نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و دوم، شماره ۶۴، بهار ۱۴۰۱

آشکارسازی تاثیر تغییرات اقلیمی بر افت سطح ایستابی آبخوان دشت بیرجند

دریافت مقاله: ۹۸/۱۰/۳ **پذیرش نهایی:** ۹۹/۲/۱۲

صفحات: ۳۰۵-۲۹۱

بهزاد امرایی: استادیار گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران[1].
Email: Amraeib@yahoo.com

چکیده

تغییراقلیم یکی از مهمترین چالش های پیش روی مدیریت منابع آب اعم از آب های سطح و آب های زیرزمینی است. هدف اساسی این تحقیق آشکارسازی تاثیر خشکسالی‌های ناشی از تغییراقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند می‌باشد. در این راستا با استفاده از دو تست تحلیل روند ناپارامتریک تخمینگر شیب Sens و Man-Kendal برای آشکارسازی روند سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی شهرستان بیرجند طی دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۵ بر اساس آمار سطح ایستابی ۴۷ چاه مشاهداتی منطقه(سرشماری منابع آب) استفاده گردید. با استفاده از ماتریس همبستگی پیرسون، همبستگی بین عناصر اقلیمی (ایستگاه بیرجند) دما، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل با سطح ایستابی شهرستان بیرجند محاسبه گردید و براساس آن یک مدل رگرسیونی چندمتغییره برای مدل کردن سری زمانی سالانه سطح ایستابی در سطح اطمینان ۰/۹۵ توسعه داده شد. فاکتورهای اقلیمی دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۵ با استفاده از خروجی مدل HadGEM2-Es از طریق مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG برای موقعیت ایستگاه بیرجند تحت دو سناریوی RCP8.5 و RCp2.6 شبیه سازی گردید و براساس مدل رگرسیون توسعه داده شده، سطح ایستابی آب شهرستان بیرجند شبیه سازی گردید. نتایج بیانگر آن بود که اولا در دوره پایه (۱۳۷۰-۱۳۹۵) سطح ایستابی آب منطقه با شیب سالانه ۴۷ سانتیمتر در سال روند کاهشی داشته است. آنالیز همبستگی بیانگر آن بود که سه عنصر اقلیمی بارش، دما و تبخیر و تعرق در یک ترکیب خطی ۰/۷۵ از تغییرات سالانه آب زیرزمینی را مدلسازی کرده اند. نتایج مدل ریزمقیاس نمایی اجرا شده روی داده‌های HadGEM2-Es بیانگر آن بود که در دوره ۲۰۳۵-۲۰۶۵ تحت هر دو سناریوی مذکور سطح آب زیرزمینی منطقه بین ۱۰ تا ۱۳ متر نسبت به دوره پایه افت خواهد داشت که ناشی از افزایش تبخیر و تعرق و به تبع آن کاهش بارش موثر خواهد بود.

کلید واژگان: تغییراقلیم، آب‌های زیرزمینی، تحلیل روند، دشت بیرجند.

۱. نویسنده مسئول: تهران، داشگاه پیام نور، گروه زیست شناسی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

مقدمه

امروزه پدیده عمومی و رو به گسترش تغییراقلیم به یکی از مهمترین جنبه‌های اقلیم تبدیل شده است. تغییراقلیم که پیشرانه اصلی آن گرمایش جهانی به معنی افزایش میانگین دمای عمومی اتمسفر می‌باشد، از سال ۱۹۵۰ به بعد به صورت خزنده و تجمعی به دنبال انباشت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر شروع شده است (IPCC, 2007). به دنبال افزایش ناهنجاری‌های اتمسفری برخی رخدادهای حدی مانند خشکسالی‌های ناشی از گرمایش جهانی، بسیاری از مولفه‌های اقلیمی از قبیل بارش، تبخیر و تعرق، توزیع زمانی و مکانی بارش، تغییر پیدا کرده (آرتلرت[1] و همکاران، ۲۰۱۳) و سپس دومینویی از تغییرات در منابع آب شیرین در دسترس جوامع انسانی از جمله تغییر در رژیم هیدرولوژیک رودخانه‌ها، تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی، تغییر در میزان برداشت آب‌های زیرزمینی، تغییر در میزان شارژ آب‌های زیرزمینی، و ... شروع می‌شود (شرستا[2] و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به اینکه تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی نسبت به منابع آب سطحی غیرمستقیم و آهسته‌تر است(سفنلر[3]، ۲۰۱۵)، پایش وضعیت این منابع و حفظ پایداری آن‌ها تحت تاثیر این تغییرات از اهمیت بالایی برخوردار است (رحمانی و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی اثرات افزایش دما بر منابع آب در منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد که افزایش دمای منطقه تا ۲ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش ۱۲ درصدی منابع آب خواهد شد که چالش‌ها و مناقشات منطقه را در آینده افزایش خواهد داد (جلیلی و همکاران،۱۳۹۵). نتایج حاصل از اجرای اغلب مدل های گردش عمومی جو در اغلب سناریوها، بیانگر تغییرات قابل ملاحظه‌ای در میزان آب در دسترس در مقیاس‌های بزرگ است (چن[4] و همکاران،۲۰۱۲). در ایران نیز افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در بیشتر دشت‌های کشور به وضوح مشاهده می‌شود. تهی شدن مخازن آب‌های زیرزمینی، خشک شدن قنوات و چشمه‌ها و حتی چاه‌های نیمه عمیق و کاهش دبی چاه‌های عمیق، تغییر جهت جریان آب‌های زیرزمینی از مظاهر این مسله است(رضایی و همکاران، ۱۳۹۲، قلعه نی و همکاران، ۱۳۹۱). استان خراسان جنوبی یکی از بحرانی‌ترین استان‌های ایران به لحاظ آسیب‌پذیری از خشکسالی است به طوری که این استان تا سال ۱۳۹۸ در رتبه شش کشور از نظر بیشترین کاهش میزان بارندگی قرار دارد. تاثیر این خشکسالی‌های مزمن در این استان به اندازه‌ای زیاد بوده است که بیش از ۵۰ درصد از روستاهای این استان تا سال ۱۳۹۵ نسبت به سرشماری سال ۱۳۸۵، خالی از سکنه شده‌اند.

در رابطه با خشکسالی و اثرات آن در داخل و خارج از ایران تحقیقات مختلفی صورت گرفته که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. کیرونو[5] (۲۰۱۱) خشکسالی را در ۱۲ منطقه استرالیا به وسیله مدل‌های چرخش عمومی جو(GCM) و شاخص RDI پیش بینی کردند. نتایج نشان می‌دهد برای اکثر نقاط مورد مطالعه خشکسالی همراه با نوساناتی درحال افزایش است. توهامی و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تعادل آب و خاک و تغذیه آبخوان پرداختند. آن‌ها در این مطالعه آبخوان منطقه ونوس کاستلار را انخاب نموده و

1 Armlet
2 Shrestha
3 sefenler
4 Chen
5 kirno

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

از خروجی‌های مدل HADCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 استفاده کردند. سال‌های 1961 تا 1990 به عنوان دوره پایه و 2011 تا 2099 به عنوان دوره آتی در نظر گرفته شدند. به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم از مدل HYDROBAL بهره گرفتند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که تغییر اقلیم اثرات قابل توجهی را بر تعادل آب در خاک و به خصوص تغذیه آبخوان خواهد گذاشت. در هر دو سناریوی انتشار بارندگی، رواناب و تغذیه آبخوان در سال‌های پیشرو نسبت به دوره پایه کاهش نشان داد. لی[1] و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه تغییرات آینده ویژگی-های خشکسالی برای کره جنوبی در پیش بینی‌های CMIP5 پرداختند در این مطالعه تغییرات آتی در ویژگی-های خشکسالی در منطقه کره جنوبی در شمال شرقی آسیا، از مدل همپوشانی (CMIP5) و سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ (RCP) استفاده شده است. فراوانی خشکسالی شدید براساس شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص تبخیر تعرق استاندارد (SPEI) با مقادیر زمانی ۱، ۳ و ۱۲ ماه (یعنی SPI1، SPI3، SPI1، SPEI1، SPEI3، و SPEI12) و همچنین مدت زمان متوسط بر اساس SPEI1 در نظر گرفته شد. یک گروه چند منظوره (MME) با استفاده از مدل‌های انتخاب شده تولید شد و تغییرات آینده از نظر بسامد خشکسالی و طول مدت متوسط کل منطقه و چهار حوضه رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. SPEI3 نشان داد که در هر دو سناریو در منطقه مورد مطالعه بارش کاهش داشته، که نشان دهنده افزایش خشکسالی های مداوم در آینده است. یوک فنگ هوانگ [2]و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی پیش بینی خشکسالی با استفاده از SPI و EDI تحت RCP-8.5 سناریوهای تغییرات آب و هوایی در حوضه رودخانه لانات، مالزی پرداختند نتایج نشان داد که استفاده از SDSM در پایین آمدن بارندگی در آینده برای محاسبه شاخص خشکسالی کافی است اگرچه ممکن است میزان بارش باران خیلی دقیق نباشد. سانگ هیونگ لی [3]و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه ارزیابی تاثیر تغییرات اقلیمی در ویژگی‌های خشکسالی در دشت Hwanghae، کره شمالی با استفاده از سری زمانی SPI وSPEI در دوره زمانی ۱۹۸۱-۲۱۰۰ پرداختند نتایج نشان داد که خشکسالی شدید در آینده به دلیل تغییرات آب و هوایی احتمال بیشتری دارد. کامل و همکاران (۲۰۱۸) به مطالعه تأثیر تغییرات اقلیمی و تغییرات فصلی در خصوصیات خشکسالی پاکستان پرداختند نتایج نشان داد با توجه به افزایش دما به علت گرمایش جهانی باعث افزایش فراوانی خشکسالی در هر دو فصل سال شده است و شدت و فراوانی خشکسالی در بیشتر بخش‌های کشور افزایش می‌یابد. مینسونگ کنو [4]و همکاران (۲۰۱۹) به مطالعه تغییرات در خشکسالی آینده با پیش بینی‌های HadGEM2-AO پرداختند در این مطالعه بر اساس بارش مرجع تحت شرایط آب و هوایی اولیه به منظور مقایسه کمی تغییرات در فراوانی و شدت خشکسالی آینده، سناریوهای تغییر آب و هوا با وضوح بالا تولید شد و با استفاده از سناریوی GCM HadGEM2-AO داده‌های بارش پایه و آینده ۳ ماهه تولید شد نتایج نشان داد که بارندگی آب و هوای آینده بیشتر از بارش آب و هوای پایه است و شدت خشکسالی کاهش خواهد یافت.

1 Lee
2 Yuk Feng Huang
3 Sang-Hyun Lee
4 Minsung Kwon

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

در این موضوع در ایران نیز پژوهش‌های انجا شده است از جمله: حسینی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳)، به مطالعه تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم آتی مطالعه موردی: دشت دزفول- اندیمشک پرداختند نتایج نشان داد که به طور کلی در دوره‌ی آتی، تداوم خشکسالی‌های شدید و خشکسالی‌های ضعیف افزایش و تداوم خشکسالی‌های با شدت متوسط کاهش می‌یابد. بنابراین در طول دوره کشت محصول غالب، منطقه مواجه با خشکسالی‌های هواشناسی قابل توجهی در آینده خواهد بود که باید در برنامه‌ریزی‌ها مد نظر قرار گیرد. پروانه و همکاران (۱۳۹۴) به پیش بینی وضعیت خشکسالی استان لرستان طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی ۴ مدل گردش عمومی جو پرداختند. نتایج نشان داد که طی دو دهه آینده خشکسالی در اغلب ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد و در حالت کلی تقریبا در همه ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان طی سال‌های آتی ۲۰۳۰ وضعیت ترسالی افزایش می‌یابد. الوانکار و همکاران (۱۳۹۵)، به مطالعه تاثیر تغییر اقلیم بر شدت و دوره بازگشت خشکسالی‌های ایران پرداختند در این مطالعه براساس مدل HADCM و دو سناریوی A1B و A2 برای دوره پایه و دوره پیش بینی شده در مقیاس روزانه فرایند ریزمقیاس نمایی انجام شد. جهت بررسی وضعیت خشکسالی شاخص بارش استاندارد شده بارش SPI بکار رفت. نتایج نشان داد میزان بارش نسبت به دوره پایه طی دوره‌های آتی تحت خروجی‌های مدل HadCM3 و در دو سناریوی A1B و A2 تغییر معنی‌داری در بیشتر منطق کشور خواهد داشت و بیشترین درصد تغییرات مربوط به جنوب شرقی کشور می‌باشد که برای هر سه تداوم زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه افزایش خشکسالی را نشان می-دهد. مرتضوی‌زاده و گودرزی(۱۳۹۶) به مطالعه اثرات تغییراقلیم بر روی رواناب سطحی و آب زیرزمینی با استفاده از مدل اقلیمی HadGEM2 (مطالعه موردی هشتگرد) پرداختند، نتایج مدل کمی نشان داد که با وضعیت موجود آبخوان هشتگرد با توجه به افت سالانه ۷۳ سانتیمتری در زمان حال، این میزان افت در آینده به بیشتر از این مقدار نیز نزول نماید و آبخوان را از حالت بحرانی به حالت فوق بحرانی تبدیل نماید. نتایج پیش بینی نشان می‌دهد که سناریوی RCP8.5 وضیعیت بحرانی‌تری نسبت به سناریوی RCP2.6 داشته و افت سطح آب زیرزمینی برای بدترین حالت در منطقه در سال ۲۰۴۰ با توجه به فرض ثابت بودن برداشت به میزان ۱۸ متر نسبت به زمان حال خواهد رسید. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۷) به مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج پرداختند نتایج نشان دهنده کاهش بارش و افزایش دما در هر سناریو مورد مطالعه می‌باشد. حداکثر افت تراز آب در سناریوی A2 و حداقل افت تراز آب زیرزمینی در سناریوی B1 اتفاق خواهد افتاد. همچنین بررسی همبستگی متقاطع نشان دهنده تاثیر بارش برتراز آب زیرزمینی حوضه تسوج با تأخیر زمانی ۲ ماهه می‌باشد.

روش تحقیق

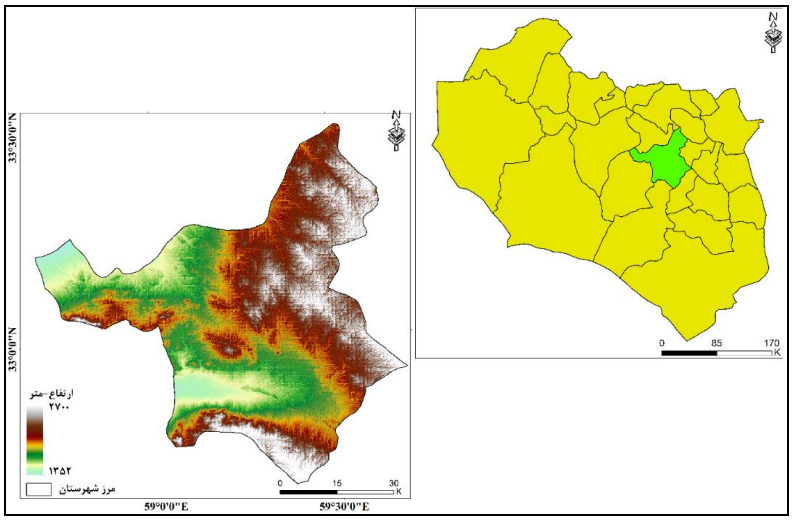
معرفی محدوده مورد مطالعه

شهرستان بیرجند دارای جمعیت ۲۶۱۳۲۴ نفر (سرشماری سال۱۳۹۵) است. منطقه مورد بررسی این تحقیق در واقع کل محدوده شهرستان بیرجند است اما داده‌های مربوط به چاه‌های نمونه‌برداری از دشت یا حوضه آبریز بیرجند بررسی شد و لذا تغییرات مورد بررسی مربوط به آبخوان دشت بیرجند است. دشت بیرجند می-باشد که در قسمت شمالی ارتفاعات باقران با مختصات۵۹ درجه و۱۳دقیقه طول جغرافیایی و۳۲ درجه و۵۳

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. شکل این دشت به صورت مستطیل بوده که از شمال به ارتفاعات مولی، مارکوه و از جنوب به ارتفاعات باقران، و کوهرچ، از شرق به کوه بندر و امین آباد و از غرب به ارتفاعات کرنگو چنگ محدود می‌شود، در بخش مرکزی آن، آبخوان آبرفتی تشکیل شده است. وسعت کل حوضه آبریز متوسط بارندگی سالیانه در ارتفاعات و دشت بیرجند به ترتیب ۲۱۶ و ۱۶۹ میلیمتر است که حجم بارش ناشی از آن بالغ بر ۷۰۸ میلیون مترمکعب است. از این میزان بارندگی، حدود ۸۰ درصد آن یعنی / ۵۷۱ میلیون مترمکعب به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌گردد و حدود 7درصد آن یعنی ۵۰ میلیون مترمکعب به جریانات سطحی تبدیل می‌شود مابقی یعنی ۸۷ میلیون مترمکعب نفوذ می‌کند شکل(۱).



شکل(۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه، موقعیت دشت و آبخوان بیرجند در منطقه مورد مطالعه و چاه های مطالعاتی سطح آبخوان بیرجند طی دوره مورد مطالعه

داده و روش کار

در این تحقیق از سه دسته از داده ها به شرح جدول(۱) استفاده شده است. دسته اول داده‌های مربوط به سطح ایستابی آب زیرزمینی آبخوان دشت بیرجند است که با استفاده از تعداد ۴۷ چاه مشاهداتی سطح آبخوان دشت بیرجند، طی دوره ۱۳۷۰-۱۳۹۵، مورد بررسی قرار گرفت. دسته دوم داده‌های مربوط به عناصر اقلیمی دوره پایه است که شامل دما و بارش ماهانه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند است. عنصر تبخیر و تعرق پتانسیل نیز با استفاده از روش تورنث ویت[1] برای ایستگاه بیرجند محاسبه گردید. دسته سوم از داده‌ها، داده-های دما و بارش خروجی مدل HadGEM2-Es برای دوره تغییراقلیم یعنی ۲۰۳۵-۲۰۶۵ بود که برای موقعیت ایستگاه بیرجند با استفاده از مدل ریزمقیاس نمای آماری LARS-WG برآورد گردید. که براساس دمای شبیه سازی شده مجددا تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه گردید.

جدول(۱). داده های مورد استفاده در تحقیق

نوع داده	دوره آماری	منبع

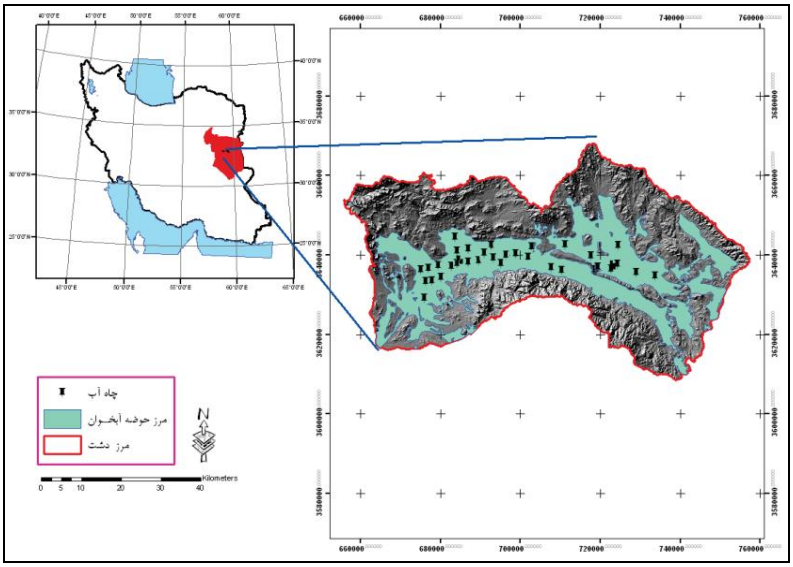
1 Torenth

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

داده‌های سطح ایستابی آبخوان بیرجند	۱۳۹۵-۱۳۷۰	سری زمانی ۲۶ ساله ۴۷ چاه مشاهداتی سطح آبخوان بیرجند
داده‌های هوشناسی-دما و بارش	۲۰۱۸-۱۹۹۹	ایستگاه هواشناسی بیرجند
داده‌های دوره تغییراقلیم	۲۰۶۵-۲۰۳۵	شبیه سازی HadGEM2-Es-ریزمقیاس نمایی آماری برای موقعیت ایستگاه بیرجند با مدل LARS-WG

در شکل(۲) موقعیت چاه های موجود در شهرستان بیرجند ارائه شده است. براساس آمار سال ۱۳۹۵ شرکت مدیریت منابع آب شهرستان بیرجند در آن سال تعداد ۴۷ حلقه چاه فعال در دشت مذکور وجود دارد که در این تحقیق از داده های سطح ایستابی این چاه ها استفاده گردید.



شکل(۲). موقعیت دشت و آبخوان بیرجند و چاه‌های مورد مطالعه

در بخش اول سری زمانی ۲۶ ساله تغییرات سطح ایستابی آبخوان دشت بیرجند که با استفاده از ۴۷ چاه نمونه برداری شده به دست آمده بود، با استفاده از تحلیل ناپارامتریک تخمینگر شیب سنس برریس شد. برای تحلیل ارتباط بین تغییرات سطح ایستابی آبخوان سطح دشت بیرجند، اقدام به بررسی ارتباط بین سری زمانی تغییرات سالانه سطح ایستابی آب زیرزمینی آبخوان دشت بیرجند، با ویژگی‌های دمایی، بارشی و تبخیر و تعرق پتانسیل(محاسبه شده به روش ترنت ویت) سطح دشت (هم بخش دشت و هم بخش کوهستان) گردید. از آنالیز همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value=0.05) برای آشکارسازی این ارتباط استفاده شد. براساس همبستگی آشکار شده، اقدام ارائه یک مدل براوردگر رگرسیونی برای براورد سطح ایستابی آبخوان دشت، بیرجند گردید. ورودی‌های این مدل براوردگر در واقع میانگین دمای سالانه، مجموع بارش و تبخیر و تعرق بالقوه بود. در مرحله نهایی ورودی‌های مدل رگرسیون براوردگری که برای براورد تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی سطح دشت بیرجند، استفاده شده بودند، برای دوره آینده یعنی ۲۰۶۵-۲۰۳۵ توسط مدل گردش عمومی HadGEM2-Es تحت دو خط سیر انتشار دی‌اکسیدکربن خوشبینانه و بدبینانه یعنی RCP8.5 و RCP2.6 با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی LARS-WG6 شبیه سازی گردید. اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی آینده این مدل ریز مقیاس نمایی، سری زمانی روزانه بارش، حداقل و حداکثر دما و ساعات آفتابی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

می‌باشد. بعد از ریزمقیاس نمایی و تولید عناصر اقلیمی دما و بارش در مقیاس ماهانه برای دوره ۲۰۳۵-۲۰۶۵، برای ایستگاه بیرجند، با اجرای مجدد مدل رگرسیون چندمتغیره توسعه داده شده در اقلیم دوره پایه، برای مدلسازی سری زمانی سطح ایستابی آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی مجددا براساس عناصر اقلیمی شبیه سازی شده دوره تغییراقلیم(دما، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی) شبیه سازی گردید. در نهایت مدل رگرسیونی مجددا با ورودی های جدید مدلسازی شد و تغییرات سطح آب زیرزمینی براساس این ورودی های جدید شبیه سازی گردید.

تحلیل روند دوره پایه

برای آشکارسازی روند داده‌های میانگین فضایی سالانه سطح ایستابی آب زیر زمینی شهرستان بیرجند (استخراج شده از میانگین ۴۷ چاه مشاهداتی) از آزمون ناپارامتریک تخمینگر شیب Sens استفاده گردید که به صورت رابطه(۱) ارائه شده است (سن[1]،۱۹۶۶):

رابطه (۱)

$$Q = \text{Median}\left(\frac{w_j - w_i}{j - i}\right), \quad \forall j > i$$

در رابطه (۱) Q برآوردگر شیب خط روند و w_i و w_j به ترتیب میانگین تراز آب زیرزمینی شهرستان بیرجند در سال i ام و j ام می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی) Q نشان دهنده روند افزایشی(کاهشی) در سری است (زمانی و همکاران،۲۰۱۴). کمرنگ‌سازی تاثیر داده‌های حدی(داده‌های پرت) از مهمترین مزایایی این روش ناپارامتریک نسبت به رگرسیون خطی است (Sen, 1996). بعد از آشکارسازی شیب روند سری زمانی داده‌های میانگین فضایی سالانه سطح ایستابی آب زیرزمین در شهرستان بیرجند (استخراج شده از میانگین ۴۷ چاه مشاهداتی)، اقدام به بررسی این موضوع گردید که آیا روند آشکار شده در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value=0.05) معنی دار است یا خیر. در این راستا از تست ناپارامتریک Man-Kendal استفاده گردید. این تست ناپارامتریک به دلیل عدم محدودیت در توزیع سری زمانی از مناسب ترین آزمون‌های تحلیل روند برای سری‌های هیدرولوژیک است (Mann, 1945). آماره T آزمون من- کندال با استفاده از رابطه(۲) محاسبه می‌شود:

رابطه (۲)

$$T = \frac{4p}{n(n-1)}$$

در رابطه(۲)، T آماره کندال، n تعداد کل سال‌های آماری و P مجموع تعداد رتبه‌های بزرگتر از ردیف n_i است که بعد از آن قرار می‌گیرد که صورت رابطه(۳) به دست می‌آید:

رابطه (۳)

$$P = \sum_{n=1}^{n} (n_i)$$

[1]. Sen

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

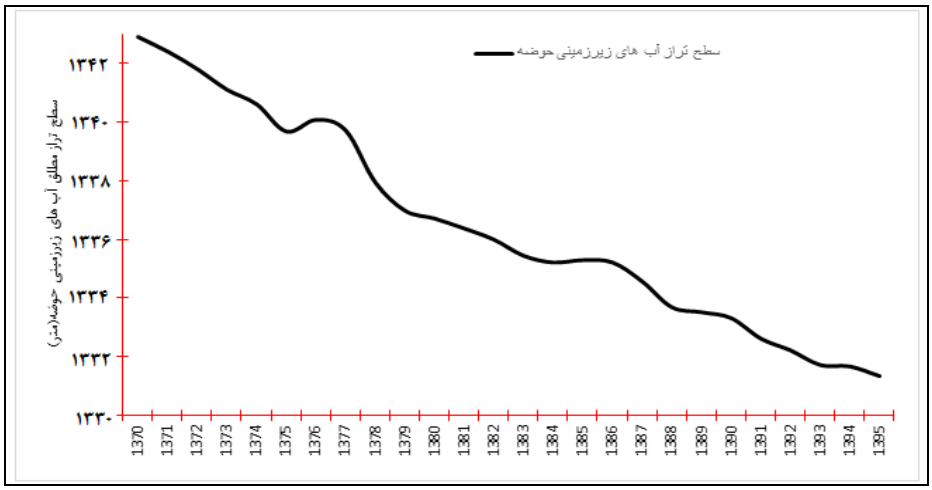
در این معادلات n شماره ردیفی است که برای هر سال تعریف شده است (چوبین و همکاران،۲۰۱۲). معنی-داری آماره T نیز توسط رابطه(۴) آزمون می‌شود:

$$T_t = \pm t_g \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}}$$ رابطه (۴)

در رابطه(۴)، t_g مقدار بحرانی توزیع نرمال است. این مقدار در سطح ۰/۰۵ برای آزمون دو دامنه برابر با ۱/۹۶ است (Mann, 1945). با توجه به مقدار بحرانی بدست آمده برای T_t ، حالات مختلفی مشاهده خواهد شد: اگر $-T_t < T < +T_t$ هیچگونه روند مهمی در سری‌ها مشاهده نمی‌شود و سری‌ها تصادفی هستند. همچنین اگر T $< +T_t$ نشان‌دهنده روند مثبت در سری‌ها و در صورتی که $T > -T_t$ باشد، روند منفی در سری‌ها غالب خواهد بود (Mann, 1945).

نتایج

هیدروگراف واحد آبخوان دشت بیرجند، به صورت شکل(۳) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، سطح ایستابی این آبخوان بیرجند که در بخش مرکزی دشت بیرجند قرار گرفته است براساس داده‌های نمونه برداری چاه‌های مشاهداتی، طی دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۴، همواره روند کاهشی و افت داشته است. این کاهش در تغییرات سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی آبخوان بیرجند، علاوه بر این‌که دارای یک روند کلی نزولی بوده است، دارای تغییرات جزیی درون سالی بوده است. این روند بلندمدت نزولی مشاهده شده در سطح ایستابی ابخوان دشت بیرجند، ناشی از اضافه برداشت‌های مربوط به کشاورزی و شرب است. اضافه برداشت ناشی از کشاورزی باعث این شده است که یک روند نزولی کاملا چشمگیر در آبخوان قابل مشاهده باشد، به طوری که در سال ۱۳۷۰ سطح ایستابی آب زیرزمینی در سطح آبخوان، به طور متوسط در ارتفاع ۱۳۴۴ متری از سطح دریا بوده است در حالی که در سال ۱۳۹۵ به حدود ۱۳۳۲ متر رسیده است که گویای ۱۰ متر افت سطح ایستابی آب زیرزمینی در سطح دشت است. در بستر این روند کلی نزولی نوسانات درون سالی(فصلی) و تغییرات درون سالی نیز مشاهده می‌گردد.



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

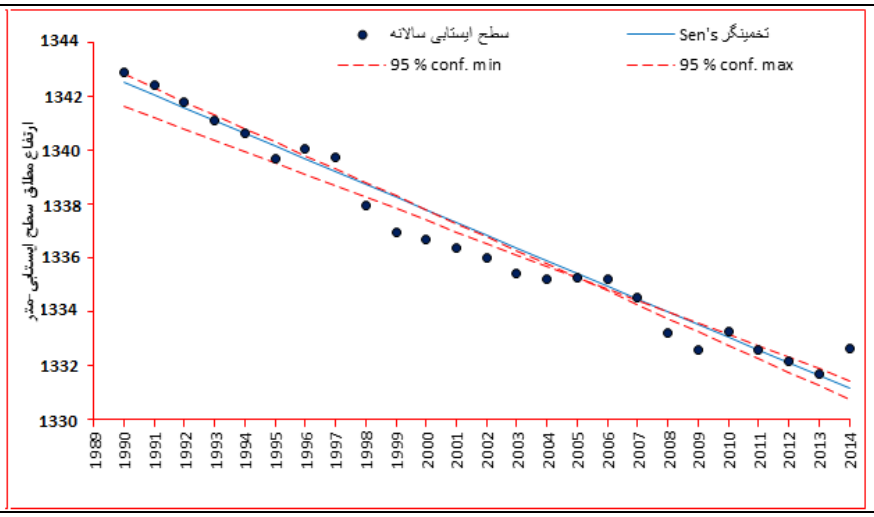
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

شکل(۳). هیدروگراف واحد ۲۶ ساله تغییرات سالانه سطح ایستابی آب زیرزمینی آبخوان دشت بیرجند براساس میانگین فضایی سالانه داده‌های سطح ایستابی چاه‌های مشاهداتی

برای تحلیل روند سری زمانی سطح ایستابی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از دو آزمون آماری ناپارامتریک تخمینگر شیب Sens، و تست Man-Kendal، برای آشکارسازی معنی داری روند، استفاده گردید که نتایج به صورت جدول(۲) ارائه شده است. همان‌طور که در جدول(۲) مشاهده میگردد، روند سری زمانی میانگین فضایی سالانه سطح ایستابی آب زیرزمینی شهرستان بیرجند طی دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۵ یک روند کاهشی با شیب متوسط ۰/۴۰- متر در سال داشته است به عبارت دیگر طی دوره مورد مطالعه سطح آب زیرزمینی شهرستان بیرجند با شیب سالانه ۴۰ سانتی متر افت کرده است، که براساس آماره آزمون ناپارامتریک من-کندال این روند نزولی در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value=0.05) معنی دار بوده است.

جدول (۲). نتایج اجرای دو تست تحلیل روند ناپارامتریک Man-Kendal و تخمینگر شیب Sens برای تحلیل روند سری زمانی میانگین فضایی سالانه سطح ایستابی آب زیرزمینی شهرستان بیرجند طی دوره اماری ۱۳۷۰-۱۳۹۵

خروجی گرافیکی تست ناپارامتریک تخمینگر شیب Sens



خروجی عددی دو تست ناپارامتری Man-Kendal و تخمینگر شیب Sens

آماره های تحلیل روند	مقدار عددی	توضیحات
پارامتر Q	-۰/۴۷	شیب کاهشی متوسط
آماره Man-Kendal	-۳/۲	معنی دار بودن روند کاهشی در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value = 0.05)

تحلیل همبستگی بین فاکتورهای اقلیمی با و تغییرات سطح ایستابی آبخوان بیرجند، در سطح آبخوان در سطح دشت مورد بررسی قرار گرفت و به صورت ماتریس همبستگی جدول(۳) ارائه شده است. همان‌طور که در این ماتریس مشاهده می‌گردد، فاکتور اقلیمی و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه (محاسبه شده با استفاده از روش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

ترنت ویت) هم در سطح دشت و هم در سطح آبخوان هم بستگی معکوسی با تغییرات سطح ایستابی آبخوان دشت بیرجند ارائه کرده است. به طوری که در سال‌هایی که یا در فصولی که میزان تبخیر و تعرق بالقوه بالا بوده است، سطح ایستابی آب دشت بیرجند، با شتاب بیشتری افت کرده است. اما تغییرات سطح ایستابی آبخوان بیرجند به تغییرات میزان تبخیر و تعرق در سطح آبخوان حساسیت بالاتری داشته است نسبت به سطح کوهستان، به‌طوری‌که میزان همبستگی تغییرات سطح ایستابی آبخوان بیرجند با تبخیر و تعرق بالقوه در سطح دشت و کوهستان به ترتیب ۰/۷۰- و ۰/۴۹- بوده است. میانگین دمای سالانه نیز با همبستگی مستقیم ۰/۵۶ – در سطح دشت و ۰/۴۲- در سطح دشت، همبستگی معنی داری با تغییرات سالانه و فصلی سطح ایستابی منطقه مطالعاتی ارائه کرده است اما بارش سالانه هم در سطح دشت و هم در سطح کوهستان همبستگی معنی داری با با تغییرات سطح ایستابی داشته است. براساس اماره معنی داری، (Sig) هر سه متغیر اقلیمی در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value=0.05) همبستگی معنی داری با سطح ایستابی منطقه داشته اند.

جدول(۳). ماتریس همبستگی پیرسون بین داده های سری زمانی سطح ایستابی و عناصر اقلیمی (ایستگاه بیرجند) و ارائه مدل رگرسیون براوردگر چندمتغییره

	ضریب همبستگی در سطح دشت		ضریب همبستگی در سطح کوهستان	
	R	Sig	R	Sig
بارش	۰/۷۶	۰۰	۰/۵۵	۰۰
دما	-۰/۵۶	۰۰	-۰/۴۲	۰۰
تبخیر و تعرق	-۰/۷۰	۰۰	-۰/۴۹	۰۰

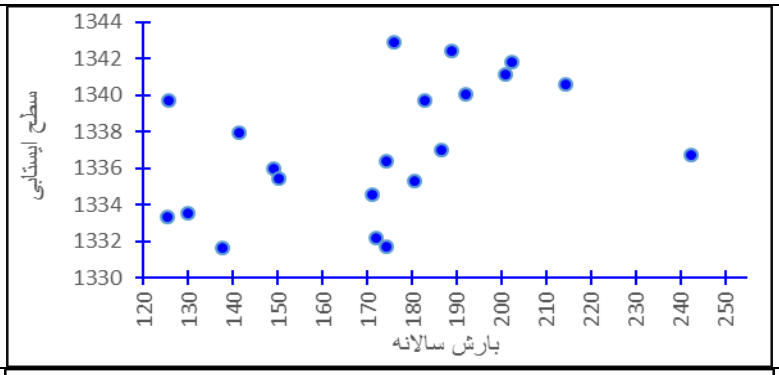
آنالیز همبستگی نشان داد که سه فاکتور اقلیمی دما، بارش و تبخیر و تعرق تورنت ویت، همبستگی معنی داری با تغییرات سالانه سطح ایستابی منطقه داشته اند و لذا می‌توانند در یک مدل رگرسیون براوردگر چندمتغیره به صورت معنی‌داری تغییرات سالانه سطح ایستابی را براورد کنند. قبل از اجرای مدل رگرسیون براوردگر، از نرمال بودن توزیع سری زمانی متغییرهای مورد استفاده براساس آزمون کلموگراف-اسمیرانف اطیمنان حاصل گردید. لذا بر اساس سه فاکتور اقلیمی مذکور یک مدل رگرسیونی براوردگر سه متغییره توسعه داده شده که در جدول(۴) اراائه شده است. بر اساس این مدل براوردگر چند متغیره، در یک ترکیب خطی سه متغیره سه فاکتور اقلیمی دمای میانگین سالانه، مجموع بارش سالانه و مجموع تبخیر و تعرق بالقوه سالانه توانسته‌اند ۰/۷۵ درصد از تغییرات سالانه سری زمانی سطح ایستابی آب زیرزمینی منطقه را مدل‌سازی کنند (R2-Adjusted = 0.75). نتایج حاصل از دو آماره , P_value و T_value مدل که در جدول(۴) ارائه شده است، این بود که دو متغییر اقلیمی بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل به صورت معنی داری در مدلسازی سطح ایستابی ایفای نقش کرده‌اند اما براوردگر دمای سالانه نقش معنی داری در این ترکیب خطی در براورد سطح ایستابی ایفا نکرده است.

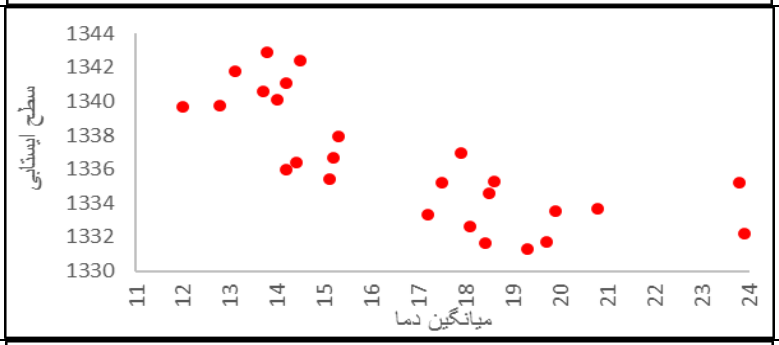
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

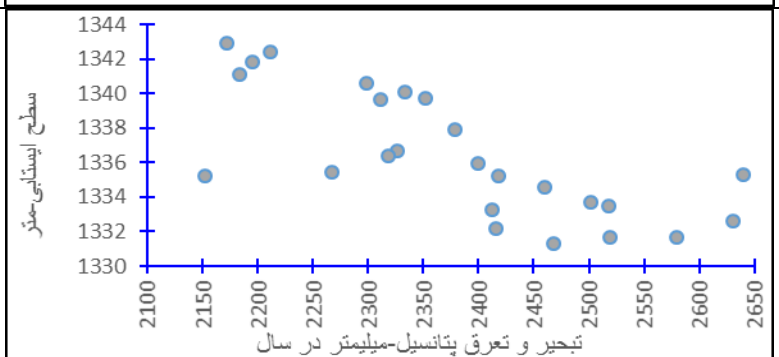
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

جدول(۴). پراکنش نگار و مدل رگرسیونی چندمتغییره برازش داده شده به ارتباط بین عناصر اقلیمی و تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی آخوان بیرجند

پراکنش نگار







توسعه مدل رگرسیون	اجزای مدل بارودرگر	ضرایب خام	T-Value	P_value	تحلیل معنی داری در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P-value=0.05)
	β	۱۳۲۸	226.0	5E-37	معنی داری ضریب ثابت
	دما	-۰،۰۵	-4.6	1E-04	براوردگر معنی دار

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

	بارش	0.015	1.3	2E-01	عدم معنی داری
	تبخیر و تعرق	-0.02	-3.8	1E-03	براوردگر معنی دار
	اعتبار سنجی مدل چندمتغییره		**Adjusted R Square**= 0.65		**R Square**= 0.63

برای شبیه سازی تاثیر تغییراقلیم بر تغییرات سطح ایستابی آب های زیرزمینی شهرستان بیرجند با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadGEM2-Es سه عنصر اقلیمی دما، بارش و تبخیر و تعرق ماهانه برای دوره آماری ۲۰۳۵-۲۰۶۵ دو سناریوی RCP8.5 و RCP2.6 استخراج شده و با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG برای ایستگاه بیرجند ریزمقیاس گردید. در نهایت مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل مجددا با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده برای دوره ۲۰۳۵-۲۰۶۵ محاسبه گردید جدول(۵). همانطور که در جدول(۵) مشاهده می‌گردد، در هر دو سناریو عنصر بارش در دوره تغییراقلیم نسبت به دوره پایه افزایش داشته است، در کنار این عنصر دو عنصر اقلیمی دما، و نیز تبخیر و تعرق پتانسیل نیز افزایش داشته‌اند. میانگین بارش سالانه در دوره پایه ۲۰۱ میلیمتر بوده است که در دوره تغییراقلیم در سناریوی RCP8.5 به ۲۱۴ و در سناریوی RCP2.6 به ۲۱۹ میلیمتر رسیده است، میانگین دمای سالانه نیز در دوره پایه برابر ۵.۱۶ درجه سانتیگراد بوده است در حالی که در دو خط سیر مذکور به ترتیب برابر ۱۷,۷ و ۱۷,۳ درجه سانتیگراد بوده است میزان تبخیر و تعرق پتانسیل نیز در دوره پایه برابر ۲۲۰۸ میلیمتر در سال بوده است که در دوره تغییراقلیم (۲۰۳۵-۲۰۶۵) در دو سناریوی مذکور به ترتیب به ۲۲۷۵ و ۲۳۳۵ میلیمتر در سال رسیده است.

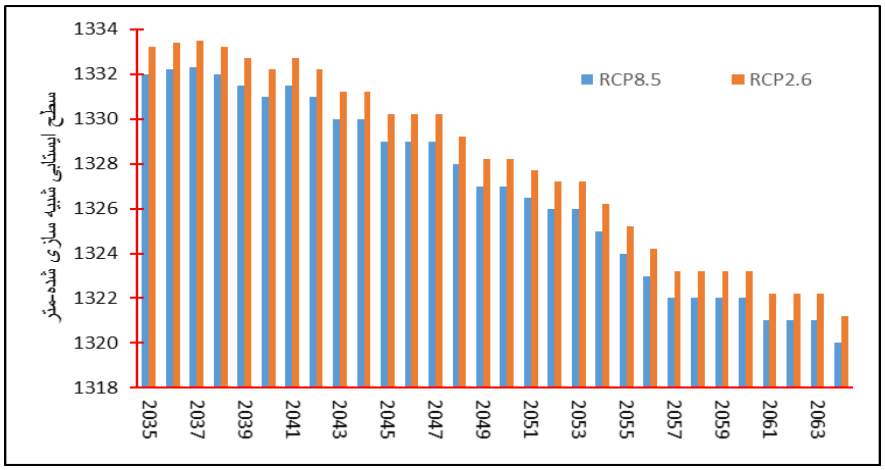
جدول(۵). داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای انتشار ۲,۶ و ۴,۵ و در دوره پایه

	دوره پایه			RCP8.5			RCP2.6		
	بارش میلیمتر	دما سانتیگراد	تبخیر و تعرق میلیمتر	بارش میلیمتر	دما سانتیگراد	تبخیر و تعرق میلیمتر	بارش میلیمتر	دما سانتیگراد	تبخیر و تعرق میلیمتر
ژانویه	۴۱	۳	۱۲۴	۴۳	۴,۱	۱۲۸	۴۵	۳,۴	۱۴۱
فوریه	۱۶	۶	۱۳۰	۱۹	۷	۱۳۷	۱۸	۶,۶	۱۴۷
مارس	۲۷	۷,۵	۱۳۸	۲۹	۷,۸	۱۴۴	۳۲	۷,۸	۱۸۴
آپریل	۴۹	۱۴,۵	۱۷۶	۴۸	۱۵,۶	۱۷۸	۴۶	۱۴,۸	۲۲۳
می	۳	۱۸	۲۱۰	۵	۱۸,۶	۲۲۱	۵	۱۸,۵	۲۸۷
ژوئن	۲	۲۶	۲۸۰	۰	۲۶,۸	۲۸۴	۳	۲۶,۵	۲۹۰
جولای	۰	۲۶	۲۸۰	۱	۲۷,۱	۲۸۸	۰	۲۶,۷	۲۶۶
اگوست	۰	۲۴	۲۵۰	۰	۲۴,۹	۲۶۴	۰	۲۴,۳	۲۱۷
سپتامبر	۰	۱۹	۱۹۰	۰	۲۰,۲	۲۱۷	۰	۱۹,۶	۱۸۰
اکتبر	۱,۵	۱۵	۱۷۰	۴	۱۵,۶	۱۷۹	۲	۱۵,۶	۱۵۴
نوامبر	۵	۱۰	۱۴۰	۷	۱۰,۸	۱۴۹	۹	۱۳,۱	۱۴۳
دسامبر	۵۶	۸	۱۲۰	۵۸	۹	۱۳۶	۵۹	۸,۶	۴۳
سالانه	۲۰۱	۱۶/۵	۲۲۰۸	۲۱۴	۱۷/۷	۲۳۳۵	۲۱۹	۱۷/۳	۲۲۷۵

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

بعد از شبیه سازی فاکتورهای اقلیمی دوره تغییراقلیم (۲۰۳۵-۲۰۶۵)، مدل رگرسیونی توسعه داده شده در اقلیم دوره پایه، حال برای عناصر اقلیمی دوره ۲۰۳۵-۲۰۶۵ -مجددا تنظیم و اجرا گردید که براساس آن سطح ایستابی آب زیرزمینی در دو سناریو RCP8.5 و RCP2.6 برای دوره آماری ۲۰۳۵-۲۰۶۵ مدل‌سازی گردید که در شکل(۶) ارائه شده است. همانطور که در شکل(۶) مشاهده می‌گردد، طی دوره آماری ۲۰۳۵-۲۰۶۵ نیز سطح ایستابی آبخوان بیرجند روند نزولی داشته است. به طوری که در اول دوره یعنی سال ۲۰۳۵سطح ایستابی برابر ۱۳۳۲ متر بوده است. سایر نتایج در شکل (۶) نمایش داده شده است.



شکل (۶). روند سری زمانی سطح ایستابی آب زیرزمینی شهرستان بیرجند ، طی دوره ۲۰۳۵-۲۰۶۵ مدلسازی شده با استفاده از داده های خروجی مدل HadGEM2-Esتحت دو سناریوی RCP8.5 و RCP2.6

نتیجه گیری

امروزه تغییراقلیم یکی از مهمترین چالش‌های پیش روی مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در کل جهان به شمار می‌روند. تغییراقلیم نه تنها مقادیر آب در دسترس قابل استفاده برای مصارف مختلف جوامع بشری از قبیل کشاورزی، شرب، صنعت را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بلکه الگوهای مصرف آب را نیز تحت تاثیر قرار خواهد داد. در این تحقیق سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی شهرستان بیرجند که براساس آمار شرکت آب منطقه‌ای استان در سال ۱۳۹۵ تعداد ۴۷ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق در آن به صورت فعال و نیمه فعال وجود دارد، یکی از دشت‌های کشاورزی شهرستان بیرجند است که از لحاظ سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دچار افت محسوسی شده است. نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی سطح ایستابی منطقه طی دوره ۱۳۷۰-۱۳۹۵ نشان داد که سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در این استان به صورت معنی داری با شیب ۴۷ سانتیمتر در سال روند نزولی داشته است. شبیه‌سازی شرایط اقلیمی دوره ۲۰۳۵-۲۰۶۵ با استفاده از مدل گردش عمومی ES-HadGEM2-Es و ریزمقیاس نمایی مدل آماری LARS-WG بیانگر آن بود که سطح ایستابی آب زیرزمینی شهرستان بیرجند در دوره ۲۰۳۵-۲۰۶۵ به طور متوسط در سناریوهای RCP8.5 و RCP2.6 علی-رغم افزایش بارش، حدود ۱۰ تا ۱۲ متر افت خواهد داشت. افت سطح ایستابی آب منطقه علی رغم، افزایش بارش می‌تواند به دلیل افزایش دما باشد که ظرفیت تبخیر و تعرق پتانسیل را به شدت افزایش داده است. با

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

توجه به این‌که ساختار اقتصادی این دشت کشاورزی بوده و استفاده اصلی آب زیرزمینی برای مصرف کشاورزی است، لذا افزایش تبخیر و تعرق به واسطه افزایش دما(بین ۲ تا ۳ درجه سانتیگراد در دو سناریوی مذکور) می-تواند میزان آب مورد نیاز گیاه را به شدت افزایش داده(افزایش تعرق) و علاوه بر آن میزان بارش موثر را که صرف رشد گیاه می‌شود، به شدت کاهش دهد و به این صورت بارشی که صرف شارژ منابع آب زیرزمینی می-شود بسیار محدود خواهد بود. به این صورت افزایش تبخیر و تعرق در دوره تغییراقلیم نه تنها تاثیر افزایش بارش را در شارژ منابع آب زیرزمینی شهرستان بیرجند خنثی کرده است، بلکه حتی باعث افت ۱۵ تا ۱۷ متری سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی منطقه نیز شده است.

منابع

اسدی زارچ، محمد امین .(۱۳۹۶). **بررسی چگونگی اثرگذاری تغییر اقلیم بر وقوع خشکسالی در استان یزد**، نشریه مدیریت بیابان، **۹**، ۷۴-۹۰

پروانه، بهروز؛ شیراوند، هنگامه؛ درگاهیان، فاطمه. (۱۳۹۴). **پیش بینی وضعیت خشکسالی استان لرستان طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی ۴ مدل گردش عمومی جو**، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، **۱۲ (۴۵)**: ۱-۱۳.

جلیلی، خلیل؛ مرادی، حمیدرضا؛ بزرگ حداد، امید .(۱۳۹۵). **بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت اسلام آباد و بهینه سازی تخصیص سطح اراضی آن**، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، **۵(۱۱)**: ۱۱۷-۱۳۱.

جوی زاده، سعید؛ حجازی‌زاده، زهرا .(۱۳۹۸). **تحلیل آمار فضایی خشکسالی در ایران، ۱۳۹۸، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۳)**: ۲۵۱-۲۷۷

حسینی زاده، عطیه؛ سید کابلی، حسام؛ زارعی، وحید؛ آخوندعلی، علی محمد.(۱۳۹۵). **تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم آتی مطالعه موردی دشت دزفول- اندیمشک**، مجله علوم مهندسی آبیاری، **۳۹ (۱)**: ۳۴-۴۳.

رضایی بنفشه، مجید؛ جلالی عنصرودی، طاهره؛ حسن پور اقدم بیگلو، محمد علی. (۱۳۹۷). **بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج**، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، **۱۸(۶۱)**: ۲۵۵-۲۶۹.

شفیعی، نجمه؛ زنگنه اسدی، محمد علی؛ جمال آبادی، جواد؛ مجرد تیتکانلو، زینب. (۱۳۹۸). **بررسی علل افت آبهای زیرزمینی دشت نورآباد ممسنی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مبتنی بر نظریه ژئودوآلیته**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۱۹(۵۲)**: ۲۳۵-۲۵۴

صالح نیا، نسرین؛ موسوی بایگی، محمد؛ انصاری، حسین. (۱۳۹۲). **پیش بینی خشکسالی با استفاده از نمایه PDSIبه کمک مدلهای LARS-WG و HadCM3 مطالعه موردی حوضه نیشابور**، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، **۱(۷)**: ۹۳- ۱۰۳

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

محمدی قلعه نی، مهدی؛ ابراهیمی، کیومرث؛ عراقی نژاد، شهاب. (۱۳۹۱). **ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر افت منابع آب زیرزمینی مطالعه موردی: آبخوان دشت ساوه.** مجله پژوهشهای حفاظت آب و خاک،**۱۹ (۴)**:۱۸۹-۲۰۳.

مرتضوی زاده، فاطمه السادات؛ گودرزی، مسعود.(۱۳۹۶). **ارزیابی اثرات تغییراقلیم برروی رواناب سطحی و آب زیرزمینی با استفاده از مدل اقلیمی HadGEM2 (مطالعه موردی هشتگرد)**، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، **۳۲(۲)**: ۴۳۳-۴۴۶.

الوانکار، سیدرضا؛ نظری، فرزانه؛ فتاحی، ابراهیم.(۱۳۹۵). **تاثیر تغییر اقلیم بر شدت و دوره بازگشت خشکسالی های ایران**، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، **۳(۲)**: ۹۹-۱۲۰.

Touhami I., E, Chirino J, Andreu J, Sánchez H, Moutahir J. 2015. **Assessment of climate change impacts on soil water balance and aquifer recharge in a semiarid region in south east Spain**, Journal of Hydrology, **527**: 619-629.

Kirono D.G.C, Kent D.M, Hennessy K.J, Mpelasoka F. 2011. **Characteristics of Australian droughts under enhanced green house conditions: results from global climate models**, Journal of Arid Environment, **75**: 566- 575.

Eslamian S. Khordadi M. Abedi Koupai J. 2011. **Effects of Variations in Climatic Parameters on Evapotranspiration in the Arid and Semi-arid Regions**,Global Planet Change, **78**:188-194.

IPCC. 2007. The Physical Science Basis/ Contribution of Working Group 1 to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change. Cambridge. UK. New York. USA. 24-57p.

Rahmani M. Jami Alahmadi M. Shahidi A. Hadizade Azghadi M. 2015. **Effects of Climate Change on length of growth Stages and Water Requirment of Wheat and Barley(Case Study: Cirjand Plain)**, Journal of agriculture, **7(4):**1-16.

Chen H., Xu C.Y., and Guo S**.** 2012. **Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff,** Journal of Hydrology, **434–435(0)**: 36-45.

Artlert, K., Chaleeraktrakoon, C and Nguyen Van-Thanh-Van**.** 2013. **Modeling and analysis of rainfall processes in the context of climate change for Mekong, Chi, and Mun River Basins (Thailand)**, Journal of Hydro-environment Research, **7:** 2-17.

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.

Shrestha S, Bach T.V, Pandey V.P. 2016. **Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios**, Environmental Science & Policy, **61**:1–13.

Kiem A. S, Austin E. K. 2013. **Drought and the future of rural communities: Opportunities and challenges for climate change adaptation in regional Victoria**, Australia Global Environmental Change, **23:**1307-1316.

Lee J.-H, Kwon H.-H, Jang H.-W, Kim T.-W.2016. **Future changes in drought characteristics under extreme climate change over South Korea,** Adv. Meteorol. 2016. Available online: https://www.hindawi.com/ journals/amete/2016/9164265/abs/ (accessed on 11 February 2019). [CrossRef].

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]

Yuk Feng H, Jong Tat A, Yong Jie T, Mirzaei M, Mohd Zaki Mat A .2016. **Drought Forecasting using SPI and EDI under RCP-8.5 Climate Change Scenarios for Langat River Basin**, Malaysia, Procedia Engineering, **154** , 710 – 717.

Sang-Hyun Lee, Seung-Hwan Yoo, Jin-Yong Choi, Seungjong Bae. 2017. **Assessment of the Impact of Climate Change on Drought Characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea Using Time Series SPI and SPEI: 1981–2100**, Water, **9**, 579.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.22.64.291]