

بررسی روند تغییرات بلند مدت متغیرهای کیفیت آب رودخانه چهل چای (استان گلستان)

آرش زارع گاریزی^۱، امیر سعدالدین^۲، واحدبردی شیخ^{۳*} و عبدالرسول سلمان ماهینی^۴

چکیده

آگاهی از وضع کیفی آب و تغییرات زمانی آن در مدیریت پایدار منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پژوهش به ارزیابی روند تغییرات بلندمدت کیفیت آب رودخانه چهل چای استان گلستان می‌پردازد. برای انجام پژوهش، از داده‌های ثبت شده کیفیت آب در ایستگاه هیدرومتری لزوره واقع در خروجی آبخیز چهل چای از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۷ استفاده شده است. دوازده متغیر کیفی آب جهت تجزیه و تحلیل انتخاب شد. برای بررسی روند متغیرها از روش‌های آماری ناپارامتریک (آزمون من-کندال و کندال فصلی) استفاده شد. نتایج نشان داد که، هفت متغیر (سدیم، کلرید، SAR، سولفات، پتاسیم، EC و TDS) روند افزایشی معنادار دارند، چهار متغیر بدون روند هستند و تنها یک متغیر (بیکربنات) روند کاهشی معناداری دارد. روند افزایشی متغیرها و تنزل کیفیت آب رودخانه چهل چای را می‌توان ناشی از عواملی نظیر تغییر کاربری اراضی، فرسایش خاک، و ورود زائدات ناشی از فعالیت‌های انسانی به رودخانه دانست. مطالعه تغییرات کاربری در آبخیز چهل چای در چهار دهه گذشته نیز حاکی از تبدیل ۲۵۳۷ هکتار از مناطق جنگلی به اراضی کشاورزی است. همسو بودن روند تغییرات کاربری اراضی با تغییرات داده‌های کیفیت آب موید تأثیرات احتمالی آن بر خصوصیات کیفی آب است. نتایج این پژوهش، نیاز مبرم به اقدامات مدیریتی برای کنترل منابع آلاینده در این آبخیز را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب، روند تغییرات بلندمدت، من-کندال، کندال فصلی، رودخانه چهل چای.

ارجاع: زارع گاریزی آ. سعدالدین ا. بردی شیخ و. و سلمان ماهینی ع. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات بلند مدت متغیرهای کیفیت آب رودخانه چهل چای (استان گلستان). مجله پژوهش آب ایران.

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه یزد
۲- استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- دانشیار گروه محیط زیست دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* نویسنده مسئول: v.sheikh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۶/۲۶

مقدمه

در پی بروز تغییرات اقلیمی و دخالت‌های گسترده انسان در محیط زیست توجه زیادی به مدیریت پایدار منابع آب در سطح جهان معطوف شده است (مییک، ۲۰۰۳). خصوصیات کیفی آب از مولفه‌هایی است که ضرورت در نظر گرفتن آن در مدیریت منابع آب و همچنین ارزیابی سلامت حوضه‌های آبخیز و اعمال تغییرات مدیریتی کاملاً ثابت شده (خادم و کالورچی، ۲۰۰۶) ولی در کشور ما به ندرت مورد توجه قرار گرفته است.

رودخانه‌ها از منابع آب در دسترس انسان بوده و از دیرباز همواره جوامع انسانی و مراکز صنعتی در مجاورت آنها برپا شده است. در دهه‌های اخیر افزایش جمعیت، گسترش صنایع و تولید انواع آلاینده‌ها در مناطق شهری، صنعتی و کشاورزی، آلودگی رودخانه‌ها را افزایش داده است. پایش و مدیریت کیفیت آب رودخانه‌ها به این دلیل که بیشتر و بطور مستقیم در معرض انواع آلاینده‌ها هستند اهمیت ویژه‌ای دارد.

تشخیص روند بلندمدت کیفیت آب رودخانه‌ها برای پی بردن به تغییرات به وقوع پیوسته در گذشته و پیش‌بینی آینده از اهمیت بسزایی برخوردار است. شناسایی روند، همچنین اطلاعات ارزشمندی را جهت ادراک تاثیر عوامل اقلیمی و انسانی و برهم‌کنش این عوامل در سطح آبخیز فراهم می‌آورد. به زبان آماری تجزیه و تحلیل روند به منظور تشخیص این است که سری داده‌های مشاهداتی یک متغیر تصادفی، فارغ از تغییرات تصادفی و محدود، در طول زمان در حال کاهش یا افزایش بوده و یا اینکه توزیع احتمالی آن با زمان تغییر نیافته است (روزنکرانتز، ۱۹۸۷). تحلیل روند داده‌های کیفیت آب به دلیل ویژگی‌های خاص این داده‌ها (مانند توزیع غیر-نرمال، وجود داده‌های پرت^۱ و داده‌های ثبت نشده^۲، تغییرات فصلی) مستلزم به کارگیری تکنیک‌های خاصی است و عموماً روش‌های آماری غیرپارامتریک در این زمینه کاربرد بیشتری دارند.

محققان مختلف مطالعات مختلفی برای شناسایی روند تغییرات بلندمدت کیفیت آب کرده‌اند. بویاسیگلو (۲۰۰۸) روند تغییرات کلرید، نیترات، سدیم، سولفات و مجموع مواد محلول را در هفت ایستگاه در آبخیز تاهتالی ترکیه با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال^۳ و تخمین‌گر شیب سن مورد بررسی قرار داد. نتایج بیانگر کاهش غلظت اکثر عناصر مذکور، در آب رودخانه است. کافمن و بلدن (۲۰۱۰)، کیفیت آب ۳۰ رودخانه آمریکا را در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۵ میلادی تجزیه و تحلیل کردند. ایشان با استفاده از آزمون کندال فصلی به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب در ۶۹٪ ایستگاه‌ها ثابت باقی مانده و یا بهبود پیدا کرده است. در ایران تحقیقات انجام شده بیشتر معطوف به مطالعه روند تغییرات برخی پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی مانند دبی و بارش بوده و به تغییرات متغیرهای کیفیت آب کمتر پرداخته شده است. طبق مرور منابع صورت گرفته فقط در یک مورد، دیلم و روحانی (۱۳۹۰) به روند تغییرات رواناب و کیفیت آب رودخانه گرگان‌رود پرداخته‌اند.

در تحقیق حاضر، تجزیه و تحلیل روند سری زمانی داده‌های کیفیت آب رودخانه چهل‌چای واقع در شهرستان مینودشت (شرق استان گلستان) انجام شده است. این رودخانه منبع تامین آب برای ۳۰ روستا (با حدود ۱۴۰۰۰ نفر جمعیت) در آبخیز چهل‌چای و همچنین اراضی کشاورزی و مناطق شهری پایین‌دست این حوضه می‌باشد. همچنین، سد نرماب-چهل‌چای با هدف تأمین آب شرب برای مناطق مسکونی منطقه، در پایین‌دست این حوضه در حال احداث است. از این رو مطالعات کیفی آب این رودخانه برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب در این منطقه ضرورت دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه چهل‌چای یکی از سرشاخه‌های بزرگ گرگان-رود است که از لحاظ تقسیمات سیاسی در محدوده

1- Outliers

2- Missing values

3- Mann-Kendall

های ثبت شده به صورت فصلی تنظیم شدند، بدین صورت که برای هر سال میانگین داده‌های ثبت شده در هر یک از چهار فصل محاسبه شده و به عنوان نماینده آن فصل در نظر گرفته شد. با این کار برای اکثر سال‌ها در همه فصول داده وجود داشت که در تجزیه و تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

تعیین روند تغییرات بلندمدت کیفیت آب

تاکنون روش‌های متعددی جهت بررسی روند سری‌های زمانی ارائه شده است و به طور کلی به سه دسته روش‌های گرافیکی، روش‌های آماری پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم است. اولین گام در انتخاب روش تجزیه و تحلیل، توجه به ماهیت داده‌ها است. وجود داده‌های ثبت نشده، وجود داده‌های پرت، توزیع غیرنرمال اغلب با چولگی مثبت، تغییرات فصلی، خود-همبستگی^۱ مثبت و وابستگی زیاد مقادیر کیفیت آب به سایر متغیرها مانند دبی جریان، دما، بارش و هدایت هیدرولیکی از جمله مهمترین خصوصیات سری زمانی داده‌های کیفیت آب است که باید در انتخاب روش مناسب تحلیل روند مورد بررسی قرار گیرند (هلسل و هیرش، ۲۰۰۲). با توجه به مطالب ذکر شده، مدل مفهومی در تحلیل روند داده‌های کیفیت آب را می‌توان به صورت زیر ارائه کرد (مک لئود و همکاران، ۱۹۹۱):

$$Y_t = X_t + S_t + T_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

که در آن: Y_t مقدار مشاهده شده متغیر کیفیت آب در زمان t ، X_t متغیر خارجی^۲ که انتظار می‌رود مقادیر Y را تحت تاثیر قرار دهد، S_t جزء فصلی، T_t روند داده‌ها و ε_t عنصر تصادفی است. هدف اصلی در تحلیل روند این است که با در نظر گرفتن X_t ، S_t و ε_t بتوان T_t را شناسایی و با دقت مطلوبی کمتی کرد.

بر اساس مدل فوق هلسل و هیرش (۲۰۰۲) پنج رویکرد تجزیه و تحلیل روند داده‌های کیفیت آب را به صورت جدول ۱ طبقه‌بندی کرده‌اند.

شهرستان مینودشت قرار گرفته است. مساحت آبخیز این رودخانه برابر ۲۵۶۸۰ هکتار است و در بین ۲۳° ۵۵ تا ۳۸° ۵۵ طول شرقی و ۳۶° ۵۹ تا ۳۷° ۱۳ عرض شمالی واقع شده است. میزان بارندگی سالانه منطقه تقریباً ۷۶۰ میلی‌متر است. سطح آبخیز را جنگل و اراضی زراعی پوشانده است. به لحاظ زمین شناسی حوضه مورد مطالعه شامل سازندهای پالئوزوئیک تا عهد حاضر است. از مهمترین سازندهای حوضه می‌توان به سازندهای مبارک، خوش بیلاق، کشف رود، مزدوران، چمن بید و سازندهای عهد حاضر اشاره کرد که تقریباً در تمامی آنها تشکیلات آهکی وجود دارد.

عوامل طبیعی (مانند شیب زیاد، سیل خیزی و وجود سازندهای حساس به فرسایش) و انسانی (مانند تغییر کاربری اراضی جنگلی و تبدیل آن به زمین‌های زراعتی، استفاده نادرست از زمین و کشاورزی بر روی اراضی با شیب زیاد، چرای بی‌رویه دام در جنگل و جاده سازی غیراصولی) موجب بروز انواع فرسایش و حرکات توده‌ای در سطح آبخیز چهل‌چای شده است. عوامل مذکور به همراه مواردی نظیر ورود فاضلاب‌ها، زباله‌ها و دیگر زائدات ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌تواند موجب آلودگی آب‌های سطحی و تنزل شدید کیفیت آب در این آبخیز شود و با رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های انسانی این معضل هر روز وخیم‌تر خواهد شد.

داده‌ها

برای این تحقیق، از داده‌های ثبت شده متغیرهای کیفیت آب در ایستگاه هیدرومتری لوزره واقع در خروجی آبخیز چهل‌چای از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۷ استفاده شد. این متغیرها شامل کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، کلرید (Cl^-)، بی-کربنات (HCO_3^-)، سولفات (SO_4^{2-})، کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، سختی آب و نسبت جذب سدیم (SAR) است.

در سال‌های ابتدایی، نمونه‌برداری‌ها به صورت نامنظم در چند ماه از سال صورت گرفته ولی در سال‌های اخیر (از سال ۷۴ به بعد) هر ماه یکبار نمونه‌برداری شده است. لذا، برای دستیابی به یک سری زمانی نسبتاً کامل‌تر برای بررسی تغییرات بلند مدت متغیرها، داده-

1- Autocorrelation

2- Exogenous variable

سری‌های زمانی دارای تغییرات فصلی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- روش‌های تجزیه و تحلیل روند داده‌های فصلی (هلسل و هیرش، ۲۰۰۲)

نوع روش	بدون در نظر گرفتن X	با در نظر گرفتن X
پارامتریک	رگرسیون Y بر روی زمان (سال) و فصل	رگرسیون Y بر روی X، زمان (سال) و فصل
مختلط	رگرسیون Y غیرفصلی شده بر روی زمان (سال)	آزمون کندال فصلی بر روی باقیمانده‌های رگرسیون Y و X
غیرپارامتریک	آزمون کندال فصلی بر روی باقیمانده‌های Y	آزمون کندال فصلی بر روی باقیمانده‌های LOWESS(X, Y)

در این مطالعه روند بلندمدت متغیرهای کیفیت آب با روش‌هایی که در بالا ذکر شد بررسی شد. جزئیات مراحل انجام کار به شرح زیر است:

- تعیین خصوصیات کلی داده‌ها: بررسی نرمال بودن، وجود داده‌های پرت و تغییرات فصلی از طریق روش‌های گرافیکی و عددی. برای بررسی نرمال یا عدم نرمال بودن از روش گرافیکی ترسیم QQ-plot و آزمون عددی شپرو-ویلک^۲ استفاده شد. در حالت عدم تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال از یکی روش‌های تبدیل داده^۳ (لگاریتم طبیعی) برای نزدیک کردن توزیع داده‌ها به حالت نرمال استفاده شد. معیارهای مختلفی برای تعیین داده‌های پرت وجود دارد. در این مطالعه داده‌هایی که خارج از محدوده سه برابر انحراف معیار از میانگین، $(\bar{X} \pm 3sd)$ قرار داشتند، پرت محسوب شدند (گروپو و همکاران، ۲۰۰۸). روش مورد استفاده برای تشخیص تغییرات فصلی نمودار جعبه‌ای و آزمون کروسکال-والیس^۴ است (مک لئود و همکاران، ۱۹۹۱)

جدول ۱- روش‌های تجزیه و تحلیل روند داده‌های کیفیت آب (هلسل و هیرش، ۲۰۰۲)

نوع روش	بدون در نظر گرفتن X	با در نظر گرفتن X
پارامتریک	رگرسیون Y بر روی زمان (سال)	رگرسیون Y بر روی X و زمان (سال)
مختلط	-----	آزمون من-کندال بر روی باقیمانده‌های رگرسیون Y و X
غیر-پارامتریک	آزمون من-کندال بر روی Y	آزمون من-کندال بر روی باقیمانده‌های (X, LOWESS'Y)

متغیر خارجی (X) متغیر مستقلی است که تاثیر قابل توجهی بر Y داشته باشد. برای داده‌های کیفیت آب مهمترین متغیر خارجی دبی جریان است که در شرایط عادی (غیرسیلابی) رابطه معکوسی با غلظت عناصر و ترکیبات موجود در آب دارد. با حذف نوسانات ناشی از متغیرهای خارجی، تغییرات زمینه‌ای (نویز) Y کاهش پیدا می‌کند و علائم روند به نحو بهتری قابل شناسایی خواهند بود. فرآیند حذف اثر متغیر خارجی شامل مدل-سازی اثر آن متغیر با استفاده از رگرسیون یا LOWESS و سپس انجام آزمون روند بر روی باقیمانده‌های رگرسیون یا LOWESS می‌باشد (هلسل و هیرش، ۲۰۰۲). باقیمانده‌ها بیانگر بخشی از تغییرات Y هستند که فراتر از تغییرات ناشی از متغیر خارجی است. بنابراین در صورت ایستا بودن (عدم وجود روند) X، وجود روند در باقیمانده‌ها بر تغییرات بلند مدت Y دلالت دارد.

بسیاری از متغیرهای کیفیت آب‌های سطحی تغییرات فصلی منظمی در طول سال دارند. در اغلب موارد تغییرات فصلی حتی بعد از حذف اثر متغیر خارجی نیز در سری داده‌ها مشاهده می‌شود (هیرش و همکاران، ۱۹۸۲). از آنجا که تغییرات فصلی یک منبع تغییرات مهم برای Y محسوب می‌شود، برای تشخیص بهتر روند طولانی مدت لازم است تغییرات فصلی را نیز حذف کرد یا به نحوی آن را در نظر گرفت. روش‌های تحلیل روند

2- Shapiro-wilk
3- Data transformation
4- Kruskal-Wallis

1- Locally weighted scatter-plot smooth

معناداری با دبی دارند. نمودار پراکنش دبی-کیفیت برای برخی از متغیرهای کیفیت آب رودخانه چهل‌چای در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای حذف نوسانات ناشی از تغییرات دبی جریان، برای متغیرهایی که ارتباط معناداری با دبی رودخانه داشتند LOWESS اعمال شده سپس تحلیل‌ها بر روی باقیمانده-های LOWESS انجام شد. شکل ۲ روند تغییرات بلند-مدت کلرید را قبل و بعد از حذف اثر دبی نشان می‌دهد.

در بررسی تغییرات فصلی متغیرهای کیفیت آب، نتایج آزمون کروسکال والیس نشان داد که به جز pH، سایر متغیرها دارای تغییرات فصلی معنادار هستند، یعنی برای این متغیرها حداقل میانگین یکی از فصل‌ها با سایر فصول سال به طور معناداری متفاوت است. برای اغلب متغیرها بیشترین مقادیر مربوط به فصل تابستان و پاییز و کمترین مقادیر مربوط به فصل بهار بوده است. علت کاهش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و به تبع آن TDS و EC در فصل بهار، بارش‌های بهاره و همچنین ذوب برف در این فصل است که باعث کاهش غلظت یون‌ها در آب رودخانه می‌شود. افزایش مقادیر متغیرهای کیفی آب در فصل تابستان و پاییز را می‌توان به علت کاهش نزولات جوی (در نتیجه افزایش غلظت یون‌ها)، فعالیت‌های انسانی به ویژه عملیات کشاورزی در آبخیز رودخانه و همچنین آبخوبی کودهای شیمیایی از اراضی کشاورزی پس از شروع بارش‌های پاییزی دانست. نمودار جعبه‌ای که نشان‌دهنده میانگین و پراکنش داده‌ها حول میانگین برای بعضی از متغیرهای کیفیت آب در فصول مختلف است در شکل ۳ ارائه شده است. در نهایت روند تغییرات بلندمدت کیفیت آب رودخانه چهل‌چای با استفاده از روش‌های ناپارامتریک (آزمون من-کندال و کندال فصلی) تجزیه و تحلیل شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که از بین دوازده متغیر کیفیت آب، هفت متغیر روند افزایشی دارند، چهار متغیر بدون روند هستند و تنها یک متغیر روند کاهشی

معناداری داشته است. ضریب τ بیانگر میزان افزایش/کاهش متغیرها در طی زمان می‌باشد.

۲- بررسی ارتباط متغیرهای کیفیت آب با دبی جریان. برای آگاهی از ارتباط دبی رودخانه با متغیرهای کیفیت آب از داده‌های دبی ثبت شده در هنگام نمونه‌برداری کیفیت آب استفاده شد. ابتدا با رسم نمودار پراکنش داده‌ها، الگوی ارتباط هر یک از متغیرها با دبی رودخانه مشخص شد. سپس از آزمون همبستگی اسپیرمن برای تعیین معنادار بودن ارتباط استفاده شد.

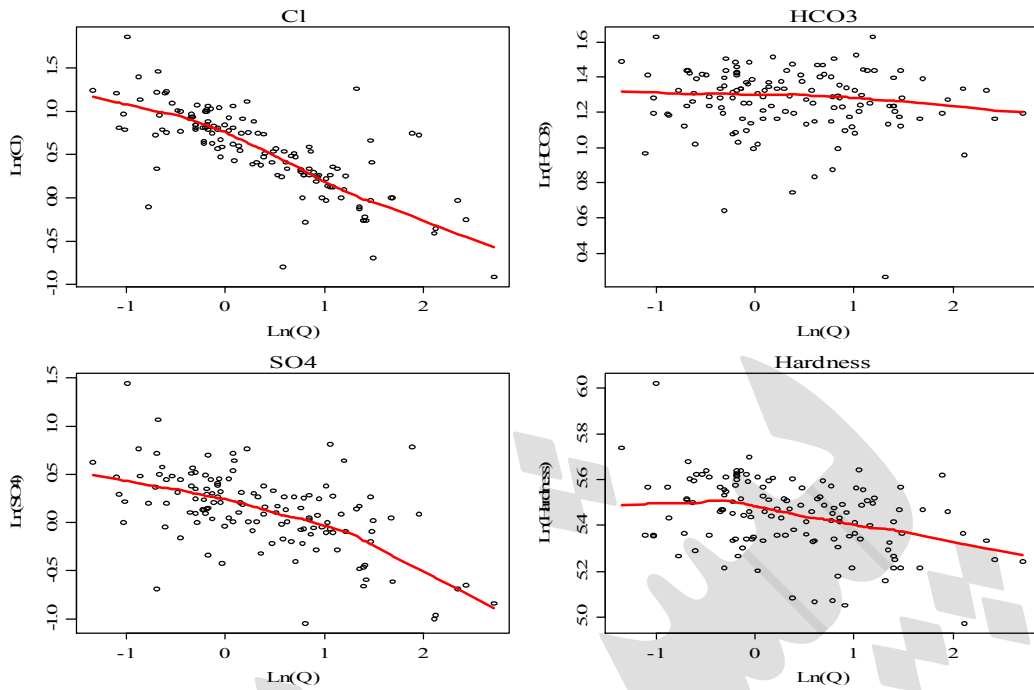
۳- تعیین روند داده‌های دبی جریان رودخانه که به علت تاثیرات متقابل می‌تواند موجب ایجاد تغییرات غیر واقعی در روند داده‌های کیفیت آب شود (هیپل و مک لئود، ۱۹۹۴).

۴- تعیین روند داده‌های کیفیت آب. با توجه به توزیع غیرنرمال داده‌ها و وجود تعدادی داده ثبت نشده در سری زمانی، از روش‌های ناپارامتریک (آزمون من-کندال و کندال فصلی) برای تحلیل روند داده‌ها استفاده شد. در این ارتباط، رابطه متغیرهای کیفیت آب با دبی جریان و همچنین تغییرات فصلی متغیرها مورد توجه قرار گرفت و در تحلیل‌ها لحاظ شد.

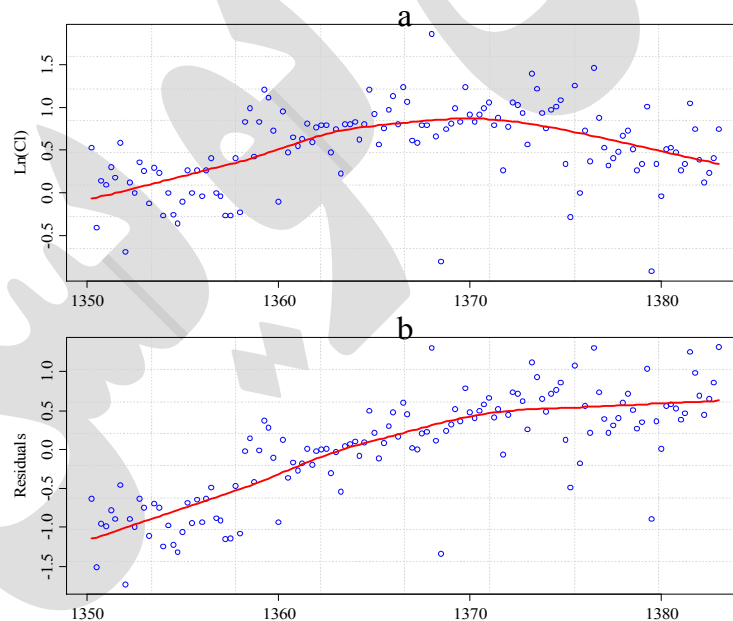
۵- در انتها برای شناسایی علل احتمالی تغییرات کیفیت آب، روند بلندمدت برخی از متغیرهای محیطی مؤثر نظیر دما، بارش، تبخیر، دبی و کاربری اراضی در بازه زمانی تحقیق (چهار دهه گذشته) بررسی شد.

نتایج و بحث

بررسی نرمال بودن داده‌های کیفیت آب رودخانه چهل‌چای نشان داد که همه متغیرها به جز کلسیم توزیع غیر-نرمال دارند. برای نزدیک کردن توزیع داده‌ها به حالت نرمال از روش تبدیل با استفاده از لگاریتم طبیعی استفاده شد. بعد از تبدیل داده‌ها، EC و TDS توزیع نرمال پیدا کردند ولی سایر متغیرها در حالت غیرنرمال باقی ماندند. در مرحله بعد ارتباط متغیرهای کیفیت آب با دبی جریان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون اسپیرمن نشان داد بین کلسیم، بیکربنات و اسیدیت با دبی رودخانه ارتباط معناداری وجود ندارد ولی سایر متغیرها رابطه معکوس



شکل ۱- ارتباط مقادیر آنیون‌ها و سختی آب با دبی رودخانه چهل چای



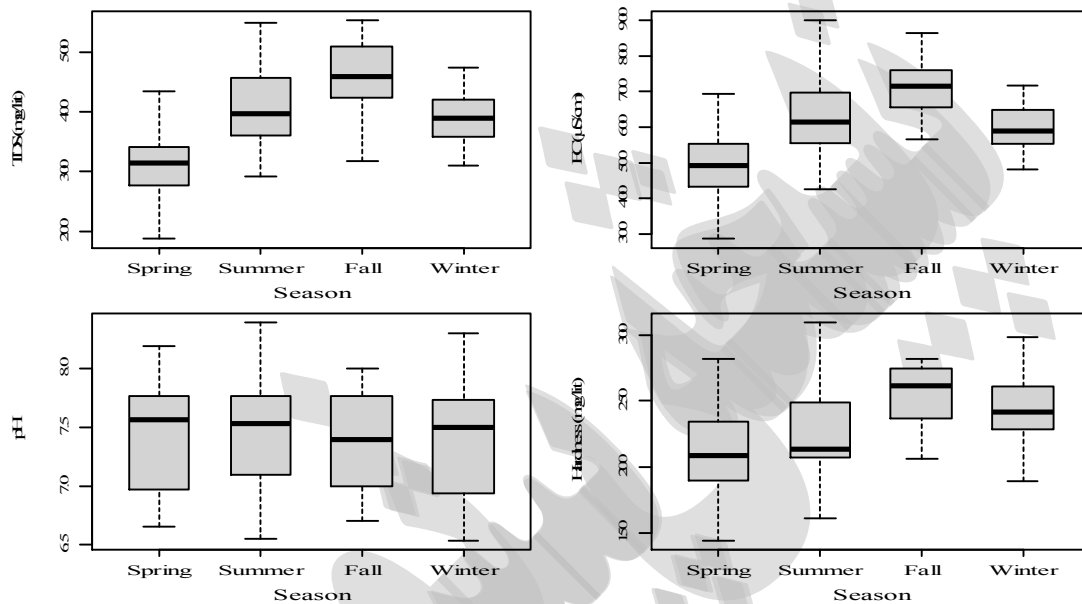
شکل ۲- روند تغییرات بلندمدت کلرید قبل از حذف اثر دبی (a) و بعد از حذف اثر دبی (b)

فصول سال به طور معناداری متفاوت است. برای اغلب متغیرها بیشترین مقادیر مربوط به فصل تابستان و پاییز و کمترین مقادیر مربوط به فصل بهار بوده است. علت کاهش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و به تبع آن TDS و

در بررسی تغییرات فصلی متغیرهای کیفیت آب، نتایج آزمون کرومکال والیس نشان داد که به جز pH، سایر متغیرها دارای تغییرات فصلی معنادار هستند، یعنی برای این متغیرها حداقل میانگین یکی از فصل‌ها با سایر

و همچنین آبشویی کودهای شیمیایی از اراضی کشاورزی پس از شروع بارش‌های پاییزی دانست. نمودار جعبه‌ای که نشان‌دهنده میانگین و پراکنش داده‌ها حول میانگین برای بعضی از متغیرهای کیفیت آب در فصول مختلف است در شکل ۳ ارائه شده است.

در فصل بهار، بارش‌های بهاره و همچنین ذوب برف در این فصل می‌باشد که باعث کاهش غلظت یون‌ها در آب رودخانه می‌گردد. افزایش مقادیر متغیرهای کیفی آب در فصل تابستان و پاییز را می‌توان به علت کاهش نزولات جوی (در نتیجه افزایش غلظت یون‌ها)، فعالیت‌های انسانی به ویژه عملیات کشاورزی در آبخیز رودخانه



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای برخی متغیرهای کیفیت آب در فصول مختلف

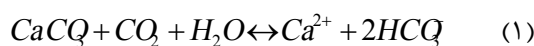
من-کندال و کندال فصلی) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

در نهایت روند تغییرات بلندمدت کیفیت آب رودخانه چهل‌چای با استفاده از روش‌های ناپارامتریک (آزمون

جدول ۳- روند بلندمدت متغیرهای کیفیت آب رودخانه چهل‌چای

متغیر کیفیت آب	نوع آزمون	ضریب τ	p-value	روند
کلسیم	کندال فصلی	-۰/۱۹	۰/۰۲	کاهشی
منیزیم	کندال فصلی	۰/۱۲	۰/۰۶	بدون روند
سدیم	کندال فصلی	۰/۳۱	۰/۰۰	افزایشی
پتاسیم	کندال فصلی	۰/۱۸	۰/۰۱	افزایشی
کلرید	کندال فصلی	۰/۲۹	۰/۰۰	افزایشی
بیکربنات	کندال فصلی	-۰/۱۲	۰/۰۶	بدون روند
سولفات	کندال فصلی	۰/۱۵	۰/۰۲	افزایشی
TDS	کندال فصلی	۰/۱۳	۰/۰۴	افزایشی
EC	کندال فصلی	۰/۱۴	۰/۰۳	افزایشی
pH	من-کندال	۰/۰۵	۰/۴۴	بدون روند
سختی	کندال فصلی	-۰/۰۱	۰/۸۵	بدون روند
SAR	کندال فصلی	۰/۳۲	۰/۰۰	افزایشی

اجزاء غیرفعال^۱ نامیده می‌شوند که غلظت آنها در آب متأثر از فرآیندهای ژئوشیمیایی طبیعی است (خازبوا و همکاران، ۲۰۰۷). از آنجا که قسمت اعظم آبخیز چهل‌چای را سازندهای آهکی تشکیل داده است، میزان کلسیم و بیکربنات در آب رودخانه ناشی از فرآیند انحلال آهکی (رابطه ۲) می‌باشد. در فرآیند مذکور واکنش کانی‌های آهکی با اسید کربنیک (CO_2 محلول در آب) باعث آزاد شدن کلسیم و بیکربنات در آب رودخانه می‌شود. انحلال CO_2 در آب، با دما رابطه معکوس دارد (لانگمیر، ۱۹۹۷)، در نتیجه روند کاهش کلسیم و بیکربنات می‌تواند به دلیل افزایش دما (کاهش اسید کربنیک) باشد.



- در مورد EC و TDS روند افزایشی معناداری در سطح ۹۵٪ مشاهده می‌شود. این دو متغیر برآیند مجموع یون-های موجود در آب هستند. تغییرات افزایشی/کاهشی آنیون‌ها و کاتیون‌ها در دوره زمانی مورد بررسی با یکدیگر اثر تعدیلی داشته و در نهایت موجب روند افزایشی با شیب ملایم‌تر برای EC و TDS شده است. خصوصیات شیمیایی آب به صورت مستقیم و غیر-مستقیم از فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی (مانند صنعت، کشاورزی و توسعه شهری) تاثیر می‌پذیرد، ولی به علت تعدد عوامل موثر بر کیفیت آب، مدل‌سازی دقیق این تاثیرات پیچیده و دشوار است. در این پژوهش به دلیل عدم دسترسی به سری‌های زمانی مربوط به متغیرهای جمعیتی، اقتصادی و اطلاعات مربوط به آلودگی‌ها و مواد زائد تولید شده در آبخیز چهل‌چای، بررسی جامع علل تنزل کیفیت آب رودخانه در قالب روابط رگرسیونی میسر نشد. ولی به منظور شناسایی برخی علل احتمالی، تغییرات بلندمدت دمای متوسط ماهانه، بارش ماهانه، تبخیر ماهانه، دبی متوسط ماهانه و کاربری اراضی در بازه زمانی تحقیق (چهار دهه گذشته) بررسی شد که نتایج آن در جدول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که از بین دوازده متغیر کیفیت آب، هفت متغیر روند افزایشی دارند، چهار متغیر بدون روند هستند و تنها یک متغیر روند کاهش معناداری داشته است. ضریب τ بیانگر میزان افزایش/کاهش متغیرها در طی زمان می‌باشد. با بررسی ضریب τ می‌توان الگوهای کلی به شرح زیر را در نتایج مشاهده کرد:

- متغیرهای سدیم، SAR و کلرید روند افزایشی نسبتاً شدیدی در بازه زمانی مورد بررسی داشته‌اند. در آب‌های سطحی سدیم و کلرید ارتباط نزدیکی با هم دارند. منشاء این یون‌ها انحلال رسوبات تبخیری، هوازدگی سنگ‌ها، انتقال از دریاها و اقیانوس‌ها (از طریق جریان‌اتمسفری) و طیف وسیعی از فعالیت‌های انسانی است (هم، ۱۹۸۵). افزایش سدیم و کلرید در اثر فعالیت‌های انسانی به قدری گسترده و چشمگیر بوده است که غلظت این دو یون در بسیاری از رودخانه‌های جهان ۲۰-۱۰ برابر شده است (GEMS، ۲۰۰۷). با توجه به غلبه سازندهای آهکی در آبخیز چهل‌چای، روند افزایشی را نمی‌توان متأثر از فرآیندهای طبیعی دانست و به احتمال زیاد فعالیت‌های انسانی از جمله تغییرات کاربری اراضی و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در افزایش این دو یون نقش اساسی داشته‌اند.

- سولفات و پتاسیم نیز روند افزایشی معناداری در سطح اعتماد ۹۵٪ داشته‌اند. سولفات از طریق اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی، باران‌های اسیدی، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و پسماندهای انسانی و دامی به آب‌های سطحی وارد می‌شود (سولگنی و همکاران، ۲۰۰۱). منشاء طبیعی پتاسیم کانی‌های سیلیکاتی هستند ولی نکته‌ای که در مورد این عنصر حائز اهمیت است حضور فعال آن در بیوسفر به خصوص گیاهان و خاک است (هم، ۱۹۸۵). استعمال کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی و فرسایش خاک می‌تواند علت روند افزایشی پتاسیم در رودخانه چهل‌چای باشد.

- برای کلسیم و بیکربنات ضریب τ منفی، یعنی روند کاهش است. البته در مورد بیکربنات روند در سطح ۵ درصد معنادار نیست. در مطالعات ژئوشیمی، این دو یون

1- Nonreactive components

چای در طی سالیان گذشته روند افزایشی چشمگیری داشته است به طوری که حدود ۲۵۳۷ هکتار از مناطق جنگلی به اراضی کشاورزی تبدیل شده‌اند. الگوی مکانی تغییرات کاربری بدین صورت بوده است که بیشترین تغییرات کاربری در قسمت‌های جنوبی حوضه و نیز در اراضی حاشیه آبراهه‌ها اتفاق افتاده است. بر اساس مشاهدات میدانی مشخص شد که اراضی تغییر کاربری یافته در جنوب و جنوب غربی حوضه در حال حاضر به دلیل از دست رفتن حاصلخیزی خاک رها شده هستند، بنابراین مستقیماً در معرض نیروهای فرسایشی هستند. فرسایش باعث انتقال خاک و بقایایی مواد شیمیایی (کودها و سموم) به آبراهه‌ها می‌شود که تأثیرات منفی شدیدی بر کیفیت آب دارند.

اراضی حاشیه آبراهه‌ها در آبخیز چهل‌چای اکثراً به کشت برنج اختصاص دارند. در این اراضی در طول سال چندین نوبت کودهای شیمیایی مصرف می‌شود که به دلیل مجاورت به کانال آبراهه به سهولت از طریق جریان‌های سطحی و زیرقشری وارد شبکه آب‌های سطحی شده، و موجب آلودگی آب رودخانه می‌شود.

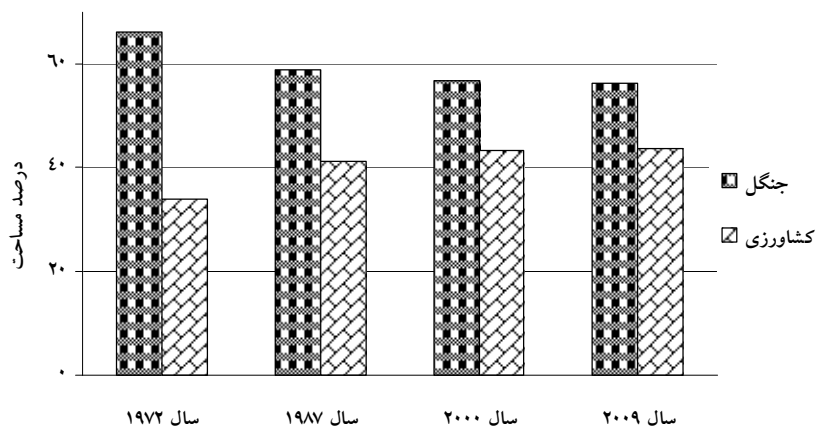
با توجه به اینکه متغیرهای اقلیمی و دبی رودخانه چهل‌چای در طی زمان تغییرات معناداری نداشته‌اند (جدول ۴)، شرایط زمین‌شناسی و خاک‌شناسی نیز در بازه‌های زمانی کوتاه (چند دهه) از ثبات نسبی برخوردارند، فعالیت‌های انسانی به ویژه تغییرات کاربری را می‌توان مهمترین علت کاهش کیفیت آب رودخانه چهل‌چای دانست. در حال حاضر آبخیز چهل‌چای، یکی از بحرانی‌ترین حوضه‌های استان گلستان از نظر تغییر کاربری اراضی و کاهش سطح عرصه‌های جنگلی به شمار می‌رود و به همین دلیل مد نظر مدیران و مسئولین محلی و استانی قرار گرفته است. برای بررسی روند تغییرات کاربری رخ داده در آبخیز چهل‌چای از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ میلادی استفاده شد. نقشه کاربری اراضی برای سال‌های مذکور با پردازش و طبقه‌بندی رقومی تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد و تغییرات به وقوع پیوسته در این دوره زمانی (از نظر مساحت) تعیین شد که نتایج در جدول ۴ و شکل ۴ نشان داده شده است (زارع گاریزی و همکاران، ۱۳۹۰). همان‌گونه که مشهود است، مساحت اراضی کشاورزی در آبخیز چهل-

جدول ۴- نتایج تحلیل روند برخی متغیرهای محیطی مؤثر بر کیفیت آب در آبخیز چهل‌چای

متغیر محیطی	نوع آزمون	ضریب τ	p-value	روند
دمای متوسط ماهانه	کندال فصلی	۰/۱۴	۰/۲۸	بدون روند
بارش ماهانه	کندال فصلی	۰/۱۳	۰/۳۱	بدون روند
تبخیر ماهانه	کندال فصلی	۰/۱۷	۰/۱۸	بدون روند
دبی متوسط ماهانه	کندال فصلی	-۰/۰۳۵	۰/۵۷	بدون روند

جدول ۵- مساحت طبقات کاربری اراضی آبخیز چهل‌چای در ۴ مقطع زمانی

طبقات کاربری	سال ۱۹۷۲		سال ۱۹۸۷		سال ۲۰۰۰		سال ۲۰۰۹	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
جنگل	۱۶۹۸۷	۶۶/۱۵	۱۵۱۲۷	۵۸/۹	۱۴۵۸۹	۵۶/۸۱	۱۴۴۵۰	۵۶/۲۷
کشاورزی	۸۶۹۳	۳۴/۸۵	۱۰۵۵۳	۴۱/۱	۱۱۰۹۱	۴۳/۱۹	۱۱۲۳۰	۴۳/۷۳
جمع	۲۵۶۸۰	۱۰۰	۲۵۶۸۰	۱۰۰	۲۵۶۸۰	۱۰۰	۲۵۶۸۰	۱۰۰



شکل ۴- درصد مساحت طبقات کاربری اراضی آبخیز چهل‌چای در ۴ مقطع زمانی

تاثیر تغییرات کاربری اراضی و پارامترهای اکولوژیکی، همچنین تغییرات اقلیمی بر کیفیت آب برای آبخیز چهل‌چای انجام گیرد و ۶- برنامه پایش مستمر و منظمی برای اندازه‌گیری و ثبت برخی از متغیرهای مهم کیفیت آب مانند ترکیبات نیترژن و فسفر که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های کشاورزی می‌باشند و همچنین متغیرهای بیولوژیک-میکروبی تدوین و اجرا شود. ضمناً پیشنهاد می‌گردد که تحقیقاتی پیرامون تأثیر فعالیت‌های انسانی به خصوص کاربری اراضی بر روی متغیرهای مذکور انجام شود. مکان اجرای اقدامات مدیریتی با تحلیل نقشه‌های مرتبط، در سامانه اطلاعات جغرافیایی قابل تشخیص است که می‌تواند موضوع تحقیق آینده در راستای این پژوهش باشد.

سپاس‌گزارى

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان به دلیل تأمین امکانات و داده‌های لازم برای انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱- دیلم م. و روحانی ح. ۱۳۹۰. روند تغییرات رواناب و کیفیت آب سطحی در رودخانه گرگانرود. مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، ۷ و ۸ اردیبهشت، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان.

نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل روند سری زمانی خصوصیات شیمیایی آب، بیانگر افزایش اغلب یون‌ها و در نتیجه تنزل کیفیت آب رودخانه چهل‌چای در طی چهار دهه اخیر است. به نظر می‌رسد اگر در سال‌های آینده اقداماتی برای کنترل عوامل آلاینده (به خصوص پساب‌های کشاورزی و مناطق مسکونی) صورت نگیرد، با ادامه روند فوق حیات اکوسیستم رودخانه به خطر می‌افتد و همچنین سلامت جوامع بهره‌بردار از منابع آبی حوضه چهل‌چای در معرض آسیب جدی قرار خواهد گرفت. لذا، به موازات پایش کیفی منابع آب، انجام اقدامات حفاظت کیفی و کنترل عوامل آلاینده در این آبخیز ضرورت دارد. با توجه به شرایط اکوهیدرولوژیک آبخیز چهل‌چای، تمهیدات زیر جهت جلوگیری از روند تنزل کیفیت آب رودخانه پیشنهاد می‌شود: ۱- از تخریب جنگل‌ها و تبدیل آنها به زمین‌های کشاورزی به خصوص در حاشیه آبراهه‌ها و رودخانه‌ها جلوگیری به عمل آید، ۲- نحوه مدیریت و بهره‌برداری از اراضی زراعی با انجام اقداماتی نظیر تغییر نوع محصول یا اعمال تناوب زراعی مناسب، جلوگیری از زراعت در اراضی با شیب زیاد، احداث باغ و آگروفارستری اصلاح شود، ۳- از ورود فاضلاب‌های مناطق مسکونی و سایر آلاینده‌های انسانی به رودخانه جلوگیری شود، ۴- بافرهای و جوامع گیاهی رودخانه‌ای^۱ در اطراف آبراهه‌ها ایجاد گردند تا مانع ورود آلاینده‌ها به جریان رودخانه شوند، ۵- مطالعات جامعی در ارتباط با

1- Riparian

- ۲- زارع گاریزی آ. شیخ و. سعدالدین ا. و سلمان ماهینی ع. ۱۳۹۰. کاربرد روش رگرسیون لجستیک در مدلسازی الگوی مکانی احتمال تغییر پوشش گیاهی. فصلنامه فضای جغرافیایی، در حال چاپ.
- 10- 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.* 208:345–375.
- 11- Khadam I.M. and Kaluarachchi J.J. 2006. Water quality modeling under hydrologic variability and parameter uncertainty using erosion-scaled export coefficients. *Journal of Hydrology* 330:354-367.
- 12- Khazheeva Z.I. Tulokhonov A.K. and Dashibalova L.T. 2007. Seasonal and spatial dynamics of TDS and major ions in the Selenga River. *Water Resources* 34 (4):444–449.
- 13- Langmuir D. 1997. *Aqueous Environmental Geochemistry*, Prentice-Hall Inc. 600 pp.
- 14- McLeod A.I. Hipel K.W. and Bodo B.A. 1991. Trend analysis methodology for water quality time series. *Environmetrics* 2(2):169–200.
- 15- Meybeck M. 2003. Global analysis of river systems: from earth system controls to anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.* B 358, 1935–1955.
- 16- Rosenkrantz W. 1987. *Introduction to probability and statistics for scientists.* McGraw-Hill Science, Singapore. 576pp.
- 17- Souligny E.A. Davidson J.D. Martin T.D. Mcinnish M.B. Schultz B.S. Wilson C.G. Wood J.L. and Hollabaugh C.L. 2001. Sulfate content of surface waters of West Georgia: variations with land usage and flow characteristics of streams in Carroll and Heard Counties, Georgia. *The Geological Society of America Annual Meeting- Paper no: 151–0.*
- 3- Boyacioglu H. and Boyacioglu H. 2008. Investigation of temporal trends in hydrochemical quality of surface water in western Turkey. *Bull. Environ. Contam. Toxicol* 80:469–474.
- 4- Global Environment Monitoring System-GEMS. 2007. Salts and salinization of surface waters. http://www.gemswater.org/atlasgwq/salts_e.html.
- 5- Groppo J.D. Moraes J.M.D. Beduschi C.E. Genovez A.M. and Martinelli L.A. 2008. Trend analysis of water quality in some rivers with different degrees of development within the Saopaulo state, Brazil. *River. Res. Applic.* 24:1056–1067.
- 6- Helsel D.R. and Hirsch R.M. 2002. *Statistical Methods in Water-Resources, Chapter A3, Techniques of Water-Resources Investigations of the United State Geological Survey. Book 4, Hydrologic analysis and interpretation.* 510 pp.
- 7- Hem J.D. 1985. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, third ed.* U.S. Geol. Surv. Water Supply Paper 2254. 263pp.
- 8- Hipel K.W. and McLeod A.D. 1994. Times series modeling of water resources and environmental systems. *Developments in Water Science* 45:1013pp.
- 9- Hirsch R.M. Slack J.R. and Smith R.A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18:107-121.