

## بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه کارون

### در سراب و پایاب سد مخزنی گتوند

راضی خلف<sup>۱\*</sup> و سیده زینب یعقوبی<sup>۲</sup>

(۱) دانش آموخته کارشناس ارشد آبخیزداری، شرکت مهندسی مشاور دزآب، اهواز، ایران.

(۲) کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، گرایش منابع آب، اهواز، ایران.

\*نویسنده مسئول: Razikhalaf57@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۱۵

#### چکیده

در این مطالعه روند تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای کیفی آب رودخانه کارون شامل سری های ماهانه کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی، سولفات، کلرید، کلسیم و سدیم در دوره مشترک آماری ۹۳-۱۳۷۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. این ارزیابی مبتنی بر آمار کیفی ایستگاه سوسن در بالادست سدگتوند و ایستگاههای گتوند، ملاثانی و اهواز در پایاب سد است. نتایج نشان داد که در ایستگاه سوسن در کلیه پارامترهای کیفی، تلفیقی از روند صعودی و نزولی مشاهده می شود. عمدتاً روند نزولی منطبق بر ماههای پرآب و روند صعودی منطبق بر ماههای کم آب بوده است. ایستگاههای گتوند، ملاثانی و اهواز بعد از ایستگاه سوسن و در پایین دست سد گتوند واقع شده است. نتایج حاصل از آزمون من- کندال اصلاح شده نشان دهنده کاهش چشمگیر کیفیت آب رودخانه کارون بعد از سد گتوند می باشد. بطوری که روندی صعودی برای پارامترهای کیفی مورد بررسی در همه ماهها برای ایستگاههای مزبور مشاهده گردید. به استناد نتایج حاصل از تخمین گر شیب سن، شدیدترین روند صعودی سری هدایت الکتریکی به مقدار ۱۰۸/۸۳ میکروموس بر سانتی متر در هر سال، سری کل جامدات محلول به مقدار ۷۶/۰۷ میلی گرم در لیتر در هر سال و برای یونهای سولفات، کلرید، کلسیم و سدیم به ترتیب ۰/۵۲، ۰/۶۵، ۰/۴۱ و ۰/۷۵ میلی گرم در لیتر در هر سال بوده است. بطور کلی می توان گفت که در بالادست سد گتوند تغییرات چندانی در کیفیت آب در طی دوره آماری مورد بررسی رخ نداده است اما بعد از سد، تغییرات بسیار شدید در پارامترهای کیفی آب رودخانه به وقوع پیوسته است. بیشترین میزان تغییرات نیز براساس نتایج آزمون پتیت در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ رخ داده است. با توجه به اینکه در طی سالهای مزبور ساخت بدنه سد تقریباً کامل شده و آبیگری محدودی نیز در آن انجام می شده است، میتوان نتیجه گرفت که ساخت سد گتوند و تونل های انحراف و همچنین ریزش های کناره ای، پارامترهای کیفی رودخانه کارون را تحت تاثیر قرار داده است. این امر نیز با توجه به مقایسه کیفیت آب رودخانه کارون در دوره های قبل و بعد از احداث سد گتوند در ایستگاههای هیدرومتری مینا، به خوبی منعکس شده است.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، خشکسالی هواشناسی، شاخص خشکسالی SPI.

## مقدمه

رودخانه‌ها مهم‌ترین منابع تأمین آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی می‌باشند، بنابراین ارزیابی شرایط کیفی آن‌ها از جنبه‌های مختلف همواره مدنظر کارشناسان بخش مهندسی آب کشور بوده است. امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های مربوط به آب‌های سطحی در حوضه‌های آبریز، بحث کیفیت آب رودخانه‌ها و نحوه تاثیر گذاری مخازن سدها بر آن است. کیفیت منابع آب مشابه با کمیت آن مرتب در حال تغییر می‌باشد و این تغییرات در بسیاری موارد طبیعی و یا بصورت فصلی تکرار می‌شود. تشخیص روند بلندمدت کیفیت آب رودخانه‌ها برای پی بردن به تغییرات بوقوع پیوسته در گذشته و پیش بینی آینده از اهمیت بسزایی برخوردار است. شناسایی روند تغییرات اطلاعات ارزشمندی را برای ادراک تاثیر عوامل اقلیمی و انسانی و برهم کنش این عوامل در سطح حوضه آبخیز فراهم می‌آورد. برای بررسی دقیق تغییرات کیفیت منابع آب از روش‌های آماری استفاده می‌شود، زیرا با آزمون‌های آماری می‌توان مشخص نمود که افزایش یا کاهش در کیفیت یک منبع آب طبیعی یا غیرطبیعی است و اینکه از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد یا خیر. روش‌های آماری پارامتری و ناپارامتری بسیاری برای بررسی روند در سری‌های زمانی بسط داده شده‌اند که بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند ولیکن مروری بر پیشینه موضوع نشان می‌دهد که در اکثر مطالعات هیدرولوژیکی اغلب از روش‌های ناپارامتری استفاده شده است (Dinpashoh *et al.*, 2014). شاید دلیل اصلی آن این واقعیت است که آزمون‌های ناپارامتری برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آن‌ها نرمال نیست و یا دارای داده‌های مفقود یا سانسور شده (داده‌هایی که از رقم معینی مثل Z بالاتر یا پایین تر) هستند، مناسب‌تر می‌باشند. روش‌های ناپارامتری برخلاف روش‌های پارامتری به داده‌های پرت حساسیت زیادی نشان نمی‌دهد که این نیز یکی دیگر از مزایای روش‌های ناپارامتری است. همچنین غالب سری‌های زمانی مربوط به داده‌های کیفی دارای چولگی می‌باشند و از طرفی این سری‌ها ممکن است دارای ضریب خود همبستگی<sup>۱</sup> معنی-دار باشند. اغلب در سری‌های زمانی مربوط به متغیرهای هیدرولوژیکی با این قبیل سری‌ها مواجه هستیم. شرط استفاده از این آزمون‌ها، عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. چنانچه ضریب خود همبستگی داده‌ها معنی‌دار باشد لازم است ابتدا با استفاده از روش‌های پیش-سفید کردن (Yue and Wang, 2003) اثر خودهمبستگی از سری داده‌ها حذف و سپس اقدام به آزمون روند سری مورد نظر شود. مروری بر پیشینه موضوع نشان می‌دهد که در مطالعات هیدرولوژیکی اغلب از روش‌های ناپارامتری استفاده شده است. در بیشتر این مطالعات برای تشخیص روند از آزمون من-کندال استفاده شده است. افزون بر این، آزمون مذکور توسط سازمان جهانی هواشناسی برای تشخیص روند در

---

<sup>1</sup> Autocorrelation coefficient

سری‌زمانی داده‌های محیطی توصیه شده است (Yue et al., 2002). محققان مختلف مطالعات متعددی برای شناسایی روند تغییرات بلندمدت کیفیت آب در سطح جهان انجام داده‌اند. داده‌های کیفیت آب سطحی ۱۵ ایستگاه هیدرومتری در ایالت کانزاس از نظر وجود روند در ۱۷ مولفه اصلی با روش من-کندال توسط Yue و همکاران (۱۹۹۳) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روند غلظت ۱۰ عنصر نزولی بوده است. Antonopoulus و همکاران (۲۰۰۸) تحلیل روند سری زمانی ماهانه بعضی مقادیر متغیرهای کیفیت و کمیت آب را با استفاده از آزمون اسپیرمن مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، دبی روند کاهشی و متغیرهای هدایت الکتریکی، سولفات، سدیم، بیکربنات، و اکسیژن محلول در آب روند افزایش داشته‌اند. اما غلظت یونهای کلسیم و منیزیم روند مشخصی را نشان نداد. Boyacioglu (۲۰۰۸) روند تغییرات کلراید، نیترات، سدیم، سولفات و مجموع مواد محلول را در هفت ایستگاه حوضه آبخیز تاهتالی ترکیه با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن مورد بررسی قرار داد. نتایج بیانگر کاهش غلظت اکثر عناصر مذکور در آب رودخانه است. Kauffman و Belden (۲۰۱۰) کیفیت آب ۳۰ رودخانه آمریکا را در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۵ میلادی تجزیه و تحلیل کردند. آنها با استفاده از آزمون من-کندال فصلی به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب در ۶۹ درصد ایستگاه‌ها ثابت باقی مانده و یا بهبود پیدا کرده است. Anbazhagan و Nair (۲۰۰۴) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تغییرات مکانی عناصر شیمیایی آب زیرزمینی را در دشت پانول بررسی کردند. در ایران مطالعات اندکی در رابطه با بررسی روند تغییرات کیفیت آب وجود دارد. موسوی و همکاران (۱۳۸۸) کیفیت آب و تیپ هیدروشیمیایی رودخانه‌های نکا، تجن و سفید رود از نظر شرب و کشاورزی را مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار دادند. کیفیت آب این رودخانه‌ها را براساس استانداردهای موجود و نیز توسط برخی روش‌های گرافیکی از قبیل نمودارهای پایپر، شولر، استیف و ویلکاکس مورد بررسی قرار دادند. پارامترهای بکار رفته در این ارزیابی عبارتند از غلظت شش یون اصلی (سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلرید، بی کربنات) و پارامترهای کل جامدات محلول، درصد سدیم، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی. نتایج تحقیق حاکی از مناسب بودن آب رودخانه برای مصارف کشاورزی بر اساس نمودار ویلکاکس بود و طبق نمودار شولر برای شرب محدودیتی وجود نداشت. تیپ کیفی آب این رودخانه‌ها توسط نمودار پایپر از نوع بی کربناته - کلسیمی - منیزیمی معرفی شد و براساس نمودار استیف و شولر عمده ترین یون‌های مولد سختی آب بی کربنات و کلسیم بودند و تمامی نمودارها نشان دادند که نمونه‌ها در ایستگاه مختلف از نظر کیفی مشابه هستند. زارع گاریزی و همکاران (۱۳۹۱) کیفیت آب رودخانه چهل چای را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه مزبور دوازده متغیر کیفی برای تجزیه و تحلیل انتخاب گردید. برای بررسی روند متغیرها از روشهای آماری ناپارامتریک (من-کندال و کندال فصلی) استفاده شد. نتایج نشان داد که در هفت متغیر روند افزایشی معنی دار، چهار متغیر بدون روند و یک متغیر دارای روند

کاهش معنی دار می باشند. سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای به بررسی روند متغیرهای شیمیایی کیفیت آب رودخانه چم انجیر خرم آباد پرداختند. آنها در مطالعه خود از آزمون ناپارامتری من - کندال بهره برده و نشان دادند که با وجود روند نزولی در متغیرهای اسیدیته و دبی جریان، سایر پارامترهای مورد بررسی از قبیل هدایت الکتریکی، بی-کربنات، کلر، کلسیم، منیزیم و کل جامدات محلول دارای روند صعودی و معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بودند که این تغییرات کاهش کیفیت آب و افزایش املاح محلول را تایید می‌کند. دین پژوه (۱۳۹۵) تغییرات پارامترهای کیفی آب تعدادی از رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی را با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار داد. بدین منظور ۱۰ ایستگاه انتخاب و روند تغییرات ۱۳ پارامتر کیفیت آب رودخانه تحلیل گردید. شیب روند هر مولفه نیز در دوره آماری با روش تخمین گر شیب سن محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌ها روند غلظت یون های مثبت و هدایت الکتریکی افزایشی می باشد. دیلم و همکاران (۱۳۹۵) روند تغییرات رواناب و کیفیت آب سطحی رودخانه گرگانود را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق روند شش سری زمانی سالانه از متغیرهای مهم کیفیت آب و دبی در هفت ایستگاه منتخب حوضه آبخیز گرگانود از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۸ با استفاده از چهار روش غیرپارامتری اسپیرمن، من-کندال، تخمین گر شیب سن و هوجز-لهمن و به طور مقایسه ای بررسی گردید. نتایج نشان داد که به غیر از آزمون هوجز-لهمن که هیچ روندی را نشان نداد بقیه روش‌ها دارای نتایج تقریباً مشابهی بودند. هدف از مطالعه حاضر بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب رودخانه کارون از بالادست سد گتوند تا اهواز می‌باشد. مصرف کنندگان و ذینفعان متعددی در پایین دست رودخانه کارون در شهرهای گتوند، شوشتر، ملاثانی، شیبان، ویس، اهواز، آبادان، خرمشهر و روستاهای مسیر وجود دارند که نیازهای آبی کشاورزی، صنعت، شرب و آبی پروری خود را از طریق همین رودخانه تامین می نمایند و هرگونه تغییرات کیفی در آب این رودخانه ساکنین این مناطق را تحت تاثیر قرار خواهد داد. با توجه به اهمیت موضوع، بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه کارون در پایین دست سد گتوند در دستور کار قرار گرفت. این کار از طریق ارزیابی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب شامل مجموع مواد محلول و هدایت الکتریکی و یون های سولفات، کلرید، کلسیم و سدیم در سراب و پایاب سد مخزنی گتوند با استفاده از آزمون های آماری مختلف انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

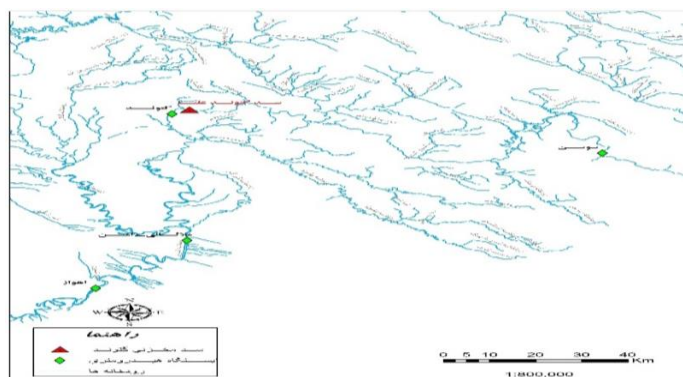
### منطقه مورد مطالعه

رودخانه کارون از کوه‌های زاگرس جنوبی در نواحی کوه‌رنگ، ارمند، خرسان، ونگ و بازفت سرچشمه گرفته و پس از طی مسافتی در حدود ۸۰۰ کیلومتر در امتداد شمال شرق به جنوب غرب، در خرمشهر به اروندرود و در آبادان پس از طی مسیر به خلیج فارس می‌ریزد. این رودخانه از نظر حجم آبدهی، بزرگترین رودخانه ایران محسوب می‌شود. هم اکنون

سدهای مخزنی بزرگ کارون چهار، کارون سه، کارون یک، گذار لندر و سد گتوند روی این رودخانه در حال بهره‌برداری هستند. وظیفه اصلی این سدها تولید انرژی برقی و تامین آب مورد نیاز جلگه خوزستان است. متوسط آبدهی دراز مدت سالیانه رودخانه کارون در محل احداث سد گتوند، ۴۵۳ مترمکعب بر ثانیه و حجم آورد سالیانه آن بیش از ۱۴ میلیارد متر مکعب و متوسط بارش سالانه در حدود ۷,۳۷۲ میلی‌متر می‌باشد. سد گتوند، سد بلندی است که در آخرین نقطه رودخانه کارون قبل از ورود به دشت خوزستان ساخته شده و در پایین دست آن سد مخزنی دیگری ساخته نخواهد شد. ساختگاه طرح سد و نیروگاه آبی گتوند علیا در نقطه جغرافیایی به طول ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱۰ ثانیه شرقی و عرض ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی و در فاصله ۳۸۰ کیلومتری از مصب رودخانه کارون و در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان گتوند واقع در استان خوزستان قرار دارد. حوضه‌های آبریز رودخانه‌های کارون و دز بعنوان پرآب‌ترین حوضه آبریز کشور می‌باشند که در حال حاضر سدهای بزرگی را در خود جای داده‌اند. در (شکل ۱) موقعیت مکانی سد گتوند و ایستگاه‌های هیدرومتری بر روی رودخانه کارون نشان داده شده است.

### تحلیل روند

هدف از انجام این تحقیق بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه کارون از سراب سد گتوند تا اهواز می‌باشد. این کار از طریق ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب در ایستگاه‌های هیدرومتری سوسن، گتوند، ملاثانی و اهواز با استفاده از آزمون‌های آماری مختلف انجام شد. به منظور تحلیل تغییرات زمانی، وجود یا عدم وجود روند معنی دار در سری زمانی داده‌های کیفیت آب، آزمون من-کندال (MK) مورد استفاده قرار گرفت. آزمون من-کندال (MK) بطور وسیعی در مطالعات هیدرولوژی، کليماتولوژی و متئورولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود خودهمبستگی در سری‌زمانی داده‌ها می‌باشد، با این حال ممکن است داده‌ها دارای خود همبستگی معنی دار باشند. بنابراین باید ابتدا اثر خودهمبستگی داده‌ها حذف شود تا بتوان از آزمون من-کندال استفاده نمود.



شکل ۱: موقعیت سد گتوند و ایستگاه‌های هیدرومتری بر روی رودخانه کارون

### آزمون من-کندال بدون در نظر گرفتن خودهمبستگی داده‌ها

در آزمون من-کندال هر مقدار در سری زمانی بصورت پیوسته و پشت سرهم با بقیه مقادیر سری، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. آماره که  $S$  حاصل جمع همه شمارش‌ها را نشان می‌دهد بصورت زیر بدست می‌آید:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن  $x_i$  و  $x_j$  مقادیر داده‌های متوالی،  $n$  طول مجموعه داده‌ها و  $\operatorname{sgn}(\theta)$  بصورت زیر تعیین می‌شود:

$$\operatorname{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۲:}$$

Mann (۱۹۴۵) و Kendall (۱۹۷۵) نشان دادند که وقتی  $n \geq 8$  باشد، آماره  $S$  تقریباً بطور نرمال توزیع شده و

میانگین و واریانس آن بصورت زیر می‌باشد:

$$E(S) = 0 \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در آن  $E(S)$ : میانگین،  $V(S)$ : واریانس،  $t_i$ : تعداد داده‌های یکسان در دسته  $i$ ام و  $n$ : تعداد داده‌های می‌باشند. آماره

آزمون استاندارد  $Z$  شده بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۵:}$$

آماره آزمون من-کندال استاندارد شده  $Z$  از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک پیروی می‌کند. فرض

صفر به شرطی پذیرفته می‌شود که  $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1+\alpha/2}$  قرار گیرد.  $\alpha$ : سطح معنی دار بودن را نشان می‌دهد که

می‌تواند مقادیر ۱، ۵ و ۱۰ درصد باشد. در این مطالعه سطح معنی داری ۱۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت و مقدار  $Z$

مشاهده‌ای برای هر یک از سری داده‌های مورد بررسی محاسبه و مقادیر حاصل با مقدار  $\pm 1/645$  مقایسه شد.

### آزمون من - کندال با حذف اثر کامل خودهمبستگی (MK3)

آزمون من - کندال اصلاح شده توسط Hamed و Rao (۱۹۹۸) ارائه گردید. در این آزمون همه ساختار خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی بررسی و حذف می‌شود. در این روش، واریانس اصلاح  $Z$  شده  $V(S)^*$  در محاسبه من - کندال مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$V(S)^* = V(S) \cdot \frac{n}{n^*} \quad \text{رابطه ۶:}$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2) \cdot r_i \quad \text{رابطه ۷:}$$

که در آن  $V(S)$  از رابطه (۴) و  $r_i$  ضریب خودهمبستگی با تأخیر  $i$  در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد از رابطه (۸) محاسبه می‌شوند. برای محاسبه  $Z$  مان - کندال، در رابطه (۵)،  $V(S)$  با  $V(S)^*$  جایگزین می‌شود. Rao و Hamed (۱۹۹۸) نشان دادند که در این روش معنی‌داری روند دقیق‌تر از روش من کندال مرسوم بوده و اثری بر توان (قدرت) آزمون ندارد. این روش در تحقیقات زیادی بکار برده شده است (میرعباسی و دین‌پژوه، ۱۳۸۹; Hamed, 2009; Kumar et al., 2009).

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{رابطه ۸:}$$

در رابطه فوق،  $x_i$ : داده  $i$ ام،  $x_{i+k}$ : داده  $i+k$ ام،  $\bar{x}$ : میانگین داده‌ها،  $n$ : تعداد داده‌ها و  $k$ : تأخیر می‌باشد.

### تخمین گر شیب سن

یک شاخص بسیار مفید در آزمون من کندال، شیب Sen می‌باشد که بزرگی روند یکنواخت را نشان می‌دهد. مقدار شیب روند با استفاده از شیوه ارائه شده توسط تیل و سن با رابطه زیر برآورد می‌شود (میرعباسی و دین‌پژوه، ۱۳۸۹):

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad \forall i < j \quad \text{رابطه ۹:}$$

که در آن  $\beta$ : برآوردگر شیب خط روند  $x_i$  و  $x_j$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی  $i$ ام و  $j$ ام می‌باشند.

### آزمون پتیت

آزمون پتیت آزمونی ناپارامتری است که توسط پتیت (۱۹۷۹) توسعه داده شد. این روش برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی به کار برده می‌شود. آزمون پتیت آزمونی با پایه رتبه‌ای و بدون توزیع جهت تشخیص تغییرات معنی‌دار

در میانگین سری زمانی است و این موضوع زمانی اهمیت دارد که هیچ فرضیه‌ای در مورد زمان تغییر موجود نباشد. آماره آزمون پتیت به شرح زیر است (Pettitt, 1979). ابتدا سری زمانی  $U_{t,n}$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

در رابطه فوق  $t$ : طول دوره آماری و  $n$ : تعداد داده در سری آماری است. مقدار  $k$ : از رابطه زیر محاسبه شده و در (رابطه ۱۲) جایگزین شده و آماره  $P$  به دست می‌آید:

$$k = \max [U_{t,n}] \quad \text{رابطه ۱۱:}$$

$$P = 2 \times e^{-\frac{6k^2}{n^3 + n^2}} \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

در این آزمون، فرض  $H_0$ : بیان‌گر همگنی داده‌ها و فرض  $H_1$ : نشان‌دهنده سال وقوع شکست در سری زمانی مورد مطالعه می‌باشد. در صورتی که مقدار  $P$  محاسبه شده بزرگ‌تر از  $\alpha$  یا مقدار سطح معنی داری  $(10,0)$  باشد  $(645,1)$   $|Z_S| <$  می‌توان این نقطه تغییر را در سری، از نظر آماری معنی‌دار دانست.

### نتایج و بحث

بر اساس روابط فوق آزمون من-کندال برای بررسی وجود یا عدم وجود روند، تخمین گر شیب سن برای تعیین بزرگی روند و افزایشی یا کاهشی بودن آن و همچنین آزمون پتیت برای تعیین نقطه شکست در یک سری مورد استفاده قرار گرفتند. بر اساس روابط آزمون‌های فوق، سری‌های زمانی ماهانه کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی، سولفات، کلرید، کلسیم و سدیم در ایستگاه‌های هیدرومتری سوسن، گتوند، ملاتانی و اهواز در دوره آماری مشترک ۹۳-۱۳۷۲ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. ایستگاه هیدرومتری سوسن در بالادست سد گتوند و ایستگاه‌های هیدرومتری گتوند، ملاتانی و اهواز در پایین دست سد و متأثر از آن می‌باشند. در (جدول ۱) آماره آزمون من-کندال ( $Z$ ) ارائه شده است. هر مقدار مثبت از آماره نشان‌دهنده یک روند افزایشی در داده‌ها و مقادیر منفی بیانگر یک روند کاهش در مجموعه داده‌ها است. به عنوان نمونه سری زمانی کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی شهر یورماه در ایستگاه‌های هیدرومتری گتوند و اهواز به صورت گرافیکی در (شکل ۲) و (شکل ۳) ارائه شده است. در (جدول ۲) نیز نتایج حاصل از تخمین شیب واقعی روند با استفاده از آزمون سن ( $\beta$ ) ارائه شده است. مقادیر مثبت  $\beta$  نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهش را نشان می‌دهند. این روش در مطالعات هیدرولوژیکی بطور وسیعی استفاده شده است.



جدول ۱: نتایج آزمون من-کندال برای متغیرهای کیفی مورد مطالعه (Z)

پارامتر	ایستگاه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
کل جامدات محلول	سوسن	۱,۳۴	۱,۳۵	۰,۴۰	۰,۵۴-	۱,۳۶-	۱,۳۶-
	گتوند	۱,۳۷	۱,۶۱	۱,۲۵	۱,۶۷	۱,۲۲	۰,۹۵
	ملاثانی	۰,۹۳	۰,۸۷	۱,۳۱	۲,۳۹	۱,۶۷	۰,۴۱
	اهواز	۰,۹۶	۰,۵۹	۰,۳۱	۱,۶۷	۱,۱۷	۱,۰۳
هدایت الکتریکی	سوسن	۱,۴۵	۱,۴۹	۰,۴۵	۰,۵۹-	۱,۰۹-	۱,۱۸-
	گتوند	۱,۱۸	۱,۹۴	۱,۴۹	۱,۴۹	۱,۷۷	۰,۷۷
	ملاثانی	۰,۸۸	۰,۸۸	۱,۴۹	۲,۸۴	۱,۶۷	۰,۵۰
	اهواز	۰,۸۵	۰,۵۹	۰,۵۸	۱,۷۶	۱,۴۰	۰,۵۳
سولفات	سوسن	۱,۹۴	۰,۸۶	۰,۰۵	۰,۲۳	۰,۷۲-	۰,۶۳
	گتوند	۱,۸۱	۱,۸۱	۱,۹۷	۱,۰۴	۴,۱۰	۱,۹۸
	ملاثانی	۱,۲۴	۰,۸۹	۱,۸۵	۲,۱۶	۲,۵۷	۰,۷۷
	اهواز	۱,۲۶	۰,۳۱	۱,۱۳	۱,۴۰	۱,۴۰	۱,۶۷
کلرید	سوسن	۱,۴۲	۱,۷۸	۰,۰۶	۰,۹۴-	۱,۳۵-	۱,۵۴-
	گتوند	۱,۶۶	۱,۶۷	۱,۲۲	۱,۲۲	۱,۹۴	۰,۰۵
	ملاثانی	۱,۰۳	۰,۹	۱,۴۰	۲,۳۰	۰,۶۳	۰,۱۴
	اهواز	۰,۷۲	۰,۱۴	۰,۴۱	۱,۶۷	۰,۵۸	۰,۱۰
کلسیم	سوسن	۳,۱۱	۲,۳۹	۰,۵۰	۰,۷۰	۰,۸۱-	۱,۱۳
	گتوند	۰,۵	۱,۷۸	۲,۰۲	۲,۰۲	۲,۰۰	۲,۳۰
	ملاثانی	۱,۲۴	۱,۸	۲,۰۳	۳,۲۹	۳,۲۹	۱,۶۷
	اهواز	۱,۵۵	۱,۵۸	۱,۲۶	۲,۴۳	۲,۳۹	۱,۴۹
سدیم	سوسن	۱,۵۶	۱,۲۲	۰,۴۸	۱,۰۸-	۱,۶۷-	۱,۱۷-
	گتوند	۲,۰۳	۱,۶۲	۰,۶۳	۰,۶۳	۱,۵۳	۰,۱۴
	ملاثانی	۰,۶۷	۰,۷۴	۱,۳۱	۰,۶۸	۰,۶۸	۰,۶۳
	اهواز	۰,۹۱	۰,۱۴	۰,۲۱	۱,۲۶	۰,۶۸	۰,۵۷

ادامه جدول ۱: نتایج آزمون من-کندال برای متغیرهای کیفی مورد مطالعه (Z)

پارامتر	ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
کل جامدات محلول	سوسن	-۰,۰۴	-۱,۵۳	-۰,۳۶	۱,۴۹	۱,۹۴	۱,۴۶
	گتوند	۰,۸۶	۰,۰۰	۱,۰۴	۱,۱۳	۱,۳۱	۲,۴۸
	ملائانی	۰,۳۱	۱,۱۱	۱,۷۶	۱,۶۶	۱,۷۷	۲,۰۳
	اهواز	۰,۶۳	۲,۵۲	۱,۵۴	۱,۸۶	۱,۵۲	۱,۷۳
هدایت الکتریکی	سوسن	-۰,۹۰	-۱,۵۳	-۰,۵۹	۱,۵۸	۱,۴۹	۱,۲۸
	گتوند	۰,۷۷	۰,۵۰	۱,۴۹	۲,۱۲	۱,۲۲	۲,۲۱
	ملائانی	۰,۶۰	۱,۲۷	۱,۸۹	۱,۷۲	۱,۷۹	۱,۷۶
	اهواز	۰,۵۲	۱,۸۷	۱,۴۹	۱,۸۳	۱,۴۷	۱,۷۴
سولفات	سوسن	-۰,۵۹	-۰,۵۹	-۰,۰۵	۰,۴۵	۱,۴۰	۱,۱۳
	گتوند	۲,۷۰	۲,۱۶	۱,۰۴	۱,۹۴	۱,۴۰	۲,۹۷
	ملائانی	۲,۳۰	۲,۷۵	۱,۵۸	۱,۷۶	۲,۴۸	۲,۱۲
	اهواز	۲,۵۷	۱,۹۴	۱,۷۵	۱,۶۷	۱,۹۲	۱,۸۳
کلرید	سوسن	-۱,۵۸	-۰,۶۳	-۰,۶۸	۱,۰۸	۲,۰۳	۱,۴۴
	گتوند	۰,۲۳	-۰,۲۳	۱,۰۴	۱,۸۵	۱,۰۴	۱,۸۵
	ملائانی	۰,۳۷	۰,۴۳	۱,۹۴	۱,۷۵	۱,۴۹	۱,۴۹
	اهواز	-۰,۶۸	۱,۱۱	۱,۶۳	۱,۶۶	۱,۶۷	۲,۲۱
کلسیم	سوسن	۱,۴۹	۱,۹۸	۱,۱۸	۱,۶۷	۱,۳۱	۱,۸۰
	گتوند	۲,۵۷	۲,۰۳	۱,۱۷	۲,۲۱	۱,۰۶	۲,۴۱
	ملائانی	۲,۱۲	۲,۷۵	۱,۰۸	۱,۹۴	۲,۲۹	۲,۲۳
	اهواز	۲,۲۹	۲,۹۳	۱,۸۴	۱,۵۸	۲,۱۳	۱,۸۶
سدیم	سوسن	-۱,۵۸	۱,۴۴	۱,۴۴	۱,۶۷	۲,۰۳	۱,۲۲
	گتوند	۰,۳۶	-۰,۰۵	۱,۲۲	۱,۸۹	۰,۷۷	۱,۷۶
	ملائانی	۰,۶۱	۰,۶۸	۱,۷۶	۱,۶۰	۱,۴۶	۱,۵۸
	اهواز	۱,۰۴	۱,۲۵	۱,۴۴	۱,۷۸	۱,۶۷	۲,۳۹

جدول ۲: نتایج تخمین گر شیب سن برای متغیرهای کیفی مورد مطالعه (β)

پارامتر	ایستگاه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
کل جامدات محلول	سوسن	۱۲,۱۷	۱۱,۴۶	۴,۷۵	۵,۳۴-	۱۰,۰۹-	۹,۲۵-
	گتوند	۳۰,۷۳	۲۲,۰۶	۳۶,۳۰	۱۹,۸۳	۱۳,۳۵	۱۶,۳۸
	ملاثانی	۳۷,۰۰	۳۳,۲۸	۲۵,۹۰	۲۵,۲۵	۲۲,۱۷	۰,۰۶
	اهواز	۳۹,۰۰	۱۸,۶۸	۱۹,۵۰	۳۴,۱۵	۱۷,۰۶	۲۰,۶۶
هدایت الکتریکی	سوسن	۲۳,۴۵	۲۰,۹۰	۶,۴۵	۴,۹۲-	۱۶,۶۹-	۱۲,۳۱-
	گتوند	۵۱,۴۰	۳۶,۷۳	۴۰,۲۳	۲۸,۰۰	۳۵,۵۸	۲۹,۹۴
	ملاثانی	۶۴,۷۴	۵۳,۶۷	۴۲,۴۹	۳۵,۷۹	۳۶,۱۶	۹,۹۸
	اهواز	۶۳,۶۰	۳۰,۴۹	۴۸,۵۰	۴۹,۲۱	۲۹,۶۲	۲۳,۹۵
سولفات	سوسن	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱-	۰,۰۲
	گتوند	۰,۰۷	۰,۱۲	۰,۱۷	۰,۰۸	۰,۲۲	۰,۲۲
	ملاثانی	۰,۲۴	۰,۲۴	۰,۲۳	۰,۱۴	۰,۲۰	۰,۱۰
	اهواز	۰,۳۱	۰,۰۹	۰,۲۱	۰,۱۷	۰,۱۹	۰,۱۷
کلرید	سوسن	۰,۱۵	۰,۱۱	۰,۰۱	۰,۰۶-	۰,۱۳-	۰,۱۱-
	گتوند	۰,۳۹	۰,۲۱	۰,۳۶	۰,۱۴	۰,۲۳	۰,۰۲
	ملاثانی	۰,۵۴	۰,۲۶	۰,۳۱	۰,۱۵	۰,۱۶	۰,۰۴
	اهواز	۰,۳۹	۰,۰۷	۰,۱۵	۰,۲۶	۰,۱۶	۰,۰۷
کلسیم	سوسن	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲-	۰,۰۳
	گتوند	۰,۰۲	۰,۱۶	۰,۱۷	۰,۱۰	۰,۱۷	۰,۱۵
	ملاثانی	۰,۲۰	۰,۱۹	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۱۰
	اهواز	۰,۲۷	۰,۱۵	۰,۱۸	۰,۱۹	۰,۲۲	۰,۱۵
سدیم	سوسن	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۰۳	۰,۰۶-	۰,۱۵-	۰,۱۰-
	گتوند	۰,۳۶	۰,۲۰	۰,۳۸	۰,۱۰	۰,۲۳	۰,۰۷
	ملاثانی	۰,۴۶	۰,۳۱	۰,۲۰	۰,۱۴	۰,۱۶	۰,۱۰
	اهواز	۰,۲۹	۰,۰۶	۰,۰۹	۰,۲۱	۰,۲۰	۰,۱۲

ادامه جدول ۲: نتایج تخمین گر شیب سن برای متغیرهای کیفی مورد مطالعه (β)

پارامتر	ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
کل جامدات محلول	سوسن	۴,۰۰-	۶,۶۴-	۲,۰۷	۹,۰۲	۱۱,۲۷	۱۰,۰۰
	گتوند	۸,۲۰	۰,۰۳-	۲۴,۱۳	۲۴,۹۶	۲۰,۲۷	۲۸,۳۷
	ملاثانی	۶,۱۷	۲۴,۹۵	۳۹,۹۸	۵۶,۸۷	۴۹,۳۲	۴۲,۲۹
هدایت الکتریکی	اهواز	۱۷,۴۸	۳۸,۹۲	۵۱,۴۳	۴۶,۷۸	۵۴,۰۸	۷۶,۰۷
	سوسن	۶,۷۹-	۱۱,۰۶-	۵,۷۹	۱۳,۴۶	۱۴,۵۰	۱۵,۳۳
	گتوند	۱۳,۳۳	۶,۰۷	۳۸,۴۱	۶۹,۳۹	۳۲,۸۲	۴۴,۲۰
سولفات	ملاثانی	۱۵,۸۸	۴۷,۶۴	۶۴,۳۸	۸۶,۲۵	۷۰,۳۶	۷۲,۸۶
	اهواز	۱۸,۷۵	۷۷,۰۰	۷۹,۵۴	۸۱,۹۱	۸۷,۳۰	۱۰۸,۸۳
	سوسن	۰,۰۱-	۰,۰۲-	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳
کلرید	گتوند	۰,۱۶	۰,۲۱	۰,۱۵	۰,۲۰	۰,۰۸	۰,۱۹
	ملاثانی	۰,۲۴	۰,۲۸	۰,۲۱	۰,۲۵	۰,۳۶	۰,۳۸
	اهواز	۰,۲۶	۰,۲۸	۰,۳۶	۰,۲۶	۰,۴۰	۰,۵۲
کلسیم	سوسن	۰,۰۶-	۰,۰۲-	۰,۰۵	۰,۰۸	۰,۱۳	۰,۰۷
	گتوند	۰,۰۴	۰,۰۲-	۰,۲۱	۰,۴۶	۰,۰۸	۰,۳۱
	ملاثانی	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۳۸	۰,۶۵	۰,۴۹	۰,۵۶
سدیم	اهواز	۰,۱۵-	۰,۳۲	۰,۵۲	۰,۴۸	۰,۶۴	۰,۶۴
	سوسن	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۷
	گتوند	۰,۱۲	۰,۱۷	۰,۴۱	۰,۲۸	۰,۱۱	۰,۲۳
	ملاثانی	۰,۰۹	۰,۲۱	۰,۱۴	۰,۱۸	۰,۲۹	۰,۲۲
	اهواز	۰,۲۷	۰,۲۳	۰,۱۷	۰,۲۱	۰,۳۰	۰,۲۹
	سوسن	۰,۰۹-	۰,۰۲-	۰,۰۵	۰,۱۴	۰,۰۸	۰,۰۹
	گتوند	۰,۰۳	۰,۰۱-	۰,۲۴	۰,۵۰	۰,۱۴	۰,۲۳
	ملاثانی	۰,۱۴	۰,۱۶	۰,۳۶	۰,۵۹	۰,۴۷	۰,۴۰
	اهواز	۰,۲۰	۰,۳۳	۰,۵۴	۰,۵۵	۰,۵۳	۰,۷۵

### کل جامدات محلول

کل نمک‌های محلول در آب در ایستگاه سوسن تلفیقی از روند صعودی و نزولی را نشان می‌دهد. دی تا اردیبهشت ماه روند نزولی و در بقیه ماه‌ها روند صعودی مشاهده می‌شود. در ایستگاه‌های گتوند، ملاثانی و اهواز که در پایین دست سد گتوند قرار دارند، کلیه ماه‌های سال روند صعودی را نشان می‌دهند. در ایستگاه گتوند در ماه‌های دی و شهریور روند صعودی معنی‌دار می‌باشد. در ایستگاه ملاثانی شش ماه (دی، بهمن، خرداد، تیر، مرداد و شهریور) روند صعودی معنی‌دار بوده و در ایستگاه اهواز چهار ماه (دی، اردیبهشت، تیر و شهریور) روند صعودی معنی‌دار در سری کل جامدات محلول

مشاهده می شود. بزرگترین شیب مثبت خط روند(شیب سن) به مقدار  $۷۶/۰۷$  میلی گرم در لیتر در سال در شهریور ماه در ایستگاه اهواز می باشد(جدول ۲).

### هدایت الکتریکی

روند تغییرات هدایت الکتریکی آب در ایستگاه سوسن تلفیقی از روند صعودی و نزولی را نشان می دهد. در ماه های دی تا اردیبهشت روند نزولی و در بقیه ماه ها روند صعودی است. این روند صعودی و نزولی در هیچ کدام از ماه ها معنی دار نمی باشد. در ایستگاه های گتوند، ملاثانی و اهواز تغییرات هدایت الکتریکی در کلیه ماه های روند صعودی را نشان می دهند. در ایستگاه گتوند چهار ماه (آبان، بهمن، تیر و شهریور) و در ایستگاه ملاثانی شش ماه (دی، بهمن، خرداد، تیر، مرداد و شهریور) و در ایستگاه اهواز نیز ۴ ماه (دی، اردیبهشت، تیر و شهریور) روند صعودی معنی دار است. بزرگترین شیب خط روند در سری هدایت الکتریکی به مقدار  $۱۰۸/۸۳$  میکروموس بر سانتی متر در هر سال در ایستگاه اهواز و در شهریور ماه مشاهده می شود(جدول ۲).

### سولفات

غلظت یون سولفات در ایستگاه سوسن روند صعودی و نزولی دارد. در ماه های بهمن، فروردین و اردیبهشت روند نزولی و در بقیه ماه ها روند صعودی است. این روند صعودی تنها در مهرماه معنی دار می باشد. در ایستگاه گتوند غلظت یون سولفات در کلیه ماه ها روند صعودی را نشان می دهد. در این روند صعودی در تمام ماه ها (بجز دی، خرداد و مرداد) معنی دار می باشد. در ایستگاه ها ملاثانی و اهواز که در پایین دست ایستگاه گتوند واقع شده اند، غلظت یون سولفات در کلیه ماه ها روند صعودی را نشان می دهد. این روند صعودی در ایستگاه ملاثانی در هشت ماه و در ایستگاه اهواز در هفت ماه سال معنی دار می باشد. نتایج شیب خط روند(شیب سن) نشان می دهد که شدیدترین روند صعودی در سری سولفات در ایستگاه اهواز به مقدار  $۰/۵۲$  میلی گرم در لیتر در سال طی شهریورماه بوده است.

### کلرید

در مورد روند تغییرات غلظت یون کلر در ایستگاه سوسن، تلفیقی از روند صعودی و نزولی مشاهده می شود. در ماه های دی لغایت اردیبهشت روند تغییرات نزولی بوده و در بقیه ماه ها روند صعودی دیده می شود. در ایستگاه گتوند بجز اردیبهشت ماه که روند نزولی دارد، بقیه ماه های سال روند صعودی را برای این پارامتر نشان می دهند. در این ایستگاه ماه های مهر، آبان، بهمن، تیر و شهریور روند صعودی معنی دار دارند. در ایستگاه ملاثانی تمام ماه های سال روند صعودی را در غلظت یون کلر نشان می دهند. سه ماه دی، خرداد و تیر روند صعودی معنی دار می باشد. در ایستگاه اهواز نیز بجز فروردین ماه، در بقیه ماه ها روند صعودی در غلظت یون کلر مشاهده می شود. در این ایستگاه چهار ماه دی، تیر، مرداد و

شهریور روند صعودی معنی دار بوده است. نتایج حاصل از شیب سن نشان می‌دهد که شدیدترین روند صعودی غلظت یون کالر به مقدار  $0/65$  میلی‌گرم در لیتر در سال مربوط به ایستگاه ملاثانی در تیرماه بوده است.

### کلسیم

غلظت یون کلسیم در ایستگاه سوسن در تمامی ماه‌های سال بجز بهمن ماه، روند صعودی را نشان می‌دهد. در پنج ماه مهر، آبان، اردیبهشت، تیر و شهریور، روند صعودی غلظت یون کلسیم معنی‌دار می‌باشد. در ایستگاه گتوند در تمام ماه‌های سال روند صعودی دیده می‌شود. این روند صعودی بجز ماه‌های مهر و مرداد در بقیه ماه‌ها صعودی معنی‌دار می‌باشد. در ایستگاه ملاثانی نیز در تمام ماه‌های سال روند صعودی در غلظت یون کلسیم مشاهده می‌شود. در این میان روند صعودی در دو ماه مهر و خرداد غیرمعنی‌دار و در بقیه ماه‌ها روند صعودی معنی‌دار است. در ایستگاه اهواز همانند آنچه در ایستگاه‌های گتوند و ملاثانی مشاهده شد، روند صعودی در کلیه ماه‌ها دیده می‌شود. این روند صعودی در هفت ماه دی، بهمن، فروردین، اردیبهشت، خرداد، مرداد و شهریور معنی‌دار می‌باشد. به استناد نتایج شیب سن بزرگترین شیب افزایش غلظت یون کلسیم به مقدار  $0/41$  میلی‌گرم در لیتر در سال در خرداد ماه و در ایستگاه گتوند بوده است.

### سدیم

روند تغییرات ماهانه غلظت یون سدیم در ایستگاه سوسن، تلفیقی از روند صعودی و نزولی را نشان می‌دهد. ماه‌های دی، بهمن، اسفند و فروردین روند نزولی و در بقیه ماه‌ها روند صعودی دیده می‌شود. در ایستگاه گتوند بجز اردیبهشت ماه در بقیه ماه‌های سال روند صعودی در غلظت یون سدیم مشاهده می‌شود. در ماه‌های مهر، تیر و شهریور این روند صعودی معنی‌دار بوده است. در ایستگاه ملاثانی همه ماه‌ها روند صعودی دارند. در این میان تنها خردادماه روند صعودی معنی‌دار داشته و بقیه ماه‌ها روند صعودی غیرمعنی‌دار دارند. در ایستگاه اهواز نیز همانند ایستگاه ملاثانی تمامی ماه‌های سال روند صعودی داشته و ماه‌های تیر، مرداد و شهریور دارای روند صعودی معنی‌دار می‌باشند. شدیدترین روند صعودی غلظت یون سدیم مربوط به ایستگاه اهواز در شهریور ماه و به مقدار  $0/75$  میلی‌گرم در لیتر در سال می‌باشد.

### آزمون پتیت

نتایج حاصل از آزمون پتیت در تعیین نقطه شکست در سری زمانی داده‌ها نشان می‌دهد که در محل ایستگاه هیدرومتری سوسن در پارامترهای کیفی مورد بررسی در ۱۳ ماه شکست معنی‌دار در سری داده‌ها رخ داده است. نقاط شکست طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ بوده و عمدتاً در سال ۱۳۸۲ می‌باشد. در ایستگاه گتوند که در پایین دست ایستگاه سوسن واقع شده است، تغییرات به مراتب شدیدتری در سری‌های کیفی رودخانه مورد مطالعه رخ داده است به طوری‌که ۳۲ ماه شکست در متغیرهای کیفی را تجربه کرده‌اند. نقاط شکست طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ بوده است. این امر در سایر

ایستگاه‌های پایین دست نظیر ملاثانی در ۳۶ ماه و اهواز در ۳۰ ماه نیز دیده شده است. نتایج نشان داد بیشترین نقاط شکست در طی سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶ رخ داده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های روند و تست پتیت، می‌توان نتیجه گرفت که بعد از ایستگاه گتوند کیفیت جریان رودخانه دچار افت کیفی بسیار شدیدی شده است. شکست در سری برخی از متغیرهای کیفی به عنوان نمونه در (شکل ۴) و (شکل ۵) برای ایستگاه‌های هیدرومتری گتوند و اهواز نشان داده شده است.

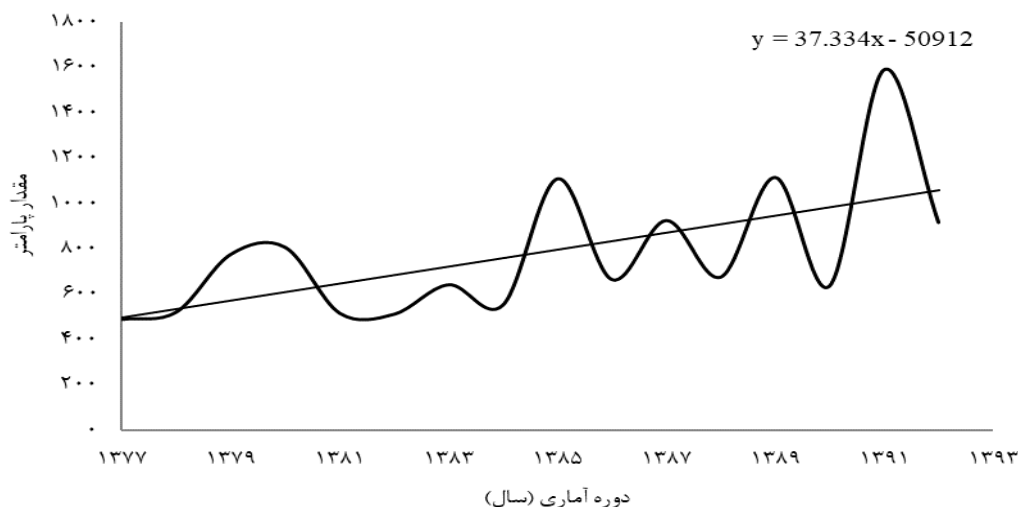
### بررسی تغییرات مکانی کیفیت شیمیایی رودخانه کارون

به منظور بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب رودخانه کارون از بالادست سد گتوند تا اهواز اطلاعات کیفیت شیمیایی آب در ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست و پایین دست این سد استفاده گردید. بدین منظور از ایستگاه‌های سوسن (بالادست سد) و ایستگاه‌های گتوند، ملاثانی و اهواز که در پایین دست سد قرار دارند، استفاده شد. این ایستگاه‌ها در دوه آماری مشترک ۹۳-۱۳۷۲ دارای آمار و اطلاعات کیفیت آب هستند. برای بررسی کیفیت آب رودخانه کارون در دوره قبل و بعد از احداث سد گتوند، دوره آماری مزبور به دو دوره ۸۵-۱۳۷۲ (قبل از احداث سد) و ۹۳-۱۳۸۶ (بعد از احداث سد) تقسیم بندی گردید. در دوره‌های آماری مزبور برای هر ایستگاه متوسط هدایت الکتریکی (EC)، مجموع مواد محلول (TDS) و غلظت یون‌های سولفات، کلر، کلسیم و سدیم استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت. در (جدول ۳) روند تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب در دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث سد ارائه شده است. به استناد شکل‌های مربوطه، روند تغییرات پارامترهای کیفیت آب در دو دوره در ایستگاه سوسن که در بالادست سد گتوند واقع شده است، بسیار ناچیز و کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. در حالی که در ایستگاه‌های گتوند، ملاثانی و اهواز که در پایین دست سد گتوند و متاثر از آن می‌باشند، تفاوت چشمگیری بین پارامترهای کیفیت آب در دو دوره قبل و بعد از احداث سد مشاهده می‌شود. این اختلاف از ایستگاه گتوند آغاز شده و تا ایستگاه اهواز ادامه داشته است. این اختلاف در ایستگاه گتوند از ۳۸/۲۴ درصد در یون کلسیم تا ۶۷/۳۵ درصد در یون سدیم نوسان داشته است. در ایستگاه ملاثانی افزایش میزان غلظت پارامترهای کیفی آب از ۵۱/۱۱ درصد در یون کلسیم تا ۶۳/۶۴ درصد در یون سولفات مشاهده می‌شود. در ایستگاه اهواز نیز این روند ادامه داشته و از ۵۰ درصد افزایش در یون کلسیم شروع شده و تا ۷۱/۴۳ درصد افزایش در یون سولفات ادامه می‌یابد. از آنجایی که بررسی‌های نگارنده نشان داد که در فاصله زمانی ۱۳۸۶ لغایت ۱۳۹۳ در حد فاصل سد گتوند تا اهواز، فعالیت‌های صنعتی جدید چشمگیری که کیفیت رودخانه را تحت تاثیر قرار دهد، احداث نشده است، لذا پساب صنایع ورودی به رودخانه کارون نسبت به دوره قبل از احداث سد تغییر آنچنانی نمی‌تواند داشته باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که کاهش چشمگیر کیفیت آب رودخانه کارون در بازه بعد از سد گتوند بدلیل عملکرد سد گتوند و متاثر از بهره برداری از

آن می‌باشد. در (شکل ۶) و (شکل ۷) به عنوان نمونه روند تغییرات مکانی برخی از پارامترهای کیفی آب در دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث سد ارائه شده است.

جدول ۳: مقادیر پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون در دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث سد گتوند

پارامتر	دوره آماری	سوسن	گتوند	ملائانی	اهواز
هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی متر)	۸۵-۱۳۷۲	۶۹۰٫۸	۹۸۳٫۵	۱۵۱۹٫۳	۱۵۸۷٫۸
	۱۳۸۶-۹۳	۷۲۸	۱۴۳۴٫۶	۲۲۱۲٫۳	۲۴۰۴٫۹
درصد اختلاف	۸۵-۱۳۷۲	۵٫۳۹	۴۵٫۸۷	۴۵٫۶۱	۵۱٫۴۶
	۱۳۸۶-۹۳	۴۴۰٫۵	۶۳۲٫۹	۹۷۹٫۷	۱۰۱۹٫۹
کل جامدات محلول (میلی گرم در لیتر)	۸۵-۱۳۷۲	۴۵۶٫۴	۹۰۷٫۶	۱۳۹۶٫۴	۱۵۳۰٫۶
	۱۳۸۶-۹۳	۳٫۶۱	۴۳٫۴	۴۲٫۵۳	۵۰٫۰۷
درصد اختلاف	۸۵-۱۳۷۲	۱	۲٫۱	۴٫۴	۴٫۹
	۱۳۸۶-۹۳	۱	۳٫۵	۷٫۲	۸٫۴
سولفات (میلی گرم در لیتر)	۸۵-۱۳۷۲	۰	۶۶٫۶۷	۶۳٫۶۴	۷۱٫۴۳
	۱۳۸۶-۹۳	۳٫۱	۵٫۱	۸	۸٫۲
درصد اختلاف	۸۵-۱۳۷۲	۳٫۴	۸٫۳	۱۲٫۳	۱۳٫۲
	۱۳۸۶-۹۳	۹٫۶۸	۶۲٫۷۵	۵۳٫۷۵	۶۰٫۹۸
درصد اختلاف	۸۵-۱۳۷۲	۲٫۷	۳٫۴	۴٫۵	۴٫۸
	۱۳۸۶-۹۳	۲٫۹	۴٫۷	۶٫۸	۷٫۲
درصد اختلاف	۸۵-۱۳۷۲	۷٫۴۱	۳۸٫۲۴	۵۱٫۱۱	۵۰
	۱۳۸۶-۹۳	۳	۴٫۹	۸٫۱	۸٫۴
درصد اختلاف	۸۵-۱۳۷۲	۳٫۱	۸٫۲	۱۲٫۶	۱۳٫۸
	۱۳۸۶-۹۳	۳٫۲۳	۶۷٫۳۵	۵۵٫۵۶	۶۴٫۲۹

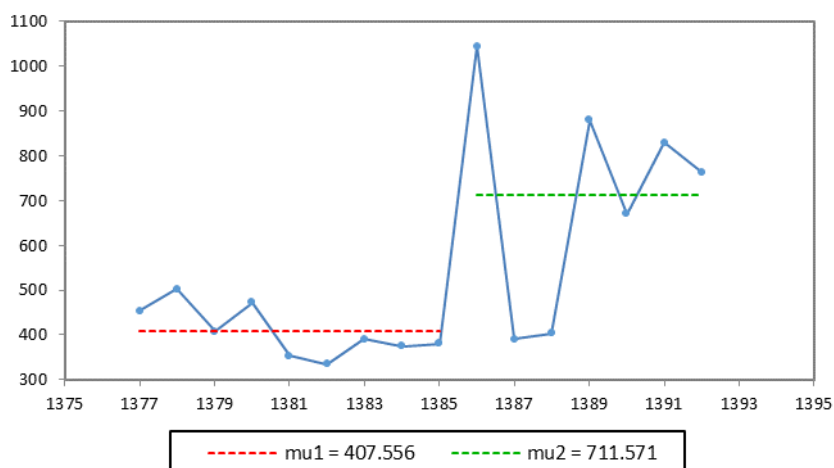


شکل ۲: سری زمانی کل جامدات محلول شهریور ماه آب سطحی ایستگاه هیدرومتری گتوند

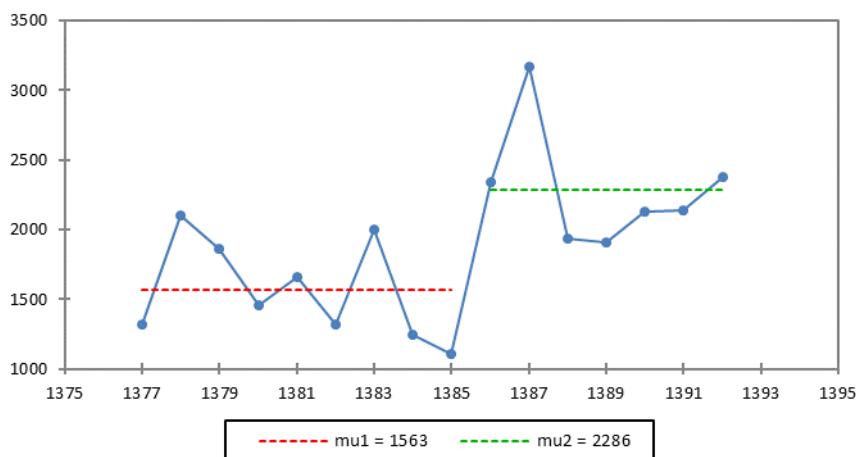




شکل ۳: سری زمانی هدایت الکتریکی شهرپور ماه آب سطحی ایستگاه هیدرومتری اهواز



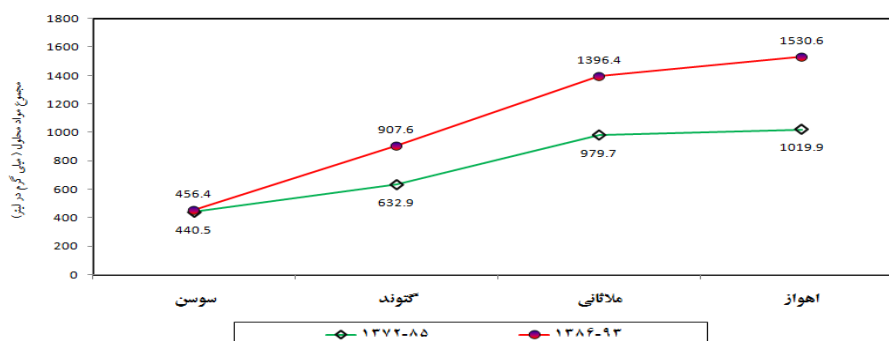
شکل ۴: نمودار تغییر زمان روند تغییرات دی ماه سری زمانی کل جامدات محلول ایستگاه هیدرومتری گتوند



شکل ۵: نمودار تغییر زمان روند تغییرات دی ماه سری زمانی هدایت الکتریکی ایستگاه هیدرومتری اهواز



شکل ۶: نمودار تغییر مکانی یون سولفات در دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث سد گتوند



شکل ۷: نمودار تغییر مکانی پارامتر کل جامدات محلول در دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث سد گتوند

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق روند تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای کیفی آب رودخانه کارون در سراب و پایاب سد مخزنی گتوند مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از آمار و اطلاعات کیفیت آب ایستگاه‌های هیدرومتری سوسن، گتوند، ملاثنی و اهواز استفاده گردید. متغیرهای کیفی مورد بررسی شامل سری‌های ماهانه کل جامدات محلول در آب، هدایت الکتریکی، سولفات، کلر، کلسیم و سدیم در دوره مشترک آماری ۹۳-۱۳۷۲ می‌باشد. آزمون من-کندال برای بررسی وجود یا عدم وجود روند، تخمین گر شیب سن برای تعیین بزرگی روند و افزایشی یا کاهش‌ی بودن آن و همچنین آزمون پتیت برای تعیین نقطه شکست در یک سری مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در ایستگاه سوسن که در بالادست سد مخزنی گتوند قرار دارد، در کلیه پارامترهای کیفی، تلفیقی از روند صعودی و نزولی مشاهده می‌شود. عمدتاً روند نزولی منطبق بر ماه‌های پرآب و روند صعودی منطبق بر ماه‌های کم آب بوده است. ایستگاه‌های گتوند، ملاثنی و اهواز بعد از ایستگاه سوسن و در پایین دست سد گتوند واقع شده است. نتایج حاصل از آزمون من-کندال اصلاح شده نشان دهنده کاهش چشم‌گیر کیفیت آب رودخانه کارون بعد از سد گتوند می‌باشد. بطوری که روندی صعودی برای پارامترهای کیفی مورد بررسی در کلیه ماه‌ها برای ایستگاه‌های مزبور مشاهده گردید. در ایستگاه سوسن روند تغییرات هدایت الکتریکی

تلفیقی از کاهش و افزایش را نشان می‌داد اما در ایستگاه پایین دست سد گتوند نه تنها روند کاهشی از بین رفته است بلکه در کلیه ماه‌ها به شدت افزایش یافته و روند تغییرات آن در اکثر ماه‌ها معنی‌دار شده است. به استناد نتایج حاصل از تخمین گر شیب سن، شدیدترین روند صعودی سری هدایت الکتریکی به مقدار  $108/83$  میکروموس بر سانتی متر در هر سال، سری کل جامدات محلول به مقدار  $76/07$  میلی گرم در لیتر در هر سال، و برای یون‌های سولفات، کلر، کلسیم و سدیم به ترتیب  $0/52$ ،  $0/65$ ،  $0/41$  و  $0/75$  میلی گرم در لیتر در هر سال می‌باشد. بطور کلی می‌توان گفت که در بالادست سد گتوند (ایستگاه سوسن) تغییرات چندانی در کیفیت آب در طی دوره آماری مورد بررسی رخ نداده است اما بعد از سد، تغییرات بسیار شدید در پارامترهای کیفی آب رودخانه به وقوع پیوسته است. بیشترین میزان تغییرات نیز براساس نتایج آزمون پتیت در سال‌های  $1385$  و  $1386$  رخ داده است. با توجه به اینکه در طی سال‌های مزبور ساخت بدنه سد تقریباً کامل شده و آبیگری محدودی نیز در آن انجام می‌شده است، می‌توان نتیجه گرفت که ساخت سد گتوند و تونل‌های انحراف و همچنین ریزش‌های کناره‌ای، پارامترهای کیفی رودخانه کارون را تحت تاثیر قرار داده است. این امر نیز با توجه به مقایسه کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه سوسن در بالادست سد و ایستگاه‌های گتوند، ملاثانی و اهواز در پایین دست سد در دو دوره آماری قبل و بعد از احداث سد گتوند به خوبی منعکس شده است. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب رودخانه کارون از بالادست سد گتوند در ایستگاه سوسن تا ایستگاه اهواز در دو دوره آماری نشان دهنده کاهش چشمگیر کیفیت آب رودخانه کارون در بازه بعد از سد گتوند است که حاکی از افزایش  $38/24$  تا  $71/43$  درصدی غلظت پارامترهای کیفی آب می‌باشد که می‌تواند بدلیل عملکرد سد و متاثر از بهره برداری از آن باشد.

### منابع

- دیلیم، م. تیموری، م. روحانی، ح. (۱۳۹۵). روند تغییرات رواناب و کیفیت آب سطحی در رودخانه گرگانرود. نشریه انجمن آبخیزداری ایران، سال چهارم، شماره ۱۵، ص ۱۶-۱۱.
- دین پژوه، ی. (۱۳۹۵). تحلیل روند کیفیت شیمیایی آب رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی. نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، سال بیستم، شماره ۵۵، ص ۱۲۴-۱۰۵.
- زارع گاریزی، آ. سعدالدین، ا. بردی شیخ، و. سلمان ماهینی، ع. (۱۳۹۱). بررسی روند تغییرات بلند مدت متغیرهای کیفیت آب رودخانه چهل چای (استان گلستان). مجله پژوهش آب ایران، سال ششم، شماره دهم، ص ۱۶۵-۱۵۵.
- سلیمانی ساردو، م. ولی، ع. قضاوی، ر و سعیدی، گ. (۱۳۹۲). آنالیز و روندیابی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب. مطالعه موردی رودخانه چم انجیر خرم آباد، مهندسی آبیاری و آب، شماره دوازدهم، ص ۹۵-۱۲.

- موسوی، ر. میرگلوی بیات، ر. معروفی، ص. زارع ابیانه، ح. (۱۳۸۸). ارزیابی کیفیت آب و تیپ هیدروشیمیایی رودخانه های نکا، تجن و سفید رود از نظر شرب و کشاورزی. همایش ملی بحران آب در کشاورزی و منابع طبیعی، شهرری، دانشگاه آزاد شهر ری.
- میرعباسی، ر. و دین پژوه، ی (۱۳۸۹). تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر. نشریه آب و خاک، شماره بیست و چهارم، ص ۷۴۸-۷۵۷.
- Anbzhagan, S. and Nair, A. (2004).** Geographic information system and ground water quality mapping in Panvel basin, Maharashtra, India. *J. Environ. Geol.* 45, pp: 753–761.
- Antonopoulos, V., Papamichail, D. and Mitsiou, K. (2008).** Statistical and trend analysis of water quality and quantity data for the Strymon River in Greece. *Hydrology and Earth System Science*, 5(4), pp: 679-691.
- Boyacioglu, H. (2008).** Investigation of Temporal trends in hydro chemical quality of surface water in Western Turkey. *Bull Environ Contam Toxicol*, 80, pp: 469-474.
- Dinpashoh, Y., Mirabbasi, R., Jhajharia, D., Zare Abianeh, H. and A. Mostafaeipour (2014).** Effect of Short-Term and Long Term Persistence on Identification of Temporal Trends. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), pp: 617-625.
- Hamed, K.H. and Rao, A.R., (1998).** A modified Mann Kendall trend test for auto correlated data . *Journal of Hydrology*, 204, pp: 182–196.
- Kauffman, G. J. and Belden, A.C. (2010).** Water quality trends (1970 to 2005) along Delaware streams in the Delaware and Chesapeake Bay watersheds, USA. *Water Air Soil Pollut*, 208, pp:345-375.
- Kendall, M.G., (1975).** Rank Correlation Measures . Charles Griffin, London .
- Kumar, S., Merwade V., Kam, J. and Thurner K. ( 2009).** Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374(1-2), pp: 171-183.
- Mann, H.B. (1945).** Non parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, *Math Sci Net*, pp: 245-259 .
- Pettit, A.N. (1979).** A non parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*, 28(2), pp: 126-135.

- Yue, S., Pilon, P. and Cavadias, G. (2002).** Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *J. Hydrology*, 259, pp: 254-271.
- Yue, S., and Wang, C.Y., (2003),** Applicability of pre whitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. *Water Res.*, 38 (6), pp: 4-1\_4-7.
- Yu, Y. S., Zou, S. and Whittmore, D. (1993).** Non parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas . *Journal of Hydrology*, 150, pp: 61-80.