



## پیش‌بینی نوع و مقدار آلاینده‌های منابع آب سطحی با استفاده از مدل‌های سری زمانی (ARIMA) و مدل L-THIA (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود)

زهرا پسندیده فرد<sup>۱</sup>, علیرضا میکاییلی تبریزی<sup>۲</sup>, ابوالفضل مساعدى<sup>۳</sup> و حسن رضائی<sup>۴</sup>

- دانشجوی دکتری محیط زیست، ارزیابی و آمایش، گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

(نویسنده مسouول: zahra\_pasandidehfard@yahoo.com)

۲ - دانشیار و استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳ - استاد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۵

صفحه: ۱۸۰ تا ۱۷۱

### چکیده

به دلیل نقص مهم آلودگی غیرنقطه‌ای در مدیریت منابع آب، در این مطالعه مدل‌های سری زمانی به منظور پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب و مدل L-THIA (یکی از مدل‌های آلودگی غیرنقطه‌ای) به منظور تخمین میزان آلاینده‌های آب استفاده شد. پژوهش حاضر با هدف مقایسه نتایج مدل L-THIA و مدل‌های ARIMA در زیرحوزه نمرود واقع در حوزه آبخیز حبله‌رود انجام شده است. در ابتدا، تغییرات کاربری از سال ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۷ بررسی شد که نشان دهنده افزایش اراضی کشاورزی، توسعه شهری و جاده‌ها بود. سپس با استفاده از مدل L-THIA برای هر دو کاربری، میزان آلاینده‌ها و حجم رواناب محاسبه شد که رشد زیادی را نشان می‌داد. در نهایت، با استفاده از مدل‌های ARIMA، پارامترهای کیفی آب برای سی سال مدل‌سازی شد. در بین مدل‌های ARIMA مدلی با کمترین میزان خطای و معیار سنجش آکائیک (AIC) به عنوان مدل بهینه برای TDS و مجموع کل کاتیون و آنیون انتخاب شد. مدل‌های مطلوب برای TDS و مجموع کاتیون و آنیون به ترتیب بودند از: (۱، ۱)، (۲، ۱)، (۰، ۱) و (۱، ۱). در نهایت نمودار روند و سری زمانی برای هر یک از پارامترهای مذکور رسم شد. نمودارهای روند و سری زمانی برای هر سه پارامتر افزایش را نشان داد که بیانگر افزایش میزان آلودگی بود. نتایج این مطالعه حاکی از سودمندی مدل‌های سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب است.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی غیرنقطه‌ای، پارامترهای کیفی آب، رواناب، مدل L-THIA، مدل‌های سری زمانی

نهایت مقدار بارگذاری رسوبات معلق و مواد مغذی در شرایط متغیر فصلی را تعیین نموده و سهم هر یک از کاربری‌های اصلی در این بارگذاری را مشخص نمودند. خبری و همکاران (۱۱) ارتباط بین منابع آلاینده ناشی از کاربری اراضی و کیفیت آب رودخانه زاینده رود را با استفاده از تحلیل‌های آماری ارزیابی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت آلاینده‌ها با مساحت اراضی کشاورزی اطراف هر ایستگاه و فاصله تا صنایع اطراف رودخانه مثل تصفیه‌خانه جنوب اصفهان رابطه معنی‌داری دارد. کیم و همکاران (۱۳) با استفاده از مدل L-THIA اثر تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۰ را بر کیفیت آب در حوزه آبخیز لاغون در مرکز ایالت فلوریدا بررسی کردند و نشان دادند که تغییر کاربری بین سال‌های مذکور باعث افزایش میزان رواناب و همچنین افزایش حجم رواناب شده است. میزایی و همکاران (۱۶) نیز با استفاده از مدل L-THIA ارتباط بین منابع آلاینده آب و تغییر کاربری اراضی را در حوزه آبخیز زاینده‌رود بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر تاثیر بسیار زیاد کاربری اراضی بر افزایش آلودگی غیرنقطه‌ای بود. افزایشی و زارع ابیانی (۱) با استفاده از مدل‌های فصلی ARIMA مدل‌سازی و پیش‌بینی تراز آب‌های زیرزمینی را در دشت استان همدان انجام دادند و در نهایت میزان افت تراز آب‌های زیرزمینی را نشان دادند. چیانوادانی و همکاران (۴) با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره با استفاده از سری‌های زمانی بلند مدت (۱۹۸۶-۲۰۰۹) داده‌های بارندگی، سطوح

### مقدمه

آب عنصری حیاتی برای توسعه اقتصادی-اجتماعی و همچنین حیات اکو‌سیستم است (۱۷). کیمیت و کیفیت آب بر رشد و سلامت جمعیت‌های انسانی همچنین بر سلامت اکولوژیکی سیستم‌های حوزه آبخیز اثر می‌گذارد (۲۵). درک روابط متقابل بین منابع آب و تغییرات کاربری اراضی به منظور مدیریت پایدار منابع زیست‌محیطی بسیار مهم است (۱۵). از سوی دیگر وقوع تغییرات کاربری اراضی، پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی در مقیاس محلی، ناحیه‌ای و جهانی را در پی دارد (۱۴). هدف بر جسته مدیریت آب، دستیابی به بهترین وضعیت در تمام منابع آب سطحی و زیرزمینی است (۱۹). در این زمینه همواره از روش‌های بسیار کاربردی در جهت بررسی روند افزایش آلاینده‌های آب و همچنین پیش‌بینی میزان رشد آن در آینده اشاره کرد. از آنجا که مسئله آب و کمبود فزاینده آن یکی از مهمترین مسائل دنیا امروز به شمار می‌رود تحقیقات زیادی در ایران و سایر نقاط جهان در زمینه اثر تغییرات کاربری بر خصوصیات کمی و کیفی آب در زمان شده است. در این ارتباط این پژوهش‌های روز به روز گستردگر و عمیق‌تر می‌شوند.

واللون و همکاران (۲۷) روشی جدید را برای تعیین اثرات کاربری از داده‌های پایش کیفیت آب به وسیله مدل HSPF در حوزه آبخیز جان استون در شمال استرالیا به کار برندند. در

زیرزمینی را انجام دادند. ایشان توانستند یک مدل مفهومی بررسی وضعیت کیفی منابع آب سطحی زیرحوزه نمرود واقع در حوضه آبخیز جبله‌رود، میزان افزایش آلاینده‌های کیفی در سال‌های آتی پیش‌بینی شود.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

زیرحوزه نمرود در حوزه آبخیز جبله‌رود بین  $5^{\circ}20'16''$  طول شرقی و بین  $35^{\circ}41'$  عرض شمالی واقع شده است. وسعت این زیرحوزه  $761772/65$  هکتار است که بیش از  $80$  درصد آن از مراتع پوشیده شده است. این زیرحوزه در شمال شرقی استان تهران و در بخش شمالی استان‌های تهران و سمنان واقع شده است (شکل ۱).

#### داده‌های مورد استفاده

برای ارزیابی کیفیت آب، باید چند پارامتر در یک دوره زمانی خاص اندازه‌گیری و مطالعه شوند (۷). به این منظور، در این مطالعه، از داده‌های کیفی مربوط به ایستگاه نمرود واقع در خروجی زیرحوزه نمرود استفاده شد. داده‌های کیفی مورد استفاده شامل مجموع کاتیون، مجموع آنیون و کل جامدات محلول (TDS) است. نقشه‌های کاربری اراضی سال  $1974$  و کاربری کنونی نیز به منظور بررسی تغییرات کاربری در سال‌های مذکور استفاده شد.

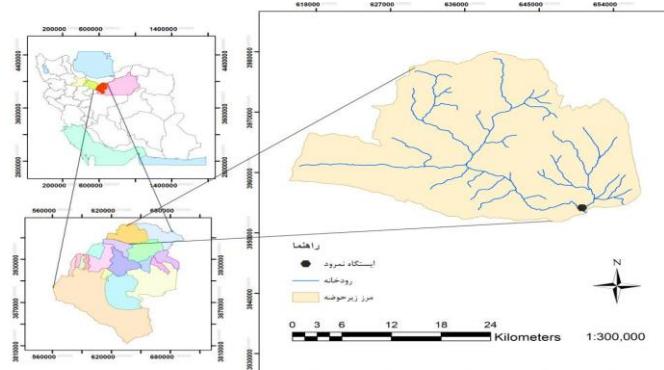
#### روش انجام پژوهش

در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 10.2 ابتدا تغییرات کاربری از سال  $1974$  میلادی تا کنون در منطقه مورد مطالعه بررسی شد. در ابتدا با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال  $1974$  و  $2010$  در طرح پژوهشی ارزیابی توان اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی و آمیش جبله‌رود (۲)، پژوهش آغاز شد. به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی  $2017$ ، نقشه سال  $2010$  با مقایسه چشمی در Google Earth اصلاح شد و مساحت کاربری‌ها در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.2 برای سال‌های  $1974$  و  $2017$  محاسبه شد. سپس با استفاده از مدل L-THIA در نرم‌افزار ArcView 3.2 میزان آводگی غیرنقطه‌ای در سال‌های مذکور بررسی شد.

پیزومتریک و دبی رودخانه‌ها ارزیابی روابط آب سطحی و ارائه دهنده که به عنوان ابزار مدیریتی در منابع آب به کار رود. دودانگه و همکاران (۵) به منظور بررسی اثر پارامترهای اقلیمی بر مدیریت منابع آب از سری‌های زمانی استفاده کردند. ایشان مدل‌های سری زمانی (ARIMA) را برای داده‌های رطوبت نسی، تبخر، سرعت باد و ساعت‌آفتابی مشخص کردند. سپس با استفاده از این مدل‌ها به پیش‌بینی داده‌های اقلیمی یاد شده پرداختند. نتایج حاکی از سودمندی مدل‌های سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و تعیین روند آن‌ها بود. فرج‌زاده و همکاران (۶) با استفاده از مدل‌های ARIMA و شبکه‌های عصبی، داده‌های روزانه رواناب و بارندگی دریاچه ارومیه را مدل‌سازی کردند و در نهایت برای شش سال پیش‌بینی را انجام دادند. سیدیان و همکاران (۲۶) دبی رودخانه را با استفاده از داده کاوی و سری زمانی پیش‌بینی کردند. در این مطالعه داده‌های دبی مربوط به سه ایستگاه حوزه آبخیز گرگان‌رود مورد بررسی قرار گرفت. به منظور شبیه‌سازی از روش آماری سری زمانی در قالب الگوی اتورگرسیون (AR) و داده کاوی در قالب ماشین بردار پشتیبانی (SVM) به دو صورت ماهانه و هفتگی استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که دقت هر دو روش در مقیاس ماهانه بیشتر از هفتگی است.

جاویدی صباغیان و شریفی (۹) سری زمانی  $50$  ساله مربوط به دبی متوسط سالانه یک نمونه رودخانه فرضی را انجام دادند. سپس به پیش‌بینی مربوط به  $50$  سال آتی نیز با استفاده از مدل‌های ARIMA پرداختند.

با توجه به مطالب بیان شده بر اساس سوابق تحقیقات انجام شده مشاهده می‌شود که شناسایی و پایش کیفیت منابع آب به منظور شناخت از کیفیت آب متناسب با مصارف مختلف به عنوان یکی از گام‌های اصلی مدیریت کیفیت منابع آب از جایگاه ویژه‌های برخوردار است (۲۴). از طرف دیگر با بررسی پژوهش‌های انجام شده در سراسر جهان اهمیت کنترل و پیش‌بینی آلاینده‌ها در منابع آب به طور چشم‌گیری قابل ملاحظه است. از این رو در این تحقیق سعی شده است تا علاوه بر بررسی اثر تغییرات کاربری بر میزان آلاینده‌های کیفی آب، روند افزایش آن از گذشته تا کنون مشخص شود و در نهایت با استفاده از مدل‌های ARIMA و L-THIA، با



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه  
Figure 1. Study area

منحنی) عمق رواناب و میزان آلودگی غیرنقطه‌ای را تعیین می‌کند. این مدل در محیط نرم‌افزار ArcView 3.2 قابل اجرا است.

#### سری زمانی

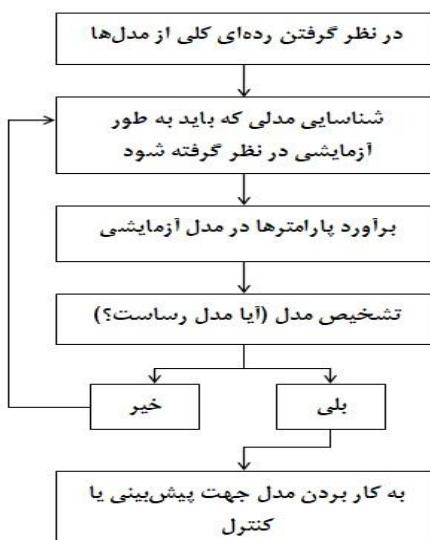
یک سری زمانی مجموعه داده‌هایی است که در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع‌آوری شده و بر اساس زمان اندازه‌گیری مرتب شده باشند. در موضوعات مرتبط با هیدرولوژی وقتی سری‌های زمانی در عمل مورد تحلیل قرار می‌گیرند، فقط مقدار محدودی داده ثبت شده یا یک نمونه وجود دارد. تمام تشخیص‌های ممکن از این فرآیند، تشکیل جامعه آماری را می‌دهند. هدف مطالعات هیدرولوژیک درک و توصیف کمی جامعه آماری و فرآیند ایجاد کننده این جامعه آماری، براساس تعداد محدودی نمونه است (۹). یکی از مهمترین اهداف تحلیل سری‌های زمانی، پیش‌بینی مقادیر آینده آن است. حتی اگر هدف نهایی به الگو درآوردن سری‌های زمانی برای کنترل یک سیستم باشد، عملیات آن مبتنی بر پیش‌بینی است (۲۱).

پیش‌بینی در هیدرولوژی به معنی تخمین شرایط هیدرولوژیکی و هواشناسی در یک بازه زمانی خاص می‌باشد (۱۰).

پس از آن، با استفاده از نرم‌افزار MINITAB سری‌های زمانی ARIMA مورد بررسی قرار گرفت و مدل‌های مناسب برای پارامترهای مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها و کل جامدات محلول (TDS) تشخیص داده شد. در نهایت با استفاده از مدل‌های بهینه ARIMA برای پارامترهای مذکور پیش‌بینی میزان رشد آلتیندها در آب منطقه مورد مطالعه انجام شد.

#### مدل L-THIA

مدل L-THIA برای تعیین میزان آلودگی غیرنقطه‌ای استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که آلودگی غیرنقطه‌ای به نوعی از آلودگی اتلاع می‌شود که از منابع غیرمتتمرکز از جمله اراضی کشاورزی و سطوح آسفالت ناشی می‌شود. برای این منظور لازم است ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تهیه شده و سپس طبق جدولی که در فایل راهنمای این مدل ارائه شده است جدول اطلاعات توصیفی نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک اصلاح شده و فایل بارندگی سی ساله منطقه نیز به صورت متنی آماده شود. مدل مذکور با استفاده از فایل متنی بارندگی، نقشه‌های اصلاح شده کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و فایل متنی cn-table (شماره ۱۰).



شکل ۲- مراحل مدل‌سازی ARIMA (۱۶)  
Figure 2. Steps of ARIMA modeling (16)

#### ۳- تشخیص درستی الگو (۲۰، ۱۲)

به منظور دستیابی به مدل بهینه سری زمانی مراحل به صورت شکل ۲ طی می‌شود.

#### شناخت مدل آزمایشی

به منظور پیدا کردن مدل مناسب سری زمانی برای هر یک از پارامترهای مجموع کاتیون، آنیون، TDS، ابتدا نمودار سری زمانی برای هر یک در نرم افزار MINITAB رسم شد. با توجه به نمودار سری زمانی هر یک از پارامترها نایستایی در میانگین و واریانس، بررسی شد. یک سری زمانی را ایستا می‌نامیم هر گاه مشخصه‌های آماری آن مانند

جهت پیش‌بینی سری‌های زمانی لازم است که رفتارهای فرآیند را با یک مدل ریاضی که قابل گسترش برای آینده است، توصیف کرد (۱۲).

#### استراتژی الگوسازی (مدل‌سازی)

پیدا کردن الگوهای مناسب برای سری‌های زمانی شامل چند مرحله است که بوسیله باکس و جنکینس در سال ۱۹۷۶ وضع شده است.

در این روش سه مرحله عمده وجود دارد:

- ۱- تشخیص یا شناسایی الگو
- ۲- برآذش الگو

تعیین بهترین مدل موجود استفاده شد. چگونگی محاسبه معیار آکائیک در رابطه ۱ مشخص است.

$$(1) AIC(q, p) = N \ln(\delta_{\hat{\epsilon}}^2) + 2(p + q)$$

که در آن  $N$  تعداد اطلاعات سری زمانی و  $\delta$  واریانس خطاهای باقیمانده است (۱۰). مدل بهینه مدلی است که میزان آکائیک کمتری را نشان دهد (۱۲،۲۳).

#### پیش‌بینی

پس از تعیین مدل بهینه برای هر یک از پارامترهای مورد مطالعه، پیش‌بینی در یک بازه زمانی مشخص انجام می‌شود. در این تحقیق از روش پیش‌بینی باکس-جنکیت استفاده شد. این روش اساساً شامل برآش یک مدل ARIMA به داده‌ها می‌باشد. به طور کلی مدل‌های ARIMA شامل سه نوع کلی هستند: مدل‌های اتورگرسیون (AR)، مدل‌های میانگین متحرک (MA) و ترکیب مدل‌های MA و AR (مدل‌های ARIMA) (۳،۸،۲۲). پس از تعیین مدل نهایی و تعیین مرتبه تفاضلی و تعیین مرتبه هر یک از فرآیندهای اتورگرسیون (AR) و میانگین متحرک (MA) پیش‌بینی صورت می‌گیرد (۱۲).

#### نتایج و بحث

در این تحقیق ابتدا مساحت کاربری‌ها در نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۷۴ (۲) با نقشه کاربری حاضر در محیط نرم‌افزار ArcMap10.2 مقایسه شد که نتایج در جدول ۱ راشه شده است.

میانگین و واریانس در طول زمان ثابت بماند. ابتدا به منظور بررسی نایستایی در واریانس تبدیل باکس-کاکس انجام شد. با بررسی میزان لامبدا مشخص شد که مجموع کاتیون و همچنین آنیون نایستایی واریانس دارند ولی TDS در واریانس نایستاست. میزان لامبدا برای کاتیون و آنیون نیاز به تبدیل لگاریتمی را نشان داد. پس از تبدیل لگاریتمی نایستایی در میانگین، برای هر سه پارامتر بررسی شد. بررسی نایستایی میانگین در هر سه پارامتر، با توجه به نمودار خود همبستگی یا  $acf$  انجام شد. نمودار  $acf$  هر سه پارامتر، نایستایی در میانگین را نشان داد، در نتیجه تفاضل گیری انجام شد. برای هر سه پارامتر مرتبه تفاضل گیری، یک بود. سپس نمودار سری زمانی مجدد رسم شد و با رسم نمودار روند میزان افزایش یا کاهش عناصر بررسی شد.

#### بررسی مناسبت مدل

برای بررسی مناسب بودن مدل از دو روش که مکمل یکدیگرند استفاده می‌شود (۱۲):

- ۱- تجزیه و تحلیل مدل‌هایی که پارامتر بیشتری دارند.
- ۲- تجزیه و تحلیل مدل‌هایی که پارامتر بیشتری نداشتند و فرض نرمال بودن، استقلال و فرض ثابت بودن واریانس باقیماندهای بروزی و نمودار باقیماندهای در برابر زمان رسم شد و آزمون پرت-مانتو نیز به منظور آزمون فرضیه ناهمبسته بودن باقیماندهای استفاده شد. در مرحله بعد به تجزیه و تحلیل مدل‌هایی که پارامتر بیشتری دارند پرداخته شد. بعد از اینکه مدل‌های مختلف بر سری زمانی آریما عبور داده شد از معیار آکائیک (AIC) برای

جدول ۱- مقایسه مساحت کاربری‌های اصلی در نقشه کاربری اراضی ۱۹۷۴ و ۲۰۱۷

Table 1. Comparison the main land uses area in land use map of 1974 and 2017

نوع کاربری اراضی	کاربری اراضی ۱۹۷۴ (ha)	کاربری اراضی کنونی (ha)	کاربری اراضی ۲۰۱۷ (درصد)	کاربری اراضی ۱۹۷۴ (درصد)
کشاورزی	۷۶۹۳/۷۶	۱۱۹۴۹/۳۴	۱۰/۱	۱۵/۶۹
مرتع	۶۷۷۵۸/۴۹	۶۲۷۵۷/۴۷	۸۸/۹۶	۸۲/۳۸
مسکونی	۱۰/۲۶	۳۵۵/۶۰	۰/۰۱	۰/۴۸
جاده	۹۹/۰۶	۲۰/۳/۵۹	۰/۱۳	۰/۲۷
سایر کاربری‌ها	۶۱۱/۰۷	۹۰/۶/۸۵	۰/۰۸	۱/۱۸

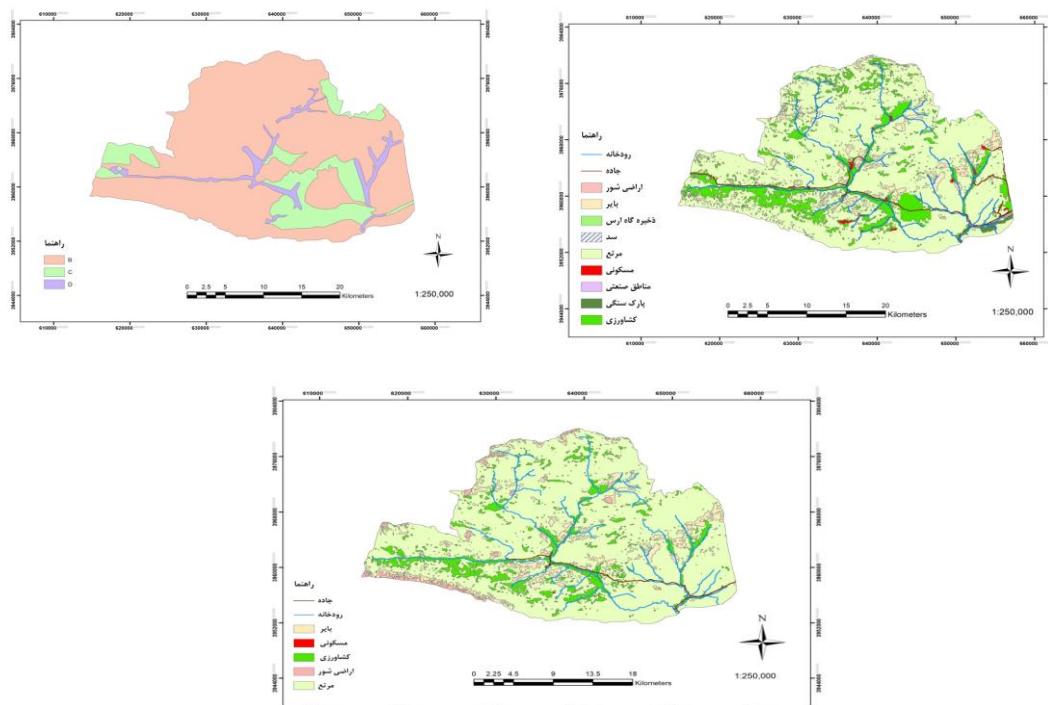
شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل میزان افزایش آلوگی غیرنقطه‌ای که به دلیل افزایش اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و جاده‌ها می‌باشد، کاملاً مشهود است. رنگ تیره در این شکل نشان‌دهنده اراضی با میزان آلوگی بسیار زیاد است و رنگ روشن اراضی با آلوگی کمتر را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۳ نیز نشان داده شده است اراضی کشاورزی، جاده‌ها و مناطق مسکونی در طول دوره مورد بررسی افزایش یافته اما وسعت مراتع کاهش یافته است.

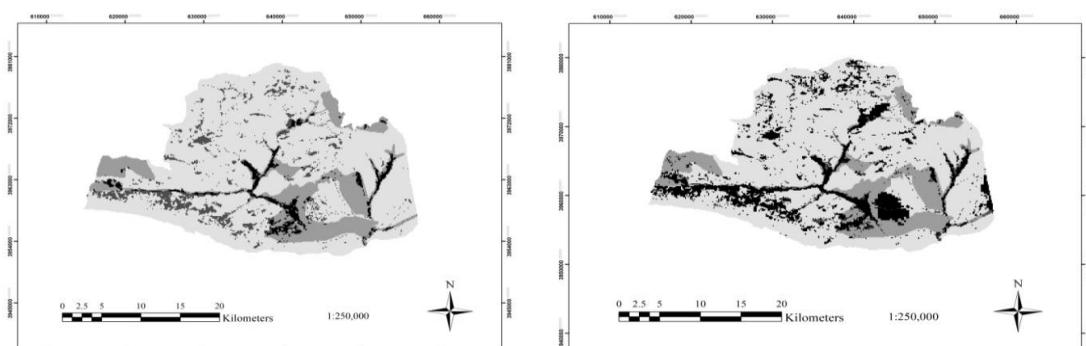
مدل L-THIA با استفاده از نقشه کاربری اراضی و نقشه گروههای هیدرولوژیکی خاک (شکل ۴) و فایل متنی بارندگی به منظور تعیین میزان آلوگی غیرنقطه‌ای اجرا شد. نتایج این مدل برای کاربری اراضی سال ۱۹۷۴ و کاربری کنونی در



شکل ۳- مقایسه درصد مساحت کاربری‌های اصلی در سال‌های ۱۹۷۴ و ۲۰۱۷  
Figure 3. Comparison the percentage of the main land uses area in the years 1974 and 2017



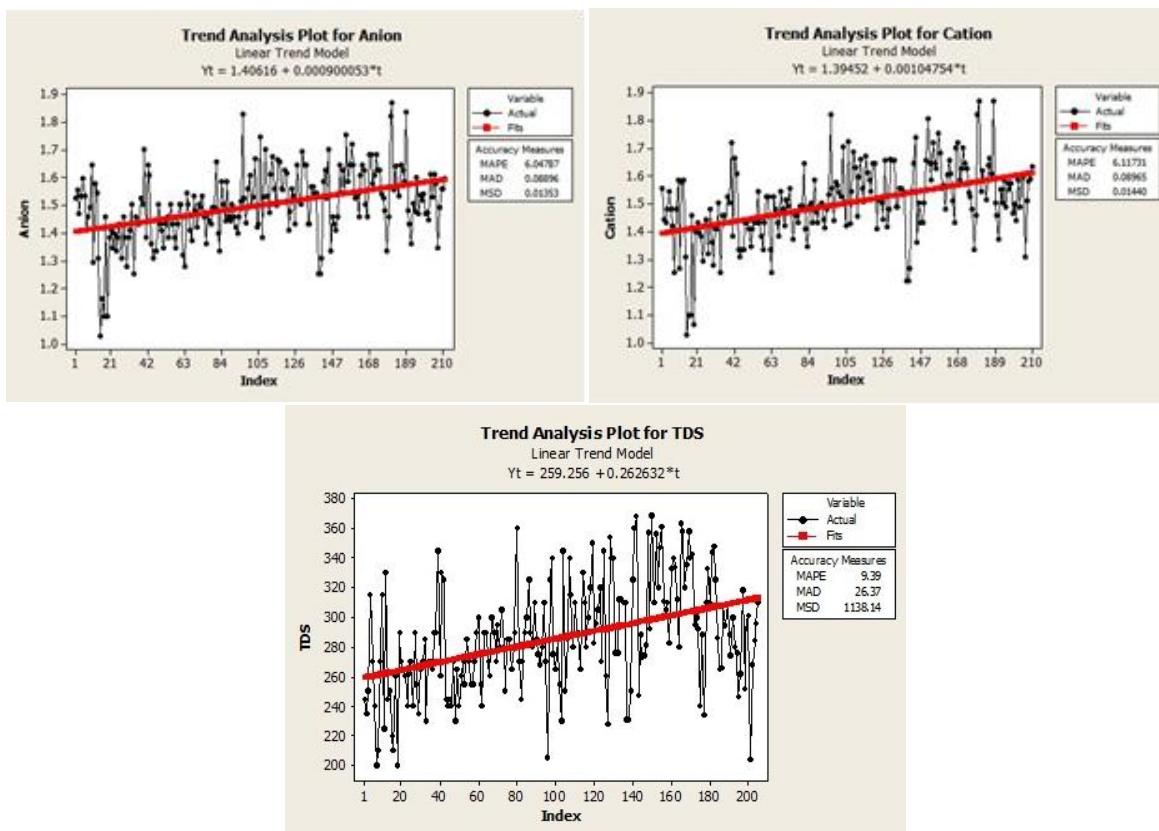
شکل ۴- نقشه‌های ورودی مدل L-THIA: کاربری اراضی ۲۰۱۷ (راست)، کاربری اراضی ۱۹۷۴ (چپ) و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (پایین)  
Figure 4. The input maps of L-THIA model: land use of 2017 (right) and 1974 (left) and hydrological groups of Soil



شکل ۵- نتایج حاصل از مدل L-THIA برای کاربری اراضی ۲۰۱۷ (راست) و کاربری اراضی ۱۹۷۴ (چپ)  
Figure 5. The results of L-THIA model for land use of 2017 (right) and 1974 (left)

آنیون و TDS، ابتدا نمودار سری زمانی و روند رسم شد (شکل ۶).

همانگونه که بیان شده، به منظور پیدا کردن مدل مناسب سری زمانی، برای هر یک از یارامترهای مجموع کاتیوژ،



شکل ۶- نمودار روند پارامترهای مجموع کاتیون، آنیون و TDS

Figure 6. Diagrams of Trend Analysis Plot for total Cations, Anions and TDS

پس از رسم نمودار روند، مدل برای هر یک از پارامترها تشخیص داده شد. پس از برازش مدل، باقیمانده‌ها بررسی شد و سپس مدل‌های گستردته در نظر گرفته شد تا تناسب مدل تأیید شود. مدل مناسب برای مجموع کاتیون‌ها (۱۰، ۱۱) تشخیص داده شد.

سایر مدل‌های گستردۀ که بررسی شدند عبارت بودند از: (۱،۱،۲)، (۰،۱،۲)، (۱،۰،۱)، (۰،۰،۱) و (۲،۱،۱) که دو مدل آخر با بررسی ضرایب MA و AR رد شدند (میزان ضرایب مذکور با توجه به (p-value). مدل‌های تایید شده برای آنیون‌ها و همچنین TDS نیز همانند کاتیون‌ها می‌باشد که عبارتند از: (۱،۰،۰)، (۰،۱،۱)، (۰،۰،۱) و (۲،۱،۰). سپس به منظور گزینش بهترین مدل، معیار آکائیک محاسبه شد که نتایج در جدول ۲ آمده است.

در این شکل نقاط سیاه نشان دهنده مقادیر واقعی پارامترها و خط قرمز نمودار روند است که با توجه به مقادیر واقعی توسط نرم افزار ترسیم شده است. با توجه به نایسیتایی واریانس مجموع کاتیون و همچنین آبیون، و واریانس ایستا در مقادیر TDS، تبدیل لگاریتمی لامبدا برای کاتیون و آبیون انجام شد. پس از تبدیل لگاریتمی، با توجه به نمودار خود همبستگی یا  $acf$  بررسی نایسیتایی میانگین در هر سه پارامتر انجام شد. نمودار  $acf$  هر سه پارامتر، نایسیتایی در میانگین را نشان داد، در نتیجه تفاضل گیری انجام شد. برای هر سه پارامتر مرتبه تفاضل گیری، یک بود. سپس نمودار سری زمانی مجدد رسم شد و با رسم نمودار روند میزان افزایش یا کاهش عنصر بررسی شد. نمودار سری زمانی و روند در شکل ۶ نشان داده شده است.

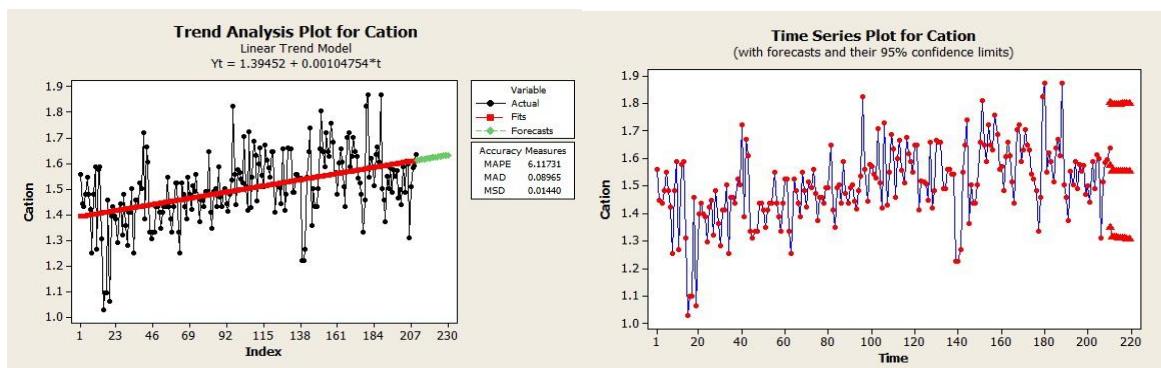
جدول ۲- مقایسه معیار آکائیک برای مدل بهینه کاتیون‌ها، آنیون‌ها و TDS

Table 2. Comparison Akaike (AIC) criterion for optimal models of Cations, Anions and TDS

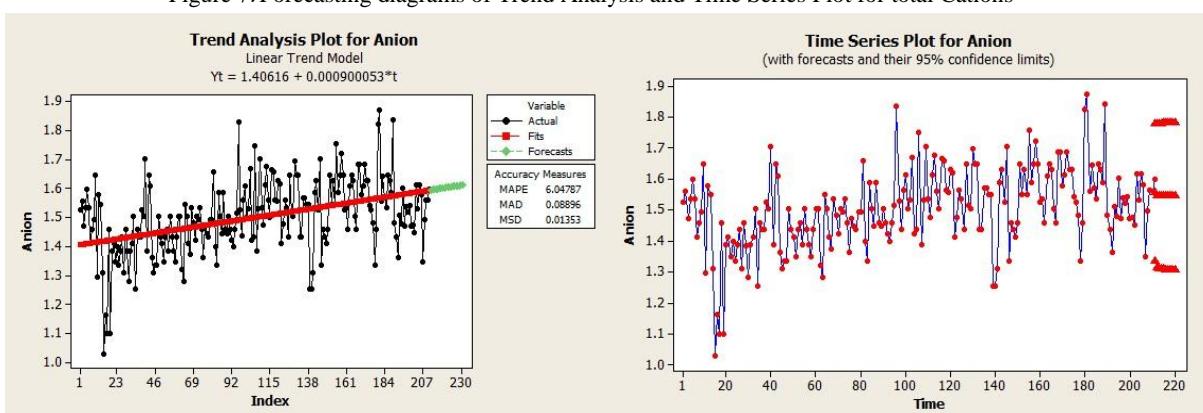
ARIMA مدل	معيار آکاچیک کاتیون	معiar آکاچیک آنیون	معيار آکاچیک TDS
مدل ۱ (۱,۱,۰)	-۳۸۵/۳۷	-۳۹۳/۸۷	-۱۹۳/۸۷
مدل ۲ (۱,۱,۱)	-۳۸۸/۶۲	-۳۹۴/۶۶	-۱۹۳/۱۶
مدل ۳ (۲,۱,۰)	-۳۸۹/۳۰	-۳۹۴/۶۰	-۱۹۳/۲۵

کاتیون‌ها، آنیون‌ها و TDS به ترتیب در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ را مشاهده کردند. در این شکل‌ها متغیر نشان داده شده در محور طول‌ها زمان می‌باشد که واحد اندازه‌گیری آن نیز ماه است. بنابراین، در این ۳ شکل مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی سه پارامتر کیفی شامل مجموع کاتیون‌ها، آنیون‌ها و TDS در هر ماه نشان داده شده است.

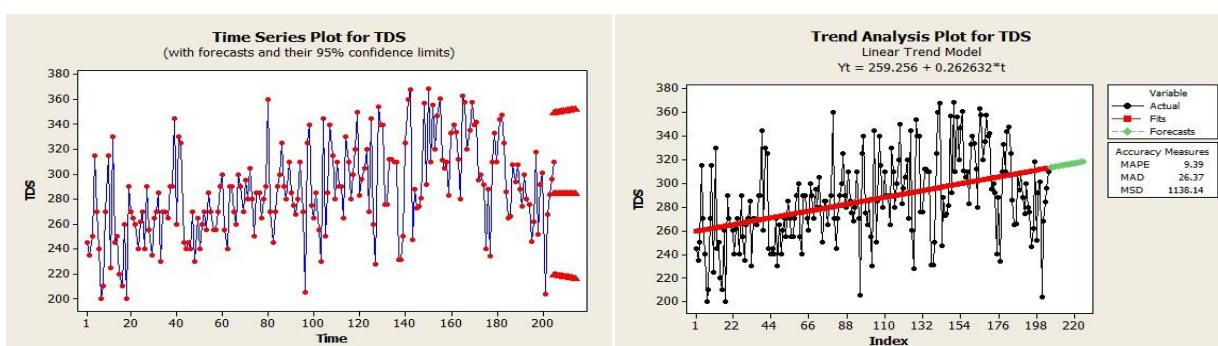
با بررسی نتایج جدول ۲ مدل مناسب برای مجموع کاتیون‌ها مدل ۳ و برای مجموع آنیون‌ها مدل ۲ و برای TDS مدل ۱ است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مدل‌های مذکور نشان‌دهنده کمترین مقادیر آکائیک در مقایسه با دو مدل دیگر هستند. با مدل‌های منتخب می‌توان میزان پارامترهای مورد بررسی را در آینده پیش‌بینی نمود. نمودارهای پارامترهای مورد بررسی را در آینده پیش‌بینی نمود.



شکل ۷- نمودار پیش‌بینی سری زمانی و روند برای مجموع کاتیون  
Figure 7. Forecasting diagrams of Trend Analysis and Time Series Plot for total Cations



شکل ۸- نمودار پیش‌بینی سری زمانی و روند برای مجموع آنیون  
Figure 8. Forecasting diagrams of Trend Analysis and Time Series Plot for total Anions



شکل ۹- نمودار پیش‌بینی سری زمانی و روند برای TDS  
Figure 9. Forecasting diagrams of Trend Analysis and Time Series Plot for TDS

توجه به نتایج این پژوهش می‌توان پیش‌بینی نمود در صورتی که روند تغییرات کاربری اراضی به همان صورت گذشته صورت گیرد، متاسفانه میزان آلاینده‌های کیفی آب رشد خواهد داشت. نتایج این پژوهش، تاثیر کاربری اراضی بر غلظت آلاینده‌ها در منابع آب را تایید کرد که با نتایج پژوهش‌های والتون و همکاران (۲۷)، خبری و همکاران (۱۱)، کیم و همکاران (۱۳) و میرزایی و همکاران (۱۶) نیز همخوانی دارد. از سوی دیگر نتایج این تحقیق نشان داد که مدل‌های سری زمانی در کنار مدل‌های آلودگی غیرنقطه‌ای به خوبی قادر به پیش‌بینی و مدل‌سازی آلاینده‌های آب می‌باشند. نتایج این مطالعه نیز همچون مطالعات چیائو‌دانی و همکاران (۴)، دودانگه و همکاران (۵)، فرج‌زاده و همکاران (۶)، سیدیان و همکاران (۲۶) و جاویدی صباحیان و شریفی (۹) نشان‌دهنده سودمندی مدل‌های ARIMA در مدیریت منابع آب است. نتایج این پژوهش، لزوم اجرای تدبیر مدیریتی خاص جهت ارائه کاربری بهینه اراضی به منظور کاهش آلاینده‌های کیفی در منابع آب را تایید کرد. در این راستا می‌توان به اقداماتی چون احیای مراع و ایجاد بافر در اطراف رودخانه‌ها اشاره کرد که تاثیر بسزایی در کاهش آلودگی غیرنقطه‌ای دارند.

در این تحقیق از مدل L-THIA و سری‌های زمانی به منظور تایید اثر تغییرات کاربری بر میزان آلاینده‌های کیفی آب استفاده شد. به این منظور ابتدا با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۷۴ در مطالعات پیشین منطقه مقایسه‌ای بین کاربری‌های مختلف اراضی در نقشه کنونی و نقشه سال ۱۹۷۴ که منابع اصلی ایجاد آلاینده‌ها هستند مانند کاربری کشاورزی، اراضی مسکونی، مناطق صنعتی و جاده‌ها و همچنین کاربری مرتع انجام شد. نتایج حاکی از افزایش اراضی کشاورزی، مسکونی، جاده‌ها و مناطق صنعتی بود که همگی بر افزایش آلاینده‌ها دلالت داشتند. از سوی دیگر نتایج اجرای مدل L-THIA نشان‌دهنده افزایش میزان آلودگی غیرنقطه‌ای در سال‌های کنونی نسبت به سال ۱۹۷۴ است که نتایج در شکل ۴ آمده است. در نهایت سری‌های زمانی ARIMA نیز برای سه فاکتور کیفی آب شامل مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها و کل جامدات محلول (TDS) انجام شد. پس از بررسی نمودارهای روند هر سه پارامتر، افزایش تدریجی آلاینده‌های کیفی آب تایید شد. سپس به منظور پیش‌بینی میزان آلاینده‌ها در آینده مدل بهینه برای هر یک از پارامترها با استفاده از معیار آکائیک انتخاب شد. مدل‌های بهینه نیز افزایش آتی آلاینده‌ها را تایید می‌نمایند. با

## منابع

1. Afruzi, A. and H. Zare Abyaneh. 2017. Groundwater Level Modeling and Forecasting using the Time Series Models (Case Study: The Plains of Hamadan Province). Journal of Watershed Management Research, 8(15): 102-111 (In Persian).
2. Anonymous. 2012. Assessment of Economic, Social and Environmental effects in Hablehrood watershed. 342 pp (In Persian).
3. Babamiri, O., H. Nowzari and S. Maroofi. 2017. Potential Evapotranspiration Estimation using Stochastic Time Series Models (Case Study: Tabriz). Journal of Watershed Management Research, 8(15): 137-146 (In Persian).
4. Chiaudani, A., D.D. Curzio, W. Palmucci, A. Pasculli, M. Polemio and S. Rusi. 2017. Statistical and Fractal Approaches on Long Time-Series to Surface-Water/Groundwater Relationship Assessment: A Central Italy Alluvial Plain Case Study. Water, 9(11): 850, doi: 10.3390/w9110850.
5. Dodangeh, S., J. Abedi Koupai and A. Gohari. 2012. Application of time series modeling to investigate future climatic parameters trend for water resources management purposes. Sciences and Technology Agricultural and Natural Resources, Water and Soil Sciences, 16(59): 59-74 (In Persian).
6. Farajzadeh, J., A. Fakheri Fard and S. Lotfi. 2014. Modeling of monthly rainfall and runoff of Urmia Lake Basin using “feed-forward neural network” and “time series analysis” model. Water Resources and Industry, 7(8): 38-48.
7. Faryadi, S., K. Shahedi and M. Nabatpoor. 2012. Investigation of Water Quality Parameters in Tadjan River using Multivariate Statistical Techniques. Journal of Watershed Management Research, 3(6): 75-92 (In Persian).
8. Han, P., P.X. Wang, S.Y. Zhang and D.H. Zhu. 2010. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models. Mathematical and Computer Modelling, 51: 1398-1403.
9. Javidi Sabbaghian, R. and M. Sharifi. 2009. Random modeling application in river flow simulation and estimation of mean annual river discharge by time series analysis. International Conference on Water Resources (ICWR). 9 pp (In Persian).
10. Khazaei, M. and M.R. Mirzaei. 2013. Comparison prediction performance of monthly discharge using ANN and time series. Watershed Engineering and Management, 2(2): 74-82 (In Persian).
11. Khebri, Z., F. Nejadkoorki and H. Sodaie Zadeh. 2015. The relationship between land use vector parameters and river water quality using GIS (Case study: Zayandeh rood river). RS & GIS for Natural Resources, 6(1): 79-88 (In Persian).
12. Khorrami, M. and A. Bozorgnia. 2007. Time Series Analysis with MINITAB 14. Sokhangstar, Mashhad, Iran, 352 pp (In Persian).
13. Kim, Y., B.A. Engel, K.J. Lim, V. Larson and B. Duncan. 2002. Runoff Impacts of Land-Use Change in Indian River Lagoon Watershed. Journal of Hydrologic Engineering, 245-251.

14. Koomen, E., J. Stillwell, A. Bakema and H.J. Scholten. 2007. Modeling land use change, progress and application. Springer, the Netherlands, 410 pp.
15. Li, Z., X. Deng, F. Wu and S.S. Hasan. 2015. Scenario analysis for water resources in response to land use change in the middle and upper reaches of the Heihe River Basin. *Sustainability*, 7: 3086-3108.
16. Mirzaei, M., E. Solgi, A. Salman Mahiny. 2017. Modeling of Non-Point Source Pollution by Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) (Case Study: Zayandehrood Watershed) in 2015. *Archives of Hygiene Sciences*, 6(2): 196-205.
17. Mohammadi, M., A. Kavian and L. Gholami. 2017. Simulation of Discharge and Nitrate in Tallar Basin using SWAT Model. *Journal of Watershed Management Research*, 8(15): 45-60 (In Persian).
18. Moshkani, M.R. 1992. Time series analysis: forecasting and control. Shahid Beheshti university of Tehran, Tehran, Iran, 424 pp (In Persian).
19. Munafò, M., G. Cecchi, F. Baiocco and L. Mancini. 2005. River pollution from non-point sources: a new simplified method of assessment. *Environmental Management*, 77: 93–98.
20. Niroomand, H.A. 1999. Time series analysis. Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran, 404 pp (In Persian).
21. Niroomand, H.A. 2007. Time series analysis. Univariate and Multivariate Methods. Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran, 586 pp (In Persian).
22. Nury, A.H., K. Hasan and J.B. Alam. 2017. Comparative study of wavelet-ARIMA and wavelet-ANN models for temperature time series data in northeastern Bangladesh. *Journal of King Saud University – Science*, 29: 47-61.
23. Oliveira, J.P., J.L. Steffen and P. Cheung. 2017. Parameter Estimation of Seasonal ARIMA Models for Water Demand Forecasting using the Harmony Search Algorithm. *Procedia Engineering*, 186: 177–185.
24. Pirzadeh, B., M. Afsari, S.A. Hashemi Monfared and A.A. Ghaderi. 2017. Generating Artificial Water Quality Data for No-Trend Parameters in Reservoirs (Chahnameh No.1 in Sistan). *Iran-Water Resources Research*, 13(2): 226-232 (In Persian).
25. Salajegheh, A., S. Razavizadeh, N. Khorasani, M. Hamidifar and S. Salajegheh. 2011. Land use changes and its effects on water quality (case study: Karkheh watershed). *Environmental Studies*, 37(58): 22-26.
26. Seyediyani, M., M. Soleimani and M. Kashani. 2014. Forecasting of water discharge using data analysis and time series. *Ecohydrology*, 1(3): 167-179 (In Persian).
27. Walton, R.S. and H.M. Hunter. 2009. Isolating the water quality response of multiple land use from stream monitoring data through model calibration. *Journal of Hydrology*, 378: 29-45.

## Prediction of the Type and Amount of Surface Water Pollutants using Time Series Models (ARIMA) and L-THIA Model (Case Study: Namrood Sub-Basin, Hablehrood Watershed)

**Zahra Pasandidehfard<sup>1</sup>, Ali Reza Mikaeili Tabrizi<sup>2</sup>, Abolfazl Mosaedi<sup>3</sup> and Hasan Rezaei<sup>4</sup>**

1- Ph.D. Student of Environmental Sciences- Land use Planning, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources (Corresponding author: Zahra\_pasandidehfard@yahoo.com)

2 and 4- Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad

Received: January 25, 2018 Accepted: August 27, 2018

### Abstract

Due to the important role of non-point source pollution in water resources management, in this study time series modeling was applied to forecast water quality parameters and L-THIA model (one type of non-point source pollution models) was applied to estimate water pollutants. The purpose of this study was to compare results of L-THIA model and ARIMA models in Namrood sub-basin located in the Hablehrood watershed. At first, land use changes were studied from the years 1974 till 2017 that showed increase in agricultural lands and expansion of cities and roads. Then, using L-THIA model for both land use categories, the amount of pollutant and the volume of runoff were calculated that showed high growth. In the end, using ARIMA models were estimated water quality parameters for 30 years. Among the different ARIMA models, a model with a lowest error and akaike (AIC) criterion was selected as an optimal model for TDS, total of cations and anions. Desirable models for TDS, total of cations and anions were (0,1,1), (1,1,2) and (1,1,1), respectively. The end, diagrams of Trend Analysis and Time Series were performed for three parameters that indicated high growth in amount of pollutant. The results showed efficiency of time series modeling in water resources studies in order to forecast water quality parameters.

**Keywords:** L-THIA model, Non-point source pollution, Runoff, Time series models, Water quality parameters