

بررسی میزان تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخایر آبی آبخوان‌های غربی تالاب گاوخونی در دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۲

زهره ابراهیمی خوسفی^{۱*}، عباسعلی ولی^۲، رضا قضاوی^۳ و محمد خسروشاهی^۴

چکیده

در پژوهش حاضر، میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی و حجم ذخایر آبی آبخوان‌های کوهپایه سگری و مهیار جنوبی طی سال‌های ۱۳۷۰-۷۱ تا ۱۳۹۱-۹۲ مورد بررسی قرار گرفت. بدین‌منظور، متوسط سطح تراز ایستابی آبخوان‌ها با استفاده از روش تیسن محاسبه شد. از مقادیر به‌دست آمده، برای محاسبه میانگین سطح تراز ایستابی در محدوده غربی تالاب گاوخونی استفاده شد. سپس، تغییرات سطح ایستابی، تغییرات حجم ذخیره آبخوان‌ها و همچنین متوسط تغییرات پارامترهای مذکور برای نواحی غربی محدوده تالاب محاسبه شد. روند تغییرات سطح ایستابی با استفاده از آزمون من‌کندال مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، به منظور تعیین اثرپذیری تالاب از آبخوان‌های اطراف و یا اثرگذار بودن آن بر آبخوان‌ها، اقدام به انجام عملیات میدانی و تهیه نقشه سطح تراز ایستابی شد. نتایج نشان داد که سطح ایستابی آبخوان کوهپایه سگری و مهیار جنوبی تا پایان دوره آماری مورد مطالعه به ترتیب $2/75$ و $12/83$ متر و حجم ذخایر آبی آبخوان‌های مذکور حدود 160 و 300 میلیون مترمکعب کاهش یافته است. به طور کلی، متوسط سطح تراز ایستابی محدوده تالاب گاوخونی در این مدت به اندازه $7/8$ متر و متوسط حجم ذخایر آبخوان‌ها 229 میلیون مترمکعب کاهش داشته است. نتایج حاصل از بررسی آزمون من‌کندال نیز کاهش معنی‌دار سطح تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های محدوده مطالعاتی را در این بازه زمانی نشان داد. همچنین، نتایج نشان داد که تالاب گاوخونی نقش تغذیه‌کنندگی برای آبخوان‌های اطراف خود داشته است.

واژه‌های کلیدی: اصفهان، تیسن، کوهپایه سگری، مهیار جنوبی، من‌کندال.

ارجاع: ابراهیمی خوسفی ز. ولی ع. قضاوی ر. و خسروشاهی م. ۱۳۹۸. بررسی میزان تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخایر آبی آبخوان‌های غربی تالاب گاوخونی در دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۲. مجله پژوهش آب ایران. ۳۵: ۱۱۳-۱۲۳.

۱- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت.

۲- دانشیار گروه بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان.

۳- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان.

۴- دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران

* نویسنده مسئول: zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

تاریخ پذیرش: 1397/10/27

تاریخ دریافت: 1397/01/29

مقدمه

یکی از منابع مهم تأمین آب در بخش‌های کشاورزی، شرب، صنعت و حیات وحش به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب‌های زیرزمینی هستند (قضاوی و ابراهیمی، ۲۰۱۵) که در برابر آلودگی، تغییرات اقلیمی و به‌ویژه بهره‌برداری‌های بی‌رویه آسیب‌پذیرند (دی و همکاران، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر، تقاضا برای استفاده از آب زیرزمینی به منظور اهداف کشاورزی در ایران و از جمله در حوضه زاینده‌رود رو به افزایش است که این امر منجر به افزایش برداشت آب‌های زیرزمینی شده است. تجزیه و تحلیل تغییرات سطح آب زیرزمینی و بررسی روند تغییرات آنها می‌تواند مبنای خوبی برای توسعه پایدار، مصرف و مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی باشد (گیبرایلا و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات متعددی در زمینه بررسی و ارزیابی روند تغییرات منابع آبی صورت گرفته است؛ به طوری که کاهش و همکاران (۲۰۱۸)، اثر تغییر اقلیم را بر تغییرات سطح آب زیرزمینی و جریان پایه در حوضه تاکزی اتیوپی مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی، کاهش معنی‌دار روند تغییرات بارندگی و افزایش معنی‌دار پارامترهای درجه حرارت و تبخیر و تعرق را نشان داد. همچنین، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در اثر تغییرات اقلیمی، میزان تغذیه سفره‌های زیرزمینی و جریان پایه در این حوضه کاهش یافته است. مک و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش‌های غیرپارامتریک، تغییرات سطح آب زیرزمینی را در حوضه کابل افغانستان مورد بررسی قرار دادند و نتایج بررسی آنها کاهش سطح منابع آب زیرزمینی این حوضه را به اثبات رساند. در مطالعه کاکولکی و اسلامی (۱۳۹۶) در زمینه بررسی تغییرات کمی و کیفی آبخوان میان آب شوشتر، نبود تغییرات چشمگیر در وضعیت پارامترهای کیفی آبخوان و افزایش حجم ذخایر آب زیرزمینی به میزان ۹/۰۷ میلیون مترمکعب به اثبات رسید. مهري و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی روند تغییرات کیفی و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دو دشت تسوج و شیرامین در حوضه دریاچه ارومیه نشان دادند که کیفیت آب هر دو دشت از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ کاهش یافته است. همچنین، نتایج بررسی آنها نشان داد که سطح ایستابی آبخوان تسوج به طور متوسط ۱۸ سانتی‌متر و حجم ذخایر آبی آبخوان، ۱/۲۷ میلیارد مترمکعب کاهش داشته است؛ این در حالی

است که آبخوان دشت شیرامین سالانه یک سانتی‌متر افزایش سطح و ۰/۰۰۶ مترمکعب افزایش حجم داشته است. در تحلیل هیدروکلیماتولوژی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه بر اساس مؤلفه‌های دما، بارش، سطح ایستابی و دبی رودخانه‌ها در طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۱، روند افزایش دما از سال ۱۹۹۳، کاهش دبی رودخانه‌ها و بارش از سال ۱۹۹۴، روند افزایشی ارتفاع سطح ایستابی و روند کاهشی سطح آب دریاچه ارومیه با تأخیر چهار ساله از سال ۱۹۹۸ گزارش شده است (یاراحمدی، ۱۳۹۳). فلاح و همکاران (۱۳۹۱) تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس را در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۳ و تغییرات کیفی آن را در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۸ مور بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که متوسط افت آب زیرزمینی در این دوره آماری ۲۷/۲ متر بوده و میزان شوری، قلیایی‌بودن و نیترات از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ افزایش یافته است. شاهی‌دشت و عباس‌نژاد (۱۳۸۹) با بررسی آثار زیست‌محیطی افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت زرنند به این نتیجه رسیدند که سطح آب زیرزمینی دشت زرنند به دلیل برداشت زیاد، همه ساله دارای افت است و پمپاژ بیش از حد از سفره آب زیرزمینی این دشت منجر به کاهش حجم ذخایر آبی، افزایش اجباری عمق چاه‌ها، خشک‌شدن منابع آبی، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، نشست زمین و ایجاد درز و شکاف در سطح زمین و ابنیه و خسارت به تأسیسات و خشک‌شدن مزارع و باغات شده است. از این‌رو، با توجه به اهمیت زیاد منابع آب زیرزمینی، به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک و با توجه به اینکه آگاهی از وضعیت این منابع ارزشمند که خود مستلزم داشتن شناخت کافی در مورد تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در یک دوره زمانی مشخص است و در مقوله‌های مدیریتی می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان بخش آب کمک شایانی نماید، در پژوهش حاضر، روند تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخایر آب زیرزمینی آبخوان‌های اطراف تالاب گاوخونی در بازه زمانی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۹۲-۱۳۹۱ و همچنین، نقش اثرپذیری و یا اثرگذاربودن تالاب بر آبخوان‌های منتهی به آن مورد بررسی گرفته است.

موقعیت منطقه مطالعاتی

مناطق مورد بررسی در تحقیق حاضر، آبخوان‌های کوهپایه سگزی و مهیار جنوبی هستند که در نواحی غربی تالاب گاوخونی در استان اصفهان واقع شده‌اند. در انتهایی‌ترین قسمت حوضه زاینده‌رود، زیرحوضه گاوخونی قرار گرفته است که در مرکز آن تالاب نسبتاً وسیع به مساحت ۴۱۷/۷ کیلومتر مربع قرار دارد. آبخوان کوهپایه سگزی با مساحتی معادل ۲۷۹۷ کیلومتر مربع در شرق حوضه زاینده‌رود و بین طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و آبخوان مهیار جنوبی با مساحتی معادل ۸۵۰ کیلومتر مربع در شرق تالاب گاوخونی و بین طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه تا ۳۲ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی واقع شده است. متوسط ارتفاع منطقه مطالعاتی از سطح دریا ۱۵۲۶ متر، متوسط بارندگی و دمای سالانه برای دوره آماری ۴۰ ساله (۹۱-۱۳۵۱) به ترتیب ۹۰/۳ میلی‌متر و ۱۹/۰۳ درجه سانتی‌گراد است (ولی و همکاران، ۱۳۹۵). موقعیت آبخوان‌های مطالعاتی و چاه‌های پیژومتر در شکل ۱ نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

مراحل انجام تحقیق حاضر به طور مفصل در زیر توضیح داده شده است.

الف - انتخاب دوره مشترک آماری

برای بررسی روند تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخایر آبی آبخوان‌های واقع در اطراف تالاب گاوخونی، ابتدا لایه اطلاعاتی مرز آبخوان‌ها و اطلاعات مربوط به سطح تراز ایستابی چاه‌های پیژومتر موجود در آن‌ها از شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان دریافت شد و پس از بررسی اطلاعات دریافت‌شده، مشخص شد که چهار آبخوان گاوخونی، کوهپایه سگزی، مهیار جنوبی و اسفنداران در محدوده مطالعاتی واقع شده‌اند. به استثنای آبخوان گاوخونی، سایر آبخوان‌ها دارای چاه پیژومتر هستند (شکل ۱). برای انتخاب پایه زمانی مشترک، آمار چاه‌های پیژومتر مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که سه آبخوان کوهپایه سگزی، مهیار جنوبی و اسفنداران دارای ۶۹ حلقه چاه با دوره آماری مشترک ۱۷ ساله، تعداد ۴۷ حلقه چاه با دوره آماری مشترک ۲۲ ساله، تعداد ۲۲ حلقه چاه با دوره آماری مشترک ۲۷ ساله و تعداد ۱۰ حلقه چاه با دوره آماری مشترک ۳۲ ساله هستند. با بررسی وضعیت پراکنش چاه‌ها و اطلاعات موجود، بازه زمانی (۷۱-۱۳۷۰) تا (۹۲-۱۳۹۱) برای پردازش داده‌های سطح تراز ایستابی آبخوان‌ها انتخاب شد. چاه‌های منتخب در دو آبخوان کوهپایه-سگزی و مهیار جنوبی واقع شده‌اند و از آمار چاه‌های موجود در آبخوان اسفنداران به دلیل کوتاه بودن دوره آماری و نواقص زیاد آماری صرف نظر شد.

ب - محاسبه میانگین سطح تراز ایستابی

متوسط سطح تراز ایستابی در مقیاس ماهانه و سالانه برای هر آبخوان با استفاده از روش تیسن محاسبه شد. سپس، میانگین مقادیر متوسط سطح تراز ایستابی به دست آمده از آبخوان‌های کوهپایه-سگزی و مهیار جنوبی به عنوان میانگین سطح تراز ایستابی محدوده تالاب گاوخونی در دوره آماری ۲۲ ساله ثبت شد. در مرحله بعد، تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخیره آبخوان‌های کوهپایه سگزی و مهیار جنوبی و همچنین متوسط تغییرات پارامترهای مذکور برای محدوده تالاب محاسبه شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی چاه‌های پیژومتر و آبخوان‌های مطالعاتی

$$\hat{Z} = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \{n(n-1)(2n+5)\} \quad (4)$$

با استفاده از S آزمون من‌کندال، مقدار τ کندال با استفاده از معادله (5) به دست می‌آید. آزمون معنی‌داری بر اساس این آماره‌ی جدید، همانند آماره‌ی S روش من‌کندال است.

$$t = \frac{S}{\frac{1}{2}(n(n-1))} \quad (5)$$

در صورتی که وجود روند در سری‌های متغیر موردنظر بر اساس آزمون من‌کندال و یا کندال معنی‌دار باشد، جزء روند باید از سری حذف شود که استفاده از تفاضل در این سری‌ها، باعث حذف جزء روند در سری خواهد شد.

$$U_t = X_t - X_{t-w} \quad (6)$$

در این معادله X ، سری زمانی برای پارامتر موردنظر و X_{t-w} نشانگر تأخیر زمانی در تفاضل است. برای رسیدن به ایستایی، تفاضلات می‌تواند چندین بار تکرار شود.

د- محاسبه تغییرات حجم ذخایر آبخوان

میانگین تغییر حجم ذخیره آبی آبخوان در هر سال از حاصل ضرب میانگین تغییر سطح ایستایی آبخوان در همان سال در وسعت و متوسط ضریب ذخیره آبخوان محاسبه شد.

ه- تهیه نقشه سطح تراز ایستایی آبخوان‌ها

به منظور تحلیل اثرپذیری تالاب از آبخوان‌های اطراف و یا اثرگذار بودن آن بر آبخوان‌های منتهی به آن، نقشه سطح تراز ایستایی آبخوان‌های واقع در نواحی غربی تالاب گاوخونی تهیه شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به بررسی متوسط سطح تراز ایستایی آبخوان‌های کوهپایه سگری و مهیار جنوبی در دوره آماری مورد مطالعه با استفاده از روش تیسن در شکل ۱ و مقادیر متوسط سطح تراز ایستایی منطقه مطالعاتی حاصل از روش میانگین‌گیری در شکل ۲ ارائه شده است.

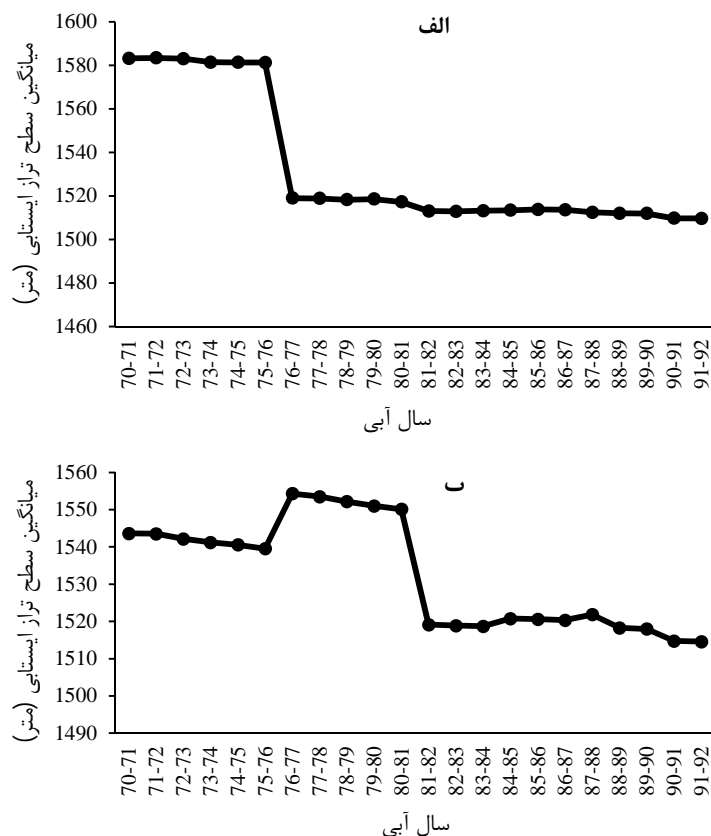
ج- بررسی روند تغییرات سطح ایستایی

در تحقیق حاضر، ابتدا خودهمبستگی بین داده‌های متوسط سطح تراز ایستایی با استفاده از روش پیش‌سفیدکردن^۱ که توسط وان استورچ در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است، حذف شد. پس از حصول اطمینان از نبود خودهمبستگی بین داده‌ها با استفاده از آزمون فیلیپس پرون^۲ ($p\text{-value} < 0.05$)، آزمون من‌کندال روی مقادیر متوسط سطح ایستایی بدون روند اجرا شد. این آزمون، ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه داده شده است. این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کارگرفته شده است. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شود، نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (تورگای و ارکان، ۲۰۰۵). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. در روش من‌کندال، فرض بر این است که یک سری زمانی به صورت x_1, x_2, \dots, x_n وجود دارد. آماره آزمون من‌کندال با استفاده از معادله (۱) محاسبه می‌شود که در این رابطه z و k ، شماره مشاهدات هستند و تابع علامت $\text{sgn}(x)$ به صورت معادله (۲) تعریف می‌شود.

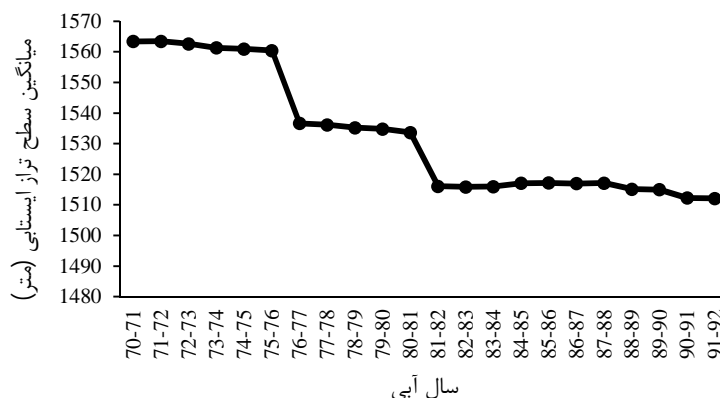
$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j + x_k) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

بر اساس این آزمون، در صورتی که مقدار S اختلاف معنی‌داری با صفر نداشته باشد، روند وجود ندارد و در غیر این صورت روند، صعودی و یا نزولی خواهد بود. برای آزمون معنی‌دار بودن روند، از متغیر Z نرمال استاندارد طبق معادله (۳) استفاده می‌شود (من، ۱۹۴۵). فرض صفر (H_0) در آزمون من‌کندال نبود روند و فرض H_1 وجود روند است.



شکل ۱- مقادیر متوسط سطح تراز ایستابی در (الف) آبخوان کوهپایه - سگزی (متر)؛ (ب) مهیار جنوبی (متر)



شکل ۲- مقادیر متوسط سطح تراز ایستابی منطقه مطالعاتی (متر)

استان اصفهان، متوسط ضریب ذخیره و وسعت آبخوان کوهپایه سگزی (۰/۰۲ و ۲۹۰۷ کیلومترمربع) است که در محاسبات مربوط به برآورد حجم ذخایر آبی آبخوان لحاظ شده است.

نتایج حاصل از بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد که گرچه در سال‌های ۷۲-۱۳۷۱، ۸۲-۱۳۸۱ تا ۸۶-۱۳۸۵، ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ میزان تغذیه آبخوان کوهپایه سگزی

نتایج حاصل از بررسی نمودارهای بالا، بیانگر کاهش کلی سطح تراز آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های منطقه مطالعاتی است. نتایج حاصل از پردازش داده‌های مربوط به وضعیت آبخوان کوهپایه سگزی و نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهپایه-سگزی به‌ترتیب در جدول ۱ و شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات دریافت شده از شرکت آب منطقه‌ای

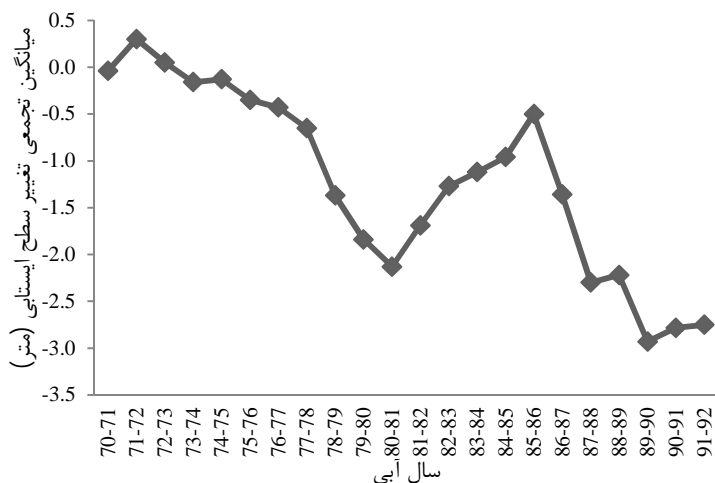
جنوبی (۰/۱۳ و ۱۷۹۵ کیلومتر مربع) است که در محاسبات مربوط به برآورد حجم ذخایر آبی آبخوان لحاظ شده است.

بررسی نتایج مندرج در جدول ۲ و شکل ۴ نشان می‌دهد که سطح تراز ایستابی آبخوان مهیار جنوبی به استثنای سال ۸۶-۱۳۸۵ سیر نزولی داشته است. میزان افت سطح تراز ایستابی آبخوان ۱۲/۸۳ متر و متوسط افت سطح ایستابی در این آبخوان ۰/۵۷ متر در سال بوده است. حجم ذخایر آبی آبخوان مهیار جنوبی به طور متوسط ۱۳/۶ مترمکعب در سال و در مجموع حدود ۳۰۰ میلیون مترمکعب افت کرده است. متوسط تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخیره آبی آبخوان‌های محدوده تالاب (جدول ۳) و نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی (شکل ۵) در ادامه ارائه شده است.

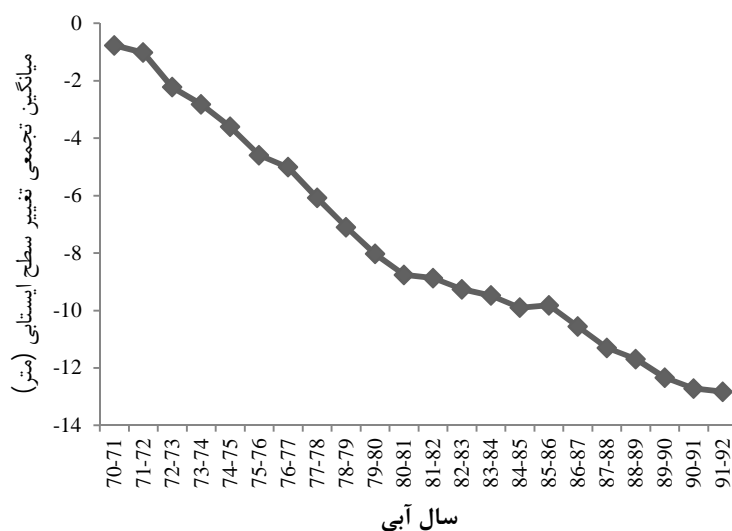
بیشتر از میزان تخلیه از آن بوده است؛ اما سطح تراز ایستابی این آبخوان در بیشتر سال‌های آماری مورد مطالعه دارای سیر نزولی بوده است (نمودار ۳)؛ به طوری که سطح ایستابی آبخوان تا پایان دوره آماری مورد مطالعه ۲/۷۵ متر افت داشته است. متوسط افت سطح ایستابی در این آبخوان ۰/۱۲ متر در سال برآورد شده است. در واقع، در مدت زمان ۲۲ سال حجم ذخایر آبی آبخوان کوهپایه سگزی به طور متوسط ۷/۳ میلیون مترمکعب در سال و در مجموع حدود ۱۶۰ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. نتایج حاصل از پردازش داده‌های مربوط به وضعیت آبخوان مهیار جنوبی و نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهپایه-سگزی به ترتیب در جدول ۲ و شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات دریافت شده از شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، متوسط ضریب ذخیره و وسعت آبخوان مهیار

جدول ۱- تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخیره آبخوان کوهپایه سگزی

سال آبی	میانگین تغییر سطح ایستابی آبخوان (متر)	میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان (متر)	میانگین تغییر حجم آبخوان (میلیون مترمکعب)	میانگین تجمعی تغییر حجم آبخوان (میلیون مترمکعب)
۷۰-۷۱	-۰/۰۴	-۰/۰۴	-۲/۳۳	-۲/۳۳
۷۱-۷۲	-۰/۳۴	۰/۳	۱۷/۴۴	۱۷/۴۴
۷۲-۷۳	-۰/۲۵	-۰/۰۵	۲/۹۱	-۱۴/۵۴
۷۳-۷۴	-۰/۲۱	-۰/۱۶	-۹/۳۰	-۱۲/۲۱
۷۴-۷۵	-۰/۰۳	-۰/۱۳	-۷/۵۶	۱/۷۴
۷۵-۷۶	-۰/۲۲	-۰/۳۵	-۲۰/۳۵	-۱۲/۷۹
۷۶-۷۷	-۰/۰۸	-۰/۴۳	-۲۵	-۴/۶۵
۷۷-۷۸	-۰/۲۲	-۰/۶۵	-۳۷/۷۹	-۱۲/۷۹
۷۸-۷۹	-۰/۷۲	-۱/۳۷	-۷۹/۶۵	-۴۱/۸۶
۷۹-۸۰	-۰/۴۷	-۱/۸۴	-۱۰۶/۹۸	-۲۷/۳۳
۸۰-۸۱	-۰/۲۹	-۲/۱۳	-۱۲۳/۸۴	-۱۶/۸۶
۸۱-۸۲	-۰/۴۴	-۱/۶۹	-۹۸/۲۶	۲۵/۵۸
۸۲-۸۳	-۰/۴۲	-۱/۲۷	-۷۳/۸۴	۲۴/۴۲
۸۳-۸۴	-۰/۱۵	-۱/۱۲	-۶۵/۱۲	۸/۷۲
۸۴-۸۵	-۰/۱۶	-۰/۹۶	-۵۵/۸۱	۹/۳۰
۸۵-۸۶	-۰/۴۶	-۰/۵	-۲۹/۰۷	۲۶/۷۴
۸۶-۸۷	-۰/۸۶	-۱/۳۶	-۷۹/۰۷	-۵۰
۸۷-۸۸	-۰/۹۴	-۲/۳	-۱۳۳/۷۲	-۵۴/۶۵
۸۸-۸۹	-۰/۰۸	-۲/۲۲	-۱۲۹/۰۷	۴/۶۵
۸۹-۹۰	-۰/۷۱	-۲/۹۳	-۱۷۰/۳۷	-۴۱/۳۰
۹۰-۹۱	-۰/۱۵	-۲/۷۸	-۱۶/۱/۸	۸/۵۷
۹۱-۹۲	-۰/۰۳	-۲/۷۵	-۱۵۹/۹	۱/۹۱
متوسط سالانه	-۰/۱۲	-۷/۲۷		



شکل ۳- میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهپایه-سگری



شکل ۴- میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان مهیار جنوبی

جدول ۲- تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخیره آبخوان مهیار جنوبی

سال آبی	میانگین تغییر سطح ایستابی آبخوان (متر)	میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان (متر)	میانگین تغییر حجم آبخوان (میلیون مترمکعب)	میانگین تجمعی تغییر حجم آبخوان (میلیون مترمکعب)
۷۰-۷۱	-۰/۷۷	-۰/۷۷	-۱۷/۹۷	-۱۷/۹۷
۷۱-۷۲	-۰/۲۵	-۱/۰۲	-۵/۸۳	-۲۳/۸
۷۲-۷۳	-۱/۲	-۲/۲۲	-۲۸	-۵۱/۸
۷۳-۷۴	-۰/۶	-۲/۸۲	-۱۴	-۶۵/۸
۷۴-۷۵	-۰/۷۸	-۳/۶	-۱۸/۲	-۸۴/۰۱
۷۵-۷۶	-۰/۹۹	-۴/۵۹	-۲۳/۱	-۱۰۷/۱۱
۷۶-۷۷	-۰/۴۲	-۵/۰۱	-۹/۸	-۱۱۶/۹۱
۷۷-۷۸	-۱/۰۷	-۶/۰۸	-۲۴/۹۷	-۱۴۱/۸۸
۷۸-۷۹	-۱/۰۲	-۷/۱	-۲۳/۸	-۱۶۵/۶۸
۷۹-۸۰	-۰/۹۳	-۸/۰۳	-۲۱/۷	-۱۸۷/۳۸
۸۰-۸۱	-۰/۷۳	-۸/۷۶	-۱۷/۰۳	-۲۰۴/۴۱
۸۱-۸۲	-۰/۱۱	-۸/۸۷	-۲/۵۷	-۲۰۶/۹۸

ادامه جدول ۲-

سال آبی	میانگین تغییر سطح ایستابی آبخوان (متر)	میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان (متر)	میانگین تغییر حجم آبخوان (میلیون مترمکعب)	میانگین تجمعی تغییر حجم آبخوان (میلیون مترمکعب)
۸۲-۸۳	-۰/۳۹	-۹/۲۶	-۹/۱	-۲۱۶/۰۸
۸۳-۸۴	-۰/۲۲	-۹/۴۸	-۵/۱۳	-۲۲۱/۲۲
۸۴-۸۵	-۰/۴۲	-۹/۹۰	-۹/۸	-۲۳۱/۰۲
۸۵-۸۶	-۰/۰۸	-۹/۸۲	۱/۸۷	-۲۲۹/۱۵
۸۶-۸۷	-۰/۷۴	-۱۰/۵۶	-۱۷/۲۷	-۲۴۶/۴۲
۸۷-۸۸	-۰/۷۴	-۱۱/۳۰	-۱۷/۲۷	-۲۶۳/۷
۸۸-۸۹	-۰/۳۹	-۱۱/۶۹	-۹/۱	-۲۷۲/۸
۸۹-۹۰	-۰/۶۵	-۱۲/۳۴	-۱۵/۱۶	-۲۸۷/۹۵
۹۰-۹۱	-۰/۳۸	-۱۲/۷۲	-۸/۸۱	-۲۹۶/۷۵
۹۱-۹۲	-۰/۱۱	-۱۲/۸۳	-۲/۶۳	-۲۹۹/۳۸
متوسط سالانه	-۰/۵۸		-۱۳/۶۱	

جدول ۳- متوسط تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخیره آبی آبخوان‌های محدوده تالاب

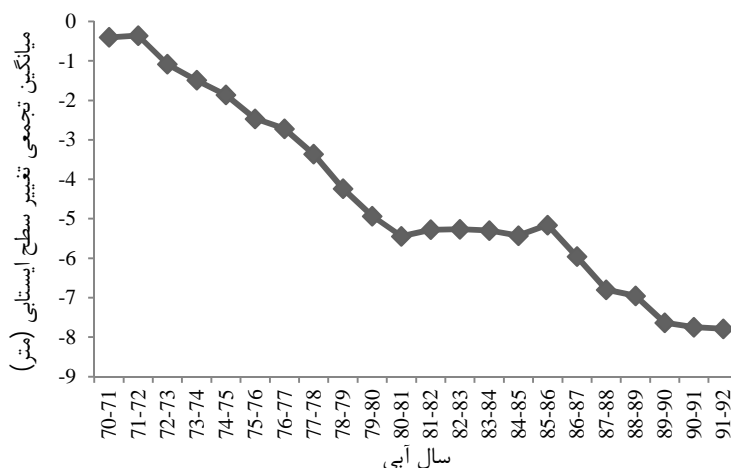
سال آبی	میانگین تغییر سطح ایستابی آبخوان (متر)	میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان (متر)	میانگین تغییر حجم آبخوان (میلیون مترمکعب)	میانگین تجمعی تغییر حجم آبخوان (میلیون مترمکعب)
۷۰-۷۱	-۰/۴	-۰/۴	-۱۰/۱۵	-۱۰/۱۵
۷۱-۷۲	-۰/۴	-۰/۳۶	۶/۹۷	-۳/۱۸
۷۲-۷۳	-۰/۷۲	-۱/۰۹	-۲۱/۲۷	-۲۴/۴۵
۷۳-۷۴	-۰/۴	-۱/۴۹	-۱۳/۱۱	-۳۷/۵۵
۷۴-۷۵	-۰/۳۸	-۱/۸۶	-۸/۲۳	-۴۵/۷۸
۷۵-۷۶	-۰/۶۱	-۲/۴۷	-۱۷/۹۵	-۶۳/۷۳
۷۶-۷۷	-۰/۲۵	-۲/۷۲	-۷/۲۳	-۷۰/۹۵
۷۷-۷۸	-۰/۶۴	-۳/۳۶	-۱۸/۹	-۸۹/۸۳
۷۸-۷۹	-۰/۸۷	-۴/۲۳	-۳۲/۸۳	-۱۲۲/۶۷
۷۹-۸۰	-۰/۷	-۴/۹۳	-۲۴/۵۱	-۱۴۷/۱۸
۸۰-۸۱	-۰/۵۱	-۵/۴۴	-۱۶/۹۵	-۱۶۴/۱۳
۸۱-۸۲	-۰/۱۶	-۵/۲۸	۱۱/۵۱	-۱۵۲/۶۲
۸۲-۸۳	-۰/۰۲	-۵/۲۶	۷/۶۶	-۱۴۴/۹۶
۸۳-۸۴	-۰/۰۴	-۵/۳۰	۱/۸	-۱۴۳/۱۷
۸۴-۸۵	-۰/۱۳	-۵/۴۳	-۰/۲۵	-۱۲۹/۱۱
۸۵-۸۶	-۰/۲۷	-۵/۱۶	۱۴/۳	-۱۶۲/۷۴
۸۶-۸۷	-۰/۱۸	-۵/۹۶	-۳۲/۶	-۱۹۸/۷
۸۷-۸۸	-۰/۸۴	-۶/۸۰	-۳۵/۹۶	-۲۰۰/۹
۸۸-۸۹	-۰/۱۶	-۶/۹۵	-۲/۲۲	-۲۲۹/۱۶
۸۹-۹۰	-۰/۶۸	-۷/۶۴	-۲۸/۲۳	-۲۲۹/۲۷
۹۰-۹۱	-۰/۱۱	-۷/۷۵	-۰/۱۲	-۲۲۹/۶۳
۹۱-۹۲	-۰/۰۴	-۷/۷۹	-۰/۳۶	
متوسط سالانه	-۰/۳۵		-۱۰/۴۴	

سیر نزولی داشته است؛ اما شیب افت سطح آب در سال‌های ۸۱-۱۳۸۰ تا ۸۵-۱۳۸۴ ملایم‌تر بوده است و دلیل آن هم بالاتر بودن میزان تغذیه آبخوان کوهپایه-سگری در سال‌های مذکور می‌باشد. به طور کلی، متوسط

نتایج حاصل از بررسی متوسط وضعیت پارامترهای دو آبخوان مذکور به‌عنوان تغییرات سطح تراز ایستابی و حجم ذخیره آبی محدوده تالاب (جدول ۳) و شکل ۵ نشان می‌دهد که سطح تراز ایستابی در بازه زمانی مورد مطالعه

سالانه افت سطح تراز ایستایی محدوده تالاب ۰/۳۵ متر در سال بوده است؛ بدین معنی که در بازه زمانی مورد مطالعه حجم ذخایر آبی معادل ۱۰/۴ میلیون مترمکعب در سال کاهش یافته است. در مجموع، میزان افت سطح تراز ایستایی و کاهش حجم ذخایر آبی محدوده تالاب گاوخونی

۷/۸ متر و ۲۲۹ میلیون مترمکعب برآورد شده است. نتایج حاصل از آزمون من‌کنندال نیز نشان داد که سطح تراز ایستایی آبخوان‌های منتهی به تالاب و یا به عبارتی حجم ذخایر آب زیرزمینی محدوده تالاب در دوره آماری مورد مطالعه، دارای روند کاهشی معنی‌داری است (جدول ۴).



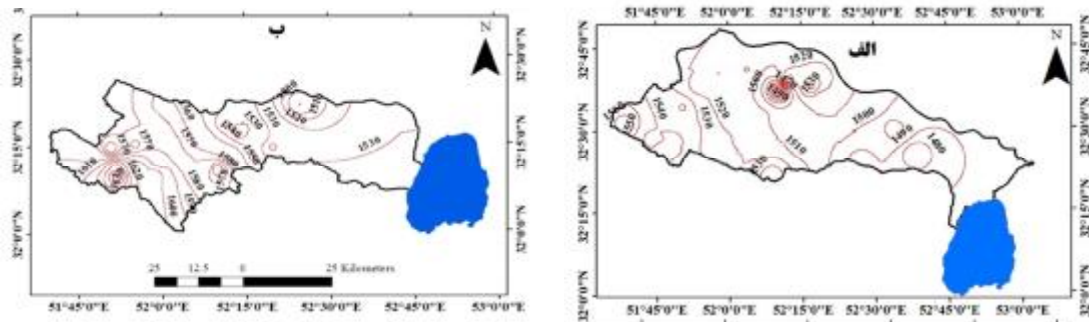
شکل ۵- میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی

جدول ۴- مقادیر آماره آزمون من‌کنندال (Z) پارامتر تغییر سطح تراز ایستایی

ماه	آبخوان کوهپایه سگری		آبخوان مهباز جنوبی		منطقه مطالعاتی	
	Z	سطح معنی داری	Z	سطح معنی داری	Z	سطح معنی داری
مهر	-۵/۳۳	***	-۳/۸۳	***	-۵/۳	***
آبان	-۵/۳۰	***	-۳/۹۵	***	-۵/۳۶	***
آذر	-۵/۳۰	***	-۳/۹۵	***	-۵/۳۶	***
دی	-۵/۴۷	***	-۳/۹۵	***	-۵/۴۷	***
بهمن	-۵/۳۹	***	-۳/۹۵	***	-۵/۵۳	***
اسفند	-۵/۶۴	***	-۳/۸۹	***	-۵/۴۷	***
فروردین	-۵/۵۸	***	-۳/۸۶	***	-۵/۵۳	***
اردیبهشت	-۵/۶۷	***	-۳/۸۳	***	-۵/۵۸	***
خرداد	-۵/۶۴	***	-۳/۷۸	***	-۵/۵۸	***
تیر	-۵/۶۴	***	-۳/۸۹	***	-۵/۶۱	***
مرداد	-۵/۶۴	***	-۳/۸۹	***	-۵/۵۸	***
شهریور	-۵/۷۰	***	-۳/۸۶	***	-۵/۶۴	***
سالانه	-۵/۶۴	***	-۳/۹۵	***	-۵/۵۳	***

واقع شده است، نیاز دارد. بدین منظور، نقشه سطح تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های کوهپایه-سگری و مهباز جنوبی در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 تهیه شد (شکل ۲).

به نظر می‌رسد علاوه بر خشکسالی‌های اخیر، افت شدید سفره‌های آب زیرزمینی محدوده تالاب نیز در این بازه زمانی بر خشکیدگی تالاب گاوخونی اثر داشته است که تأیید این ادعا، به بررسی وضعیت آبخوانی که تالاب در آن



شکل ۲- الف) نقشه سطح تراز آب زیرزمینی آبخوان کوهپایه - سگزی، ب) آبخوان مهیار جنوبی در غرب تالاب گاوخونی

زیرا با افزایش شیب هیدرولیکی، سرعت تخلیه آب‌های زیرزمینی افزایش یافته و به تبع آن، زه‌آب‌های سطحی به محض ورود به تالاب با سرعت بیشتری در زمین نفوذ کرده و رطوبت کمتری در سطح تالاب باقی مانده است و بر میزان سطح خشکیده تالاب و شوره‌زارها افزوده می‌شود. بررسی مطالعات گذشته نیز حاکی از کاهش سطح منابع آب زیرزمینی در نواحی مختلف ایران و جهان دارد که می‌تواند مؤید نتایج تحقیق حاضر باشد.

نتیجه‌گیری

با عنایت به مشکلات مرتبط با خشکی رودخانه زاینده‌رود و نیز اکوسیستم تالاب بین‌المللی گاوخونی، ادامه روند کنونی و انجام ندادن اقدامات جدی و عملی برای کاهش روند برداشت آب‌های زیرزمینی در این منطقه می‌تواند منجر به تشدید آثار نامطلوب زیست‌محیطی، افزایش وسعت شوره‌زارها در اطراف تالاب، افزایش تولید ریزگردهای شور، آسیب به اراضی کشاورزی محدوده مطالعاتی و دیگر آسیب‌های زیست‌محیطی و اجتماعی شود. از این‌رو، برای تشخیص دقیق‌تر و بهتر دیگر عوامل ایجادکننده ناپایداری در منطقه مطالعاتی و جلوگیری از پیامدهای ناشی از آن، کسب اطلاع از وضعیت تعداد چاه‌های مجاز و غیرمجاز و میزان برداشت و تغذیه آن‌ها در دوره آماری مورد مطالعه، توقف و مدیریت طرح‌های برداشت و پمپاژ آب از چاه‌های غیرمجاز موجود در آبخوان‌های کوهپایه - سگزی و مهیار جنوبی، مدیریت برداشت از سایر چاه‌های محدوده مطالعاتی و همچنین بررسی نوسانات دوره‌ای رودخانه زاینده‌رود و تأثیر آن بر تغییرات رطوبتی بستر تالاب گاوخونی و وضعیت آبخوان‌های اطراف آن پیشنهاد می‌شود و چنانچه توجهی به این زیستگاه ارزشمند نشود، در آینده‌ای نزدیک این

با توجه به نقشه سطح تراز ایستابی مشخص شد که جهت حرکت آب زیرزمینی از آبخوان‌های محدوده تالاب به سمت تالاب است. اما با توجه به مشخص نبودن سطح تراز ایستابی آبخوان گاوخونی به دلیل نبود چاه‌های پیژومتر، تعیین نقش اثرپذیری تالاب از آبخوان‌های اطراف و یا اثرگذار بودن آن بر آبخوان‌های منتهی به آن امکان‌پذیر نیست؛ از این‌رو، از مشاهدات میدانی برای تحلیل نتایج استفاده شد. بر اساس مطالعات میدانی مشخص شد که در برخی از رخساره‌های نزدیک تالاب نظیر رخساره حاشیه مرطوب، سطح ایستابی آب بسیار بالاست؛ به طوری که با برداشت خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متر، سطح آب زیرزمینی قابل رؤیت است. بنابراین، با در نظر گرفتن عمق رسوبات تالاب (کمتر از ۲۰ متر) و فرض اینکه سطح سفره در برخی از نقاط در عمق ۲۰ متر واقع شده باشد و از طرفی، به دلیل وجود چاه‌های بسیار عمیق خشک شده (بیش از ۱۰۰ متر) در آبخوان‌های اطراف تالاب می‌توان این‌گونه استدلال کرد که جهت حرکت آب زیرزمینی حتی در مواقعی که سطح ایستابی در چاه‌های اطراف تالاب بالا باشد نیز نمی‌تواند از آبخوان‌های اطراف به سمت تالاب باشد. بنابراین، به نظر می‌رسد آنچه در این بازه زمانی تغییر کرده است، مقدار شیب هیدرولیکی جریان آب زیرزمینی باشد؛ نه جهت حرکت جریان آب‌های زیرزمینی. در واقع، تالاب گاوخونی توسط آبخوان‌های اطراف خود تغذیه نمی‌شود؛ بلکه نقش تغذیه‌کننده برای آبخوان‌های محدوده خود دارد و این امر باعث شده که جهت حرکت آب زیرزمینی از آبخوان تالاب به سمت آبخوان‌های اطراف باشد. به عبارت دیگر، می‌توان این‌گونه استدلال کرد که در اثر افت شدید سطح تراز چاه‌های اطراف تالاب، شیب هیدرولیکی جریان نیز شدیدتر شده و در نتیجه در سال‌های اخیر، تالاب با سرعت بیشتری تخلیه شده است؛

- in an arid environment using DRASTIC and GOD models. *International journal of environmental science and technology*. 12(9): 2909-2918.
9. Gibrilla A. Anornu G. and Adomako D. 2018. Trend analysis and ARIMA modelling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*. 6: 150-163.
 10. Khasay K. D. Pingale S. M. and Hatiye S. D. 2018. Impact of climate change on groundwater recharge and base flow in the sub-catchment of Tekeze basin, Ethiopia. *Groundwater for Sustainable Development*. 6: 121-133.
 11. Kendall M. G. 1975. Rank Correlation Methods, 4th ed, Charles Griffin: London
 12. Mack T. J. Chornack M. P and Taher M. R. 2013. Groundwater-level trends and implications for sustainable water use in the Kabul Basin, Afghanistan. *Environment Systems and Decisions*. 33(3): 457-467.
 13. Mann H. B. 1945. Non-parametric test against trend, *Econometrica*. 13: 245-259
 14. Turgay P. and Ercan k. 2005. Trend analysis in turkish precipitation data. *Hydrological processes published online in wiley interscience (www.Interscience.Wiley.com)*
 15. Von Storch H. 1995. Misuses of statistical analysis in climate research. In: *Analysis of Climate Variability: Appli. Statis. Techn., Springer-Verlag: Berlin*, Chapter 2, pp: 11-26.
- اکوسیستم منحصربه‌فرد برای همیشه به خطررها خواهد پیوست. امید آن که با ارائه‌ی روش‌های مدیریتی مناسب و مطلوب، راهکارهای مؤثری برای حفظ این زیستگاه با ارزش اندیشیده شود.
- ### منابع
۱. کاکولکی م. و اسلامی ح. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات کمی و کیفی آبخوان میان آب شوشتر بعد از احداث شبکه آبیاری و زهکشی. فصلنامه علمی- تخصصی مهندسی آب. ۵(۱): ۴۶-۶۰.
 ۲. مهری س. آل‌شیخ ع. ا. و جوادزاده ز. ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات کیفی و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه علمی پژوهشی اکوهیدرولوژی. ۲(۴): ۳۹۵-۴۰۴.
 ۳. فلاح س. قبادی‌نیا م. شکرگزار دارابی م و قربانی دشتکی ش. ۱۳۹۱. بررسی پایداری منابع آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس. نشریه پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب). ۲۶(۲): ۱۶۱-۱۷۲.
 ۴. یاراحمدی د. ۱۳۹۳. تحلیل هیدروکلیماتولوژیکی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۶(۱): ۷۷-۹۲.
 ۵. شاهی‌دشت ع. ر و عباس‌نژاد ا. ۱۳۸۹. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت زرنند و ارائه راهکارهای مدیریتی. *مجله پژوهش آب ایران*. ۴(۷): ۱۱۹-۱۲۴.
 ۶. ولی ع. ابراهیمی خوسفی ز. خسروشاهی م. و قضاوی ر. ۱۳۹۵. تعیین میزان اهمیت تاثیر پارامترهای متعدد هیدرواقليمی بر خشکيدگی تالاب گاوخونی با به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های سنجش از دور. نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان. دانشگاه کاشان. ۵(۱۲): ۷۹-۹۴.
 7. Dey N. C. Saha R. Parvez M. Bala S. K. Islam A. S. Paul J. K and Hossain M. 2017. Sustainability of groundwater use for irrigation of dry-season crops in northwest Bangladesh. *Groundwater Sustainable Development*. 4: 66-77.
 8. Ghazavi R and Ebrahimi Z. 2015. Assessing groundwater vulnerability to contamination

