

ارزیابی کیفی و کمی سفره‌های آب زیرزمینی با به‌کارگیری روش WQI و آزمون من-کندال (مطالعه موردی: دشت سرخون-استان هرمزگان)

بهزاد عادل^۱، حنا محمدی‌کنگرانی^{۲*}، امیر سعدالدین^۳، ام‌البین بذرافشان^۴، محسن آرمین^۵

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

۲. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه هرمزگان

۳. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه گرگان

۴. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه هرمزگان

۵. استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی (آبخیزداری) و پژوهشکده منابع طبیعی و زیست دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۸/۳۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۲/۰۴)

چکیده

نبود دسترسی پایدار به منابع آبی، منازعات اجتماعی و اختلالات اقتصادی را به دنبال خواهد داشت. این موضوع در حال حاضر یکی از مسائل جدی حوضه آبخیز سرخون در استان هرمزگان است. از جمله اقداماتی که برای حل این مسئله می‌تواند مفید واقع شود، بررسی روند تغییر در خصوصیات کمی و کیفی منابع آبی این حوضه است. به این منظور، از داده‌های بارندگی و داده‌های مربوط به کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی استفاده شده است. برای انجام این کار، از روش WQI به منظور تعیین کلاس کیفی آب و از آزمون من-کندال برای مشاهده روند در متغیرهای بررسی شده استفاده شده است. نتایج بیان‌کننده کاهش معنادار و قطعی کیفیت و افت تراز آب زیرزمینی در دشت سرخون است. روند به‌دست‌آمده برای افت سطح ایستابی دشت با ضریب واریانس ۰/۰۳ و آماره S من-کندال ۲۷۷- در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد معنادار گزارش می‌شود. شیب خط به‌دست‌آمده برای افت تراز و افزایش مقدار WQI، که بیان‌کننده کاهش کیفیت آب است، به ترتیب ۰/۳۳- و ۳/۴۲ بوده است. مقادیر گزارش شده برای شیب خط بیان‌کننده افت ۳۳ سانتی‌متری و افزایش ۳/۴ واحدی WQI به ازای هر سال است. در نهایت، بر اساس درک و شناخت جامع به‌دست‌آمده از شرایط منطقه مطالعه شده، اقداماتی از جمله دریافت عوارض منابع طبیعی به منظور تعادل‌بخشی به کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده پیشنهاد شده است.

کلیدواژه‌گان: آب زیرزمینی، آزمون من-کندال، تحلیل روند، دشت سرخون، روش WQI.

مقدمه

با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند کیفیت، کمیت و توزیع زمانی و مکانی منابع آبی، آب‌های زیرزمینی را می‌توان از جمله مهم‌ترین و قابل دسترس‌ترین منابع آبی قابل اطمینان قلمداد کرد. به‌رغم اهمیت راهبردی آب‌های زیرزمینی در توسعه و تکامل تمدن‌های انسانی طی دهه‌های اخیر و به‌دنبال وقایعی همچون نوسانات و تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و سطح بهداشت و بالارفتن نیازهای غذایی جامعه، منابع آبی متحمل فشار زیادی از جانب اقدامات توسعه‌ای شده است [۱]، به‌طوری که امروزه علاوه بر برداشت بیش از حد مجاز، آلوده شدن این منابع و کم شدن کیفیت آنها، امنیت غذایی، پیشرفت اقتصادی و توسعه پایدار را در کشورها با تهدیدی جدی روبه‌رو کرده است [۲-۵]. به‌طور مشخص، در کشور ایران آب‌های زیرزمینی یک‌سوم منابع آبی را شامل می‌شوند و حدود ۵۰ درصد نیازهای آبی کشور را تأمین می‌کنند [۶] و [۷]. از این‌رو، منابع آب زیرزمینی تأثیر زیادی در توسعه کشور داشته و اهمیت بسزایی برای دستیابی به اهداف چشم‌اندازهای پیش‌بینی شده دارند.

با این حال، خشک شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و کاهش حجم آبخوان‌ها از مشکلات اساسی است که امروزه کشور ایران با آن روبه‌رو است [۸]. در این میان، حوضه آبخیز سرخون به‌طور مشخص از جمله حوضه‌های آبخیز کشور ایران و استان هرمزگان است که در گذشته نزدیک به سبب داشتن نزدیک‌ترین آب شیرین به شهر بندرعباس کارکرد به‌سزایی در تأمین آب شرب شهر بندرعباس داشت. اما برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی این دشت سبب منفی شدن گرادیان هیدرولیکی دشت به‌خصوص در قسمت شرقی آن شده است [۹]. آگاهی از چگونگی تغییرات سطح آب این دشت می‌تواند به درک و شناخت بهتر و صحیح‌تر مدیران از وضعیت حال و گذشته آبخوان به منظور مدیریت صحیح حال و آینده آن کمک کند. در این میان، تحلیل زمانی تغییرات سطح ایستابی و کیفیت آب ابزار مفیدی در تعیین اندازه تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت کیفیت و کمیت سفره‌های آب زیرزمینی است. یکی از روش‌های متداول برای تحلیل متغیرهای با خصوصیات سری زمانی نظیر متغیرهای هیدرولوژیکی و اقلیمی، بررسی روند تغییرات در سری‌های زمانی این متغیرهاست. در این زمینه تحقیقات

مختلفی صورت گرفته که هر یک به فراخور انتخاب متغیر یا متغیرهای بررسی شده به نتایج متفاوتی دست یافتند. پاندا و همکارانش روند تغییرات سطح آب در ایالت اوریسای هند در ۱۰۰۲ چاه طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ را بررسی کردند. آنها برای درک آثار خشک‌سالی و ترکیب آن با فشار ناشی از بهره‌برداری منابع آب ابتدا با استفاده از روش آمار ناپارامتری من-کندال تغییرات سطح آب زیرزمینی در دوره مد نظر را محاسبه کرده و سپس با استفاده از آزمون همگنی روند تأثیر بهره‌برداری و خشک‌سالی بر سطح آب زیرزمینی را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد به علت کمبود بارندگی در سال‌های خشک؛ زیادبودن دما و فشار ناشی از بهره‌برداری و جبران نشدن آن در سال‌های مرطوب سطح آب زیرزمینی افت کرده است [۱۰]. Zelenáková و همکارانش روند کیفیت آب در رودخانه Laborec کشور اسلواکی را ارزیابی کردند. آنها در تحقیق خود برای آشکارسازی روند تغییرات پارامترهای کیفی رودخانه Laborec از آزمون روند من-کندال استفاده کردند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با یک گام زمانی ماهانه برای هر یک از پارامترهای تحقیق صورت گرفته است. نتایج نشان داد در تحقیق یادشده روندهای آشکار شده بیشتر کاهش است که نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب در این رودخانه طی دوره بررسی شده بوده است [۱۱].

Sun و همکارانش با استفاده از شاخص کیفیت آب روند تغییرات مکانی و زمانی رودخانه دونگژینگ چین را ارزیابی کردند. در تحقیق یادشده از یک شاخص اصلاح شده برای ارزیابی کیفیت آب و از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای تحلیل همبستگی داده‌ها و نشان دادن چگونگی تغییرات استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب در محدوده زمانی و مکانی بررسی شده است [۱۲].

دانشور وثوقی و همکارانش تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل را تحت تأثیر خشک‌سالی‌های دو دهه اخیر مطالعه کرده و روند آب زیرزمینی ۳۲ ایستگاه پیژومتری را طی دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۸ با استفاده از آزمون من-کندال بررسی کردند. نتایج تحقیق یادشده نشان داد به‌طور متوسط تراز آب در دشت اردبیل با کاهش ۱۸ سانتی‌متری در سال مواجه بوده است [۱۳]. اکرامی و همکارانش با بررسی روند تغییرات کیفیت و کمیت آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان طی دوره

بنابر مطالعات بررسی‌شده آنچه بیش از پیش محرز شده، اهمیت و ضرورت آگاهی از چگونگی تغییر در متغیرهای هیدرواقليمی از یک‌سو و توانایی زیاد روش من-کندال در این زمینه است. در ضمن، روش من-کندال از مهم‌ترین روش‌های ناپارامتریک در ارزیابی وجود داشتن یا نداشتن روند در سری‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی است که به طور گسترده در آشکارسازی روند داده‌های غیر نرمال استفاده می‌شود [۲۰ و ۲۱]. از این‌رو، تحقیق حاضر با هدف بررسی وجود داشتن یا نداشتن روند در پارامترهای هیدرواقليمی حوضه آبخیز سرخون برای بحث و بررسی چگونگی تأثیر و تأثر این پارامترها انجام پذیرفت. به این منظور، از روش WQI برای تعیین درجه کیفیت آب و از آزمون من-کندال برای آشکارسازی روند در متغیرهای بررسی‌شده استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه شده

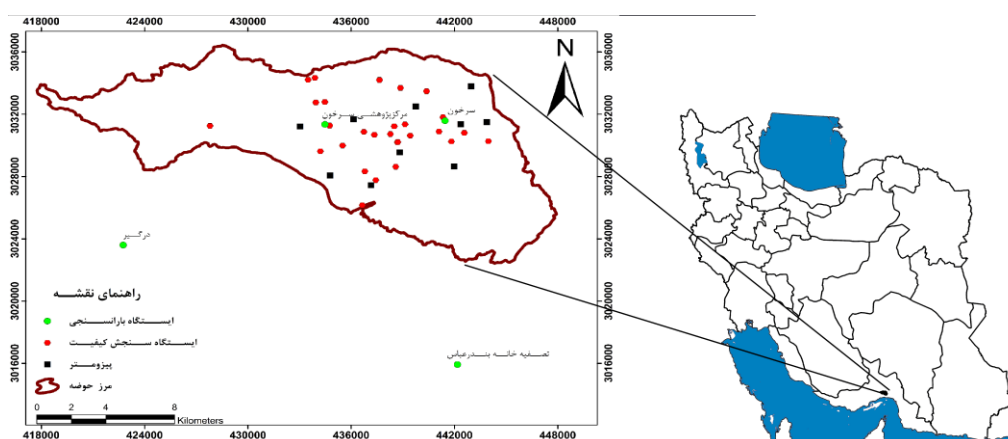
حوضه آبخیز سرخون واقع در استان هرمزگان از جمله حوضه‌های مستعد مناطق خشک و با اکوسیستمی شکننده است که متوسط بارندگی آن طی دوره ۲۵ ساله منتهی به سال ۱۳۹۱-۱۳۹۲ برابر با ۲۲۵ میلی‌متر در سال گزارش شده است. این حوضه با وسعتی حدود ۲۰۵/۳ کیلومترمربع و محیطی برابر با ۹۰/۰۱ کیلومتر در محدوده جغرافیایی ۵۶ درجه، ۱۰ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۵۶ درجه، ۲۸ دقیقه و ۲۸ ثانیه طول شرقی و ۲۷ درجه، ۱۹ دقیقه و ۱۹ ثانیه تا ۲۷ درجه، ۲۷ دقیقه و ۱ ثانیه عرض شمالی قرار دارد که از نظر تقسیم‌بندی سیاسی-اداری در بخش مرکزی شهرستان بندرعباس واقع شده است. نبود منابع آب سطحی دائمی سبب شده است آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی تأمین آب در این منطقه باشد. وجود سفره آب زیرزمینی غنی و اراضی با شیب کم از یک طرف و نزدیکی به شهر تجاری بندرعباس موجب توسعه حوضه و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی حوضه شده است. شکل ۱ موقعیت مکانی حوضه آبخیز سرخون نسبت به مرزبندی‌های سیاسی-اداری کشور ایران و موقعیت فضایی ایستگاه‌های سنجش کمی و کیفی منابع آب استفاده‌شده در تحقیق را نشان می‌دهد.

آماري ۲۰۰۰-۲۰۰۹ دریافتند که روند تغییرات نزولی بوده و سطح ایستابی دشت به‌طور متوسط ۰/۵ متر در سال افت داشته است [۱۴]. نادریان‌فر و همکارانش روند تغییر نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد شیب روند سطح آب زیرزمینی این دشت طی دوره ۱۳۷۲-۱۳۸۵ منفی و در سطح پنج درصد معنادار است [۱۵]. چوبین و ملکیان رابطه بین تغییر سطح آب زیرزمینی و روند شورشدن آن را به‌صورت موردی در دشت آسپاس استان فارس بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد از نظر کیفی و کمی دشت یادشده روند نزولی داشته و بین افت سطح ایستابی دشت و شورشدن آن، رابطه معکوس گزارش شده است [۱۶]. خورانی و خواجه طی تحقیقی هم‌زمانی روند خشک‌سالی و افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت داراب را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد از ۴۲ چاه بررسی شده، روند ۴۰ چاه کاهش‌یافته و ۲ چاه افزایش‌یافته بود. نتایج پژوهش آنها نشان داد از ۴۲ چاه بررسی شده، روند ۴۰ چاه کاهش‌یافته و ۲ چاه افزایش‌یافته بود. افت تراز آب دشت داراب با تأخیر پنج‌ماهه نسبت به بارش‌ها رخ می‌دهد [۱۷]. صمدی و همکارانش روند تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت ارومیه را با به‌کارگیری آزمون ناپارامتری من-کندال طی دوره آماری ۲۰۰۲-۲۰۱۱ و با استفاده از داده‌های ثبت‌شده در ۳۱ ایستگاه پیژومتری بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد در همه ایستگاه‌ها تراز آب زیرزمینی روند منفی داشته و تراز آب زیرزمینی ۱۹/۹ سانتی‌متر در سال کاهش یافته است [۱۸]. مهری و همکارانش بررسی روند تغییرات کیفی و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را بررسی کردند. در تحقیق یادشده تناسب آب برای مصارف کشاورزی و شرب در دو دشت تسوج و شیرامین بررسی شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد کیفیت آب برای دو دشت به ترتیب خوب و نامطبوع بوده و تغییرات سطح ایستابی برای دشت تسوج ۱۸ سانتی‌متر کاهش به ازای هر سال و برای دشت شیرامین یک سانتی‌متر افزایش به ازای هر سال است [۸]. صمدی طی تحقیقی به مدل‌سازی مکانی-زمانی تغییرات تراز سطح آب‌های زیرزمینی مناطق شهری و روستایی آبخوان کاشان پرداخت. نتایج تحقیق ایشان نشان داد میزان افت در قسمت غربی دشت بسیار زیاد بوده و منطقه بررسی‌شده به‌طور متوسط با کاهش ۰/۶۲ متر به ازای هر سال طی دوره آماری ۱۳۸۱-۱۳۹۰ مواجه بوده است [۱۹].

روش پژوهش

سفره آب زیرزمینی دشت سرخون به منظور بررسی روند تغییرات تراز و تغییرات کیفیت آب زیرزمینی انتخاب شد. به منظور بررسی اندازه و جهت این تغییرات از آزمون روند استفاده شده است. برای محاسبه درجه کیفیت آب منطقه مطالعه شده از روش WQI و بررسی هشت متغیر کیفی شامل pH، TDS، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Cl^- ، SO_4^{2-} ، HCO_3^- استفاده شده است. به این منظور، وزن نسبی (W_i) و مقیاس کیفی

هر پارامتر (q_i) محاسبه و در نهایت با به کارگیری فرمول WQI درجه کیفیت آب برای هر یک از نقاط اندازه گیری شده برآورد شد. جدول ۱ مراحل مقدار شاخص کیفیت آب دشت سرخون را نشان می دهد. جدول ۲ مقادیر WQI برای کلاس های کیفی مختلف را بیان می کند. برای داشتن توضیحات جامعی از چگونگی محاسبه کیفیت آب با استفاده از روش WQI به مطالعات [۲۲ و ۲۳] رجوع شود.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز سرخون در استان هرمزگان و کشور ایران

جدول ۱. مراحل برآورد مقدار شاخص کیفیت آب (WQI)

فرایند	فرمول	توضیحات
مرحله اول	همانگ سازی داده ها و رفع نواقص آماری آنها	-
مرحله دوم	محاسبه وزن نسبی (W_i) هر یک از پارامترهای کیفی بر اساس استاندارد WHO	$W_i = k/S_i$ فاکتور واحد وزنی پارامترها، S_i ؛ مقدار استاندارد پارامتر و k : ثابت تناسب
مرحله سوم	محاسبه مقیاس کیفی هر پارامتر کیفی	مقدار C_i : مقیاس کیفیت؛ q_i ؛ مقدار S_i : اندازه گیری شده پارامتر، استاندارد پارامتر
مرحله چهارم	برآورد مقدار شاخص کیفیت آب	$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n q_i W_i}{\sum W_i}$

جدول ۲. طبقه بندی کیفیت آب بر اساس شاخص WQI [۲۴]

مقدار شاخص WQI	کیفیت آب
کمتر از ۵۰	عالی
۵۰ - ۱۰۰	خوب
۱۰۰ - ۲۰۰	ضعیف
۲۰۰ - ۳۰۰	بسیار ضعیف
بیشتر از ۳۰۰	غیر قابل استفاده برای شرب

که n و m معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آنها کمترین مقدار یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیان‌کننده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گره‌ها) است. در نهایت نیز آماره Z به کمک یکی از روابط ۵ استخراج می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{for } S > 0 \quad z &= \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \\ \text{for } S = 0 \quad z &= 0 \\ \text{for } S < 0 \quad z &= \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \end{aligned} \quad (5)$$

با فرض دو دامنه بودن آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر (رابطه ۶) برقرار باشد:

$$|Z| < Z_{\alpha/2} \quad (6)$$

که α سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری α است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، $\alpha/2$ استفاده شده است. در بررسی حاضر این آزمون برای سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۰). در آزمون من-کندال از سه آماره ضریب اطمینان، ضریب واریانس و آماره S برای تحلیل روند در داده‌های متغیر بررسی شده استفاده می‌شود [۲۹]. آماره S کاهش یا افزایش بودن روند موجود در داده‌ها را نشان می‌دهد. ضریب اطمینان درجه‌ای از اطمینان به محاسبه آماره S را نشان می‌دهد و ضریب واریانس برای تمایز بین نتیجه بدون روند (پراکندگی زیاد در روند مقابل زمان) و نتیجه پایدار (تنوع محدود در برابر زمان) برای مجموعه داده با روند کاهشی یا افزایشی اندک بوده است. جدول ۳ واحدهای آماری استفاده شده در آزمون من-کندال را نشان می‌دهد.

نتایج

نتایج تحقیق حاضر در سه بخش قابل ارائه است. بنابراین، ابتدا نتایج بررسی روند در وضعیت بارندگی منطقه به عنوان نیرو محرکه متغیرهای هیدرولوژیکی ارائه شد. در ادامه، وضعیت کیفیت آب سفره آب زیرزمینی دشت

هدف از آزمون روند، بررسی وجود سیر افزایشی یا کاهشی در سری زمانی داده‌هاست. در این زمینه می‌توان از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک استفاده کرد [۲۵]. از آنجا که شرط استفاده از آزمون‌های پارامتریک برای بررسی روند، اثبات فرضیاتی همچون نرمال بودن، ایستایی و استقلال داده‌ها است و سری‌های هیدرولوژیکی معمولاً چنین شرایطی را ندارند، روش‌های ناپارامتریک کاربرد بیشتری در زمینه بررسی روند سری‌های هیدرولوژیکی دارند [۲۶]. بنابراین، در پژوهش حاضر آزمون ناپارامتریک من-کندال برای آشکارسازی روند در سری‌های زمانی متغیر تراز آب زیرزمینی حوضه آبخیز سرخون انتخاب شد. در این زمینه از داده‌های تراز آب ۱۰ چاه پیرومتری موجود در سطح دشت با طول دوره آماری ۲۷ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۴) استفاده شده است. داده‌های مربوط به تراز پیرومترها از طریق کسر سطح آب پیرومتر از تراز نقطه نشانه به دست آمد.

روش من-کندال ابتدا توسط من [۲۷] ارائه شد و سپس توسط کندال [۲۸] بسط و توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. در این روش ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهده‌ها با همه مشاهده‌های پس از آن محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه ۱ به دست می‌آید:

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

که n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت sgn نیز به صورت رابطه ۲ قابل محاسبه است:

$$\begin{aligned} \text{for } (x_j - x_k) > 0 \quad \text{sgn}(x_j - x_k) &= +1 \\ \text{for } (x_j - x_k) = 0 \quad \text{sgn}(x_j - x_k) &= 0 \\ \text{for } (x_j - x_k) < 0 \quad \text{sgn}(x_j - x_k) &= -1 \end{aligned} \quad (2)$$

در مرحله بعد محاسبه واریانس S توسط روابط ۳ و ۴ محاسبه شد:

$$\text{for } n > 10 \quad \text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (3)$$

$$\text{for } n < 10 \quad \text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

جدول ۴ آماره‌های مربوط به آزمون روند در این دو ایستگاه را نشان می‌دهد. بر پایه شکل ۲ و نتایج ارائه شده در جدول ۴ می‌توان دریافت که احتمال وجود روند کاهشی در داده‌های ثبت شده باران در این دو ایستگاه وجود دارد. این در حالی است که در دیگر ایستگاه‌ها که برای آگاهی از روند تغییرات منطقه‌ای باران بررسی شدند، به جز ایستگاه درگیر که روند کاهشی نشان داد، داده‌های باران ثابت و بدون روند بوده‌اند.

سرخون با استفاده از روش WQI برآورد و چگونگی تغییرات آن بررسی شد. در انتها هم وضعیت تراز آب زیرزمینی دشت به عنوان اصلی‌ترین منبع آب دشت سرخون با استفاده از آزمون روند من-کندال بررسی شد.

روند تغییرات در متغیر بارندگی دشت سرخون
میزان بارندگی دشت سرخون به طور مشخص در دو ایستگاه باران‌سنجی سرخون و تبخیرسنجی مرکز پژوهشی سرخون ثبت می‌شود. شکل ۲ نمودار تغییرات بارندگی و

جدول ۳. واحدهای آماری استفاده شده در آزمون من-کندال

روند	اطمینان در روند (CF)	آماره S
افزایش	$CF > 95\%$	$S > 0$
احتمال افزایش	$95\% \geq CF \geq 90\%$	$S > 0$
بدون روند	$CF < 90\%$	$S > 0$
بدون روند	$CF < 90\%$ and $COV \geq 1$	$S \leq 0$
ثابت	$CF < 90\%$ and $COV < 1$	$S \leq 0$
احتمال کاهش	$95\% \geq CF \geq 90\%$	$S < 0$
کاهش	$CF > 95\%$	$S < 0$

جدول ۴. آماره‌های آزمون من-کندال ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبخیز سرخون و محدوده اطراف آن

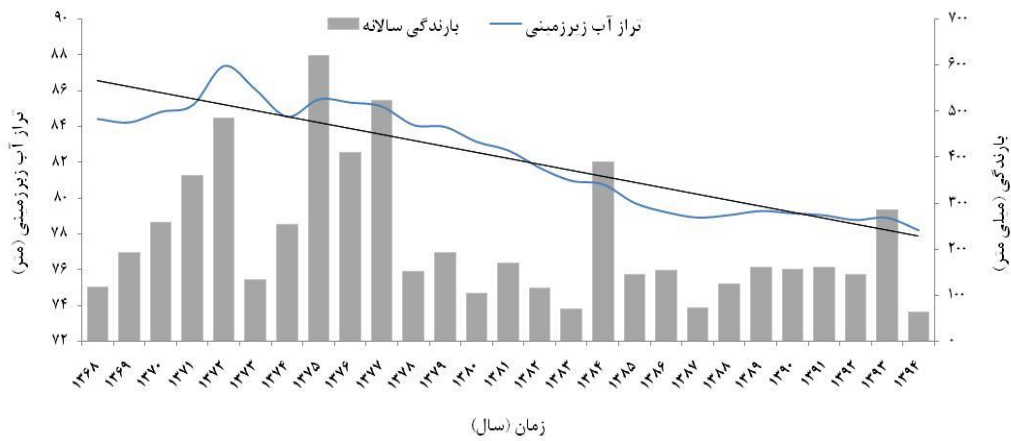
روند	ضریب اطمینان (درصد)	آماره من-کندال	ضریب واریانس	متغیر	ایستگاه‌های باران‌سنجی
احتمال کاهشی	۹۴/۸	-۵۱	۰/۶۵	بارندگی سالانه	مرکز پژوهش سرخون
احتمال کاهشی	۹۱/۸	-۴۴	۰/۶۹		سرخون
احتمال کاهشی	۹۲/۳	-۴۵	۰/۸۵		بندرعباس
کاهشی	۹۷/۷	-۶۲	۰/۶۴		درگیر
ثابت	۷۲/۹	-۲۰	۰/۶۱		گیشان
ثابت	۷۶	-۲۳	۰/۷۲		قلعه قاضی
ثابت	۸۸/۳	-۳۸	۰/۷		قلات پایین
ثابت	۸۴/۱	-۳۲	۰/۶۱		فین
ثابت	۵۶/۴	-۶	۰/۶		فاریاب گهره
ثابت	۶۶/۱	-۱۴	۰/۵۶		سیخوران
ثابت	۸۹/۶	-۴۰	۰/۵۶		سلوبیم
ثابت	۵۱/۳	-۲	۰/۶۶		سرگلم خرگو
ثابت	۴۸/۷	۰	۰/۵۵		سرخا
ثابت	۸۶/۳	-۳۵	۰/۵۲		تیفکان
ثابت	۸۵/۶	-۳۴	۰/۷۵		تصفیه‌خانه بندر
ثابت	۸۲/۴	-۳۰	۰/۷		تخت

استفاده شده است که نشان‌دهنده روند کاهشی تراز آب این آبخوان است (شکل‌های ۲ و ۳). آماره‌های آزمون من-کندال نیز نشان می‌دهد ضریب تغییرات تراز آبخوان برابر با ۰/۰۳، آماره من-کندال ۲۷۷- و ضریب اطمینان آن ۹۹/۹۹ درصد است.

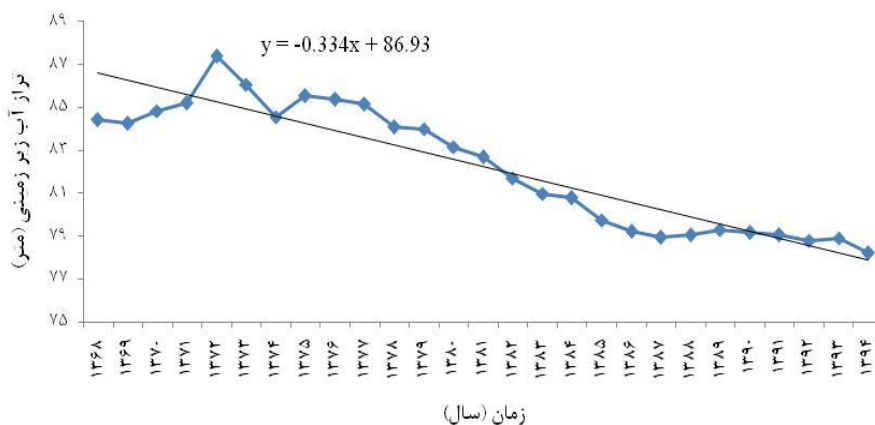
روند تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت سرخون
جدول ۵ نتایج آزمون روند را برای ۱۰ حلقه چاه پیژومتری دشت سرخون نشان می‌دهد. به‌وضوح مشخص است که تراز آب زیرزمینی در همه ایستگاه‌های بررسی شده کاهشی بوده است. از میانگین حسابی تراز ۲۷ ساله ایستگاه‌ها برای برآورد تراز آبخوان دشت سرخون

جدول ۵. آماره‌های آزمون من-کندال برای متغیر تراز آب زیرزمینی آبخوان سرخون

متغیر	ضریب واریانس	آماره من-کندال	ضریب اطمینان (درصد)	روند
چاه ۱	۰/۰۲	-۲۷۷	<۹۹/۹	کاهشی
چاه ۲	۰/۰۲	-۳۰۷	<۹۹/۹	کاهشی
چاه ۳	۰/۰۱	-۳۴۱	<۹۹/۹	کاهشی
چاه ۴	۰/۰۷	-۲۴۳	<۹۹/۹	کاهشی
چاه ۵	۰/۰۶	-۲۳۵	<۹۹/۹	کاهشی
چاه ۶	۰/۰۹	-۲۷۹	<۹۹/۹	کاهشی
چاه ۷	۰/۰۳	-۲۴۳	<۹۹/۹	کاهشی
چاه ۸	۰/۰۵	-۲۶۳	<۹۹/۹	کاهشی
چاه ۹	۰/۰۴	-۲۳۵	<۹۹/۹	کاهشی
چاه ۱۰	۰/۰۲	-۲۱۳	<۹۹/۹	کاهشی
تراز متوسط دشت سرخون	۰/۰۳	-۲۷۷	۹۹/۹	کاهشی



شکل ۲. روند تغییرات بارندگی و تراز آب زیرزمینی دشت سرخون



شکل ۳. روند تغییرات تراز آبخوان سرخون

است (شکل ۱). در ادامه نیز آماره‌های آزمون من-کندال برای ارزیابی روند در این بخش از نتایج برآورد شد. نتایج نشان داد کمترین و بیشترین مقدار WQI برآوردشده برای ایستگاه‌ها به ترتیب ۵۲/۲ و ۵۷۸/۲ بوده است (جدول ۶). ارزیابی روند تغییرات WQI در دشت سرخون نشان‌دهنده روند افزایشی در مقدار این شاخص کیفی است. به طوری که تغییر کلاس کیفی آب این دشت از آب‌های با کلاس کیفیت ضعیف (۱۰۰-۲۰۰) به سمت آب‌های با کلاس کیفیت خیلی ضعیف (۲۰۰-۳۰۰) در حرکت است (شکل ۴). با استفاده از آزمون روند ضریب تغییرات این شاخص ۰/۰۶، آماره من-کندال ۱۷ و فاکتور اطمینان برای آن ۹۵/۵ درصد برآورد شد (جدول ۷).

هیدروگراف ترسیم‌شده برای ارزیابی ارتباط تراز آب زیرزمینی دشت سرخون با بارندگی سالانه ایستگاه باران‌سنجی سرخون نشان‌دهنده تأثیرپذیری تغییرات تراز آب زیرزمینی از میزان بارش این ایستگاه است. در شکل ۳ به وضوح مشخص است که از سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ که میزان بارش در منطقه با کاهش محسوس روبه‌رو شده است تراز آب نیز از تغییر نوسانات سالانه به وضعیت روند کاهشی تغییر وضعیت داده است.

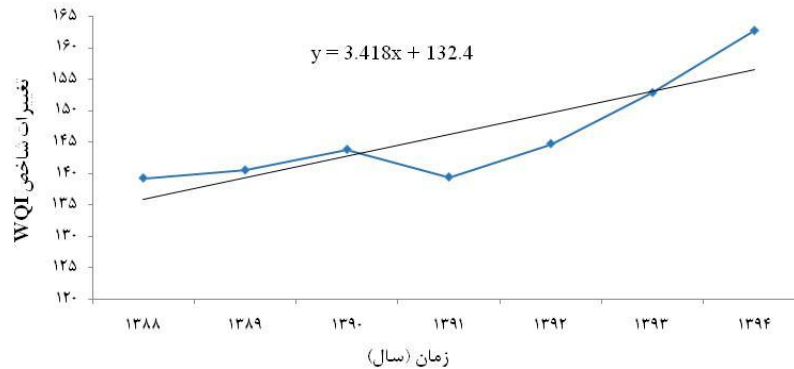
روند تغییرات در کیفیت آب زیرزمینی دشت سرخون
درجه کیفیت آب دشت سرخون با استفاده از روش WQI محاسبه شد. در این روش از متوسط هفت‌ساله داده‌های ثبت‌شده هشت متغیر کیفی ۲۸ ایستگاه اندازه‌گیری (چاه) برای برآورد درجه کیفیت آب این منطقه استفاده شده

جدول ۶. مقادیر محاسباتی درجه کیفیت آب دشت سرخون با استفاده از روش WQI

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال ۸۸	سال ۸۹	سال ۹۰	سال ۹۱	سال ۹۲	سال ۹۳	سال ۹۴
۴۲۷۸۰۰	۳۰۳۱۲۶۱	۱۲۱	۱۲۶	۱۱۸	۱۱۶	۱۲۱	۱۱۳	۱۱۷
۴۳۳۴۹۴	۳۰۳۴۲۱۸	۱۰۷	۹۷	۸۸	۶۹	۶۷	۷۶	۸۱
۴۳۳۸۹۱	۳۰۳۴۳۴۳	۱۲۱	۱۱۸	۱۱۸	۱۱۰	۱۱۳	۱۰۸	۱۰۵
۴۳۳۹۴۸	۳۰۳۲۷۶۱	۱۱۹	۱۱۳	۱۴۹	۱۴۸	۱۲۶	۱۵۲	۱۲۷
۴۳۴۲۱۱	۳۰۲۹۶۲۷	۶۹	۷۱	۷۴	۷۳	۷۲	۷۱	۶۷
۴۳۴۴۷۳	۳۰۳۲۷۹۱	۷۴	۷۵	۱۱۱	۷۴	۷۲	۷۱	۶۷
۴۳۴۷۴۶	۳۰۳۱۲۷۹	۶۴	۶۴	۶۹	۶۵	۶۶	۶۴	۶۵
۴۳۵۵۰۲	۳۰۲۹۹۹۷	۶۷	۶۷	۷۵	۷۳	۶۹	۷۰	۷۴
۴۳۶۶۴۳	۳۰۲۶۱۶۱	۱۸۵	۱۵۳	۱۶۴	۱۱۰	۱۴۶	۱۴۷	۱۵۲
۴۳۶۷۳۷	۳۰۳۰۸۷۳	۷۷	۷۴	۷۴	۷۰	۷۰	۶۷	۵۷
۴۳۶۷۹۲	۳۰۲۸۳۴۲	۹۳	۸۲	۸۰	۸۰	۷۸	۷۸	۸۰
۴۳۷۳۵۲	۳۰۳۰۶۸۶	۶۱	۶۳	۷۳	۶۷	۶۷	۶۸	۹۱
۴۳۷۴۳۲	۳۰۲۷۷۷۶	۶۵	۹۳	۶۷	۶۵	۷۰	۷۱	۷۲
۴۳۷۶۴۴	۳۰۳۴۲۱۱	۶۴	۶۳	۵۹	۵۷	۵۷	۵۸	۶۵
۴۳۸۲۷۸	۳۰۳۰۷۲۹	۵۳	۶۸	۶۰	۶۳	۶۰	۶۱	۶۰
۴۳۸۵۰۳	۳۰۳۱۲۲۹	۵۶	۶۸	۵۲	۵۷	۵۸	۵۵	۵۷
۴۳۸۵۹۱	۳۰۲۸۶۳۱	۸۴	۸۴	۱۲۱	۸۸	۸۴	۸۰	۹۹
۴۳۸۶۷۷	۳۰۳۰۲۰۴	۷۷	۶۴	۷۶	۷۳	۷۳	۷۰	۷۷
۴۳۸۷۱۱	۳۰۳۰۲۱۹	۹۹	۸۹	۹۳	۸۶	۸۴	۸۸	۸۸
۴۳۸۸۶۵	۳۰۳۳۶۹۵	۱۱۳	۱۱۳	۱۱۰	۲۴۳	۱۱۵	۱۱۹	۱۱۹
۴۳۹۱۲۹	۳۰۳۱۳۶۰	۶۰	۶۲	۶۱	۶۰	۶۲	۶۶	۷۱
۴۳۹۴۳۳	۳۰۳۰۶۳۴	۶۶	۷۸	۷۳	۷۷	۷۳	۷۴	۸۰
۴۴۰۳۷۸	۳۰۳۳۴۸۲	۳۰۱	۳۳۰	۳۵۱	۳۵۹	۳۷۵	۴۰۲	۴۰۴
۴۴۱۱۰۳	۳۰۳۰۸۹۴	۲۹۶	۳۲۹	۴۰۴	۲۷۵	۳۶۹	۳۴۵	۴۲۲
۴۴۱۳۳۴	۳۰۳۱۸۰۹	۲۳۹	۲۴۵	۲۳۴	۲۱۰	۲۲۷	۳۲۸	۳۳۶
۴۴۱۸۲۳	۳۰۳۰۲۵۷	۳۵۳	۳۶۰	۲۹۹	۳۰۹	۳۵۹	۴۱۴	۳۹۲
۴۴۲۵۷۳	۳۰۳۰۸۱۱	۴۱۸	۳۸۵	۳۸۵	۴۵۲	۳۹۴	۵۱۰	۵۵۰
۴۴۳۹۷۱	۳۰۳۰۲۷۴	۳۹۵	۴۰۰	۳۸۶	۳۷۶	۴۲۴	۴۵۴	۵۷۸
میانگین آبخوان		۱۳۹	۱۴۱	۱۴۴	۱۳۹	۱۴۵	۱۵۳	۱۶۳

جدول ۷. آماره‌های آزمون من-کندال متغیر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت سرخون

متغیر	ضریب واریانس	آماره من-کندال	ضریب اطمینان	روند
مقدار WQI	۰/۰۶	۱۷	۹۹٪/۵	افزایشی



شکل ۴. روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی آبخوان سرخون

بحث و نتیجه‌گیری

استان هرمزگان از جمله مناطق جغرافیایی کشور ایران است که محدودیت‌های زیاد اقلیمی و زمین‌شناسی از مشخصات بارز آن است. این در حالی است که در این استان می‌توان مناطقی یافت که استعداد زیادی در عرضه منابع طبیعی دارد. حوضه آبخیز سرخون به‌طور مشخص از جمله مناطقی است که از یک‌سو به سبب داشتن آبخوان غنی و از سوی دیگر به سبب داشتن اراضی مستعد و با توپوگرافی مناسب در زمره مناطق مستعد این استان قرار می‌گیرد. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی حوضه سبب وارد شدن فشار زیادی به منابع طبیعی در این حوضه شده است. به‌طوری که برنامه‌ریزی برای مدیریت و بهره‌برداری صحیح از منابع در این منطقه از حساسیت دوچندانی برخوردار شده است. در این بین، آگاهی از چگونگی و زمان بروز تغییرات می‌تواند کمک شایانی برای مدیران و تصمیم‌گیران برای بازنگری در تصمیم‌های گذشته و تدوین دستورات نوین و منطبق بر شرایط حال باشد. بنابراین، در تحقیق حاضر بررسی روند در سه متغیر هیدرواقليمی بارش، کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد توجه قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر نشان داد متغیرهای هیدرواقليمی بررسی شده در وضعیت مناسبی قرار ندارند. این نتایج که در سه بخش ارائه شد، نشان داد بارندگی حوضه آبخیز سرخون در ابتدای مسیر روند کاهشی قرار دارد (جدول ۴). این بخش از نتایج که با نتایج تحقیق خورانی و خواجه [۱۷] همخوان و هم‌جهت است، این واقعیت را بیان

می‌کند که سایر متغیرهای هیدرولوژیکی که از بارندگی‌ها اثرپذیری دارند، حتی در صورت تداوم وضع حاکم بر بارندگی منطقه می‌توانند در وضعیتی بدتر از وضع موجود قرار گیرند. چرا که بارندگی در حوضه‌های آبخیز به عنوان نیرو محرکه هیدرولوژیکی شناخته شده است و هر تغییر مثبت یا منفی در این متغیر می‌تواند بازخوردی هم‌جهت در سایر متغیرهای هیدرولوژیکی حوضه به‌همراه داشته باشد. نتایج مربوط به بررسی وجود روند در تراز آب زیرزمینی دشت سرخون، که اصلی‌ترین منبع تأمین آب حوضه است، در جدول ۵ ارائه شده است. این نتایج که بیان‌کننده روند کاهشی در تراز آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده بوده با نتایج عمده تحقیقات بررسی‌شده [۱۴، ۱۷، ۱۸، ۸، ۱۹] مبنی بر وجود روند کاهشی در تراز آبخوان‌های بررسی‌شده همخوانی دارد. گزارش روند کاهشی در تراز آب‌های زیرزمینی دشت‌های داخلی کشور نشان‌دهنده فشار فراگیر و گسترده توسعه روی منابع آب زیرزمینی است. از سوی، شیب تند و کاهشی خط روند تراز آب زیرزمینی نسبت به میزان بارندگی که در شکل ۵ مشخص است، نشان می‌دهد افت تراز آب تا حدودی متأثر از کاهش بارش در منطقه بوده اما باید سهم عمده‌ای از این افت را ناشی از عواملی همچون اضافه برداشت از آبخوان برای مصارف شرب و کشاورزی دانست. در این حالت میزان خروجی آبخوان بیش از ورودی آن است که این مسئله در نهایت به‌صورت روند کاهشی در منحنی‌های تراز نمایان می‌شود. وجود روند کاهشی در کمیت متغیرهای

بررسی شده از جمله مواردی است که می‌تواند به منظور اقدامات تعادل‌بخشی منابع در حوضه آبخیز سرخون قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود برای فعالیتهای صنعتی و سایر فعالیتهای آلاینده واقع در حوضه‌های آبخیز، عوارض منابع طبیعی دریافت شده و از محل اعتبار آنها برای اقدامات اصلاحی و احیای مناطق متأثر از آنها استفاده شود.

منابع

- [1].Adamowski, J., Chan H. F. A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting." *Journal of Hydrology*. 2011; 407(1): 28-40.
- [2].Nazari, R., Joodavi, A. Applied Flow and contaminant Transport Modeling in Aquifer. *Aftab Alamtab Issue*, 2014; 230p. (In Persian).
- [3].Li, X.D., Liu, C.Q., Harue, M., Li, S.L. Liu, X.L. The use of environmental isotopic (C, Sr, S) and hydrochemical tracers to characterize anthropogenic effects on karst groundwater quality: a case study of the Shuicheng Basin, SW China. *Applied Geochemistry*, 2010; 25(12): 1924-1936.
- [4].Vijay, R., Khobragade, P., Mohapatra P K. Assessment of groundwater quality in Puri City, India: an impact of anthropo-genic activities. *Environ Monit Assess*. 2011; 177(1-4):409-418.
- [5].Fujita, M., Suzuki, J., Sato, D., Kuwahara, Y., Yokoki, H. and Kayanne, H. anthropogenic impacts on water quality of the lagoonal coast of Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. *Sustainability science*, 2013; 8(3), pp.381-390.
- [6].Gigloo, F., Najafinejad, A., Moghani Bilehsavar, V., Ghivasi A. Evaluation of water quality variation of Zarringol River, Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2013; 20(1): 77-96pp.
- [7].Najafi, N. A Framework for Groundwater Quality Assessment. *Issue* 620. 2011.
- [8].Mehri, S., Alshayikh, A., Javadadeh, Z. An Assessment of Changes in Groundwater Quality and Groundwater Levels in Lake Urmia Basin. *Iranian Journal of EcoHydrology*. 2015; 2(4): 395-404.
- [9].Noohegar, A., Reahi, F., Kamangar, M. Identification of suitable flood spreading areas by using groundwater sustainable development approach. (Case Study: Sarkhoon plain). *Journal of Environmental Studies*. 2016; 42 (1): 33-48.
- هیدرولوژیکی می‌تواند در صورت ثابت‌بودن میزان آلاینده‌گی این متغیرها توسط عوامل ثانویه، درصد آلودگی آنها را بیشتر کند و سبب افت کیفی آنها شود. برای بررسی مورد اخیر کیفیت آب زیرزمینی دشت سرخون با استفاده از داده‌های هشت پارامتر کیفی متعلق به ۲۸ نقطه اندازه‌گیری و با به‌کارگیری روش WQI محاسبه شده است. نتایج مربوط به محاسبه این شاخص، که در جدول ۶ ارائه شده است، نشان داد منطقه مطالعه شده طی سال‌های مورد بررسی با افزایش میزان WQI یا به بیانی، کاهش درجه کیفیت آب روبه‌رو بوده است. چوبین و ملکیان [۱۶] و اکرامی و همکارانش [۱۴] نیز دریافتند که آب زیرزمینی مناطق بررسی شده در وضعیت مطلوبی قرار ندارد و این مناطق روند نزولی از نظر کیفیت آب دارند. کاهش میزان بارندگی‌ها به عنوان متغیر ورودی سیستم از یک‌سو و برداشت آب از سطح سفره برای مصارف کشاورزی، صنعتی و خانگی در منطقه که با ورود مواد آلاینده به محیط و انتقال آن به آبخوان همراه است از سوی دیگر، موجب افت کیفیت آب در منطقه شده است. با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر می‌توان به این نتیجه رسید که کارکرد اقدامات مدیریتی که با محوریت انسان در منطقه بررسی شده در طبیعت اعمال می‌شود، بیش از توان طبیعی منطقه است به طوری که این امر سبب پیشی‌گرفتن میزان افت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی در دشت سرخون از متغیر بارش به عنوان نیرو محرکه سیستم شده است. بنابراین، می‌توان گفت که آنچه در این حوضه سبب اختلال در قدرت انعطاف منابع شده است، انسان و اقدامات مدیریتی اعمال شده در منطقه بوده است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری از شدت روند کاهش موجود در متغیرهای بررسی شده و تعادل‌بخشی به آنها سامان‌دهی اقدامات انسان‌محور همچون زیرساخت‌های کشاورزی، صنعتی و مسکونی در اولویت قرار گیرد. در این بین نیز به آنچه بیشتر باید توجه شود، کشاورزی و فعالیتهای وابسته به آن است. چرا که با توجه به گستردگی کشاورزی در سطح دشت از یک‌سو و عمق کم آبرفت از سوی دیگر، این عامل را می‌توان به عنوان اصلی‌ترین عامل تهدیدکننده سلامت منابع آب زیرزمینی در حوضه آبخیز سرخون معرفی کرد. اقداماتی مانند بررسی و تغییر الگوی کشت، سیاست‌گذاری مبتنی بر آب مجازی، راه‌اندازی ایستگاه‌های بازرسی و پلیس آب و شناسایی و مدیریت صحیح آب‌بران عمده در منطقه

- [10]. Panda, D. K., A. Mishra, S. Jena, B. James and A. Kumar. "The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India." *Journal of hydrology*. 2007; 343(3): 140-153.
- [11]. Zeleňáková M, Purcz P, Oravcová A. Trends in water quality in Laborec River, Slovakia. *Procedia Engineering*. 2015; 119:1161-70.
- [12]. Sun W, Xia C, Xu M, Guo J, Sun G. Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. *Ecological Indicators*. 2016; 66:306-12.
- [13]. Daneshvar-Vosuogi, F., Dinpazhoh, Y., Aalami, M.T. Effect of Drought on Groundwater Level in the Past Two Decades (Case study: Ardebil Plain). *J. Soil Water Sci*. 2010; 21: 4. 165-179. (In Persian)
- [14]. .Ekrami, M., Sharifi, Z., and Ekhtesasi, M. Investigation of qualitative and quantitative changes of groundwater resources in Yazd-Ardakan Plain in decade of 2000-2009. *J. Department of hygiene in Yazd*. 2011; 10: 82-91. (In Persian).
- [15]. NaderianFar, M., Ansari, H., Ziaie, A., Davari, K. Evaluating the Groundwater Level Fluctuations under Different Climatic Conditions in the Basin Neyshabour. *Journal of Irrigation & Water Engineering*. 2011; 1(1): 23-37. (In Persian).
- [16]. Choobin, B., Malekian, A. Relationship between Fluctuations in the Water and Aquifer Salinization (Case Study: Aquifer Aspas-Fars Province). *Journal of Desert Management*. 2013; 1: 13-26pp. (In Persian).
- [17]. Khorani, A., Khajeh, M., 2016. Investigating the Simultaneous between Drought Trends and groundwater Level Reduction (Case Study: Darab Plain). *The Journal of Spatial Planing*. 2016; 18(2): 58-79pp. (In Persian).
- [18]. Samadi, R., Behmanesh, J., Rezaei, H. Investigating Trends in Groundwater Level. (Case Study: Urmia Plain). *Journah of Water and soil conservation*. 2015; 22 (4): 67-84. (In Persian).
- [19]. . Samadi, J. Spatial-Temporal Modeling of Groundwater Level Variations in Urban and Rural Area - Kashan Aquifer Using GIS Techniques. *Journal of Environmental Science&Technology*. 2017; 19 (1):65-77pp. (In Persian).
- [20]. Pasquini, A.I., Lecomte, K.L., Piovano, E.L., Depetris, P.Y. Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. *Quaternary International*. 2006; 158: 1. 127-139.
- [21]. Sobuohi, J., and Soltani, S. Trend analysis of climate factors in large cities of Iran. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour*. 2008; 12: 303-321. (In Persian)
- [22]. Yidana, S. M. & Yidana, A. Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis. *Environmental Earth Sciences*. 2010; 59, 1461-1473.
- [23]. Sahu, P., & Sikdar, P. Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata Wetlands, West Bengal, India. *Environmental Geology*; 2008, 55, 823-835.
- [24]. - Ramakrishnaiah C. R., Sadashivaiah C. and Ranganna G. Assessment of Water Quality Index for the Groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *E-Journal of Chemistry*; 2009, 6(2): 523-530.
- [25]. Zare Abyane, H., Bayat Varkeshi, M., Maruofi, S. Investigation of groundwater fluctuations in Malayer Plain. *J. Soil Water Sci*; 2012 22: 2. 173-190. (In Persian)
- [26]. .Daneshvar Vosuogi, F., Dinpazhoh, Y., Aalami, M.T., Gorbani, M.A. Analysis of trend of changes in groundwater quality of Ardebil plain using Man-Kendal non-parametric tests. *J. Civil Engin. Environ*. 2011; 40: 3. 13-23. (In Persian)
- [27]. Mann, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13:245-259, 1945.
- [28]. Kendall M.G. Rank Correlation Methods. Griffin, London, UK, 1975.
- [29]. Aziz J. J., Ling M., Rifai H. S., Newell C. J. Gonzales J. R., (). MAROS: A decision support system for optimizing monitoring plans. *Groundwater*. 2003; 41: 355-367.