Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSRJMCE), ISSN: 2278-1684 Vol. 1, Issue 5 (July-August 2012), PP. 33-41.
- Dastorani M.T., Massah Bavani A.R., Poormohammadi, S, Rahimian M.H., (2011), **Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (Case study: RDI and SPI in Yazd station, Iran)**, DEesert journal.
- Burns, D., Klaus, J. and Mchale, M. (2007). **Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region**, NEW YORK, USA, Journal of Hydrology, 336: PP.155-17.

- Denis Cohen, Mark Person, Ronnie Daannen, Sharon Locke, Dave Dahlstrom, Victor Zabielski, Thomas C. Winter, Donald O. Rosenberry, Herb Wright, Emi Ito, John L. Nieber, William J. Gutowski Jr, (2006), **Groundwater-supported evapotranspiration within glaciated watersheds under conditions of climate change** Journal of Hydrology, Vol. 320, Issues 3–4, 15 April 2006, PP. 484-500.
- Green Timothy R., Makoto Taniguchi, Henk Kooi, Jason J. Gurdak, Diana M. Allen, Kevin M. Hiscock, Holger Treidel, Alice AurBeneath (2011), **The surface of global change: Impacts of climate change on groundwater**, Journal of Hydrology, Vol, 405, Issues 3–4, 5 August PP. 532-560.
- Jackson Christopher R., Rakia Meister, Christel Prudhomme (2011), **Modelling the effects of climate change and its uncertainty on UK Chalk groundwater resources from an ensemble of global climate model projections**, Journal of Hydrology, Vol. 399, Issues 1–2, 8 March 2011, PP. 12-28
- Jung, II.W. and Chang, H. (2010), **Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Willamette River Basin, Oregon, USA**. Hydrological processes, 25: PP.258-277.
- Komoze N Temba, Sang-Ok Chung (2014), **The effects of climate change on the water resources of the Geumho River Basin, Republic of Korea** Journal of Hydro-environment Research, Vol, 8, Issue 4, December 2014, PP. 358–366.
- Hugo A Loáiciga (2001), **Residence time, groundwater age, and solute output in steady-state groundwater systems**, Advances in Water Resources, Vol. 27, Issue 7, July 2004, PP.681-688.
- Pascal Goderniaux, Serge Brouyère, Hayley J. Fowler, Stephen Blenkinsop, René Therrien, Philippe Orban, Alain Dassargues (2009), **Large scale surface–subsurface hydrological model to assess climate change impacts on groundwater reserves**, Journal of Hydrology, Vol. 373, Issues 1–2, 30 June 2009, PP.122-138.

- Samuel Kusangaya, Michele L. Warburton, Emma Archer van Garderen, Graham P.W. Jewitt, (2013), **Impacts of climate change on water resources in southern Africa: A review study of Vernonia**, Oregon, USA, Vol. 46, Applied Geography, January 2014, PP.137-146.
- Zhang, X.C. and Nearing, M.A. (2005), **Impact of climate change on soil erosion, runoff and wheat productivity in central Oklahoma**, Catena, 61: PP.185-195.

