دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست ودوم، شماره‌ی ۷۸
تابستان ۱۴۰۱، صفحات ۵۳-۳۱

DOI:10.52547/GeoSpa.22.2.31

*حمید نوری[۱]
علیرضا ایلدرمی[۲]
مریم بخشی[۳]

بررسی کیفیت آب زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم و خشکسالی های آینده در دشت سیلاخور بروجرد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۶

چکیده

شناخت تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی تحت تاثیر تغییر اقلیم گام مهمی در مدیریت حوزه‌های آبخیز کوهستانی به‌ویژه در اقلیم مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. پارامترهای اقلیم آینده با استفاده از داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی دوره پایه (۱۳۷۱ تا ۱۳۹۵) در دشت کشاورزی سیلاخور بروجرد، با مدل گردش عمومی جوHADCM3 و مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG طبق دو سناریوی B1 و A2 پیش‌بینی شد. با استفاده از شاخص خشکسالی SPI، سال‌های تر و خشک در دوره پایه تعیین و وضعیت خشکسالی آینده پیش‌بینی گردید. با استفاده از داده‌های کیفی آب ۱۸ چاه حوزه مورد مطالعه، توزیع پارامترهای TDS، EC، PH، SAR با استفاده از چهار روش اصلی پهنه‌بندی در زمین آمار (IDW، RBF، Kriging وCokriging) مورد بررسی قرار گرفت و نقشه‌های پراکنش آن‌ها تهیه و با استفاده از شاخص ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)، بهترین مدل انتخاب گردید. در آخر با استفاده از روش تحلیل عاملی و آنالیز واریانس اثر تغییر اقلیم و خشکسالی‌ها بر پارامترهای ژئوشیمیایی آب بررسی شدند. نتایج نشان داد که برای پارامترهای PH، TDS، SAR و EC به‌ترتیب روش‌های کوکریجینگ معمولی، کوکریجینگ ساده، کوکریجینگ ساده و کوکریجینگ ساده مناسب‌تر بوده‌اند. در بین پارامترهای مورد بررسی TDS و EC بیش‌ترین همبستگی را با دمای میانگین داشته و

*۱- دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر. (نویسنده مسئول). E-mail:hamidwatershed@yahoo.com
۲- دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر.
۳- کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

SAR همبستگی بالایی با پارامترهای اقلیمی نداشته است. پارامتر PH همبستگی منفی قوی و معنی‌داری با دمای حداقل دارد. نتایج از عدم تاثیر معنی‌دار کلاس‌های خشکسالی و ترسالی بر کیفیت آب به غیر از PH دارد. در حالی‌که خشکسالی‌های شدید بر همه پارامترهای کیفی آب اثر معنی‌دار دارند. بررسی تغییر اقلیم نشان می‌دهد که با افزایش دمای حداقل و حداکثر در سال‌های آینده TDS و EC افزایش و PH کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: زمین‌آمار، LARS-WG، کیفیت آب زیرزمینی، خشکسالی، دشت سیلاخور

مقدمه

صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته باعث افزایش دمای کره زمین شده به طوری که از سال ۱۹۰۱ تا سال ۲۰۱۲ دمای سطح زمین و اقیانوس‌ها به طور متوسط در حدود ۰/۸۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (Zulkarnain et al., 2013: 257). اقلیم، شرایط متوسط آب‌وهوا برای یک محدوده خاص در یک دوره زمانی خاص می‌باشد. تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب وهوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است. افزایش گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی و در نتیجه تشدید تغییرات پارامترهای اقلیمی، می‌تواند بر سیستم‌های مختلف از جمله منابع آب، محیط‌زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه سیستم‌هایی که در کنش با سیستم اقلیم می‌باشند (Habibnejad Roshan et al., 2017:) افزایش تناوب خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها به‌ویژه در آفریقا و آسیا را در چند دهه اخیر گزارش کرد (IPCC, 2001: 1425) و (Massah Bovani and Golmohammadi, 2010).

نتایج مطالعات محققان در ایران (Bakhtiari et al., 2014: 695, Rezaei et al., 2014: 89, Babaeian and Najafinik, 2007: 14 و (Doosti et al., 2013: 24) و خارج از کشور (Lizumi et al., 2012: 51، Masanganise et al., 2013: 3011 و(Zulkarnain et al., 2013: 243) نشان‌دهنده توانمندی بسیار خوب مدل LARS-WG برای مدل‌سازی دماهای بیشینه و کمینه و همچنین استفاده از آن برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی می‌باشد. آن‌ها کارایی مدل‌های گردش عمومی جو را برای پیش‌بینی دما و بارش مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که این مدل-ها گاهی دما و گاه بارش را بهتر شبیه‌سازی می‌کنند. همچنین نتایج حاکی از آن است که کارایی مدل‌های گردش عمومی از مکانی به مکان دیگر متفاوت بودند. تغییر اقلیم با تاثیر بر فراوانی و شدت بارش، خشکسالی و تبخیر و تعرق بر مقدار و کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی اثر می‌گذارند. امروزه کیفیت آب به‌عنوان یکی از مشکلات مهم زیست‌محیطی در نقاط مختلف جهان به‌ویژه در بخش شرب کشورهای با اقلیم خشک و نیمه خشک است. Alijani and Ghavidel Rahimi (2005: 21) برداشت‌های بی رویه از چاه‌های آب و گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در شرایط تغییر اقلیم و خشکسالی‌ها منجر به تغییر کیفیت آب زیرزمینی شده است. برخی مطالعات به بررسی اثر تغییر اقلیم بر آب‌های سطحی می‌پردازند. این محققان (Massah Bovani and Morid,

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

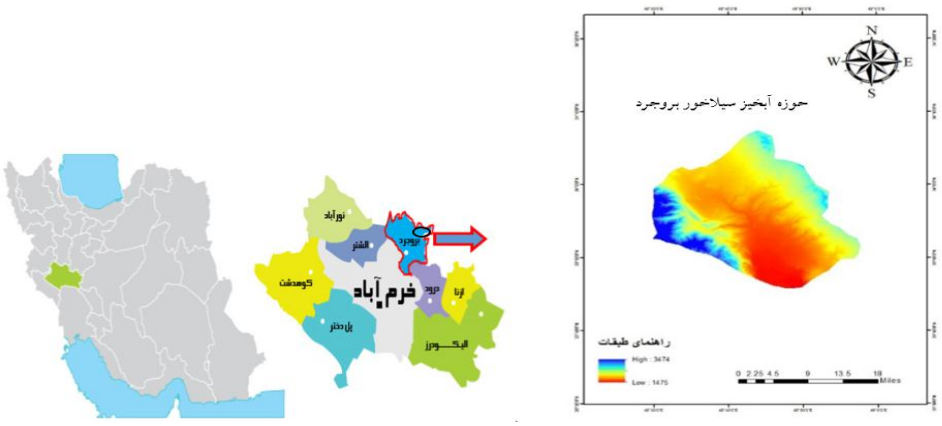
Zhang et، Jones et al., 2004: 1419 ،Ashofteh and Bouvani, 2010: 15, Seyyed ghasemi et al., 2005: 27 Zessner et ، Honti et al., 2017: 1593 ،Mehdi et al., 2015: 47، Wilby and Harris, 2006: 10 ،al., 2014: 205 (Zoboli et al., 2018: 417 al., 2017: 317 نشان دادند که مدل‌ها حساسیت‌های متفاوتی به تغییرات بارش، دما و تبخیر و تعرق نشان می‌دهند و از نتایج این تحقیق می‌توان در آنالیز حساسیت مدل‌های فوق در اقلیم‌های گوناگون بهره برد. مطالعات دیگر با هدف بررسی اثر تغییر اقلیم و خشکسالی‌ها بر منابع آب‌های زیرزمینی انجام شد. با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر ابعاد کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و هیدرولوژی زیرسطحی بیان داشتند که شدت و فراوانی دوره‌های خشک آینده در مقیاس زمان و مکان دارای عدم یقین هستند (Green et al., 2011: 532). تغییرپذیری مکانی پاسخ سیستم‌های آبخوان به تغییرات اقلیمی یک حوضه آبخیز برای پیشبرد فرآیند هیدرولوژیکی سطحی و مدل‌های جریان آب زیرزمینی مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که آب زیرزمینی در تعیین پاسخ سیستم‌های رودخانه به تغییرات اقلیمی یک نقش کلیدی بازی می‌کند (Waibel et al., 2013: 201). شبیه‌سازی سناریوهای مدیریت آب را با استفاده از مدل جریان آب زیرزمینی سه‌بعدی توسعه بخشیده و اقتصادی‌ترین سناریوی بهره‌برداری را تا سال ۲۱۰۰ پیشنهاد نمودند (Sefelnasr et al., 2015: 79). در یونان از زمین آمار برای درونیابی سطح آب‌های زیرزمینی در حوضه آنتمونتاس استفاده کرده و براساس نتایج اعتبارسنجی، روش کریجینگ را در تخمین مقادیر پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مناسب تشخیص دادند (Theodossiou et al., 2007: 223). در مطالعه‌ای با بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز دریافتند که در سال ترسالی، میزان آب‌های زیرزمینی شور و خیلی شور، ۱۸/۱۵ درصد و آب‌های زیرزمینی با قلیاییت زیاد ٤/۹۲ درصد می‌باشد در حالی که در سال شاخص خشکسالی این مقادیر به‌ترتیب ۲۸/۲ و ۲۵/۳ افزایش یافته‌اند (Karami and Kazemi, 2012: 21). در استان سیستان و بلوچستان دریافتند که در دوره‌های خشکسالی مقادیر شوری و قلیائیت آب‌های سطحی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Mahmudi et al., 2014: 21). در طی دهه‌های اخیر به نظر می‌رسد که در دشت کشاورزی سیلاخور-بروجرد لرستان علاوه بر خشکسالی‌ها، عوامل دیگری مانند افزایش جمعیت، تغییر کاربری اراضی، افزایش استفاده از کودهای شیمیایی و سموم و مصرف بی‌رویه منابع آب در تغییر کیفیت آب نقش زیادی داشته است. ادامه این روند گرمایش و خشکسالی‌ها و برداشت بیش از اندازه آب چاه‌های می‌تواند وضعیت این دشت مهم و با رونق کشاورزی را به حالت بحرانی برساند. کاهش تراز آب زیرزمینی در اثر برداشت بی‌رویه از این منابع موجب فرونشست زمین در اغلب دشت‌های کشورمان شده است. بررسی و مطالعه این کاهش تراز و روند تغییرات آن برای مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از اثرات سوء برداشت بی‌رویه لازم و ضروری می‌باشد (Roshan et al., 2019: 131). در این تحقیق با استفاده از مدل لارس، بارش و دما و خشکسالی‌های آینده این منطقه مهم کشاورزی از زاگرس محاسبه و بعد از تحلیل زمانی و مکانی وضعیت پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، اثر تغییر اقلیم و خشکسالی‌ها بر این پارامترها به‌دست آمد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

منطقه مورد مطالعه

شهرستان بروجرد در محدوده‌ی حوزه آبخیز دز قرار دارد و حوزه آبخیز سیلاخور-رحیم‌آباد از زیر حوزه‌های دز و در شهرستان بروجرد قرار دارد. این حوزه در شمال حوزه‌ی دز بین ۳٤ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ٤٥ دقیقه عرض شمالی و ٤۸ درجه و ۵۷ دقیقه تا ٤۸ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویج قرار گرفته است (شکل ۱). مهم‌ترین رودخانه این حوزه، سیلاخور نام دارد. مساحت حوزه آبخیز آن ۱۰۱۹/۸۱ کیلومتر مربع و حداکثر و حداقل ارتفاع آن به‌ترتیب ۳٤۷٤ و ۱٤۷۵ متر است. متوسط بارندگی سالانه آن ٤۵۳/۸ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱٤/۸٦ درجه سانتی‌گراد است؛ بنابراین بر اساس روش دومارتن دارای اقلیم نیمه خشک است.



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز سیلاخور -رحیم‌آباد در استان لرستان و در ایران

Figure 1: Location of Silakhor-Rahimabad watershed in Lorestan province and in Iran

مواد و روش‌ها

داده‌های مشاهداتی اقلیم شامل روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک بروجرد (به دلیل دارا بودن داده‌های طولانی‌تر و ارتفاعی برابر متوسط ارتفاع سایر ایستگاه‌ها به عنوان مبنا) در دوره ۷۱-۷۲ تا ۹٤-۹۵ و داده‌های بخش آب‌های زیرزمینی شامل داده‌های کیفی PH، SAR،TDS و EC در ۱۸ چاه منطقه می‌باشد که به‌ترتیب از اداره کل هواشناسی و اداره کل آب منطقه‌ای استان لرستان دریافت شدند.

تولید داده‌های اقلیمی آینده

بهترین وسیله برای بررسی و تحقیق تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر جو زمین در مقیاس منطقه‌ای، کاربرد مدل‌های گردش عمومی جوی-اقیانوسی مدل‌های گردش عمومی (AOGCM) است (Wilby and Harris: 2006: 10). مدل HadCM3 از مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم Hadley انگلستان دارای هشت متغیر اقلیمی از سطح زمین شامل، میزان بارندگی، میانگین فشار سطح دریاها، تابش خورشیدی، میانگین دمای هوا، دمای نقطه شبنم، حداقل دمای هوا،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

حداکثر دمای هوا و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف انتشار شبیه‌سازی شده‌اند. مجموعه کامل متغیرهای ماهانه ذکر شده از آرشیو داده‌های مدل‌های AOGCM در بخش DDC از سایت IPCC قابل دسترس می‌باشد (IPCC– DDC, 1998: 223). برای تبدیل داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی به داده‌های منطقه‌ای و محلی و یا ایستگاهی دو کلاس متفاوت از دیدگاه کوچک مقیاس کردن به نام روش‌های دینامیکی[4] و آماری[5] در جوامع علمی مطرح می‌شود (Cherkauer et al., 2003:151).LARS-WG[6] یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان واحد تحت شرایط اقلیم حال و آینده به‌کار رود (Racsko et al., 1991: 41). مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش توزیع نیمه تجربی می‌باشد (Babeian and Najafinik, 2007: 10) در گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم ٤٠ سناریو برای آینده جهان ارائه شد که در ٤ شاخه اصلی یا خانواده سناریوها (A1، A2، B1، B2) تشکیل شده‌اند قرار گرفتند. سناریو A2، فرض می‌شود یک دنیای جدا از هم وجود داشته باشد. رسومات محلی و افزایش رشد جمعیت مورد تایید می‌باشد و تاکید کم‌تری بر روی مسائل اقتصادی وجود دارد. سناریو B1، تاکید بر پایداری محیطی و اجتماعی و کوشش برای گسترش تکنولوژی و فناوری سریع، مادی‌گری اقتصادی و بهبود سرمایه می‌باشد. (IPCC, 2007: 501) در این پژوهش از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی NSE، MAE و RMSE استفاده شد و میانگین‌های ماهانه هر کدام از متغیرهای هواشناسی در حالت واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG مقایسه شد که روابط مربوط به هر کدام از پارامترهای هواشناسی در زیر نشان داده شده است (Semenov and Stratonovitch, 2010: 14).

$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-y)^2}{\sum_{i=1}^{n}(x-x\rho)^2}\right]$	رابطه (۱)
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n-1}^{n}(x-y)2}{n}}$	رابطه (۲)
$MAE = \frac{\sum_{n-1}^{n}\lvert x-y\rvert}{n}$	رابطه (۳)
$BIAS = \frac{1}{n}\sum(y-x)$	رابطه (٤)

در روابط بالا y داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل؛ x داده‌های مشاهده شده؛ $y\rho$ میانگین داده‌های مشاهده شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

محاسبه دوره‌های خشکسالی حال و آینده و اثرات آن‌ها بر پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

4- Proportional Downscaling
5- Statistical Downscaling
6- Long Ashton Research Station Weather Generator

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

کیفیت هیدروشیمیایی آب زیرزمینی به‌عنوان تابعی از خصوصیات تغذیه، می‌تواند بازتابی از رژیم بارش در منطقه باشد. در شرایط خشکسالی، با کاهش بارش و کاهش حجم ذخیره مخزن، غلظت عناصر در آب زیرزمینی افزایش می‌یابد (Sefelnasr et al., 2015: 53). برای تحلیل وضعیت خشکسالی شاخص‌های متعددی وجود دارد که در این تحقیق شاخص SPI که برای اولین بار توسط Mackee et al (1993:179) پیشنهاد گردید به دلیل قابلیت خوب در مطالعات منابع آب استفاده شد. این قابلیت امکانی را فراهم می‌نماید تا وضعیت منابع آب برای دوره‌های بلندمدت در مطالعه رودخانه‌ها و مخازن آب زیرزمینی مورد بررسی قرار داد (Jones et al., 2004: 1421). برای محاسبه شاخص استاندارد بارش یا SPI از فرمول (۵) استفاده می‌شود:

$$SPI = (pi - \bar{p})/s$$ رابطه (۵)

در رابطه فوق pi مقدار بارش در دوره مورد نظر، P میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش است. شاخص سه ماهه بارش استاندارد شرایط رطوبتی کوتاه مدت و فصلی، شاخص شش ماهه، وضعیت رطوبتی میان مدت و شاخص یک و دوساله، شرایط رطوبتی دراز مدت و وضعیت منابع سطحی و زیر زمینی را نشان می‌دهد (Edwards and Mackee, 1997: 30). لذا در این تحقیق خشکسالی‌های سالانه مورد مطالعه قرار گرفت. طبقه‌بندی خشکسالی‌ها به روش شاخص استاندارد بارش در جدول (۱) ارایه شده است.

جدول ۱- طبقات شاخص SPI

Table 1- SPI index classes

طبقات خشکسالی	مقادیر SPI
کاملا مرطوب	۲>
خیلی مرطوب	(۱/۵) تا (۲)
نسبتا مرطوب	(۱) تا (۱/۵)
مرطوب ملایم	(۱) تا ۰
خشکسالی ملایم	(۱-) تا ۰
خشکسالی متوسط	(۱-) تا (۱/۵-)
خشکسالی شدید	(۱/۵-) تا (۲-)
خشکسالی بسیار شدید	۲->

با استفاده از شاخص SPI سال‌های تر و خشک شناسایی و پارامترهای کیفیت آب با آنالیز واریانس مقایسه گردید. همچنین در این تحقیق، توزیع پارامترهای TDS، EC، PH و SAR در سطح آب‌های زیرزمینی دشت سیلاخور در استان لرستان، با استفاده از چهار روش پهنه‌بندی موجود در زمین آمار از جمله عکس فاصله وزن‌دار، توابع شعاع پایه‌ای، کریجینگ، کوکریجینگ مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس نمونه آب‌های زیرزمینی ۱۸ چاه در دوره پایه بررسی شد. پس از ترسیم واریوگرام و بررسی تغییرات مکانی پارامترهای مورد بررسی، اقدام به میان یابی پارامترها به روش‌های مختلف شد و با ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)، بهترین مدل ارزیابی و نقشه‌های پراکنش در سال‌های ۸۷، ۸۹، ۹۱ و ۹۳ تهیه شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS ماتریس همبستگی بین متغیرهای ژئوشیمیایی آب

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

و ٤ متغیر اقلیمی بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و دمای متوسط محاسبه گردید. تحلیل عاملی یکی از روش‌های آنالیز چند متغیره آماری اعمال شده در این تحقیق، روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است. تحلیل عاملی روش آماری چند متغیره‌ای است که هدف آن ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. این روش برای توصیف تغییرپذیری بین متغیرهای مشاهده‌ای به تعدادی محدود از متغیر مشاهده نشده که عامل نامیده می‌شوند، استفاده می‌شود. دخالت متغیرها با اهمیت کم‌تر را به وسیلهٔ چرخش واریمکس به ماتریس بارهای عاملی کاهش می‌دهد (Tabachnick et al., 2000: 66).

یافته‌ها و بحث

بررسی شرایط اقلیمی آینده

به‌طور کلی تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از واسنجی کردن مدل، ارزیابی مدل و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره آتی. بر این اساس برای اجرای این مدل داده‌های اقلیمی روزانه از سال ۷۱-۷۲ تا ٩٤-٩٥ را مرتب نموده و به عنوان فایل ورودی به مدل داده شد و بدین ترتیب مرحله واسنجی کردن به پایان رسید و نتایج حاصل از مدل برای این دوره با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید تا از کارایی مدل برای ایستگاه مورد نظر اطمینان حاصل شود. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر میانگین بارش شبیه‌سازی شده تطابق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارند و بیش‌ترین اختلاف مربوط به ماه‌های آوریل و ژانویه است. در خصوص انحراف معیار بارش‌های ماهانه نیز بیش‌ترین اختلاف به ماه‌های نوامبر و ژانویه تعلق دارد. همچنین، میانگین دمای حداکثر و دمای حداقل شبیه‌سازی شده تطابق خیلی خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد. مقادیر انحراف معیار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ماه‌های مختلف با یکدیگر اختلاف دارند که بیش‌ترین اختلاف مربوط به ماه‌های ژانویه و دسامبر می‌باشد، هرچند این اختلاف با توجه به آزمون t استیودنت در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. شاخص‌های ارزیابی و تشخیص کارایی مدل در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- نتایج ارزیابی مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG در دوره ۲۰۱٤-۱۹۹۰

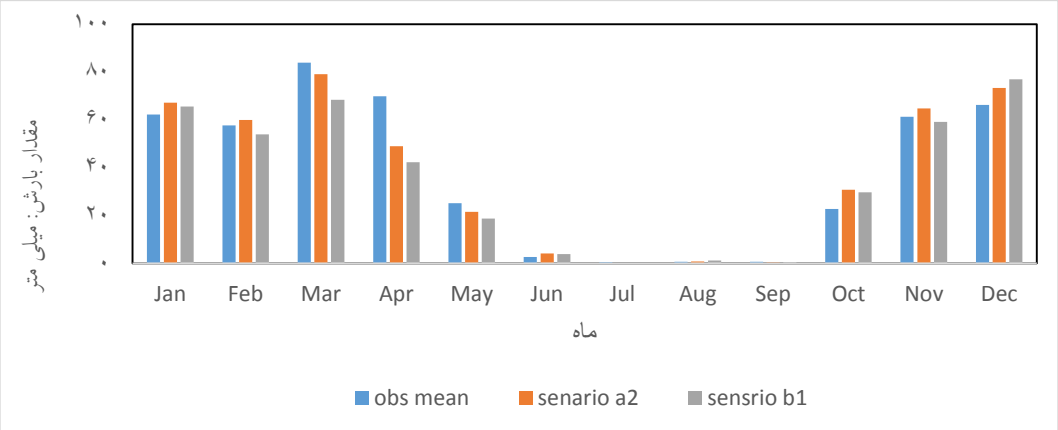
Table 2- Evaluation results of LARS-WG exponential micro-scale model in the period 2014-1990

شاخص / پارامتر	MAE	RMSE	NSE	R^2
بارش	-۰/۱۳۷۵	۳/۱٤٤٦۸۷	۰/۹۷۳٦۱۱	۰/۹٤۵۳
دمای حداقل	-۰/۰٤	۰/۲۳۸۱۱۸	۰/۹۹۸۷۹	۰/۹٤۵۳
دمای حداکثر	۰/۰۰۱٦٦۷	۰/۲۵٦۰٦	۰/۹۹۳٦۱	۰/۹٤۵۳
ساعات آفتابی	۰/۱۳٦٦٦۷	۰/۲۵٦٤۱۸	۰/۹۹۸۵۱٤	۰/۹٤۵۳

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

همان‌طور که در جدول آمده است، مقدار پارامتر RMSE برای بارش بیش‌تر از حداقل و حداکثر دما می‌باشد. پارامتر NSE در سه پارامتر بالا نزدیک به یک است و نشان دهنده توانایی بالای مدل است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که مدل LARS-WG توانایی مدل‌سازی اقلیم دوره پایه حوزه مورد مطالعه را دارد. پس از اطمینان از توانمندی مدل LARS-WG در تولید داده‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر حوزه سیلاخور-رحیم آباد، خروجی مدل HADCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 کوچک مقیاس شده و پارامترهای مورد نظر پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ با مقادیر آن‌ها در دوره پایه مقایسه شد. نتایج مربوط به مقایسه میانگین ماهانه بارش در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره پایه در شکل (۲) آورده شده است.



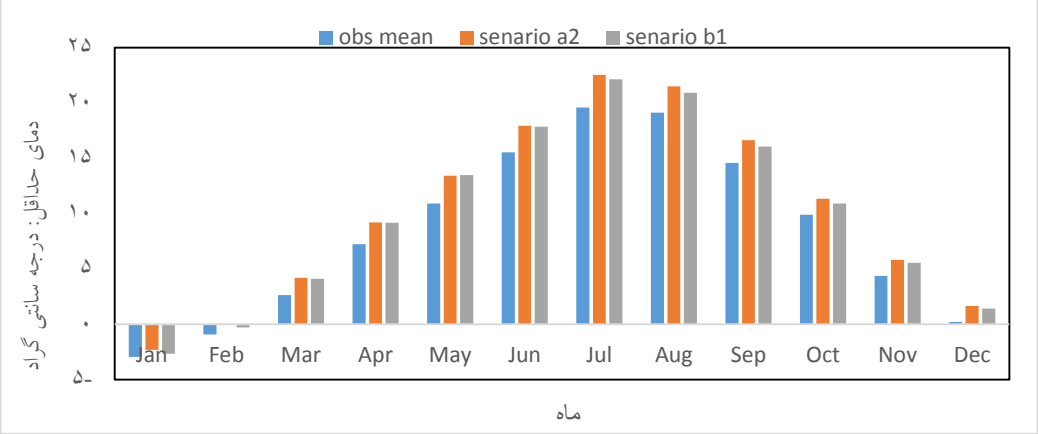
شکل ۲: میانگین بارش ماهانه دوره پایه و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریوهای A2 و B1

Figure 2: Average monthly rainfall of the base period and 2065-2046 under scenarios A2 and B1

مدل HADCM3 در برخی از ماه‌ها، میزان بارش آینده را نسبت به دوره پایه کم‌تر و در برخی ماه‌ها بیش‌تر از دوره پایه نشان می‌دهد. در سناریو A2، میانگین ماهانه بارش در ماه‌های ژانویه، فوریه، ژوئن، اوت، اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش و در بقیه ماه‌ها کاهش می‌یابد به‌طوری که بیش‌ترین افزایش در ماه اکتبر به میزان ۸/۰۴ میلی‌متر و بیش‌ترین کاهش در ماه آوریل به میزان ۲۰/۸۱ میلی‌متر می‌باشد. در سناریو B1، میانگین ماهانه بارش در ماه‌های ژانویه، ژوئن، اوت، اکتبر و دسامبر افزایش و در بقیه ماه‌ها کاهش می‌یابد. به‌طوری که بیش‌ترین افزایش در ماه دسامبر به میزان ۱۰/۷۵ میلی‌متر و بیش‌ترین کاهش در ماه آوریل به میزان ۲۷/۴۸ میلی‌متر می‌باشد. با در نظر گرفتن سناریو A2 و B1 میانگین فصلی بارش به‌ترتیب شاهد افزایش ۶/۱۷ و ۵/۱۷ میلی‌متر در فصل پاییز و کاهش ۷/۶۵ و ۱۰/۸۹ میلی‌متر در فصل بهار خواهد بود. به‌طور کلی میانگین بارش در سطح حوزه در آینده در مقایسه با دوره پایه کاهش می‌یابد. نتایج مربوط به مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره پایه در شکل (۳) آورده شده است. با توجه به این شکل طی دوره زمانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و با در نظر گرفتن سناریو A2 و B1 میانگین ماهانه دمای حداقل در همه ماه‌ها افزایش می‌یابد. به‌طوری که در هر دو سناریو A2 و B1 بیش‌ترین مقدار افزایش مربوط به ماه جولای به‌ترتیب برابر با ۲/۹۵ و ۲/۵۶ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین افزایش مربوط به ماه ژانویه به‌ترتیب

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

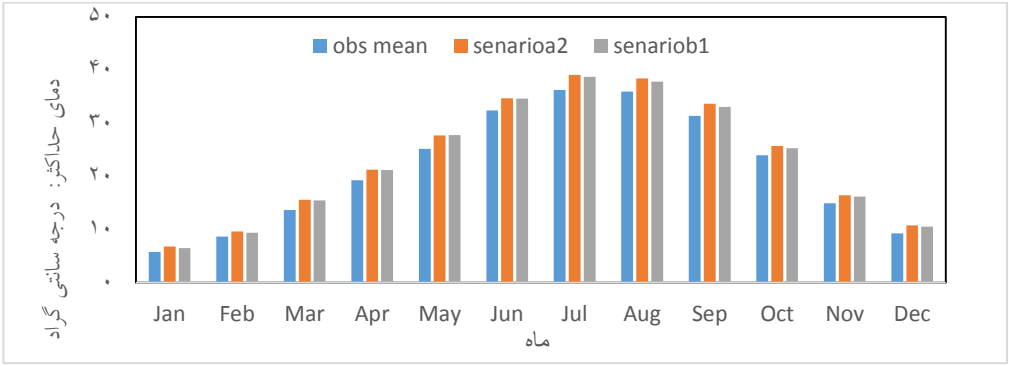
برابر با ۰/٦٤ و ۰/۳۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود سناریو A2 افزایش دمای بیش‌تری را پیش‌بینی می‌کند. به‌طور کلی پیش‌بینی می‌شود که در آینده دما به‌طور متوسط به میزان ۱/٦٦ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یابد.



شکل ۳: میانگین دمای حداقل ماهانه ۲۰۱٤-۱۹۹۰ و ۲۰٦٥-۲۰٤٦ تحت سناریوهای A2 و B1

Figure 3: Average monthly minimum temperature of 1990-2014 and 2065-2046 under scenarios A2 and B1

همچنین در هر دو سنایور میانگین فصلی دمای حداقل در همه فصول افزایش خواهد یافت در سناریو A2 بیش ترین میزان افزایش در فصل تابستان با ۲/٤٦ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین افزایش در فصل زمستان با ۱/۰۱ درجه سانتی گراد می باشد همچنین در سناریو B1 بیش ترین میزان افزایش دمای حداقل در فصل بهار با ۲/۲٦ درجه سانتی گراد و کم ترین افزایش در فصل زمستان با ۰/۷۹ درجه سانتی گراد می باشد نتایج مربوط به مقایسه میانگین ماهانه دمای حداکثر در دوره ۲۰٦٥-۲۰٤٦ نسبت به دوره پایه در شکل (٤) آورده شده است.



شکل ٤: میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره پایه و ۲۰٦٥-۲۰٤٦ تحت سناریوهای A2 و B1

Figure 4: The average monthly maximum temperature of the base period and 2065-2046 under scenarios A2 and B1

تغییرات دمای حداکثر برای هر دو سناریو A2 و B1 نشان از افزایش آن در تمامی ماه‌ها در دوره ۲۰٦٥-۲۰٤٦ دارد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

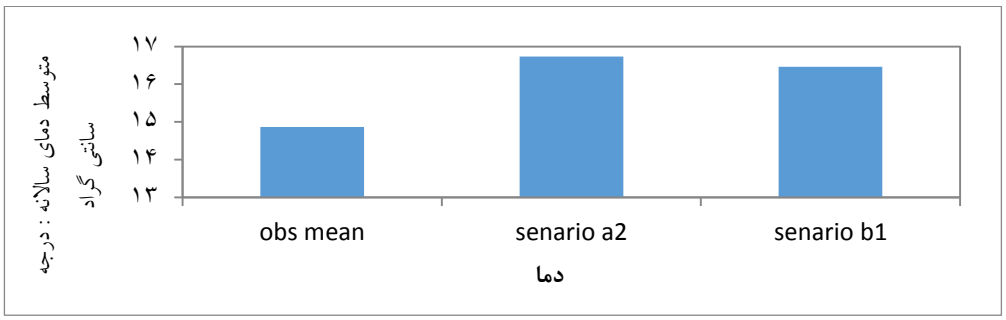
در سناریو A2 بیش‌ترین افزایش مربوط به ماه جولای با ۲/۸۳ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین کاهش مربوط به ماه ژانویه با ۱/۰۱ درجه سانتی‌گراد و در سناریو B1 بیش‌ترین افزایش مربوط به ماه می با ۲/۵٦ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین کاهش مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه با ۰/۷۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که سناریو A2 افزایش دمای بیش‌تری را پیش‌بینی می‌کند. همچنین در هر دو سناریو A2 و B1 میانگین فصلی دمای حداکثر نیز همانند دمای حداقل در تمامی فصل‌ها افزایش خواهد یافت. بیش‌ترین میزان افزایش دمای حداکثر تحت سنایو A2 در فصل تابستان با ۲/۵۱ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین آن برای زمستان با ۱/۳ درجه سانتی‌گراد است. طبق سناریو B1 نیز بیش‌ترین افزایش دمای حداکثر در فصل بهار با ۲/۲٤ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین آن برای زمستان با ۱/۰۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مقادیر تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی در جدول (۳) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین بارش سالانه در دوره ۲۰٤٦-۲۰٦۵ تحت هر دو سناریو A2 و B1 کاهش می‌یابد.

جدول ۳- تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی حوزه سیلاخور-رحیم آباد

Table 3- Annual changes in climatic parameters of Silakhor - Rahimabad basin

پارامتر	دوره پایه	سناریو A2	سناریو B1
بارش (میلی‌متر)	۳۷/۸۱	۳۷/٦۲	۳۵/۰۷
دمای حداقل (سانتی‌گراد)	۸/۳٤	۱۰/۱٤	۹/۸۷
دمای حداکثر (سانتی‌گراد)	۲۱/٤	۲۳/۳۱	۲۳/۰٤
دمای متوسط (سانتی‌گراد)	۱٤/۸۷	۱٦/۷۳	۱٦/٤٦

همچنین با توجه به شکل (۵)، در سناریوهای A2 و B1، متوسط دمای سالانه دوره ۲۰٦۵-۲۰٤٦ به‌ترتیب ۱/۸۵ تا ۱/۵۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. این نتایج با یافته‌های Nouri et al (2019: 664) و Bashiri et al (2013: 20) همخوانی دارد.



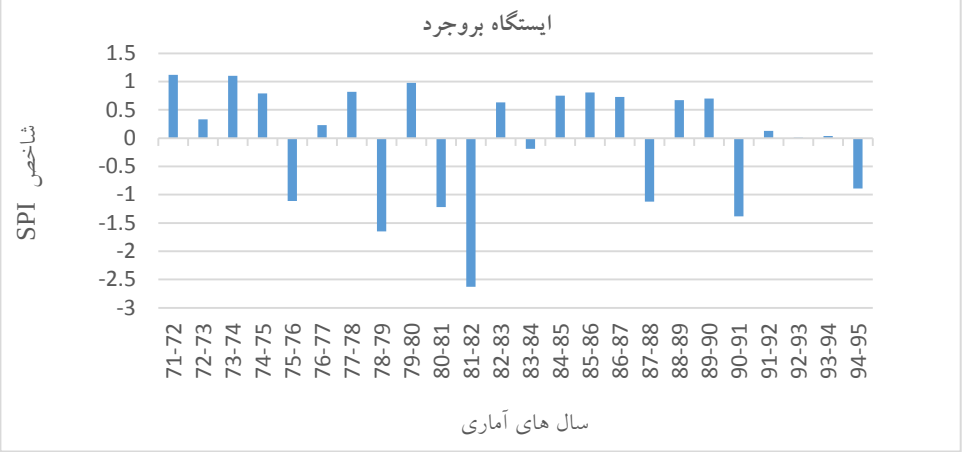
شکل ۵: متوسط دمای سالانه دوره پایه و دوره ۲۰٦۵-۲۰٤٦ در منطقه مورد مطالعه

Figure 5: Average annual temperature of the base period and the period 2065-2046 period in the study area

برای بررسی شرایط خشکسالی در حال و آینده، شاخص بارش استاندارد در دوره پایه و آینده محاسبه و مقایسه شدند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از محاسبات شاخص سالانه SPI در دوره پایه آماری مشخص شد که در سال

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

۸۱-۸۲ خشکسالی بسیار شدید، در سال ۷۸-۷۹ خشکسالی شدید، در سال‌های ۷۵ -۷۶، ۸۰-۸۱، ۸۷-۸۸ و ۹۰-۹۱ خشکسالی متوسط و در سال‌های ۸۳-۸٤، ۹٤-۹۵ خشکسالی ملایم رخ داده است. نتایج حاصل از محاسبه SPI در دوره مورد مطالعه در شکل (٦) آمده است.



شکل ٦: دوره تر و خشکسالی محاسبه شده با شاخص استاندارد بارش در منطقه مورد مطالعه در زمان پایه

Figure 6: Wet and drought period calculated with the standard index of precipitation in the study area at the base time

جدول (٤) نشان می‌دهد که در آینده در هر دو سناریوی A2 و B1 از فراوانی طبقه خشکسالی خیلی خشک و نرمال کاسته شده و بر فراوانی طبقه نسبتا خشک اضافه می‌شود. همچنین در سناریوی A2 طبقه "به شدت خشک" روی نخواهد داد و این سناریو با توجه به افزایش دمای بیش‌تر و کاهش بارش کم‌تر نسبت به سناریوی B1، دارای فراوانی طبقات خشکسالی "نسبتا خشک" و "خیلی خشک" بیش‌تری نسبت به این سناریو خواهد بود. این یافته قبلا در مطالعه دیگری رد شده بود (Zhanga, 2013: 735).

جدول ٤- درصد فراوانی طبقات مختلف بارش استاندارد در دوره پایه و آینده در منطقه مورد مطالعه

Table 4- Percentage of frequency of different standard rainfall classes in the baseline and future in the study area

طبقات اقلیمی SPI	دوره پایه (۱۳۷۱-۱۳۹۵)	دوره آینده (۲۰٤٦-۲۰٦۵) سناریوی B1	دوره آینده (۲۰٤٦-۲۰٦۵) سناریوی A2
به شدت مرطوب	۰	۰	۰
خیلی مرطوب	٤/۲	٤/۲	٤/۲
نسبتا مرطوب	٤/۲	٤/۲	٤/۲
نرمال	٤۵/۷	٤۱/٦	۳۷/۵
نسبتا خشک	۲۹/۱	٤۱/٦	٤۵/۷
خیلی خشک	۱۲/۵	٤/۲	۸/۳
به شدت خشک	٤/۲	٤/۲	۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی

نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف پهنه‌بندی نشان می‌دهد که کم‌ترین میزان RMSE برای پارامتر PH در سال‌های ۸۷، ۸۹، ۹۱ و ۹۳ به‌ترتیب برای روش کوکریجینگ معمولی J بسل، کوکریجینگ ساده J بسل، کوکریجینگ ساده J بسل و کوکریجینگ ساده J بسل می‌باشد. برای پارامتر TDS برای سال‌های ۸۷، ۸۹، ۹۱ و ۹۳ به‌ترتیب کوکریجینگ معمولی پایدار، کوکریجینگ ساده پایدار، کوکریجینگ ساده J بسل و کوکریجینگ ساده J بسل می باشد. برای پارامتر SAR در سال‌های ۸۷، ۸۹، ۹۱ و ۹۳ کوکریجینگ معمولی چاله‌ای، کوکریجینگ ساده چاله‌ای، کوکریجینگ ساده J بسل و عکس فاصله وزن‌دار بهینه شده با توان دوم می‌باشد و برای پارامتر EC در سال‌های ۸۷، ۸۹، ۹۱ و ۹۳ کوکریجینگ ساده J بسل،کوکریجینگ ساده چاله‌ای، کوکریجینگ ساده J بسل وکوکریجینگ ساده J بسل می‌باشد. لذا نمی‌توان به‌طور قطعی و تنها یک روش زمین آمار را برای تهیه نقشه پارامترهای کیفی آب برگزیده این یافته نتایج برخی محققان را تاکید می‌کند Sefelnasr et al., 2015: 46 و Waibel et al., 2013: 201) را تایید می‌کند. به دلیل تعداد زیاد جداول تنها به ارایه یکی از آن‌ها (جدول ۵) اکتفا می‌شود.

جدول ۵- مقادیر RMSE شاخص (PH) به روش کوکریجینگ سال ۹۱

Table 5- RMSE values of index (PH) by cokriging method of 91

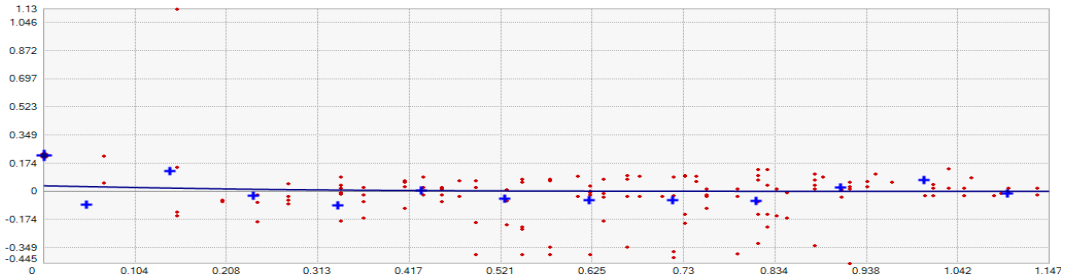
روش درون‌یابی		معمولی	ساده	فراگیر
کوکریجینگ	دایره‌ای	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	کروی	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	چهار کره‌ای	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	پنج کره‌ای	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	نمائی	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	گوسی	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	منطقی	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	چاله‌ای	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	K بسل	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	J بسل	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶
	پایدار	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۷۶

با توجه به این‌که میزان RMSE مربوط به پارامتر PH مربوط به ۱۱ تابع در روش کوکریجینگ ساده و پارامتر TDS مربوط به ۱۱ تابع در کوکریجینگ ساده و پارامتر EC مربوط به ۱۱ تابع کوکریجینگ ساده و پارامتر SAR مربوط به ۱۱ تابع کوکریجینگ ساده در برخی سال‌های مورد بررسی، مقادیر عددی یکسانی را نشان می‌دهند، بنابراین برای انتخاب مناسب‌ترین روش زمین آمار، باید میزان پارامترهای نیم تغییرنما را نسبت به میزان اثر قطعه‌ای به سقف را مورد بررسی قرار داد. چنانچه نسبت میزان اثر قطعه‌ای به سقف در هر یک از توابع کم‌تر باشد، ساختار فضایی قوی‌تری برای پیش‌بینی و پهنه‌بندی حکم فرما می‌باشد. نتایج بهترین ساختار فضایی برای پهنه‌بندی پارامترهای مذکور را به‌صورت اشکال (۷ تا ۱۰) نشان می‌دهد. اشکال (۱۱ تا ۱٤) نقشه پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب را در

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

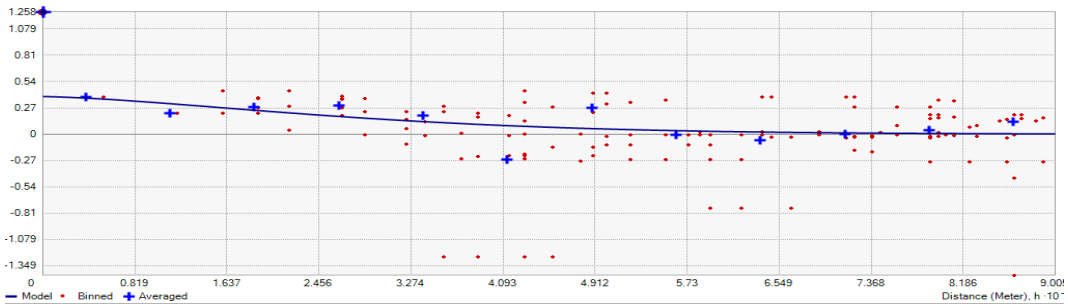
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

خشکسالی بسیار شدید (سال ۱۳۹۱) نشان می‌دهد.



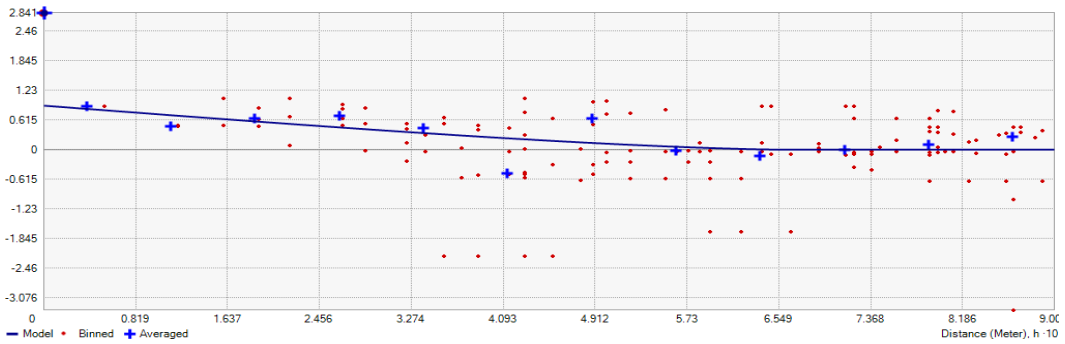
شکل ۷: نیم تغییر نما پارامتر (PH) سال به روش کوکریجینگ ساده J بسل در سال ۹۱

Figure 7: Half change of parameter view (PH) of the year by simple cocriging method J Bessel in 91



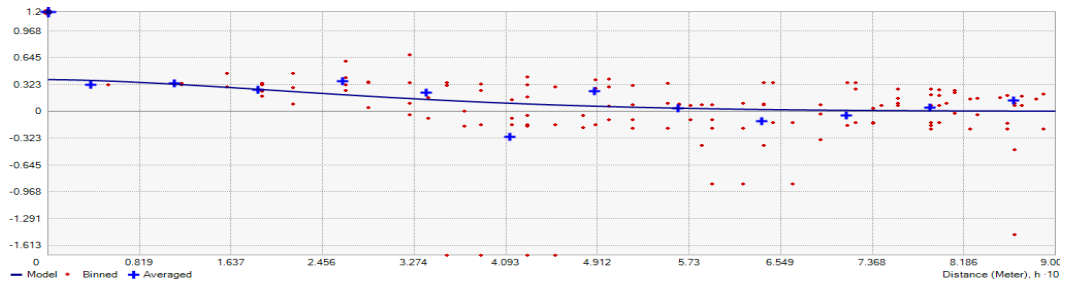
شکل ۸: نیم تغییر نما پارامتر (TDS) به روش کوکریجینگ ساده پایدار در سال ۹۱

Figure 8: Half change parameter view (TDS) by simple stable cokriging method in 1991



شکل ۹: نیم تغییر نما پارامتر (EC) به روش کوکریجینگ ساده چاله‌ای در سال ۹۱

Figure 9: Half change of parameter view (EC) by simple hole coking method in 1991

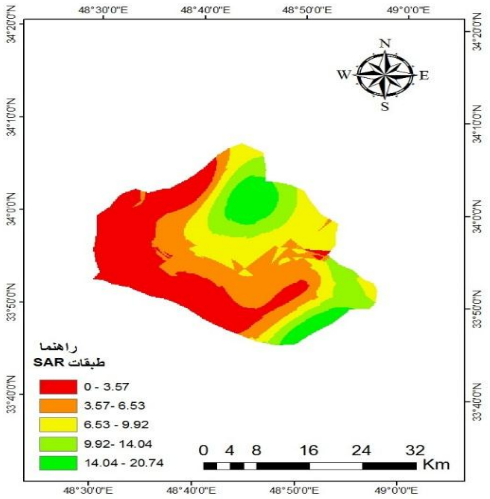


شکل ۱۰: نیم تغییر نما پارامتر (SAR) به روش کوکریجینگ ساده J بسل در سال ۹۱

Figure 10: Half change of Parameter (SAR) by simple J-Bessel coking method in 1991

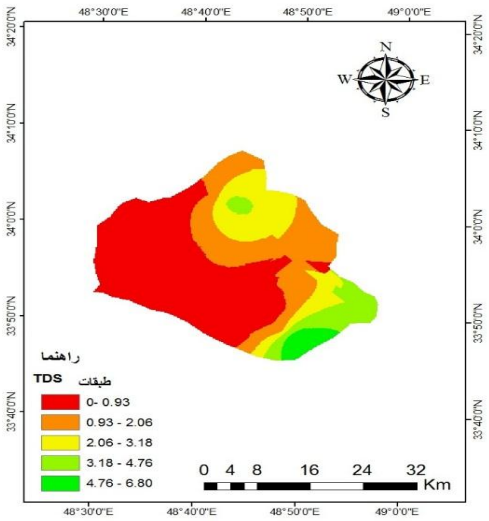
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]



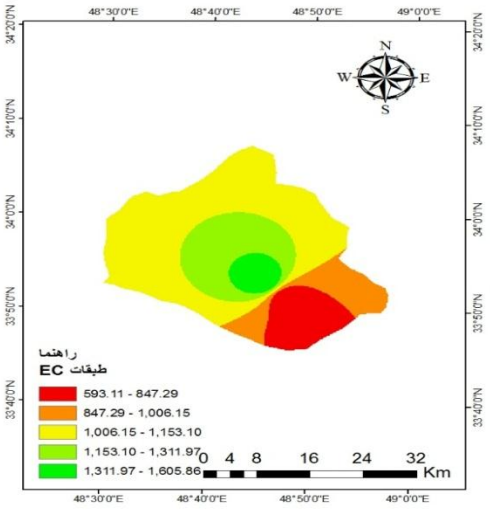
شکل ۱۱: پهنه‌بندی SAR در منطقه مورد مطالعه

Figure 11: SAR zoning in the study area



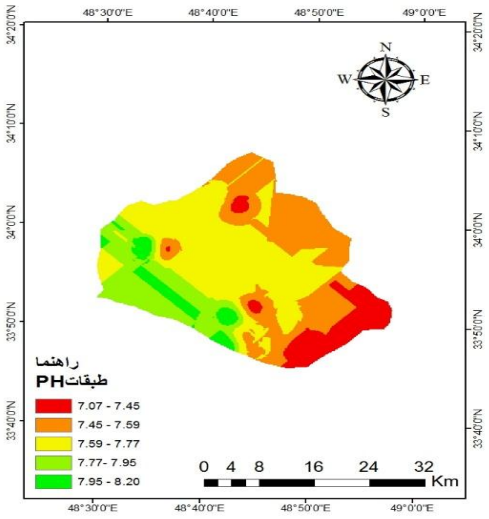
شکل ۱۲: پهنه‌بندی TDS در منطقه مورد مطالعه

Figure 12: TDS zoning in the study area



شکل ۱۳: پهنه‌بندی EC در منطقه مورد مطالعه

Figure 13: EC zoning in the study area



شکل ١٤: پهنه‌بندی PH در منطقه مورد مطالعه

Figure 14: PH zoning in the study area

بررسی پارامترهای کیفی آب تحت تاثیر خشکسالی و تغییر اقلیم

تحلیل عاملی از روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره است که برای پارامترهایی که همبستگی مناسبی دارد به‌کار می‌رود. پارامترهای ژئوشیمیایی برای نرمال و استاندارد بودن داده‌ها از روش کلوموگراف–اسمیرینوف و برای کفایت داده‌ها از روش کایسر میر اولکین (KMO) استفاده شد. پس از استاندارد کردن داده‌ها و آزمون‌های لازم، کفایت داده‌ها تایید گردید (۰/۷۷ تا ۰/۸٦). سپس همبستگی پیرسون برای پارامترهای مورد نظر محاسبه شد (جدول ٦).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

نتایج نشان می‌دهد که pH همبستگی منفی بسیار قوی ۰/۸۵۷- با دمای حداقل دارد و کم‌ترین میزان همبستگی آن با بارش بوده است. در بین پارامترهای مورد بررسی TDS بیش‌ترین همبستگی را به میزان ۰/٦٧٦ با SAR و ۰/٥٦٥ با دمای میانگین داشته است. همچنین مشاهده گردید که SAR بیش‌ترین همبستگی را با EC و TDS داشته و همبستگی بالایی با پارامترهای اقلیمی نداشته است. در بررسی EC نیز مشخص گردید که همانند SAR بیش‌ترین همبستگی را با دمای میانگین به میزان ۰/٥٦٤ داشته است.

جدول ٦- ماتریس همبستگی بین پارامترهای کیفی آب و پارامترهای جوی

Table 6- Correlation matrix between water quality parameters and atmospheric parameters

	PH	TDS	SAR	EC	دمای حداقل	دمای حداکثر	دمای میانگین	بارش
PH	۱	-۰/۲۸٦	۰/۱۲۹	-۰/۲۸۱	-۰/۸۵۷	۰/٤۸۹	-۰/۲۹٥	-۰/۱٥٥
TDS	-۰/۲۸٦	۱	-۰/٦۷٦	۱	۰/۰۲٤	۰/۳۳۰	۰/٥٦٥	-۰/۱۷۸
SAR	۰/۱۲۹	۰/٦۷٦	۱	۰/٦۷۷	-۰/۲۱٦	۰/۱۸۱	۰/۰۲۰	-۰/۱۲۱
EC	-۰/۲۸۱	۰	۰/٦۷۷	۰	۰/۰۱۷	۰/۳٥٥	۰/٥٦٤	-۰/۱۸۱
دمای حداقل	-۰/۸٥۷	۰/۰۲٤	-۰/۲۱٦	۰/۰۱۷	۱	-۰/۷۸۷	-۰/۰۰۷	۰/۱٤۲
دمای حداکثر	۰/٤۸۹	۰/۳۳۰	۰/۱۸۱	۰/۳۳٥	-۰/۷۸۷	۱	۰/٦۲۲	-۰/۲۰۰
دمای میانگین	-۰/۲۹٥	۰/٥٦٥	۰/۰۲۰	۰/٥٤٦	-۰/۰۰۷	۰/٦۲۲	۱	-۰/۱٤٤
بارش	-۰/۱٥٥	-۰/۱۷۸	-۰/۱۲۱	-۰/۱۸۱	۰/۱٤۲	-۰/۲۰۰	-۰/۱٤٤	۱

نتایج جدول (۷) میزان اشتراک متغیرها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود دمای حداکثر با بیش‌ترین درصد واریانس امتیازات، واریانس عامل مشترک است. همچنین مشاهده می‌شود که اکثر اشتراک‌ها بالاتر از ۹۰ درصد هستند و بیانگر توانایی عامل‌های تعیین شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه است. با این حال متغیر بارش اختلاف بسیار زیادی با سایر متغیرها داشته و ملاحظه می‌شود که تنها ۱۲/۸ درصد واریانس امتیازات متغیر بارش عامل مشترک می‌باشد.

جدول ۷- اشتراکات به دست آمده در منطقه مورد مطالعه

Table 7- Subscriptions obtained in the study area

	Initial	**Extraction**
PH	۱	۰/۹٤۷
TDS	۱	۰/۹۷٥
SAR	۱	۰/۹۳
EC	۱	۰/۹۷٤
دمای حداقل	۱	۰/۹٥٦
دمای حداکثر	۱	۰/۹۷۷
دمای میانگین	۱	۰/۹٦٥
بارش	۱	۰/۱۲۸

Extraction Method: Principal Component Analysis

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

جدول (۸) مقادیر ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها را در شرایط خشکسالی بسیار شدید نشان می‌دهد. این مقادیر در سایر کلاس‌های خشکسالی و ترسالی نیز به‌دست آمده است که به دلیل حجم زیاد جداول از ارایه آن‌ها خودداری شده است. با توجه به این‌که عامل‌های به‌دست آمده با روش واریماکس (Varimax) چرخش داده شده‌اند لذا عامل‌های اول (گرمایی)، دوم (ژئوشیمیایی) و سوم (ترکیبی) به‌ترتیب ۳۱/٤۱، ۳۱/۰٤ و ۲۳/۱۷ درصد و در مجموع ۸۵/٦۳ درصد از واریانس را به‌خود اختصاص می‌دهند. به‌طور کلی در شرایط خشکسالی سهم متغیر حداکثر دما و در ترسالی سهم متغیر حداقل دما در عامل اول مهم‌تر است. متغیر TDS هم در خشکسالی و در ترسالی به‌عنوان متغیر اصلی در عامل دوم است.

جدول ۸- تحلیل مجموع واریانس تبیین شده عوامل مؤثر در شرایط خشکسالی

Table 8- Analysis of the total variance explained the effective factors in drought conditions

مولفه	مقادیر ویژه اولیه			استخراج مجموع بارهای مجذور شده			چرخش مجموع بارهای مجذور شده		
	مجموع	واریانس ٪	تجمعی ٪	مجموع	واریانس ٪	تجمعی ٪	مجموع	واریانس ٪	تجمعی ٪
۱	۳/۲۰۷	٤۰/۰۹۲	٤۰/۰۹۲	۳/۲۰۷	٤۰/۰۹۲	٤۰/۰۹۲	۲/۵۱۳	۳۱/٤۱۵	۳۱/٤۱۵
۲	۲/٤٤۳	۳۰/۵۳۳	۷۰/٦۲۵	۲/٤٤۳	۳۰/۵۳۳	۷۰/٦۲۵	۲/٤۸۳	۳۱/۰٤۳	٦۲/٤۵۸
۳	۱/۲۰۱	۱۵/۰۱۳	۸۵/٦۳۷	۱/۲۰۱	۱۵/۰۱۳	۸۵/٦۳۷	۱/۸۵٤	۲۳/۱۷۹	۸۵/٦۳۷
٤	۰/۹۱۸	۱۱/٤۷۲	۹۷/۱۰۹						
۵	۰/۱٤۳	۱/۷۸۳	۹۸/۸۹۲						
٦	۰/۰۸۹	۱/۱۰۷	۹۹/۹۹۹						
۷	9/39E-5	۰/۰۰۱	۱۰۰						
۸	E- −۱/۱۵٦16	−۱/٤٤۵E-15	۱۰۰						

با هدف بررسی اثر بارش بر پارامترهای کیفیت آب شامل PH، TDS، SAR و EC و نقش خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها بر تغییرات این پارامترها، آنالیز واریانس در دوره‌های مختلف خشکسالی و ترسالی انجام ارایه شد. نتایج همسانی واریانس نمونه‌ها با آزمون Leven مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به این‌که تمام متغیرهای دارای sig بیش از ۰/۰۵ بودند نتایج نشان دادند که واریانس نمونه‌ها همگن هستند (جدول ۹).

جدول ۹- آزمون همسانی واریانس‌های کیفیت آب در دوره‌های تر و خشک در منطقه مورد مطالعه

Table 9-Test of homogeneity of variances of water quality in wet and dry periods in the study area

	آزمون لوین	Df1	Df2	Sig
pH	۰/۰۳۹	۱	۱۵	۰/۸٤۵
TDS	۰/۱٤۹	۱	۱۵	۰/۷۰۵
SAR	۰/٤۱۲	۱	۱۵	۰/۵۳۱
EC	۰/۱۹۱	۱	۱۵	۰/٦٦۸
دمای میانگین	۰	۱	۱۵	۰/۹۸٤
بارش	۳/٦٦	۱	۱۵	۰/۰۷۵

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

نتایج جدول آنالیز واریانس نشان دادند که با توجه به آماره F و مقادیر sig که برای پارامترهای pH، دمای میانگین و بارش کم‌تر از ۰/۰۵ شده است، این پارامترها در سال‌های خشک و تر تفاوت معنی‌داری دارند یعنی خشکسالی و میزان بارش بر آن‌ها اثر می‌گذارد، اما در مورد TDS، SAR و EC تفاوت معنی‌داری در سال‌های خشک و تر مورد بررسی مشاهده نگردیده است و با توجه به مقادیر موجود فرض صفر در مورد این سه متغیر رد نشده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر متوسط pH با تغییر از شرایط خشکسالی شدید به شرایط خشکسالی متوسط و ملایم افزایش بیش از یک واحدی داشته است. در مقابل با بررسی مقادیر متوسط TDS مشخص گردید که با تغییر شرایط از خشکسالی شدید به شرایط خشکسالی متوسط و ملایم میزان آن کاهش داشته است. مقادیر متوسط SAR در شرایط خشکسالی مختلف نتایج متغیر داشته است به‌گونه‌ای با تغییر از شرایط خشکسالی شدید به خشکسالی متوسط افزایش داشته اما با تغییر به شرایط خشکسالی ملایم مجددا کاهش یافته است. روند تغییرات EC نیز همانند TDS بوده و با تغییر شرایط از خشکسالی شدید به شرایط خشکسالی متوسط و ملایم میزان آن کاهش داشته است. روند تغییرات دمای میانگین نیز همانند EC و TDS بوده اما با این تفاوت که با تغییر شرایط از خشکسالی شدید به خشکسالی متوسط افت شدیدی داشته است. روند تغییر میانگین بارش در سه دوره مختلف بیانگر آن بوده است که با تغییر شرایط از خشکسالی شدید به خشکسالی متوسط میزان متوسط بارش کاهش داشته اما با تغییر به خشکسالی ملایم رشد چشمگیری در میانگین بارش مشاهده شده است (جدول ۱۰).

تحلیل واریانس در طبقات خشکسالی شدید و نرمال و ترسالی نشانی دهد که بین تمام متغیرهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ یعنی خشکسالی‌ها بر میزان پارامترهای ژئوشیمیایی آب تاثیر معنی‌داری دارد. این نتایج با یافته‌های (Karami and Kazemi, 2012: 24)، (Mahmudi et al., 2014: 35)، (Mohammad Rostami et al., 2014: 49)، (Harasi et al., 2011: 6) و (Chen et al., 2012: 36) مطابقت دارد.

جدول ۱۰- آنالیز واریانس کیفیت آب در سال‌های خشک و تر در منطقه مورد مطالعه

Table 10- Analysis of variance of water quality in dry and wet years in the study area

		میانگین مربعات	df	میانگین مربعات	F	sig
pH	بین گروه‌ها	۱/۱۰٤	۲	۰/۵۵۲	٤/۳۹٦	۰/۰۳۱
	داخل گروه‌ها	۱/۸۸٤	۱۵	۰/۱۲٦		
	مجموع	۲/۹۸۹	۱۷			
TDS	بین گروه‌ها	۵۱٦۲٦/٤۰	۲	۲۵۸۱۳/۲۰۰	۱/۹۲۱	۰/۱۸۱
	داخل گروه‌ها	۲۰۱۵۸٤/۱۰	۱۵	۱۳٤۳۸/۹٤۰		
	مجموع	۲۵۳۲۱۰/۵۰	۱۷			

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

ادامه جدول ۱۰- آنالیز واریانس کیفیت آب در سال‌های خشک و تر در منطقه مورد مطالعه

Continue of Table 10- Analysis of variance of water quality in dry and wet years in the study area

		میانگین مربعات	df	میانگین مربعات	F	sig
SAR	بین گروه‌ها	۰/۳۳۵	۲	۰/۱۶۸	۱/۳۱۱	۰/۲۹۹
	داخل گروه‌ها	۱/۹۱۷	۱۵	۰/۱۲۸		
	مجموع	۲/۲۵۳	۱۷			
EC	بین گروه‌ها	۱۱۸۵۱۸/۵۶۷	۲	۵۹۲۵۹/۲۸۳	۱/۸۸۹	۰/۱۸۶
	داخل گروه‌ها	٤٧٠٥٩٣/٤٣٣	۱۵	۳۱۳۷۲/۸۹۶		
	مجموع	۵۸۹۱۱۲/۰۰	۱۷			
دمای میانگین	بین گروه‌ها	۹/۰۲۰	۲	٤/۵۱۰	۷/۸۱۲	۰/۰۰۵
	داخل گروه‌ها	۸/٦۵۹	۱۵	۰/۵۷۷		
	مجموع	۱۷/٦۷۹	۱۷			
بارش	بین گروه‌ها	۰/۵۱۸	۲	۰/۲۵۹	٦/٤۱۷	۰/۰۱۰
	داخل گروه‌ها	۰/٦۰۵	۱۵	۰/۰٤۰		
	مجموع	۱/۱۲۲	۱۷			

نتیجه‌گیری

با توجه به رابطه نزدیک بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی هر گونه تغییر در اجزاء و عناصر اقلیمی مانند دما، تبخیر و تعرق و بارش، می‌تواند تاثیر مهمی بر مقدار و کیفیت آب زیرزمینی داشته باشد. کاهش بارش و رواناب سطحی از یک‌سو و افزایش گرما و خشکسالی‌ها از سوی دیگر در کنار افزایش جمعیت و مصرف بی‌رویه و بهره‌برداری روزافزون آب در ارتفاعات نیمه‌خشک زاگرس در غرب ایران شرایط زمانی و مکانی ویژه‌ای برای آب‌های زیرزمینی منطقه ایجاد می‌کند که به‌نوبه خود این تغییرات به کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در استانداردهای شرب و کشاورزی می‌انجامد.

هدف این پژوهش، بررسی اثر تغییر اقلیم بر خصوصیات آب زیرزمینی یک حوزه کوهستانی، با استفاده از نتایج خروجی مدل HADCM3 می‌باشد. در این مقاله اثرات تغییر اقلیم و خشکسالی‌های آینده را برکیفیت آب‌های زیرزمینی حوزه سیلاخور-رحیم‌آباد با استفاده از مدل LARS-WG، شاخص خشکسالی بارش استاندارد، روش‌های زمین آمار، تحلیل عاملی و آنالیز واریانس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌طور کلی بیانگر این است که مدل LARS-WG توانمندی خوبی در شبیه‌سازی پارامترهای بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه مورد مطالعه دارد. بر اساس معیارهای ارزیابی بیش‌ترین خطای مدل لارس مربوط به شبیه‌سازی بارش به ویژه در ماه‌های ژانویه و آوریل می‌باشد. اما پارامترهای دمای حداقل و حداکثر با دقت بالایی شبیه‌سازی شده‌اند. نتایج LARS-WG حاکی از روند

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

کاهشی بارش (۰/۵۱ تا ۷/۲۰ درصد) و افزایش دما (۱/۸۵ تا ۱/۵۹ درجه سانتی‌گراد) تحت هر دو سناریو A2 و B1 برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ است. نتایج نشان می‌دهد که در آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) در سناریوی A2 طبقه "به شدت خشک" روی نخواهد داد و این سناریو با توجه به افزایش دمای بیش‌تر و کاهش بارش کم‌تر نسبت به سناریوی B1، دارای فراوانی طبقات خشکسالی "نسبتا خشک" و "خیلی خشک" بیش‌تری نسبت به این سناریو خواهد بود. پس از انتخاب یک روش زمین آمار مناسب برای تحلیل مکانی، تحلیل زمانی در ماه‌ها و فصول انجام شد. نتایج نشان داد که پارامترهای PH، TDS، SAR، EC به‌ترتیب با استفاده از روش کوکریجینگ معمولی، کوکریجنگ ساده، کوکریجینگ ساده و کوکریجینگ ساده کم‌ترین مقدار RMSE را داشته‌اند. لذا نمی‌توان به‌طور قطعی و با تاکید برای همه پارامترهای کیفی مورد بررسی در آبخوان مورد مطالعه تنها یک روش زمین آمار را برگزید. همچنین تحلیل عاملی و ماتریس همبستگی نشان داد که بین pH و دمای حداقل بیش‌ترین همبستگی اما با بارش کم‌ترین همبستگی وجود دارد. همچنین TDS بیش‌ترین همبستگی را به میزان ۰/۶۷۶ با SAR و به میزان ۰/۵۶۵ با دمای میانگین داشته است؛ اما در مقابل مشخص شد که SAR همبستگی پایینی با پارامترهای اقلیمی داشته است. EC نیز بیش‌ترین همبستگی را با دمای میانگین به میزان ۰/۵۶۴ داشته است. با توجه به تغییرات بارش و دما در سال‌های آینده و نقش این پارامترها در تغییرات کیفی آب می‌توان به‌طور کلی فرض اثر تغییر اقلیم بر این پارامترها را تایید کرد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود دمای حداکثر با بیش‌ترین درصد واریانس امتیازات، واریانس عامل مشترک است. همچنین مشاهده می‌شود که اکثر اشتراک‌ها بالاتر از ۹۰ درصد هستند و بیانگر توانایی عامل‌های تعیین شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه است. با این حال متغیر بارش اختلاف بسیار زیادی با سایر متغیرها داشته و ملاحظه می‌شود که تنها ۱۲/۸ درصد واریانس امتیازات متغیر بارش عامل مشترک می‌باشد. به‌طور کلی در شرایط خشکسالی سهم متغیر حداکثر دما و در ترسالی سهم متغیر حداقل دما در عامل اول مهم‌تر است. متغیر TDS هم در خشکسالی و در ترسالی به‌عنوان متغیر اصلی در عامل دوم است. بنابر این می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که عامل بارش به تنهایی در خشکسالی موثر نیست بلکه خشکسالی پدیده بسیار پیچیده‌ای است که عوامل مختلفی مانند تبخیر و تعرق در ایجاد آن دخالت دارند. نتایج آنالیز واریانس بین سال‌های تر و خشک نشان دادند که دمای میانگین و بارش اختلاف معنی‌داری در این دوره‌ها دارند. همچنین از بین پارامترهای کیفی آب تنها pH معنادار شده است. اما در مورد TDS، SAR و EC تفاوت معنی‌داری در سال‌های خشک و تر مورد بررسی مشاهده نگردیده است؛ یعنی با توجه به اهمیت بارش در انتخاب سال‌های خشک و تر، در مجموع دما نقش مهم‌تری نسبت به بارش در کیفیت آب چاه‌ها دارد. از سوی دیگر بررسی دوره خشکسالی شدید، دوره نرمال و ترسالی حاکی از اختلاف معنی‌دار همه پارامترهای کیفیت آب مورد بررسی در سطح ۵ درصد دارد. نتایج نشان داد با توجه به کاهش بارندگی، میانگین کل عناصر و مواد در آب‌های زیرزمینی طی دوره مورد مطالعه ۲۰ تا ۲۵ درصد در آب افزایش یافته است. نتایج کلی نشان داد که خشکسالی تغییرات قابل ملاحظه‌ای بر پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی داشته‌اند چرا که خشکسالی‌ها بدان دلیل

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

که در مقدار آب ورودی دخالت دارند، مقادیر یون‌های مختلف موجود در آب زیرزمینی را تغییر می‌دهند و در سال‌های خشک مقدار املاح موجود در آب بیش‌تر از مقدار املاح موجود در سال‌های مرطوب است. پژوهش‌های بعدی می‌تواند با بررسی تاثیر توامان ویژگی‌های زمین‌شناسی و رسوبات و پارامترهای اقلیمی و نیز تغییرات نیتروژن، فسفر، اکسیژن و تراکم و نوع پلانکتون‌ها و جلبک‌ها تحلیل دقیق‌تری از وضعیت زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی در منطقه نشان دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

References

- Alijani, B., Ghavidel Rahimi, Y., (2005), "Comparison and prediction of annual temperature variations in Tabriz with temperature abnormalities of the planet using linear regression and artificial neural networks", ***Geography and Development***, 6 (3): 21-38. [In Persian].
- Ashofteh, P., Mashban Bouvani, A., (2010), "The effect of climate change on maximum volumes, East Azarbaijan province", ***Journal of Agricultural Science and Technology***, ***Water and Soil Science***, 53 (14): 28-38. [In Persian].
- Babeian, A., Najafinik, Z., (2007), "Modeling of Iran's climate in the period from 2010 to 2039", The Closed Terminal Project, ***Technical workshop on the effects of climate change in water resources management,*** pp. 5-13. [In Persian].
- Bakhtiari, B., Pourmousavi, S., Sari, N., (2014), "Study of the effect of climate change on intensity-duration-frequency curves of Babolsar station during the period of 2030-2011", ***Irrigation and Drainage Journal in Iran***, 8 (4): 694-704. [In Persian].
- Bashiri, E., Bashiri, J., Karimi, F., (2013), "Investigating the recent drought effects on underground water resources in the province of Kurdistan from a quantitative and qualitative point of view (Case study: Dehgolan and Ghorveh plains)", ***Int. Lett. Nat. Sci***., 3: 7-20. [In Persian].
- Chen, H., Xu C.Y., Guo, S., (2012), "Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling andhydrological models in the study of climate change impacts on runoff", ***Journal of Hydrology***, 434: 36-45.
- Cherkauer, K. A., Bowling, L. C., Lettenmaier, D. P., (2003), "Variable infiltration capacity cold land process model updates", ***Global and Planetary Change***, 38 (1-2): 151-159.
- Doosti, M., Habibnezhad Roshan, M., Shahidi, K., Mir Yaghobzadeh, M., (2013), "Investigation of climatic indices of Temer basin, Golestan province in climatic conditions using LARS-WG model", ***Journal of Earth and Space Physics***, 39 (4): 177-189. [In Persian].
- Edwards, D. C., McKee, T. B., (1997), "Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Times Scales", ***Atmospheric Science Paper***, 634: 1-30.
- Habibnejad Roshan, M., Shahedi, K., Razzaghian, H., Habibi, M., (2017), "Assessment of climate change in the two periods 2046-2046 and 2080-2099 Babolrood watershed using an atmospheric general circulation model data HadCM3", ***Journal of Geographical Space***, 58-(17): 227-242. [In Persian].
- Harasi, S., Asgharo Moghadam, A., Sedigh, H., (2011), "Investigation of groundwater quality changes due to the fall of the surface of the Azarshahr plain", The 30th Earth sciences conference, 1st to 3rd of March 2011, Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, Tehran, Iran. [In Persian].
- Honti, M., Schuwirth, N., Rieckermann, J., Stamm, C., (2017), "Can integrative catchment management mitigate future water quality issues caused by climate change and socio-economic development", ***Hydrol. Earth Syst. Sci***, 21: 1593-1609.
- Green, T. R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J. J., Allen, D. M., Hiscock, K. M., Treidel, H., Aureli, A., (2011), "Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater", ***Journal of Hydrology***, 405 (3-4): 532-560.
- IPCC-DDC., (1998), "The regional impacts of climate change", ***An Assessment of Vulnerability. A Special Report of IPCC Working Group II. In: Watson, R.T., Zinyowera, M. C., Moss, R. H., (eds.)***, Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

New York, NY, USA.
- IPCC., (2007), "Climate change 2007: ***The physical science basis. contribution of working group i to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change***. ***In:*** Solomon", S. D., Qin, M., Manning, Z., Chen, M., Marquis, K. B., Averyt, M., (eds.), Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC., (2001), "***Third assessment report, work group 2: Methods and tools***", In: James J. M., Osvaldo, F. C., Neil, A. L., Kasey, S. W., (eds), International Panel on Clamate Change: Cambridge University Press.
- Jones, N., Francis, R., Walter, H., Zhang, B., (2004), "Estimating the sensitivityof mean annual runoff to climate change using selected hydrological models", ***Advances in Water Resources***, 29: 1419-1429.
- Karami, F., Kazemi, H., (2012), "Spatial monitoring of groundwater salinity in drought and wet periods case study: Tabriz Plain", ***Geogr. Dev***., 10: 21-34.
- Lizumi, T., Takayabu, I., Dairaku, K., Kusaka, H., Nishimori, M., Sakurai, G., Ishizaki, N., Adachi, N., Sachiho, A., Semenov Mikhail, A., (2012), "Future change of daily precipitation indices in Japan: A stochastic weather generator-based bootstrap approach to provide probabilistic climate information", ***Journal of Geophisical Research***, 117: 1-19.
-Mahmudi, P., Tavusi, A., Shahvazei, R., (2014), "Drought and its effects on groundwater resources quality in sistan and Baluchestan Province", ***Iranian Journal of Water Research in Agriculture***, 29 (1): 21-35. [In Persion].
- Masanganise, J., Chipindu, B., Mhizha, T., Mashonjowa, E., Basira, K., (2013), "An evaluation of the performances of global climate models for predictimg temperature and rainfall in Zimbabwe", ***International Journal of Scientific and Research Publications***, 3: 2250-3153.
- Massah Bovani, A., Golmohammadi, M., (2010), "Investigating the changes in the intensity and duration of the drought flood in the Qar-e-Sho area in the coming periods under the influence of climate change", ***Water and Soil Journal (Agriculture Sciences and Technology)***, 25 (2): 315-326. [In Persian].
- Massah Bovani, A., Morid., S., (2005), "The effects of climate change on the flow of Zayandehrud River in Isfahan", ***Journal of Agricultural Science and Technology***, 9 (4): 17-27. [In Persian].
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., (1993), "The relationship of drought frequency and duration to time scales", 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January 1993.
- Mehdi, B., Lehner, B., Gombault, C., Michaud, A., Beaudin, I., Sottile, M., Blondlot, A., (2015), Simulated impacts of climate change and agricultural land use change on surface water quality with and without adaptation management strategies, ***Agric. Ecosyst. Environ***, 213: 47-60. [In Persian].
- Mohammad Rostami, Kh., Mohseni Saravi, M., Hesami, D., Rashidpour, M., Salmani, H., Farokzadeh, B., (2014), "Evaluation of groundwater quality in Mashhad city, using geostatistical methods in drought and wet periods", ***Journal of Applied Hydrology***, 38: 49-57.
- Nouri, H., Faramarzi, M., Sadeghi, SH., (2019), "Effects of regional vegetation cover degradation and climate change on dusty weather types", ***Environmental Earth Sciences***, 78 (24): 664-724.
- Racsko, P., Szeidl, L., Semenov, M. A., (1991), "A serial approach to local stochastic weather models", ***Ecological Modelling***, 57: 27-41.
- Rezaei, M., Nectani, M., Moghaddamnia, A., Abkar, A., Rezaei, M., (2014), "Evaluation of

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]

the efficiency of exponential exponential momentum model in precipitation estimation in two dry and quaternary climates", ***Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology)***, 28 (4): 836-845. [In Persian].
- Roshan, H., Habibnejad Roshan, M., Shahedi, K., (2019), "Investigation of the trend of groundwater level changes and drought indicators GRI and SWI in Sari-Neka plain", ***Journal of Geographical Space***, 67 (19): 131-146.
- Seyyed Ghasemi, S., Silk Chi, A., Tajrishi, M., (2006), "Effects of changes in Zayandehrand river flow due to climate change", Second Conference on Water Resources Management, Isfahan University of Technology, Isfahan, 10-12 May 2017. [In Persian].
- Sefelnasr, A., Gossel, W., Wycisk, P., (2015), "Groundwater management options in an arid environment: the Nubian Sandstone Aquifer System, Eastern Sahara", ***Journal of Arid Environments***, 122: 46-58.
- Semenov, M. A., Stratonovitch, P., (2010), "The use of multi-model ensembles from global climate models for impact assessments of climate change", ***Climate Research***, 41 (1): 1-14.
- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., (2000), "***Analysis of incomplete multivariate data***", Chapman & Hall/CRC: Boca Raton.
- Theodossiou, N., Latinopoulos, P., Karatzas, G.., Maria, E., (2007), "Application of the principle "the polluter- pays" in groundwater resources under conditions of uncertainty", 6th Greek National Conference E.E.D.Y.P. Overall Water Resources Management based on Watershed, Pecan. 16-17 Janury 2007.
- Waibel, M. S., Gannett, M. W., Chang, H., Hulbe, C. L., (2013), "Spatial variability of the response to climate change in regional groundwater systems–examples from simulations in the Deschutes basin", Oregon, ***Journal of Hydrology***, 486: 187-201.
- Wilby, R. L., Harris, I., (2006), "A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK", ***Water Resources Research***, 42: 1-10
- Zessner, M., Schönhart, M., Parajka, J., Trautvetter, H., Mitter, H., Kirchner, M., Hepp, G., Blaschke, A., Strenn, B., Schmid, E., (2017), "A novel integrated modelling framework to assess the impacts of climate and socio-economic drivers on land use and water quality", ***Water Resources Research***, 88 (2): 317-415.
- Zhang, X., Xu, Y.P., Fu, G., (2014), "Uncertainties in SWAT extreme flow simulation under climate change", ***Journal of Hydrology***, 515: 205-222.
- Zhanga, X., Watersb, D., Ellisa, R., (2013), "Evaluation of simhyd, sacramento and GR4J rainfall runoff models in two contrasting great barrier reef catchments", 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia, 1-6 December 2013.
- Zoboli, O., Schilling, K., Ludwig, A., Kreuzinger, N., Zessner, M., (2018), "Primary productivity and climate change in Austrian lowland rivers water sci", ***Technol***, 77 (2): 417-425.
- Zulkarnain, H., Supiah, S., Sobri, H., (2013), "Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature", ***Theor Appl Climatol***, ***Theor Appl Climatol***, 116 (1-2): 243-257.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2]