



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره ۶۱  
بهار ۱۳۹۷، صفحات ۲۶۹-۲۵۵

مجید رضایی بنفشه<sup>۱</sup>  
\* طاهره جلالی عنصرودی<sup>۲</sup>  
محمدعلی حسن پور اقدم بگلو<sup>۳</sup>

## بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۲

### چکیده

در تحقیق حاضر، با استفاده از خروجی مدل Hadcm3، اثر تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا با استفاده از داده‌های کوچک مقیاس شده سناریوهای A1B، A2 و B1 مدل Hadcm3 و با به کارگیری مدل هیدرولوژیکی HELP3، مقادیر تغذیه برای دوره زمانی (۲۰۱۳-۲۰۳۰) شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که پایین‌ترین درصد تغذیه آب زیرزمینی در سناریوی A2 اتفاق خواهد افتاد؛ چرا که کاهش بارش و افزایش دما در این سناریو بیش از دو سناریوی دیگر است. دو سناریوی A1B و B1 نتایج مشابه و نزدیکی را در زمینه افزایش دما، کاهش بارش و نهایتاً مقدار تغذیه آب زیرزمینی نشان دادند. بیش‌ترین مقدار رواناب به دلیل تغییر شکل بارش، نداشتن برف یخ زده روی زمین و ذوب بهاری، در هر سه سناریو در فصل زمستان و در ماه فوریه اتفاق خواهد افتاد.

**کلید واژه‌ها:** تغییر اقلیم، تغذیه آب زیرزمینی، مدل HELP3، حوضه آبریز تسوج.

E-mail: mrbanafsheh@yahoo.com

- ۱- گروه آب‌وهواشناسی، گرایش اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز.
- \* ۲- دکتری آب‌وهواشناسی دانشگاه تبریز. (نویسنده مسئول).
- ۳- کارشناس ارشد زمین‌شناسی-هیدرولوژی.

## مقدمه

گرچه مهم‌ترین تأثیر تغییر اقلیم می‌تواند نوسانات در میزان آب‌های سطحی و کیفیت آن‌ها باشد، اما مهم‌ترین نگرانی برای مدیران آب و دولت، کاهش بالقوه و کمیت منابع آب زیرزمینی می‌باشد؛ چرا که آب‌های زیرزمینی منبع اصلی آب آشامیدنی برای مصرف انسان و آبیاری تولیدات کشاورزی در سراسر جهان می‌باشند (Fariedpor, 2013: 12). از آنجایی که لایه‌های آبدار زیرزمینی عمدتاً با بارش یا از طریق اندرکنش با آب‌های سطحی تغذیه می‌شوند، تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و آب سطحی نهایتاً بر سیستم آب‌زیرزمینی اثر خواهد گذاشت (Beigi, 2010: 7). تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی مستقیماً از طریق تغییر در متغیرهای اصلی بلندمدت اقلیم مانند بارش، دما و تبخیر تأثیر می‌گذارد، اما تعیین رابطه بین متغیرهای تغییر اقلیم و آب زیرزمینی پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌باشد (shakiba, 2010: 105). بنابراین بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی نه تنها به پیش‌بینی قابل اطمینان از تغییرات متغیرهای اساسی اقلیمی نیاز دارد، بلکه همچنین به تخمین دقیق تغذیه آب زیرزمینی نیازمند است.

تعیین ورودی به سیستم آب زیرزمینی (تغذیه) برای بهبود استراتژی مدیریت کارای حوضه آبریز مهم است؛ چرا که می‌تواند حفاظت منابع آب زیرزمینی را نه تنها از تغییر اقلیم، بلکه همچنین از سایر مشکلات مانند شهرسازی، تضمین کند. از سوی دیگر، از آنجایی که انتقال بیش‌ترین آلوده‌کننده‌های آب زیرزمینی در لایه آبدار اشباع در فاز مایع به‌عنوان بخشی از فرآیند تغذیه رخ می‌دهد، فهمیدن و درک تغذیه آب زیرزمینی همچنین از جهت خصوصیات که آسیب‌پذیری لایه آبدار را تعیین می‌کنند، ضروری است (Mardaneh, 2012: 87). به علاوه، در مناطقی که لایه آبدار زیرین به‌طور گسترده برای مقاصد آب شرب بهره‌برداری می‌شود این موضوع مهم می‌باشد. از طرف دیگر مناطق با کمترین تغذیه آب زیرزمینی می‌تواند برای محل دفن زباله‌های شهری و ضایعات هسته‌ای و سایر ضایعات خطرناک مورد استفاده قرار گیرد که کم‌ترین آسیب آلودگی به لایه آبخوان زیرین را داشته باشد (Zoqi, 2011: 66).

مطالعات کم‌تری روی تأثیر تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی انجام پذیرفته و اکثر مطالعات صورت گرفته به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تراز آب‌های زیرزمینی مربوط می‌شود. Cohen (1986) اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر بارش و دما و در نتیجه تغییرات تراز آب دریاچه‌های بزرگ آمریکای شمالی را بررسی نمود. نتایج مطالعه نشان داد که ذخیره آب خالص دریاچه‌های بزرگ در واکنش به تغییرات اقلیمی کاهش خواهد یافت. (Kau-chin et al (2000) با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی که اساس آن اطلاعات زمین‌شناسی، هواشناسی، هیدرولوژیکی و ژئوشیمی است، نشان دادند که سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر تغییر اقلیم به تدریج کاهش می‌یابد. (Zhuoheng et al (2004) رابطه بین تغییر پذیری اقلیمی و تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان کربناته را در مانتوبای کانادا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده همبستگی بالای تراز سالانه سطح آب زیرزمینی با بارش و متوسط دمای سالانه می‌باشد. همچنین در مناطقی که آبخوان در عمق کمی قرار گرفته، اثر دمای سالانه بر نوسانات سطح آبخوان بیش از بارش است. (Holmen (2006) اثرات تغییر اقلیم و فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی بر تغذیه منابع آب زیرزمینی را در شرق انگلیس بررسی و راهکارهای مقابله با مشکلات آن را بیان داشت. نتایج نشان داد عوامل زیادی از جمله تغییرات بارش، تغییر

رژیم حرارتی سیلاب‌های ساحلی، شهرسازی، ایجاد اراضی جنگلی، تغییرات کشت و شخم، آینده تغذیه منابع آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرا می‌دهند. (Jyrkama et al (2007) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HELP3 اثر تغییر اقلیم را بر تغییرات مکانی تغذیه آبخوان در حوضه رودخانه گراند در انتاریوی کانادا بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که در اثر تغییر اقلیم، جریان‌ات و حجم تغذیه آبخوان افزایش می‌یابد. (Aguilera et al (2009) اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه طبیعی سفره آب‌های زیرزمینی را بر اساس یک مدل ساده در ۴ آبخوان کارستی در جنوب شرق اسپانیا بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده کاهش لگاریتمی در طول سری‌های زمانی در مقدار تغذیه آبخوان‌های مورد بررسی بود. با گذشت زمان با توجه به افزایش دمای منطقه، میزان تبخیر و تعرق افزایش و میزان اثر بارش بر آبخوان به دلیل کاهش سهم رواناب و نفوذ در طول زمان کاهش یافته است. (NG et al (2010) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی دشت واقع در شمال تگزاس پرداختند. محققان مذکور جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های اقلیمی از نرم‌افزار LARS-WG و جهت پیش‌بینی تغذیه از نرم‌افزار SWAP بهره گرفتند. نتایج نشان‌دهنده این بود که در پاسخ به تغییرات اقلیمی میزان تغذیه آب زیرزمینی بین ۷۵- تا ۳۵+ درصد تغییر خواهد نمود. (Pascal et al (2011) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی Geer Basin را بین سال‌های ۲۰۸۵-۲۰۱۰ تحت سناریوهای اقلیمی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در ۳۰ سناریوی مورد استفاده در دوره مورد مطالعه بود و حداکثر افت سطح آب‌های زیرزمینی حدود ۲۱ متر و حداقل افت ۴ متر تحت سناریوی RCAO\_E می‌باشد.

(Razgmanesh et al (2001) در بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تبریز، نتیجه گرفتند که در ۱۶ سال آینده سطح آب زیرزمینی ۲/۶ متر پایین خواهد رفت، حتی با افزایش برداشت در طولانی مدت، امکان افت سطح ایستابی تا حدود ۵ متر نیز وجود دارد. (Pormohammadi et al (2013) در تحقیقی به مقایسه کارایی دو روش شبکه عصبی و سری زمانی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در زیرحوضه بختگان استان فارس پرداختند. نتایج این پژوهش کارایی و دقت بالای هر دو تکنیک شبکه عصبی و سری زمانی را در پیش‌بینی سطح ایستابی چاه‌های منطقه نشان داد. (Shirvani Eichi et al (2013) جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی وضعیت آب زیرزمینی دشت کرمان از بین مدل‌های استوکاستیک، مدل ARIMA (2, 1, 0) را بهترین مدل جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه معرفی کردند. (Habashi (2014) جهت پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی دشت ارومیه از مدل سری زمانی استفاده کرد و عملکرد آن را رضایت‌بخش اعلام نمود.

برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی لازم است پیش‌بینی دقیقی از نوسانات زمانی تغذیه آب زیرزمینی انجام شود. با توجه به عدم وجود رودخانه دائمی در حوضه آبریز تسوج و وابسته بودن بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب به منابع آب زیرزمینی و اهمیت موضوع تغییر اقلیم، و توجه به این‌که تاکنون مطالعه جامعی در زمینه میزان تأثیرپذیری تغذیه آب زیرزمینی در این حوضه در برابر تغییر اقلیم صورت نپذیرفته و مطالعات انجام یافته بدون در نظر گرفتن موضوع تغییر اقلیم بوده است، در تحقیق حاضر در نظر است تا اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات زمانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بررسی گردد.

## مواد و روش‌ها

حوضه آبریز تسوج در استان آذربایجان شرقی و در شمال دریاچه ارومیه قرار دارد. این منطقه از شمال به مرنند، از غرب به سلماس و از شرق به محدوده شبستر-صوفیان محدود می‌گردد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۵ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. حوضه آبریز تسوج یکی از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه به‌شمار می‌رود و منطقه‌ای کوهپایه‌ای است که از طرف شمال در ادامه کوه‌های میشو به کوه‌های قاطر اوچان متصل بوده و از طرف جنوب هم به دریاچه ارومیه می‌رسد (کوهپایه‌ای-ساحلی). مساحت حوضه آبریز تسوج حدود ۵۵۹ کیلومتر مربع و وسعت آبخوان آن حدود ۲۶۲ کیلومتر مربع می‌باشد. از جمله روش‌هایی که برای برآورد میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود، مدل‌سازی ترکیبی است. این روش جهت بررسی اثر کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی مناسب است. پارامترهای ورودی اقلیمی متفاوت مانند بارش و دما را می‌توان طبق تغییر اقلیم، خصوصیات سطح زمین، پتانسیل رواناب و عمق نفوذ ریشه به علت تغییر در کاربری زمین تغییر داد. از جمله مدل‌های ترکیبی، مدل HELP3<sup>۴</sup> می‌باشد.

مدل HELP3 یک مدل هیدرولوژیک دوبعدی است که بر اساس روش موازنه آبی توسط اسکرودر و همکارانش در سال ۱۹۸۳ ارائه شده است. این مدل تمام فرآیندهای هیدرولوژیکی سطحی و زیرسطحی را به منظور تخمین حرکت روزانه آب در زمین شبیه‌سازی می‌کند و قابلیت الحاق به سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارد. مدل مذکور توسط محققین مختلف به منظور بررسی تغذیه آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات (Allen et al, Gogolev (2004), Allen & Toews (2009), Jerkama & Seykes (2007) اشاره نمود. داده‌های مورد نیاز این برنامه شامل اطلاعات هواشناسی، مشخصات خاک و گیاه، کاربری ارضی و پوشش زمین می‌باشد. خلاصه‌ای از پارامترهای ورودی این مدل در (جدول ۱) آورده شده است.

جدول ۱- خلاصه‌ای از پارامترهای ورودی مدل HELP3

پارامتر	واحد	قیود
بارش روزانه	میلی‌متر در روز	$P \geq 0$
میانگین دمای روزانه	درجه سلسیوس	-
تابش خورشیدی روزانه	کیلو ژول بر مترمربع	$S \geq 0$
متوسط سرعت سالانه باد	کیلومتر بر ساعت	$V \geq 0$
رطوبت نسبی سه ماهه اول، دوم، سوم و چهارم	درصد	$100 \geq RH \geq 0$
روز شروع و اتمام فصل رشد	تاریخ ژولین	$365 \geq d \geq 0$

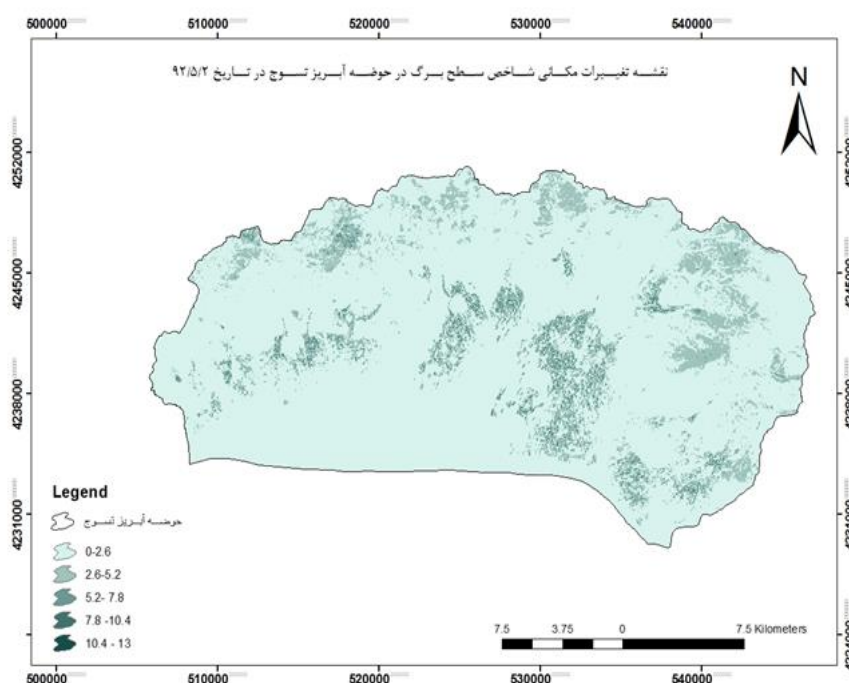
ادامه جدول ۱- خلاصه‌ای از پارامترهای ورودی مدل HELP3

$d \geq 0$ عمق کل ستون خاک	سانتی‌متر	عمق منطقه تبخیری
$LAI \geq 0$	-	شاخص سطح برگ
$100 \geq CN \geq 0$	-	عدد منحنی رواناب
$H \geq 0$ عمق کل ستون خاک	سانتی‌متر	عمق لایه خاک
	-	بافت خاک
$100 \geq \phi \geq FC$	حجم بر حجم	تخلخل کل
$\phi \geq FC \geq WP$	حجم بر حجم	ظرفیت زراعی زمین
$FC \geq WP \geq 0$	حجم بر حجم	نقطه پژمردگی
$KS \geq 0$	سانتی‌متر بر ثانیه	هدایت هیدرولیکی اشباع
-	حجم بر حجم	رطوبت اولیه خاک
$90 \geq CN \geq -90$	درجه	عرض جغرافیایی
$S \geq 0$	درصد	شیب
$L \geq 0$	متر	طول شیب

علاوه بر اطلاعات مذکور، سایر داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش به صورت روزانه و داده‌های سناریوی B1، A2 و A1B مدل گردش عمومی HADCM3 می‌باشند. در حوضه آبریز تسوج ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری بلندمدت وجود ندارد، لذا برای بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی در این حوضه از داده‌های ایستگاه سینوپتیک خوی (۲۰۱۲-۱۹۶۰) به دلیل نزدیک بودن به منطقه مورد مطالعه و طولانی بودن طول دوره آماری استفاده شد. از بقیه ایستگاه‌ها به دلیل کوتاه بودن طول دوره آماری صرف نظر شد. قبل از اجرای مدل، نرمال بودن و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی همگنی داده‌ها از آزمون Run-test استفاده شد که تصادفی بودن آن‌ها در سطح ۹۵ درصد قابل قبول بود. برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز تسوج از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و مدل تولید داده LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد، استفاده گردید. این مدل برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. لازم به ذکر است که مدل HADCM3 از مدل‌های معتبر جهت مدل‌سازی تغییرات جوی می‌باشد. به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره (۲۰۱۲-۱۹۶۰) تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید، سپس خروجی‌های مدل با داده‌های دیدبانی شده مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و تولید شده توسط مدل با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام شد. با تحلیل نتایج به دست آمده از آزمون‌های آماری

(نظیر آزمون دو نمونه‌ای T زوجی) برای حوضه آبریز تسوج ملاحظه گردید که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل سازی شده و مقادیر واقعی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. همچنین مقادیر همبستگی پیرسن بین داده‌های مدل‌سازی شده و واقعی در سطح معناداری ۰/۰۱ قابل قبول می‌باشند. لذا با توجه به این موارد، قابلیت و توانایی مدل در داده‌سازی مورد تأیید قرار گرفت و پس از آن شبیه‌سازی داده‌ها برای دوره آینده صورت گرفت. یکی از ورودی‌های مدل HELP3 شاخص سطح برگ (LAI) می‌باشد. شاخص سطح برگ، نسبت بدون بعدی از سطح فعال برگ در تبخیر، به مساحت سطح اسمی زمینی است که گیاه در آن رشد می‌کند. این پارامتر (LAI) یا به وسیله اندازه‌گیری‌های میدانی به دست می‌آید و یا می‌توان آن را از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به دست آورد. در تحقیق حاضر، بعد از دریافت تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با فرمت ژئوتیف و انجام تصحیحات رادیومتری با تلفیق باندهای ۴ و ۵، نقشه‌های NDVI و SAVI به دست آمد. با داشتن ارتباط این نقشه‌ها با شاخص سطح برگ، می‌توان نقشه بخش‌بندی شده از LAI را از طریق فرمول (۱) به دست آورد (Farajzadeh & Karimi, 2013: 200). در (شکل ۱) نقشه تغییرات مکانی شاخص سطح برگ در حوضه آبریز تسوج آورده شده است.

$$LAI = \frac{\left( \ln \left( \frac{0.69 - SAVI}{0.59} \right) \right)}{0.91} \quad \text{فرمول (۱)}$$



شکل ۱: نقشه تغییرات مکانی شاخص سطح برگ در حوضه آبریز تسوج در تاریخ ۹۲/۵/۲

پارامتر دیگری که به عنوان ورودی مدل HELP3 به کار رفت، عدد منحنی رواناب می باشد. این پارامتر به نوع گیاهان، سطح زیر کشت آن ها، نوع عملیات زراعی، وضعیت هیدرولوژیکی گیاه، شرایط رطوبتی خاک و همچنین نوع خاک از نظر نفوذپذیری بستگی دارد (Alizadeh, 2002: 430). محاسبات تعیین شماره منحنی (CN) به صورت میانگین وزنی بر اساس خصوصیات پوشش سطح منطقه مورد مطالعه و گروه هیدرولوژیک خاک در شرایط رطوبتی متوسط بر اساس فرمول زیر محاسبه شد که نتایج آن در (جدول ۲) آورده شده است.

$$\overline{CN} = \left[ \sum (A_i / 100)(CN_i) \right] \quad \text{فرمول (۲)}$$

که،  $\overline{CN}$  = میانگین وزنی CN در سطح حوضه و  $A_i$  = درصد مساحتی از حوضه که شماره منحنی آن  $CN_i$  است.

جدول ۲- شماره منحنی در حالت رطوبت متوسط برای حوضه آبریز تسوج

نوع کاربری	سطح	شماره منحنی	گروه هیدرولوژیک	سطح × شماره منحنی	عدد منحنی متوسط حوضه آبریز تسوج
مرتع	۰/۷	۶۹	B	۴۸/۳	۷۰/۸۲
اراضی کشاورزی	۰/۲	۷۶	B	۱۵/۲	
مسکونی	۰/۰۵	۷۶,۵	B	۳/۸۲	
تاکستان و مجتمع درختی	۰/۰۵	۷۰	A	۳/۵	

مدل هیدرولوژیکی HELP3 نیاز به مقادیر مختلف داده های خاک برای هر یک از لایه های پروفیل خاک تا سطح آب زیرزمینی در آن منطقه نیز دارد. در این تحقیق، اطلاعات خاک از لوگ های حفاری موجود در منطقه و همچنین گزارش های خاک شناسی مربوط به موسسه تحقیقات آب و خاک استخراج شد.

پارامتر مورد نیاز دیگر تاریخ شروع و اتمام فصل رشد در منطقه می باشد. شروع فصل رشد به میانگین دمای روزانه و نوع گیاه وابسته است. در این مطالعه از شرایط حداقل دما جهت تعیین فصل رشد استفاده شد. زمان شروع فصل رشد زمانی در نظر گرفته شد که میانگین دمای روزانه بالای ۱۰ درجه سانتی گراد بود و پایان فصل رشد زمانی در نظر گرفته شد که میانگین دمای روزانه پایین تر از دمای ذکر شده بود.

پارامتر ورودی دیگر، عمق منطقه تبخیری است. عمق منطقه تبخیری حداکثر عمقی است که تبخیر و تعرق می تواند آب را مصرف کند؛ به عبارت دیگر عمقی است که آب موجود در خاک می تواند توسط تبخیر از خاک حذف شود یا

این که توسط ریشه گیاه جذب شده و به سطح زمین منتقل گردد و در معرض فرآیند تبخیر و تعرق قرار گیرد. این عمق در ورودی مدل باید بزرگتر از صفر در نظر گرفته شود. مقدار عمق مشخص شده، بر ذخیره آب در سطح اثر می‌گذارد و در نتیجه به‌طور مستقیم بر محاسبات رواناب و تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد. در جایی که پوشش گیاهی وجود دارد، این عمق باید حداقل برابر متوسط عمق مورد انتظار نفوذ ریشه گیاه باشد. تأثیر ریشه گیاه معمولاً تا زیر عمق نفوذ ریشه گیاه، به علت مکش کاپیلاریمه وجود دارد. در این مطالعه با توجه به این که سطح آب پایین‌تر از ریشه گیاهان موجود در منطقه می‌باشد و عملاً هیچ اندرکشی بین آن‌ها وجود ندارد، عمق منطقه تبخیری برابر با ریشه گیاهان موجود در منطقه در نظر گرفته شد. لذا با توجه به پوشش گیاهی در سطح حوضه مقدار این پارامتر محاسبه و در مدل اعمال گردید.

### یافته‌ها و بحث

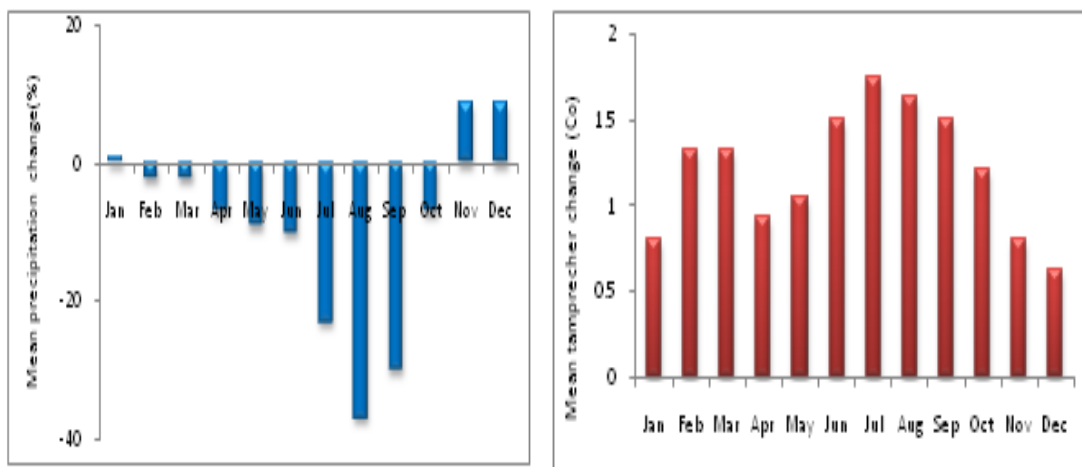
مطابق با (جدول ۳)، در سال‌های (۲۰۱۳-۲۰۳۰) بارش در سناریوهای A2, B1 و A1B کاهش و دما افزایش خواهد یافت. بالاترین درصد کاهش بارش و افزایش دما به سناریوی A2 تعلق دارد. در سناریوی A1B دما و بارش نسبت به دو سناریوی دیگر تغییرات کم‌تری را خواهد داشت. بر اساس (شکل ۲)، در مقیاس ماهانه، بارش در سناریوی A2 در دوره ۲۰۱۳-۲۰۳۰ در ماه ژانویه ۱ درصد و در ماه‌های نوامبر و دسامبر ۹ درصد افزایشی ولی در سایر ماه‌ها کاهش می‌باشد. بالاترین درصد کاهش بارش مربوط به ماه اوت است که در مقایسه با نرمال ۳۷ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که کاهش بارش در ماه‌های گرم سال بیش از ماه‌های سرد سال خواهد بود. همچنین در این سناریو دما در تمامی ماه‌ها افزایشی است که بیش‌ترین افزایش دما در ماه جولای به میزان ۱/۷۴ درجه سانتی‌گراد اتفاق خواهد افتاد.

جدول ۳- تغییرات میانگین سالانه دما و بارش در حوضه آبریز تسوج تحت مدل HADCM3

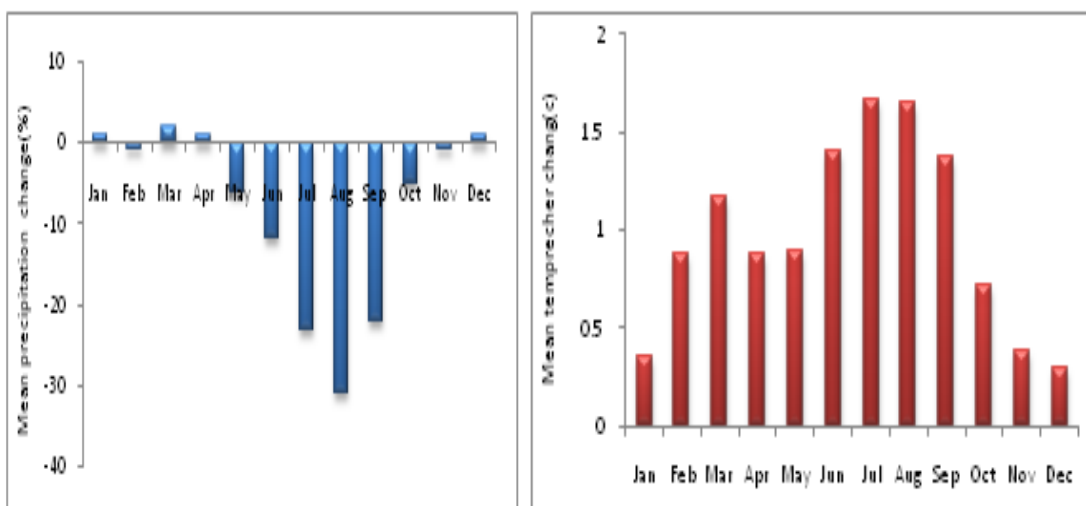
دوره آماری (۲۰۱۳-۲۰۳۰)	A2	B1	A1B
دما	۱/۲	۱/۱	۱
بارش	-۶/۷۲ (۲/۳)	-۴/۳۱ (۱/۴۷)	-۴/۱۲ (۱/۴۱)

بر اساس (شکل ۳)، بارش در سناریوی A1B در دوره (۲۰۱۳-۲۰۳۰) در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل و دسامبر افزایش داشته و در سایر ماه‌ها کاهش خواهد داشت. بالاترین درصد کاهش بارش در ماه اوت به میزان ۳۱ درصد خواهد بود. همچنین دما در تمامی ماه‌ها افزایشی می‌باشد که بیش‌ترین افزایش دما در ماه جولای و حدود ۱/۶ درجه سانتی‌گراد اتفاق خواهد افتاد. نتایج حاصل برای سناریوی B1 مشابه نتایج حاصل برای سناریوی A1B می‌باشد.



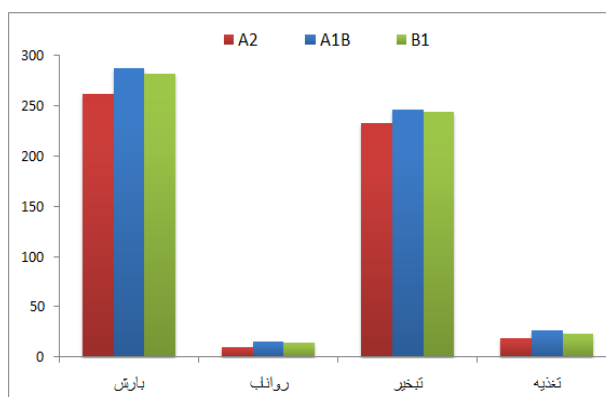


شکل ۲: تغییرات پیش بینی شده برای بارش و دما در حوضه آبریز تسوج برای سالهای ۲۰۱۳-۲۰۳۰ نسبت به وضع فعلی با استفاده از مدل HADCM3 و سناریوی A2



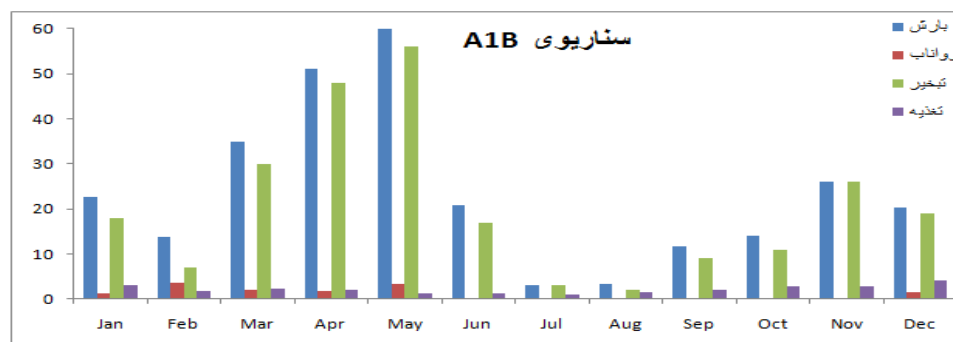
شکل ۳: تغییرات پیش بینی شده برای بارش و دما در حوضه آبریز تسوج برای سالهای (۲۰۱۳-۲۰۳۰) نسبت به وضع فعلی با استفاده از مدل HADCM3 و سناریوی A1B

مقادیر میانگین سالانه بارش، رواناب، تبخیر و تعرق و تغذیه آب زیرزمینی تحت سناریوهای A1B، A2 و A1B از سال (۲۰۱۳) تا (۲۰۳۰) در حوضه آبریز تسوج در (شکل ۴) نشان داده شده است. با توجه به این که در دوره مذکور بیشترین درصد افزایش دما و کاهش بارش در سناریوی A2 اتفاق خواهد افتاد، لذا مقدار میانگین بارش، رواناب و تغذیه در این سناریو کم تر از سناریوهای دیگر می باشد. در این سناریو از صد درصد بارش حدود ۳ درصد به رواناب، ۸۹ درصد جهت تبخیر و تنها ۸ درصد بارش صرف تغذیه آب زیرزمینی می شود. در این دوره سناریوهای A1B و B1 به دلیل تغییرات دمایی و بارشی پیش بینی شده تقریباً یکسان، مقدار تغییرات تغذیه آب زیرزمینی مشابهی را نشان می دهند.

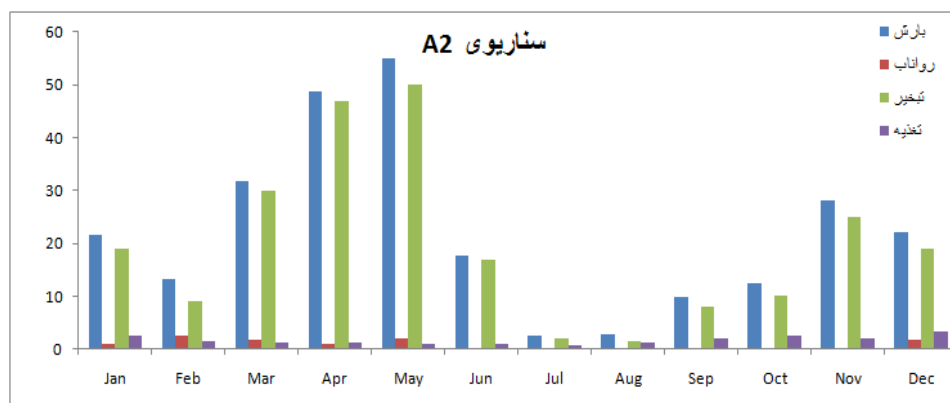


شکل ۴: مقادیر میانگین سالانه بارش، رواناب، تغذیه آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق تحت سناریوهای A2، B1 و A1B برای دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۳) در حوضه آبریز تسوج

تغذیه ماهانه آب زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج برای دوره زمانی (۲۰۳۰-۲۰۱۳) تحت سناریوهای A2 و A1B در (شکل ۵) نشان داده شده است و از ارائه شکل سناریوی B1 به دلیل مشابهت با نتایج سناریوی A1B صرف نظر شد. همانطور که مشاهده می‌شود، در مقیاس ماهانه کم‌ترین تغذیه آب زیرزمینی تحت سناریوی A2 صورت خواهد گرفت. بالاترین تغذیه در این سناریو به ماه دسامبر و کم‌ترین مقدار تغذیه به ماه جولای به میزان ۰/۷۲ میلی‌متر تعلق دارد. در سناریوهای B1 و A1B نیز مانند سناریوی A2 ماکزیمم تغذیه در ماه دسامبر و مینیمم آن در ماه جولای اتفاق خواهد افتاد. میزان رواناب در سناریو A2 از ماه ژوئن تا نوامبر به دلیل بارش ناچیز و بالا بودن تبخیر و تعرق تقریباً برابر صفر می‌باشد. بیش‌ترین مقدار رواناب به دلیل تغییر شکل بارش به باران که باعث نداشتن برف یخ‌زده روی زمین و ذوب بهاری می‌گردد، در فصل زمستان و در ماه فوریه اتفاق خواهد افتاد. از آنجا که بخش اعظم بارش در شمال غرب کشور در ماه اردیبهشت رخ می‌دهد که به بارش‌های نیشان مشهور است، در هر سه سناریو نیز مطابق (شکل ۶) نقطه پیک بارش ماهانه در ماه می رخ خواهد داد. تبخیر و تعرق نیز در زمستان به دلیل افزایش دما و تغییر شکل بارش از برف به باران افزایش خواهد یافت. در سناریوی A1B درصد کاهش بارش نسبت به دو سناریوی دیگر کم‌تر می‌باشد؛ لذا تغذیه آب زیرزمینی در این سناریو بیش‌تر خواهد بود.

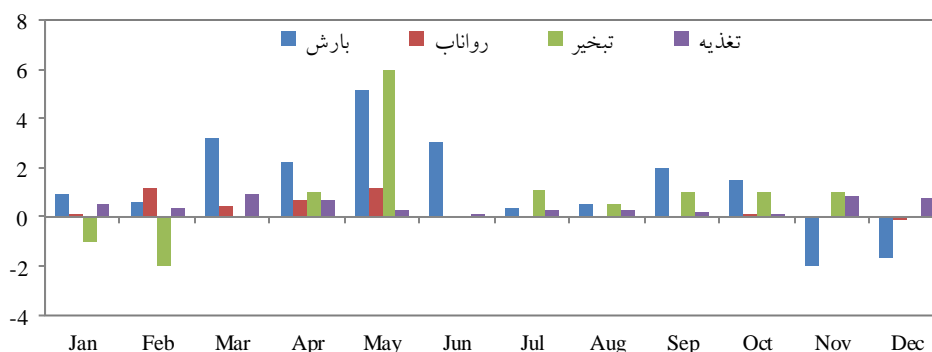


شکل ۵: میانگین ماهانه بارش، رواناب، تغذیه آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق برحسب میلی‌متر تحت سناریوهای A2 و A1B برای دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۳) در حوضه آبریز تسوج

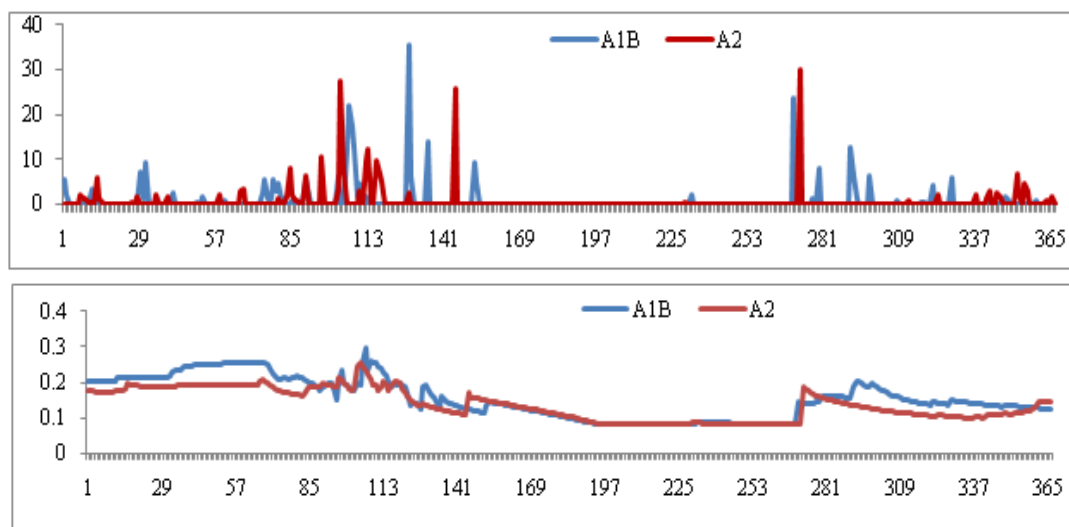


ادامه شکل ۵: میانگین ماهانه بارش، رواناب، تغذیه آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق برحسب میلی‌متر تحت سناریوهای A2 و A1B برای دوره (۲۰۱۳-۲۰۳۰) در حوضه آبریز تسوج

(شکل ۶) اختلاف ماهانه بارش، رواناب، تبخیر و تعرق و تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج تحت سناریوی A1B نسبت به سناریوی A2 را برای دوره (۲۰۱۳-۲۰۳۰) نشان می‌دهد مطابق شکل در سناریوی A1B مقدار بارش به غیر از ماه‌های نوامبر و دسامبر در تمامی ماه‌ها نسبت به بارش ماهانه سناریوی A2 بیش‌تر می‌باشد که حداکثر اختلاف در ماه می و حداقل اختلاف در ماه جولای می‌باشد. مقدار رواناب به غیر از ماه‌های نوامبر و دسامبر در سایر ماه‌ها در سناریوی A1B بیش‌تر می‌باشد. در سناریوی A2 تبخیر در ماه‌های ژانویه و فوریه بیش‌تر از سناریوی A1B می‌باشد و در نهایت مقدار تغذیه در سناریوی A1B در تمامی ماه‌ها نسبت به سناریوی A2 بیش‌تر اتفاق خواهد افتاد حداقل اختلاف تغذیه سناریوی A1B نسبت به سناریوی A2 به ماه ژوئن و حداکثر آن به ماه مارس تعلق دارد. مدل HELP3 قابلیت محاسبه تغذیه آب زیرزمینی به صورت روزانه را نیز دارد. در (شکل ۷) نتایج روزانه برای سناریوهای A2 و A1B آورده شده است و از ارائه نتایج سناریوی B1 به دلیل مشابهت با نتایج سناریوی A1B صرف‌نظر شد. مطابق شکل تغذیه آب زیرزمینی با افزایش رطوبت خاک به رطوبت پیشین خاک در لایه‌های تحتانی، تقریباً هر روز رخ می‌دهد. مقایسه تغذیه روزانه در سناریوهای A2 و A1B نشان‌دهنده این است که مقدار تغذیه در سناریوی A1B به دلیل کاهش بارش و افزایش دمای کم‌تر نسبت به سناریوی A2 بیش‌تر اتفاق می‌افتد.



شکل ۶: اختلاف میانگین ماهانه بارش، تبخیر و تعرق، رواناب و تغذیه سناریوی A1B نسبت به سناریوی A2 برای دوره (۲۰۱۳-۲۰۳۰)



شکل ۷: نتایج روزانه تغذیه آب زیرزمینی ناشی از بارش برحسب میلی‌متر بین سال‌های (۲۰۱۳-۲۰۳۰) در حوضه آبریز تسوج تحت سناریوی A1B و A2

### نتیجه‌گیری

در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر منطقه تسوج که الگوی بارش نامنظمی بر منطقه حکم‌فرماست و منطقه با کمبود آب سطحی روبروست، نیازهای آبی توسط منابع آب زیرزمینی برطرف می‌شود و استفاده از آب‌های زیرزمینی می‌تواند بهترین گزینه در جهت کاهش تبخیر و در هنگام کم‌آبی باشد. تعیین ورودی (تغذیه) به سیستم آب زیرزمینی برای بهبود استراتژی مدیریت کارای حوضه آبریز مهم است و می‌تواند حفاظت منابع آب زیرزمینی را نه تنها از تغییر اقلیم، بلکه همچنین از سایر مشکلات مانند شهرسازی، تضمین کند. با توجه به این‌که عوامل هواشناسی از جمله بارندگی و دما رابطه لاینفکی با تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دارند، لذا بررسی و مطالعه این دو عنصر هواشناسی یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در رابطه با بهره‌برداری از منابع طبیعی آب مورد توجه است. حوضه آبریز تسوج از نظر فعالیت کشاورزی و تراکم جمعیت از اهمیت زیادی برخوردار است و به دلیل کمبود منابع آب سطحی، بخش اعظم آب کشاورزی و نیاز سایر بخش‌ها از آب زیرزمینی تأمین می‌شود؛ لذا آب زیرزمینی در این حوضه از اهمیت بالایی برخوردار است ولی کاهش بارندگی و افزایش دما طی سال‌های (۲۰۱۳-۲۰۳۰) باعث کاهش تغذیه و افزایش افت بار هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی تسوج شده و تنزل کیفیت و نفوذ آب شور را در پی خواهد داشت. بالاترین درصد کاهش بارش و افزایش دما و متعاقباً کم‌ترین میزان تغذیه طی سال‌های (۲۰۱۳-۲۰۳۰) در سناریوی A2 اتفاق خواهد افتاد. لذا با توجه به تأثیرات انکارناپذیر تغییر اقلیم بر آب‌های زیرزمینی بایستی با اجرای برنامه‌های به تعادل رساندن آبخوان‌ها از جمله افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی با استفاده از روش‌های مدرن آبیاری به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب، اعمال مدیریت صحیح مصرف آب در بخش‌های شرب و صنعت، مطالعه و اجرای طرح‌های پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی به‌منظور تقویت و تعادل بخشی آبخوان‌ها، کنترل و استفاده بهینه از

منابع آب‌های سطحی موجود، جلوگیری از بهره‌برداری و انسداد چاه‌های غیرمجاز، کنترل بهره‌برداری چاه‌های دارای پروانه، جلوگیری از توسعه بی‌رویه چاه‌ها و رعایت سقف تخصیص تعیین شده جهت توسعه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، شاهد کاهش روند افت سطح آب زیرزمینی بوده و از مخاطرات ناشی از افت سطح آب زیرزمینی از جمله کاهش حجم مخازن آب زیرزمینی، کاهش آبدهی و خشک شدن چاه‌ها و قنوت، نشست سطح زمین و تخریب مخازن آب زیرزمینی، هجوم آب شور، تنزل و تخریب کیفیت آب شیرین منابع آب زیرزمینی و انتشار و پخش آلودگی‌ها جلوگیری نمود.

## References

- Aguilera, H., Murillo, M., (2009), "The effect of possible climate change on natural groundwater recharge based on a simple model, (case study: four karstic aquifers in SE Spain)", *Journal of Environmental Geology*, 57: 936-974.
- Allen, D. M., Mackie, D. C., Wei, M., (2004), "Groundwater and climate change, (case study: a sensitivity analysis for the Grand Forks aquifer, southern British Columbia)", *Journal of Hydrogeology*, 12 (3): 270-290.
- Alizadeh, A., (2002), "*Principles of applied hydrology*", Mashad: Astan Quds Razavi Press. [In Persian].
- Allen, D. M., Toews, M. W., (2009), "Evaluating different GCMs for Predicting spatial recharge in an irrigated arid region", *Journal of Hydrology*, 374: 265-281.
- Beigi, E., (2010), "Study of climate change impacts on temporal and spatially varying groundwater recharge", M. S., Thesis, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology. [In Persian].
- Cohen, S. J., (1986), "Impacts of CO<sub>2</sub>-induced Climatic change on water resources in the Great Lakes Basin", *Journal of Climatic Change*, 8 (2): 135-153.
- Faridpor, M., (2013), "Drought effect analysis on quantitative and qualitative characteristics of groundwater in Marand Plain", M. S., Thesis, Faculty of Geography, University of Tabriz. [In Persian].
- Farajzadeh, M., Karimi, N., (2013), "*The basics of satellite meteorology*", Samt: Tehran. [In Persian].
- Gogolev, M. I., (2002), "Assessing groundwater recharge with two unsaturated zone modeling technologies", *Journal of Environmental Geology*, 42 (2-3): 248-258.
- Holman, I. P., (2006), "Impacts climate change on groundwater recharge-uncertainty, shortcomings, and the way forward", *Journal of Hydrogeology*, 14 (5): 637-647.
- Habashi, R., (2014), "Prediction of groundwater level using time series models, (case study: Urmia Plain)", M. S. Thesis, Faculty of Agriculture, Urmia University. [In Persian].
- Jyrkama, M. I., Sykes, J. F., (2007), "The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the Grand River watershed (Ontario) ", *Journal of Hydrology*, 338 (3-4): 237-250.
- Kao-Chin, H., Chug-Ho, W, Kuan-Chin, C., Chien-Tai, C., Kai-Wei, M., (2000), "Climate induced hydrological impacts on the groundwater system of the pingtung plain, Taiwan", *Journal of Hydrology*, 15 (5): 903-913.
- Mardaneh, M., Aflaton, M., Bostani, F., (2012), "Study of correlation between rainfall and groundwater level in Shiraz plain", *Journal of Water Resources Engineering*, 13:87-96. [In Persian].
- NG, G. H. C., McLaughlin, D., Entekhabi, D., Scanlon, B. R., (2010), "Probabilistic analysis of climate change on groundwater recharge", *Journal of Water Resources Research*, 46 (7): 1-18.
- Pascal, G., Serge, B., Stephen, B., Aidan, B., Hayley, J., Fowler, P., Orban, A. D., (2011), "Modeling climate change impacts on groundwater resources using transient stochastic climatic scenarios", *Journal of Water Resources Research*. 47 (12): 1-17.

- Pormohammadi, S., Malekinejad, A., Pour shariani, R., (2013), "Comparison of ANN and time series appropriately in prediction of ground water table, (Case Study: Bakhtegan basin)", *Journal of water and soil conservation*, 4: 251-262. [In Persian].
- Shakiba, A., Mirbageri, B., Khayri, A., (2010), "Drought and its impact on groundwater resources in east of kermanshah province by using spi index", *Journal of Geological Society of Iran*, 25: 105-124. [In Persian].
- Shirvani Eichi, H., Rashke Olia, H., zunamat Karmani, M., (2013), "Simulation and prediction of groundwater status of Kerman plain by using recurrent and stochastic time series models", first national hydrology conference in semi-arid regions, Kordestan, 3-5 May 2013, University of Kordestan. [In Persian].
- Scibek, J., Allen, D. M., (2006), "Comparing modeled responses of two high-permeability unconfined aquifers to predicted climate change", *Journal of Global and Planetary change*, 50 (1-2): 50-62.
- Zhuoheng, C., Stephen, E., Grasby and Kirk, G., Osadet, Z., (2004), "Relationship between climate variability and ground Water Levels in the upper carbonate aquifer southern, Manitoba, Canada", *Journal of Hydrology*, 290 (1-2): 43-62.
- Razagmanesh, M., Salemi, T., Saraj, M., (2001), "Quantitative and qualitative study of groundwater in Tabriz plain", First national conference on management of irrigation and drainage networks, Ahvaz, 12- 14 may 2001, university of Chamran. [In Persian].
- Zoqi, M.J., Ghavidel, A., (2011), "Prediction of landfill leachate amount using HELP model, (Case study: Semnan landfill)", *Journal of Health & Environ*, 4: 76-18. [In Persian].

