نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۵، مرداد - شهریور ۱۴۰۰، ص. ۴۹۳-۴۸۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 15, Aug.-Sep. 2021, p. 483-493

مقاله علمی - پژوهشی

تحلیل روند زمانی شوری منابع آب سطحی کشور با استفاده از روش من-کندال

بهمن یارقلی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

چکیده

پارامتر هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با میزان شوری در آب داشته و روند تغییرات آن بیانگر روند تغییرات شوری منابع آب می‌باشد. در مورد منابع آب ایران، این نگرانی وجود دارد که به علت تغییر اقلیم و خشک‌سالی‌های اخیر و همچنین افزایش مصارف آب نسبت به گذشته، کیفیت این منابع از نظر شوری از روندی رو به رشد برخوردار باشند. ازاین‌رو در این مطالعه، از آزمون تحلیل روند من‌کندال با حذف اثر پس‌زمینه‌ای (نویز) دبی، که یک روش مستند در تحلیل روند بر روی سری‌های زمانی فاقد توزیع آماری خاص می‌باشد، به‌منظور یافتن روند تغییرات زمانی پارامتر هدایت الکتریکی (EC) در ۲۰ ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه‌های مختلف ایران استفاده شد. در انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری، شاخص اقلیمی، هیدرولوژیکی، کاربری اراضی و شرایط جغرافیایی مختلف به‌عنوان فاکتورهای مؤثر مدنظر بوده است. نتایج انجام این آزمون دید شفاف و قابل استنادتری نسبت به وضعیت روند شوری حاصل می‌سازد. این نتایج حاکی از وجود روند افزایشی شوری ایستگاه‌های نوذرآباد-رودخانه نکارود (با شیب ۶۵ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال)، مراوه تپه-رودخانه اترک (با شیب ۶۴ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال)، اهواز-رودخانه کارون (با شیب ۳۱ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال)، مشیران-رودخانه دره رود (با شیب ۲۶ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال)، سامیان-رودخانه قره‌سو (با شیب ۲۳ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال) و دوآب نوسرد-رودخانه سیروان (با شیب ۵ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال) بوده است که معادل ۳۰ درصد از ایستگاه‌های منتخب می‌باشد. از جمله راهکارهای کنترل و کاهش این روند رعایت حقابه رودخانه‌ها و تالاب‌ها، تعادل‌بخشی و کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی، اجرای طرح‌های آبخیزداری، مدیریت زهاب‌ها و جلوگیری از توسعه کشاورزی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اثر پس‌زمینه‌ای (نویز)، تحلیل روند من-کندال، روند شوری، هدایت الکتریکی

مقدمه

طبق یک تعریف پایه، شوری به مجموع غلظت تمامی نمک‌های محلول در آب گفته می‌شود (Kemker, 2014). ازآنجایی‌که سنجش آن شامل یک فرآیند کامل شیمیایی و زمان‌بر می‌باشد، معمولاً آن را با پارامتر هدایت الکتریکی یا EC[۲] معرفی می‌نمایند. شوری با هدایت الکتریکی رابطه مستقیم دارد، هدایت الکتریکی به میزان قابلیت آب در عبور دادن جریان الکتریکی اطلاق می‌گردد T که با میزان یون‌های موجود در آب، بستگی مستقیم دارد. منشأ این یون‌ها، نمک‌های محلول و همچنین مواد غیر آلی می‌باشند (Kemker, 2014). شوری منابع آب ناشی از دو عامل اصلی طبیعی و انسان-ساخت می‌باشد. عوامل طبیعی آن عبارت است از: ساختار خاک و زمین‌شناسی منطقه و جود سازندهای شور کننده و یا پهنه‌ها و سطوح تبخیری دارای نمک. عوامل انسانی مربوط به مصارف مختلف آب و دفع پساب‌های مربوطه، به‌ویژه فعالیت‌های کشاورزی و آبیاری و دفع غیراصولی زهاب‌های کشاورزی در محیط‌زیست، به‌ویژه منابع آب می‌باشد؛ که باعث شوری خاک و آب و همچنین شستشوی شوری خاک و نفوذ آن به منابع آب سطحی می‌گردد. با توجه به دو گروه اصلی عامل شوری (طبیعی و انسان‌ساخت)؛ تنها عوامل انسان‌ساخت منجر به روند مثبت شوری می‌باشند و عوامل طبیعی تنها به‌صورت فصلی و ماهیانه و یا به‌صورت ثابت اثرگذار می‌باشند. وجود میزان نا-متعارفی از شوری در آب، نشان‌دهنده وجود منابع آلاینده می‌باشد و روند تغییرات این پارامتر در آب‌ها، بر روی کیفیت آب و همین‌طور حیات آبزیان تأثیر می‌گذارد، زیرا بدن موجودات آبزی تا میزان مشخصی از تغییرات شوری در آب را می‌تواند تحمل نماید.

شوری به‌عنوان مهم‌ترین شاخص کیفیت آب از دید مصارف

۱- استادیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران
Email: Yar_bahman@yahoo.com
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.3.1.5
2- Electrical Conductivity

مختلف حائز اهمیت بوده و غفلت از آن می‌تواند خسارت جبران‌ناپذیر و هزینه‌های گزافی را به بخش‌های مختلف مصارف آب وارد نماید؛ که مهم‌ترین آن بخش کشاورزی هست. همچنین با توجه به ارتباط شوری منابع آب با خاک روند شوری آب می‌تواند شوری خاک را نیز تشدید کرده و اثرات سوء جبران‌ناپذیری را بر محیط‌زیست و کشاورزی وارد کند. لذا ارزیابی وضعیت و روند شور شدن منابع آب به‌عنوان ابزاری برای شناخت و مدیریت این بحران (شور شدن منابع آب و خاک) محسوب می‌شود. هدف از این مطالعه، بررسی روند تغییرات زمانی طولانی‌مدت شوری آب در روی ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در سطح کشور در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۷۴ الی ۱۳۹۰ می‌باشد تا از این طریق با شناخت این روند، منابع مربوطه شناسایی و راهکارهای عملی و مدیریتی برای کنترل و یا کاهش این روند ارائه گردد. برای این منظور، از آزمون تحلیل روند من-کندال[1] با حذف اثر پس‌زمینه‌ای[2] دبی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

در این مطالعه، تعداد ۲۰ ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانه‌های مختلف کشور با پراکنش در سطح کشور واقع در ۱۲ استان، به نحوی انتخاب گردیده‌اند که بیانگر سیمای کیفی منابع آب سطحی کشور باشند. پراکنش این ایستگاه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب گردید که منابع آب در نقاط مختلف ایران (شمال، جنوب و غرب) که دارای شرایط مختلف هیدرولوژیکی و کاربری اراضی می‌باشند را پوشش دهد و از نظر کیفیت آب، دارای تنوع و گوناگونی باشند. در انتخاب رودخانه‌ها شاخص‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، کاربری اراضی و شرایط جغرافیایی مختلف به‌عنوان فاکتورهای مؤثر مدنظر بوده است. همچنین در انتخاب ایستگاه‌ها سعی گردیده تا کیفیت آب بیانگر جریان طبیعی و واقعی رودخانه بوده و تحت تأثیر مخازن سدها و دریاچه‌ها نباشد و منابع آلاینده و تأثیرگذار لحظه‌ای نبوده و همچنین دارای آمار طولانی‌مدت کمی-کیفی پیوسته برای تعیین روند زمانی شوری باشد. موقعیت رودخانه و ایستگاه‌های منتخب در شکل (۱) و اطلاعات آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. مرجع داده‌های کمی-کیفی مورداستفاده، شرکت مدیریت منابع آب ایران می‌باشد.

داده‌های مورداستفاده

داده‌های مورداستفاده شامل دادهای کیفی (هدایت الکتریکی) و کمی (دبی جریان) طولانی‌مدت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب بر روی رودخانه‌های موردنظر می‌باشد که از شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ گردیده است. رودخانه‌ها، ایستگاه‌های هیدرومتری و خلاصه آماری داده مربوطه در جدول (۱) ارائه شده است.

روش‌ها

روش آزمون تحلیل روند

به کمک روش تحلیل روند می‌توان وجود یا عدم وجود تغییراتی که پارامتر در طول زمان دارد را موردبررسی و تحلیل قرار داد. در حقیقت، به کمک روش تحلیل روند زمانی، می‌توان دریافت که آیا داده‌های سری زمانی موردنظر (نظیر غلظت پارامترهای کیفی) در طول زمان، روند افزایشی یا کاهشی داشته‌اند و یا از این نظر فاقد روند معنی‌داری می‌باشند. از این روش در علوم مختلف از قبیل کیفیت و کمیت منابع آب، هواشناسی، هیدرولوژی و بیولوژیکی استفاده می‌گردد (سبزی‌پروز و شادمانی، ۱۳۹۰؛ قره‌خانی و قهرمان، ۱۳۸۹؛ Novotny and Stefan, 2007؛ Suna et al., 2015؛ Shirvani, 2015).

طبق یک تقسیم‌بندی، برای انجام تحلیل روند زمانی پنج رویکرد و روش مختلف وجود دارد که در جدول (۲) نشان داده شده است (Geological Survey, 2002). این روش‌ها بر اساس دو عامل تفکیک شده‌اند: عامل اول استفاده از روش‌های پارامتریک، غیر پارامتریک یا تلفیقی می‌باشد (ردیف‌های جدول) و عامل دوم انجام تحلیل روند با در نظرگیری اثر متغیر خارجی یا بدون در نظرگیری آن می‌باشد (ستون‌های جدول). علائم به‌کاررفته در این جدول بدین شرح است:

Y: متغیر حالت که تحلیل روند، بر روی آن انجام می‌شود (مانند غلظت پارامترهای کیفی)

X: متغیر اثرگذار خارجی که انتظار می‌رود بر روی Y تأثیرگذار باشد (مانند دبی، بارش یا دما)

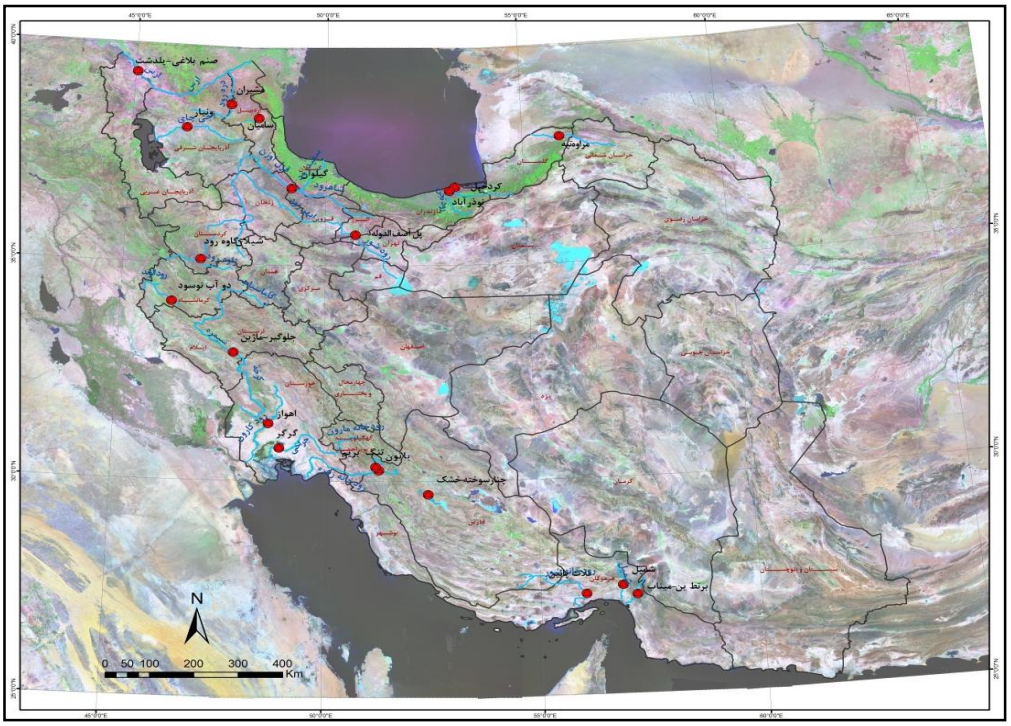
R: باقیمانده[3] روش رگرسیون یا LOWESS[4] بر روی متغیر Y در مقابل X

T: زمان (معمولاً در مقیاس سال).

روش‌های پارامتریک، دارای پیش‌شرط‌هایی هستند که لازم است قبل از استفاده، آن‌ها را کنترل نمود. ازجمله این پیش‌شرط‌ها عبارت‌اند از: نرمال بودن توزیع داده‌ها، نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها[5]، ثابت بودن واریانس[6] (پراکنش یکنواخت باقیمانده‌ها حول خط صفر) و وجود یک رابطه خطی مناسب بین متغیر مستقل و وابسته (Geological Survey, 2002).

1- Mann-kendal Trend Analysis
2- Noise

3- residuals
4- Locally Weighted Scatterplot Smoothing
5- Normality of residuals
6- Constant Variance



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری موردبررسی و خلاصه آماری هدایت الکتریکی (سال‌های ۱۳۷٤ الی ۱۳۹٦)

ردیف	کد ایستگاه	نام استان	نام رودخانه	نام ایستگاه	حداکثر EC (microS/cm)	میانه EC (microS/cm)	حداقل EC (microS/cm)
۱	۱۹-۰۶۹	اردبیل	دره رود	مشیران	۲۹۴۰	۱۰۳۵	۲۷۱
۲	۱۹-۱۰۱	اردبیل	قره‌سو	سامیان	۲۱۵۰	۱۰۹۵	۳۳۱
۳	۳۱-۰۱۵	آذربایجان شرقی	آجی‌چای	ونیار	۳۵۷۰	۲۰۱۱	۸۶۰
۴	۱۹-۰۰۵	آذربایجان شرقی	ارس	صنم بلغی	۵۲۶	۳۸۸	۲۰۶
۵	۴۱-۰۹۹	تهران	شور	پل آصف‌الدوله	۵۹۶۰	۲۰۷۵	۹۳۵
۶	۲۱-۳۰۹	خوزستان	کارون	اهواز	۲۲۹۰	۶۱۰	۳۲۰
۷	۲۲-۰۲۷	خوزستان	جراحی	گرگر	۲۷۸۱	۱۲۶۰	۳۰۵
۸	۲۱-۱۸۵	خوزستان	کرخه	جلوگیر ماژین	۳۸۸۳	۹۷۰	۲۹۴
۹	۴۳-۰۴۳	فارس	خشک	چنار سوخته	۲۷۸۱	۱۴۱۳	۳۰۵
۱۰	۲۲-۰۷۱	فارس	فهلیان	باتون	۷۶۵۰۰	۱۴۰۶۰	۱۶۵۹
۱۱	۲۱-۰۲۱	کردستان	گاوه‌رود	شیلان گاوه‌رود	۱۲۹۵۰	۳۶۱۰	۲۷۵
۱۲	۲۱-۰۴۷	کرمانشاه	سیروان	دوآب نوسرد	۱۰۸۱۰	۳۲۸۵	۱۵۲۸
۱۳	۲۲-۰۴۵	کهگیلویه و بویر-احمد	شیو-زهره	تنگه بریم	۱۹۷۰	۱۳۳۰	۶۶۲
۱۴	۱۱-۰۴۷	گلستان	اترک	مراوه تپه	۵۷۱	۴۵۹	۳۴۷
۱۵	۱۷-۰۳۳	گیلان	قزل‌اوزن	گیلوان	۷۴۳۰	۲۵۸۰	۸۷۴
۱۶	۱۳-۰۰۶	مازندران	نکارود	نوذر آباد	۴۸۲۶۸	۲۸۱۲۰	۳۹۶۳
۱۷	۱۳-۰۲۹	مازندران	تجن	کردخیل	۷۰۶۰	۱۱۳۱	۳۱۰
۱۸	۲۷-۰۱۷	هرمزگان	میناب	برنطین	۱۳۴۲	۶۶۱/۵	۳۹۰
۱۹	۲۶-۰۱۵	هرمزگان	کل	قلات پایین	۱۵۲۰	۱۱۵۱	۴۲۶
۲۰	۲۷-۰۲۳	هرمزگان	شمیل	شمیل	۷۷۲۳	۱۷۱۲	۳۱۵

جدول ۲- دسته‌بندی انواع روش‌های تحلیل روند زمانی

عامل تفکیک	با لحاظ نمودن اثر متغیر خارجی	بدون لحاظ نمودن اثر متغیر خارجی
پارامتریک	رگرسیون Y بر روی X و T	رگرسیون Y بر روی T
غیر پارامتریک	آزمون من – کندال بر روی باقیمانده (R) از روش LOWESS بر روی X	آزمون من – کندال بر روی Y
تلفیقی	آزمون من – کندال بر روی باقیمانده (R) از روش رگرسیون بر روی X	-

بررسی پیش‌شرط‌های فوق‌الذکر، به کمک تلفیقی از روابط بصری و ریاضی انجام می‌گیرد. در عوض، روش‌های غیر پارامتریک، هیچ‌گونه پیش‌شرطی قبل از انجام آزمون ندارند. علاوه‌برآن، دارای مزیت‌هایی نظیر در نظرگیری رتبه داده‌ها (بجای مقادیر داده‌ها) و همچنین عدم حساسیت به داده‌های پرت می‌باشند. همچنین استفاده از روش‌های غیر پارامتریک، تغییر ژرفی در نتایج خروجی به وجود نخواهد آورد.

در این مطالعه، نخست وضعیت نرمال بودن یا نبودن داده‌های هدایت الکتریکی با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف[1] و در سطح معنی‌داری ۵٪ بررسی گردید. با توجه به عدم پیروی داده‌های هدایت الکتریکی از توزیع نرمال، از آزمون غیر پارامتریک من–کندال[2] که یک روش شناخته شده برای انجام تحلیل روند غیر پارامتریک می‌باشد، برای تعیین وجود یا عدم وجود روند زمانی در داده‌های کیفیت آب در ایستگاه‌های هیدرومتری بهره گرفته شد.

روش آزمون تحلیل روند من – کندال بدون حذف اثر متغیر خارجی

آزمون من–کندال، ابتدا توسط Mann (1945) ارائه شد و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت. این آزمون اکنون به‌طور گسترده‌ای در تحلیل روند زمانی سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم برای تحلیل روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است (قره‌خانی و قهرمان، ۱۳۸۹):

الف- محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با یکدیگر و استخراج پارامتر s به شرح زیر:

$$s=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\mathrm{sgn}\left(x_j-x_k\right) \qquad (۱)$$

در این رابطه n تعداد داده‌های مشاهداتی، xj و xk به ترتیب داده‌های j ام و k ام و sgn تابع علامت می‌باشد که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\mathrm{sgn}(x)=\begin{cases}+1 & if \quad (x_j-x)>0\\ 0 & if \quad (x_j-x)=0\\ -1 & if \quad (x_j-x)<0\end{cases} \qquad (۲)$$

ب- محاسبه واریانس s توسط یکی از روابط زیر:

$$\mathrm{var}(s)=\frac{n-(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{m}t(t-1)(2t-5)}{18} \quad if \quad n>10 \qquad (۳)$$

$$\mathrm{var}(s)=\frac{n-(n-1)(2n+5)}{18} \quad if \quad n<10 \qquad (۴)$$

که در این رابطه m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های باارزش یکسان می‌باشد.

استخراج آماره Z به کمک یکی از روابط زیر:

$$z=\begin{cases}\dfrac{s-1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & if \quad s>0\\ 0 & if \quad s=0\\ \dfrac{s+1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & if \quad s<0\end{cases} \qquad (۵)$$

در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روند یابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|z|\le z_{\alpha/2} \qquad (۶)$$

که در این رابطه α سطح معنی‌داری[3] است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است.

روش آزمون من – کندال با حذف اثر متغیر خارجی

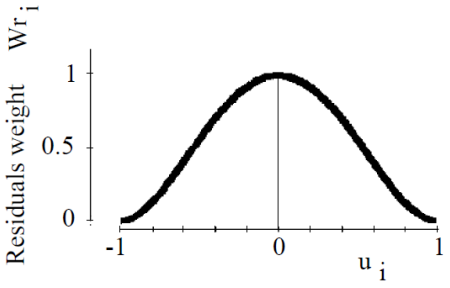
غیر از متغیر زمان، معمولاً متغیرهای دیگری نیز وجود دارند که بر روی متغیر حالت Y تأثیر قابل‌توجهی می‌گذارند. این متغیرهای خارجی، معمولاً پدیده‌های طبیعی و تصادفی[4] نظیر دبی، بارش یا دما هستند.

$$W_i=W_{xi}\times W_{ri} \qquad (۷)$$

1- Kolmogorov-Smirnova
2- Mann-Kendal
3- Significance level
4- Natural, random phenomena

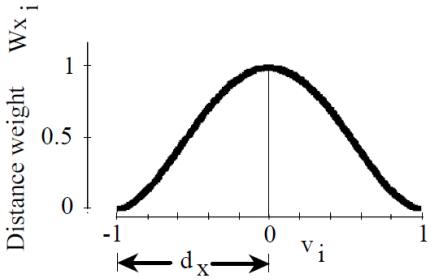
$$U_i = \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{6 \times median \quad of \quad all\left|Y_i - \hat{Y}_i\right|} \qquad (۸)$$

$$W_{ri} = \begin{cases} \left(1 - U_i^2\right)^2 & for\left|U_i\right| \le 1 \\ 0 & for\left|U_i\right| > 1 \end{cases} \qquad (۹)$$



$$V_i = \frac{X_i - X}{d_x} \qquad (۱۰)$$

$$W_{xi} = \begin{cases} \left(1 - V_i^2\right)^2 & for\left|V_i\right| \le 1 \\ 0 & for\left|V_i\right| > 1 \end{cases} \qquad (۱۱)$$



با حذف اثر متغیرهای خارجی، در حقیقت اثر پس‌زمینه‌ای یا نویز[1] در تحلیل روند زمانی کاهش یافته و قابلیت تحلیل روند در شناسایی تغییرات متغیر حالت، افزایش می‌یابد (Geological Survey, 2002; Geological Survey, 2005). طبق جدول (۲)، لحاظ نمودن اثر متغیر خارجی، به دو روش LOWESS[2] و رگرسیون امکان‌پذیر است. در این مطالعه، با توجه به انتخاب روش غیر پارامتریک برای انجام تحلیل روند، از روش LOWESS برای لحاظ نمودن اثر متغیر خارجی استفاده گردید. روش LOWESS یا روش اصلاح پراکنش به‌صورت محلی- وزنی، شامل یک معادله برازش به روش حداقل مربعات وزنی درجه دو[3] می‌باشد. بدین‌صورت که برای هر داده X_0 ، مقدار متغیر حالت متناظر $\hat{Y}$ با استفاده از روش رگرسیون وزنی[4] یا WLS محاسبه می‌گردد. در روش WLS، ضریب وزنی (W_i) بر حسب دو متغیر ضریب وزنی فاصله (W_{xi}) و ضریب وزنی باقیمانده[5] (W_{ri}) به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد (Geological Survey, 2002):

ضریب وزنی فاصله، تابعی از میزان فاصله بین مرکز داده‌ها و داده X_i می‌باشد. ضریب باقیمانده، تابعی از فاصله بین داده مشاهداتی متغیر حالت (Y_i) و مقدار محاسباتی آن توسط معادله برازش، در جهت Y می‌باشد. طبق رابطه فوق، اگر نقطه‌ای در فاصله‌ای دور از مرکز داده‌ها در جهت X باشد، یا مقدار باقیمانده بزرگی در جهت Y داشته باشد، ضریب وزنی کوچک‌تری خواهد داشت.

ضرایب وزنی بیان‌شده در رابطه (۷) برای نقطه با مختصات (X_i, Y_i) توسط روابط زیر محاسبه می‌گردند (Geological Survey, 2002):

در رابطه ۱۰، dx درواقع m اُمین $\left|X_i - X\right|$ بزرگ می‌باشد. مقدار m از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$m = N.f \qquad (۱۲)$$

در رابطه فوق، N تعداد داده‌ها و f ضریب تصحیح[6] می‌باشد. چنانچه ملاحظه می‌شود، میزان تأثیر متغیر خارجی، توسط ضریب تصحیح f کنترل می‌گردد به‌گونه‌ای که با افزایش اندازه f، اندازه dx افزایش یافته و تعداد نقاط بیشتری بر شدت $\hat{Y}$ اثر می‌گذارند. به‌عبارت‌دیگر، با افزایش f، میزان اثرگذاری متغیر خارجی افزایش

1- Background variability or noise
2- LOcallyWEighted Scatterplot Smoothing
3- 2n weighted least squares equations
4- WLS regression
5- Residual
6- Smoothness factor

می‌یابد. ضریب تصحیح مناسب، با توجه به هدف تحلیل روند انتخاب می‌گردد.

با حذف اثر متغیر خارجی، مقادیر باقیمانده، از تفاوت مقادیر متغیر حالت مشاهداتی و محاسباتی (از برازش) محاسبه می‌شود. سپس تحلیل روند بر روی باقیمانده‌ها انجام می‌گیرد و آماره S مجدد محاسبه می‌گردد و باقیمانده‌ها با عدد صفر مقایسه می‌گردند. تشخیص نوع روند (افزایشی یا کاهشی)، مانند قبل به کمک آماره z و سطح معنی‌داری خواهد بود.

روش انجام مطالعه

در این مطالعه، نخست وضعیت نرمال بودن یا نبودن داده‌های هدایت الکتریکی با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف موردبررسی قرار گرفت. با مشخص شدن عدم پیروی داده‌ها از توزیع نرمال، طبق توصیه مراجع معتبر (Geological Survey, 2002; Geological Survey, 2005: Geological Survey, 2015)، به‌منظور انجام تحلیل روند، از روش من کندال با حذف اثر متغیر خارجی دبی استفاده شد. برای ضریب f در این تحلیل، سه مقدار ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ در نظر گرفته شد و در نهایت، برآیند آن‌ها به‌عنوان نتیجه نهایی انتخاب گردید. همچنین به‌منظور استفاده از این روش، لازم است که متغیر خارجی، از نوع تصادفی، یعنی دارای توزیع نرمال باشد. ازاین‌رو، دبی (متغیر خارجی) در تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری با استفاده از تبدیل باکس کاکس[1] به داده با توزیع نرمال تبدیل گردیده و نرمال بودن دبی تعدیل‌یافته با دو آزمون کلموگروف اسمیرنوف[2] و شاپیروویلک[3] در سطح معنی‌داری ۵٪ کنترل گردید. این کار با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و MATLAB انجام شد.

پس ا آن، تحلیل روند من‌کندال با کمک یک بسته نرم‌افزاری با نام Kendall که توسط سازمان نقشه‌برداری امریکا[4] تهیه گردیده است، انجام گرفت. با توجه به آنکه روش تحلیل من-کندال نیازمند حداقل ۱۰ سال آماری می‌باشد، پس از بررسی داده‌ها و وجود خلاء-های آماری مختلف در آن‌ها، دوره زمانی مشترک بین سال‌های ۱۳۷۴ الی ۱۳۹۰ برای تحلیل انتخاب گردید (دوره ۱۶ ساله).

نتایج و بحث

در جدول (۳) نتایج بررسی نرمال بودن یا نبودن داده‌های هدایت الکتریکی با استفاده از با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف و در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان داده شده است. طبق این جدول با توجه به کوچک‌تر بودن مقدار p-value این آزمون از ۰/۰۵، مشاهده می‌شود که داده‌ها فاقد توزیع نرمال می‌باشند.

در جدول (۳) همچنین نتایج تحلیل روند بر روی ایستگاه‌های موردمطالعه ارائه شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، در بین ایستگاه-های مورداستفاده، ایستگاه‌های مشیران بر روی رودخانه دره رود استان اردبیل، سامیان بر روی رودخانه قره‌سو در استان اردبیل، اهواز بر روی رودخانه کارون استان خوزستان، دوآب نوسرد بر روی رودخانه سیروان، مراوه‌تپه بر روی رودخانه اترک و نوذرآباد بر روی رودخانه نکارود دارای روند افزایش شوری تشخیص داده شده‌اند. سایر ایستگاه‌ها یا فاقد روند معنی‌دار بوده و یا دارای روندی کاهشی بوده-اند. علت آن می‌تواند بهره‌برداری و استفاده اصولی از منابع آب و برقراری تعادل بین منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین تأثیر کم و یا مثبت تغییر اقلیم بر منابع آب باشد.

این نتایج به‌گونه‌ای دیگری، در شکل (۲) نیز نشان داده شده است. این شکل، مقادیر میانه EC در ایستگاه‌های موردبررسی را نشان می‌دهد که در آن، ایستگاه‌های دارای روند مشابه، به‌طور متمایز نشان داده شده است. همچنین به‌منظور فراهم آوردن امکان مقایسه، مقدار استاندارد هدایت الکتریکی برای کاربری کشاورزی، طبق استاندارد کیفیت آب‌های ایران (سازمان حفاظت محیط‌زیست) که برابر ۳۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد نیز نشان داده شده است. طبق شکل (۲) مشاهده می‌گردد که ایستگاه‌های دارای روند افزایشی، الزاماً دارای مقدار بالای هدایت الکتریکی نمی‌باشند. به‌عبارت‌دیگر، وجود مقادیر بالای هدایت الکتریکی در یک رودخانه و وجود روند افزایشی در همان رودخانه، دو موضوع جدا از هم می‌باشند. وجود روند افزایشی در این ایستگاه‌ها بدان معنی می‌باشد که اگر روند تغییرات طبیعی و انسانی، به همین‌گونه فعلی پیش برود و عملیات اصلاحی مناسبی انجام نگیرد، در آینده شاهد شور شدن این منابع آب خواهیم بود.

با توجه به تعداد زیاد شکل‌ها در این قسمت فقط اطلاعات جدول (۳) مطابق شکل (۳) فقط برای ایستگاه‌های دارای روند افزایشی ارائه گردیده است. خط باقیمانده نشان داده شده در این شکل‌ها، حاصل از تحلیل روند من-کندال با حذف متغیر خارجی می‌باشد. مطابق توضیحات قبلی، در این روش، نخست برای هر داده مشاهداتی، یک مقدار محاسباتی با استفاده از روش برازش رگرسیون وزنی (WLS) محاسبه می‌گردد. سپس به‌منظور حذف اثر متغیر خارجی، تفاضل مقادیر مشاهداتی از محاسباتی محاسبه می‌گردد که به باقیمانده یا Residual موسوم است و تحلیل روند، بر روی باقیمانده‌ها انجام می‌گیرد. درصورتی‌که مقادیر باقیمانده، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با عدد صفر داشته باشند، پارامتر موردبررسی دارای روند محسوب می‌شود و در غیر این صورت، فاقد روند می‌باشد. از به هم پیوستن نقاط باقیمانده، خط باقیمانده به دست می‌آید که در این

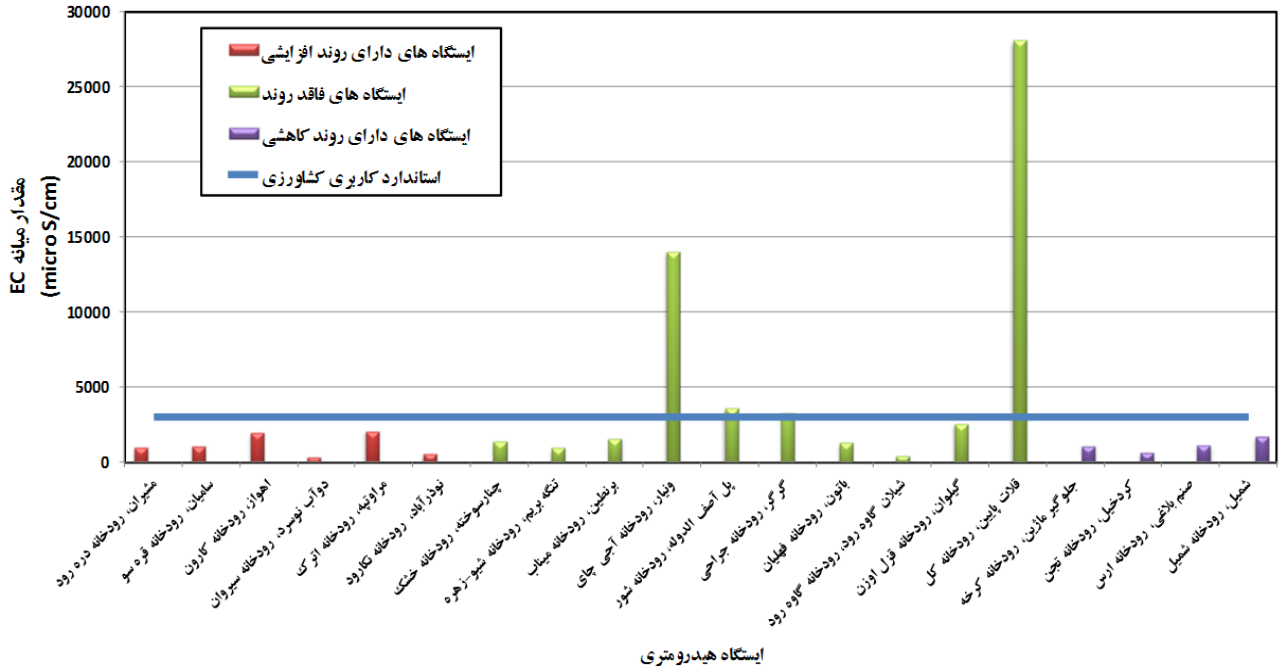
1- Box Cox Transformation
2- Kolmogorov-Smirnova
3- Shapiro-Wilk
4- US. Geological Survey

شکل‌ها نشان داده شده است.

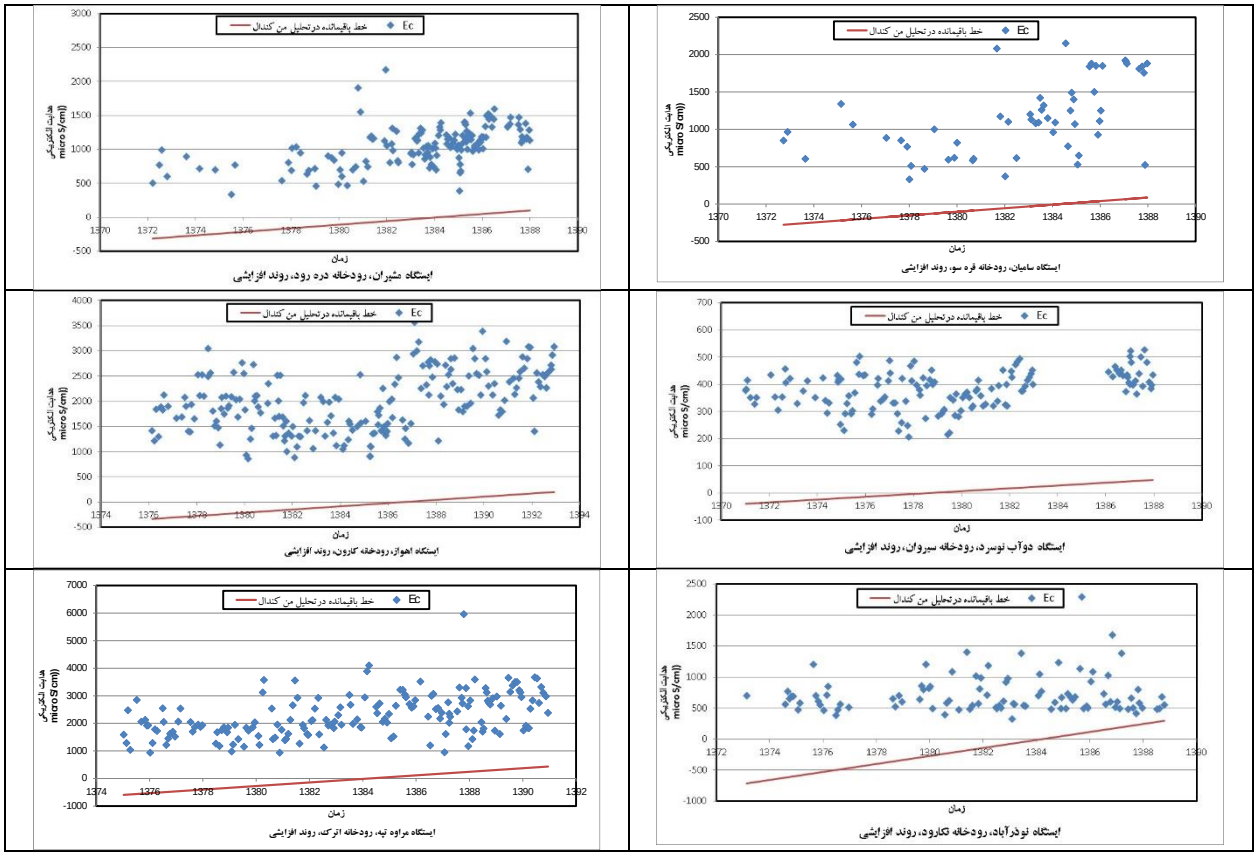
همچنین به‌منظور نشان دادن اهمیت و دقت تحلیل آماری، در شکل (۴) پراکنش زمانی پارامتر هدایت الکتریکی به همراه یک برازش خطی ساده، برای چند ایستگاه که فاقد روند تشخیص داده شدند، ارائه شده است. در این شکل‌ها، مشاهده می‌گردد که تغییرات هدایت الکتریکی در ایستگاه‌هایی نظیر چنار سوخته، گیلوان، ونیار و گرگر اگرچه به لحاظ بصری دارای روندی صعودی می‌باشند ولی این روند صعودی، طبق روش تحلیل من کندل معنی‌دار نمی‌باشند. این موضوع، اهمیت انجام تحلیل‌های آماری و حذف اثر پس‌زمینه‌ای دبی را نشان می‌دهد. این مطالعه، دید شفاف‌تری نسبت به وضعیت روند شوری در برخی رودخانه‌های ایران به دست می‌دهد.

جدول ۳- نتیجه آزمون کلموگروف اسمیرنوف و تحلیل **روند من کندال بر روی ایستگاه‌های موردبررسی**

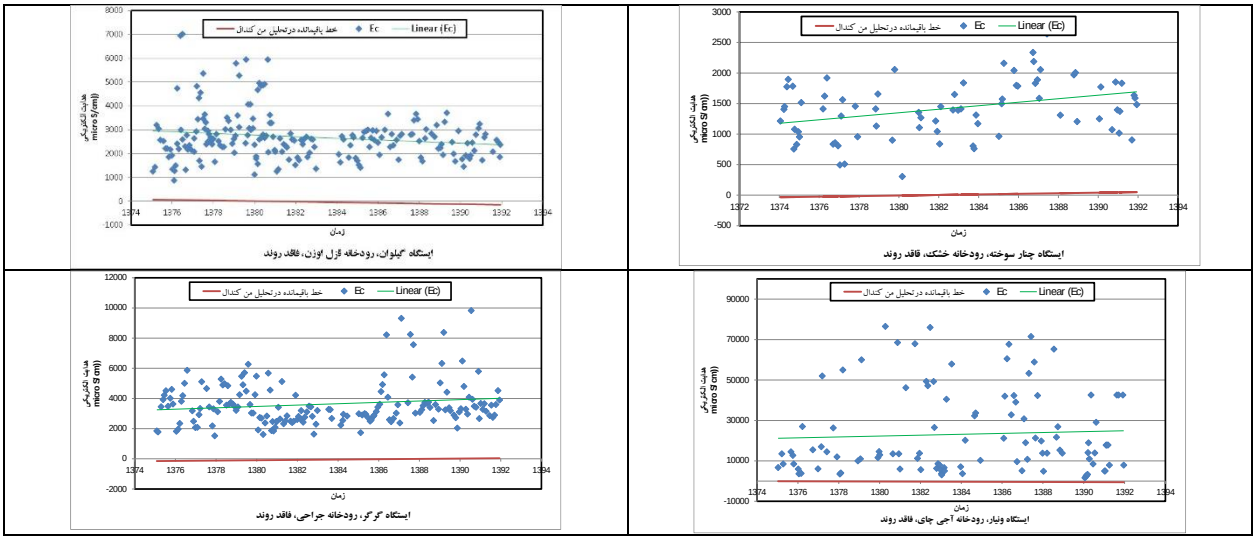
ردیف	کد ایستگاه	نام استان	نام رودخانه	نام ایستگاه	p-value آزمون کلموگروف اسمیرنوف	نتیجه تحلیل روند با حذف دبی	معادله خط باقیمانده (X: Time)
۱	۱۹-۰۶۹	اردبیل	دره رود	مشیران	۰/۰۱	روند افزایشی دارد	Residual = -36321+26.24*X
۲	۱۹-۱۰۱	اردبیل	قره‌سو	سامیان	۰	روند افزایشی دارد	Residual = -33030+23.86*X
۳	۳۱-۰۱۵	آذربایجان شرقی	آجی‌چای	ونیار	۰/۰۴	روند پیدا نشد	Residual = -38337+(-27.93)*X
۴	۱۹-۰۰۵	آذربایجان شرقی	ارس	صنم بلغی	۰/۰۴	روند کاهشی دارد	Residual = 9944.9+(-7.195)*X
۵	۴۱-۰۹۹	تهران	شور	پل آصف الدوله	۰/۰۲	روند پیدا نشد	Residual = -0.14318E+06 + 103.0*X
۶	۲۱-۳۰۹	خوزستان	کارون	اهواز	۰/۰۳	روند افزایشی دارد	Residual = -44109+31.81*X
۷	۲۲-۰۲۷	خوزستان	جراحی	گرگر	۰/۰۲	روند پیدا نشد	Residual = -15578+11.22*X
۸	۲۱-۱۸۵	خوزستان	کرخه	جلوگیر ماژین	۰	روند کاهشی دارد	Residual = 18323+(-13.26)*X
۹	۴۳-۰۴۳	فارس	خشک	چنار سوخته	۰	روند پیدا نشد	Residual = -6465.7+4.681*X
۱۰	۲۲-۰۷۱	فارس	فهلیان	باتون	۰/۰۱	روند پیدا نشد	Residual = -506.70+0.3678*X
۱۱	۲۱-۰۲۱	کردستان	گاوه‌رود	شیلان گاوه‌رود	۰/۰۴	روند پیدا نشد	Residual = -1666.3+1.206*X
۱۲	۲۱-۰۴۷	کرمانشاه	سیروان	دوآب نوسرد	۰/۰۱	روند افزایشی دارد	Residual = -7124.6+5.168*X
۱۳	۲۲-۰۴۵	کهگیلویه و بویراحمد	شیو-زهره	تنگه بریم	۰/۰۲	روند پیدا نشد	Residual = 279.56+(-0.1947)*X
۱۴	۱۱-۰۴۷	گلستان	اترک	مراوه تپه	۰/۰۳	روند افزایشی دارد	Residual = -89380+64.57*X
۱۵	۱۷-۰۳۳	گیلان	قزل‌اوزن	گیلوان	۰/۰۳	روند پیدا نشد	Residual = 17893+(-12.96)*X
۱۶	۱۳-۰۰۶	مازندران	نکارود	نوذر آباد	۰/۰۲	روند افزایشی دارد	Residual = -90814+65.60*X
۱۷	۱۳-۰۲۹	مازندران	تجن	کردخیل	۰/۰۱	روند کاهشی دارد	Residual = 8405.9+(-6.087)*X
۱۸	۲۷-۰۱۷	هرمزگان	میناب	برنطین	۰/۰۱	روند پیدا نشد	Residual = 9344.2+(-6.750)*X
۱۹	۲۶-۰۱۵	هرمزگان	کل	قلات پایین	۰/۰۲	روند پیدا نشد	Residual = 0.88011E+06 + (-636.9)*X
۲۰	۲۷-۰۲۳	هرمزگان	شمیل	شمیل	۰/۰۳	روند کاهشی دارد	Residual = 61486+(-44.38)*X



شکل ۲- نتیجه تحلیل روند بر روی ایستگاه‌های مورد بررسی به همراه خط استاندارد کاربری کشاورزی برای هدایت الکتریکی



شکل ۳-پراکنش هدایت الکتریکی و خط به‌دست‌آمده از تحلیل من کندال در ایستگاه‌های دارای روند افزایشی



شکل ٤- پراکنش هدایت الکتریکی و برازش خطی در چند ایستگاه که از لحاظ آماری، فاقد روند تشخیص داده شدند

بر اساس نتایج حاصل شکل‌های ۳ و ۴ و همچنین جدول شماره ۳، درمجموع بالغبر ۵۰ درصد منابع آب سطحی موردبررسی از نظر شوری داری روندی مثبت می‌باشند که بر اساس روش تحلیل من کندل روند مثبت شوری در حدود ۳۰ درصد از منابع موردبررسی تائید می‌گردد. با توجه به اینکه روند زمانی افزایش شوری ناشی از فعالیت-های انسانی یا به‌عبارت‌دیگر خارج از قلمرو تأثیر پدیده‌های طبیعی و متعارف قلمداد می‌شوند، لزوم توجه و برنامه‌ریزی برای شناسایی عوامل این افزایش شوری و همچنین برنامه‌ریزی برای کنترل و کاهش آن ضروری می‌باشد. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده مهم-ترین عوامل روند زمانی مثبت شوری آب این منابع به شرح ذیل می-باشد:

- رشد جمعیت و برداشت بی‌رویه و رو به رشد از این منابع برای مصارف مختلف
- عدم رعایت حقابه محیطزیستی رودخانه‌ها از نظر کمی و کیفی
- توسعه کشاورزی و ورود زهاب‌های کشاورزی در سطح حوضه-های آبریز
- تخریب پوشش گیاهی در اثر تغییرات غیراصولی و تشدید فرسایش
- برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و بیلان منفی منابع آب زیرزمینی

نتیجه‌گیری

با توجه به نقش و اهمیت شوری در مصارف مختلف آب و نتایج حاصل که تاییدی است بر روند رو به رشد شوری منابع آب سطحی، این نگرانی وجود دارد که دامنه گسترش این روند و همچنین شدت آن در آینده توسعه‌یافته و منابع آب بیشتری را شامل گردد. همچنین با توجه به اینکه این روند بیشتر در منابع آب با شوری پایین و باکیفیت مطلوب حادث گردیده بیم آن ود که این منابع در آینده‌ای نزدیک با افزایش شوری برای مصارف مختلف ایجاد محدودیت نماید. لذا با توجه به عوامل اصلی بروز این اثر یزی برای شناخت عوامل مؤثر در روند شور شدن منابع آب و ارائه راهکارهای عملی و مدیریتی برای کنترل و مهار این روند به شرح ذیل ضروری می‌باشد:

- مطالعه دقیق منابع آب به‌منظور شناخت روند زمانی شوری و عوامل اصلی ایجادکننده آن در سطح حوضه‌های آبریز درجه ۲ توسط وزارت نیرو و شرکت‌های آب منطقه‌ای استان‌ها
- محاسبه سهم هر یک از منابع و فعالیت‌های انسانی در ایجاد شوری منابع آب با روش‌هایی مانند شبکه بیزین
- تدوین و ارائه برنامه و راهکارهای اجرایی و مدیریتی برای کنترل و مهار شوری منابع آب
- آمایش سرزمین و ارائه برنامه برای توسعه و کاربری‌های مختلف
- کنترل برداشت آب از رودخانه‌ها و رعایت حقابه محیطزیستی رودخانه‌ها و تالاب‌ها
- اجرای طرح تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی
- آبخیزداری و جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی
- اجرای تصفیه‌خانه و مدیریت فاضلاب‌های شهری و صنعتی
- جلوگیری از توسعه کشاورزی و مدیریت زهاب‌های حاصله

منابع

سازمان حفاظت محیطزیست، معاونت محیطزیست انسانی، دفتر آب و خاک. ۱۳۹۵. استاندارد کیفیت آب‌های ایران.

سبزی پرور، ع، ا. و شادمانی، م. ۱۳۹۰. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من - کندال و اسپیرومن در مناطق خشک ایران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ (۴): ۸۳۴-۸۲۳.

قره‌خانی، ا. و قهرمان، ن. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه رطوبت نسبی و نقطه شبنم در چند نمونه اقلیمی در ایران، نشریه آب و خاک. ۲۴ (۴): ۶۴۶-۶۳۶.

Shirvani, A. 2015. *Change point analysis of mean annual air temperature in Iran*", Atmospheric Research, 160 (15): 91–98.

Kemker, C. 2014. Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids. Fundamentals of Environmental Measurements. Fondriest Environmental, Inc. Web.< http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/

Novotny, E; Stefan, H. 2007. Stream flow in Minnesota: Indicator of climate change. Journal of Hydrology. 334 (3–4): 319–333

Suna, S; Barrauda, S; Castebruneta, H; Aubina, J; Marmonierb, P. 2015. Long-termstormwater quantity and quality analysis using continuous measurements in a French urban catchment. Water Research. 85 (15): 432–442.

U.S. Geological Survey. 2002. Techniques of Water-Resources Investigations، Book 4، Chap. A3، Statistical Methods in Water Resources. 524 pages.

U.S. Geological Survey. 2005. Computer Program for the Kendall Family of Trend Tests; Helsel، D، R; Mueller، D، K; Slack، J، R; Scientific Investigations Report.

U.S. Geological Survey. 2013. Trends in Major-Ion Constituents andProperties for Selected Sampling Sites inthe Tongue and Powder River Watersheds، Montana and Wyoming، Based on Data Collected During Water Years 1980–2010" Scientific Investigations Report 2013-5179.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 15, Aug.-Sep. 2021, p. 483-493

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۵، مرداد - شهریور ۱۴۰۰، ص. ۴۹۳-۴۸۳

Analysis of Salinity Time-Trend for the Country's Surface Water Resources Using the Mankendall method

B. Yargholi[1]

Recived: Nov.27, 2020 Accepted: Apr.05, 2021

Abstract

The electrical conductivity parameters are directly related to the water salinity, and its variation trend indicates the variation trend in water resources salinity. Regarding Iran's water resources, there is a concern that due to climate change and drought in recent years, as well as increased water consumption compared to the past, the quality of these resources in terms of salinity is growing. In this study, the Mankendall trend analysis test by eliminating the discharge background effect (noise), which is a documented method in trend analysis on time series without a specific statistical distribution. In order to find the variation time-trend, the electrical conductivity (EC) parameter was used in 20 hydrometric stations located on different rivers of Iran. In selecting hydrometric stations, climatic, hydrological, land use index and different geographical conditions have been considered as effective factors. The results of this test provide a clearer and more citationable perspective of the salinity process. These results indicate the increasing trend of salinity in Moshiran (Darreh River), Samian (Qarasu River), Ahvaz (Karun River), Doab Nosard (Sirvan River), Maraveh Tappeh (Atrak River) and Nozarabad (Nekaroud River) stations and (30% of selected stations). Among control strategies and reduce this trend are observance of rivers and wetlands, balancing and reducing withdrawal from groundwater resources, implementation of watershed management projects, drainage management and prevent the development of agriculture.

Keywords: Background effect (noise), Electrical conductivity, Mann-Kendall trend analysis, Salinity trend

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran
Email: Yar_bahman@yahoo.com