

کاربرد روش تحلیل سری زمانی در پیش بینی تکامل شورابه در دریاچه ارومیه

جواد درویشی خاتونی^۱ و فروغ عباساقتی^۲

۱- کارشناس ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، سازمان زمین شناسی کشور. Darvishi.khatooni@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری، رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

بررسی هیدروشیمی آب دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ با آنالیز ۱۸۰ نمونه آب انجام گرفت. این تحقیق قصد دارد با توجه به تغییرات میزان آنیون ها و کاتیون های اصلی در شورابه دریاچه ارومیه طی این دوره ۹ ساله، با استفاده از روش آماری ARIMA به پیش بینی مقدار یون های موجود در دریاچه ارومیه برای شش سال آینده بپردازد. مهم ترین هدف از تجزیه و تحلیل سری های زمانی یافتن روند تغییرات و پیش بینی آینده بر مبنای اندازه گیری های سال های گذشته است. ابتدا داده ها جهت بررسی ایستایی مورد آزمون قرار گرفته و در ادامه با ایجاد مرتبه در سری نالیستایی آنها از بین رفت. در نهایت مدل آریمای (1,1,0) برای پیش بینی یون های پتاسیم، سدیم، کربنات و کلر و مدل (0,1,1) برای منیزیم، کلسیم و بی کربنات مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که تیپ شورابه دریاچه ارومیه تا سال ۲۰۱۰ از نوع Na-Mg-Cl بوده که در مسیر III نمودار هاردی و اویگستر قرار گرفته و قابل مقایسه با دریای بزرگ نمک در آمریکا بوده است و این روند با خشک شدن دریاچه ارومیه و تشدید میزان تبخیر در دریاچه به میزان ده ها برابر و همچنین کاهش میزان ورودی آب های سطحی در سال های اخیر، به میزان بالایی تغییر ترکیب شیمیایی داده و به Mg-Na-Cl در سال ۲۰۱۵ تغییر یافته است. پیش بینی می شود در سال ۲۰۲۱ شورابه تیپ Mg-SO₄-Cl خواهد داشت که با مسیر IIIb در دیاگرام پیشنهادی تکامل شورابه هاردی و اگستر (۱۹۷۸) همخوانی دارد.

واژگان کلیدی: تحلیل سری زمانی، آریمای، هیدروژئوشیمی، تیپ شورابه، دریاچه ارومیه

مقدمه

۵۳ دقیقه طول خاوری و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ درویشی خاتونی و همکاران، الف ۱۳۸۹). طول دریاچه بین ۱۲۰ تا ۱۵۰ کیلومتر، عرض آن بین ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر (Sorgeloos, 1997; Azari Takami, 1993; Esmaeili Dahesh et al., 2010) و عمق آن بین ۶ تا ۱۶ متغیر است و میانگین ژرفای آن ۶ متر می باشد (Ghaheri and Baghal-Vayjooee, 1999). دریاچه ارومیه، دریاچه ای با آب شیرین بوده که به تدریج بواسطه حمل مقدار قابل ملاحظه ای نمک توسط رودخانه آجی چای (آقا نباتی، ۱۳۸۵؛ درویشی خاتونی و همکاران، ۱۳۸۹؛ درویشی خاتونی و محمدی، ب ۱۳۹۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۹)،

در سرزمین خشک و نیمه خشک ایران که به دلیل ویژگیهای اقلیمی میزان بارش سالانه نسبتاً پایین است دریاچه های شور متعددی وجود دارند که از نقطه نظر زیست محیطی، زمین شناسی، آب و هوای دیرینه، جغرافیای دیرینه و اکولوژی دیرین از اهمیت فوق العاده ای برخوردارند (محمدی، ۱۳۸۴). در این میان دریاچه ارومیه در سرزمین آذربایجان به عنوان بزرگ ترین و شورترین دریاچه دائمی ایران و یکی از بزرگ ترین دریاچه های فوق اشباع از نمک دنیا است (درویشی خاتونی، ۱۳۹۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۹) و قابل مقایسه با دریاچه بزرگ نمک آمریکا است (Kelt and Shahrabi, 1986). این دریاچه بین مختصات جغرافیائی ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۴۷ درجه و

می‌تواند به پیش بینی تکامل شورابه دریاچه ارومیه در سال های آینده کمک کند.

کاربرد تحلیل های آماری در علوم مختلف در چند دهه اخیر گسترش یافته و یکی از مدل های آماری برای بررسی ارتباط زمانی پدیده های مختلف، سری های زمانی است. سری زمانی مجموعه ای از مشاهدات است که بر حسب زمان و در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع آوری شده اند و معمولاً آنها را به صورت زیر نشان می دهند.

$$X_{t1}, X_{t2}, \dots, X_{tn} \quad (1)$$

در این رابطه X متغیر و t زمان اندازه گیری هر متغیر است. روش های آماری که این گونه داده های آماری را مورد استفاده قرار می دهند تحلیل سری زمانی نامیده می شوند. فراوانی چنین داده هایی، تحلیل های سری زمانی را به یکی از کاربردی ترین شاخه های علم آمار تبدیل کرده است. هدف از سری زمانی، تعیین قانونمندی و شناسایی رفتار متغیر جهت پیش بینی در آینده است. در مطالعه حاضر با توجه به اینکه مشاهدات فقط در زمان های معین و به فواصل مساوی از یکدیگر اخذ شده اند سری زمانی از نوع گسسته می باشد. یک سری زمانی با بررسی رفتار گذشته مدل احتمالی مولد داده های موجود را شناسایی کرده و سپس با فرض بر اینکه داده ها در آینده نیز رفتاری مشابه خواهند داشت و از مدل برازش داده شده تبعیت خواهند نمود، سعی می کنیم مقادیر آینده را پیش بینی کنیم. جهت پیش بینی سری های زمانی لازم است که رفتار فرآیند را با یک مدل ریاضی که قابل گسترش برای آینده باشد توصیف کرد. مدل باید نماینده خوبی از مشاهدات در هر بخش موضعی نزدیک به حال باشد. بعد از تعیین مدل معتبر برای فرآیند سری های زمانی می توان یک روش پیش بینی مناسب را اتخاذ نمود (خرمی و بزرگ نیا، ۱۳۸۶).

بررسی و تحلیل پدیده های مختلف در قلمرو آمار و احتمال براساس سری های زمانی نیز از زیر مجموعه های علم هیدرولوژی است. هدف این مطالعات درک و

شورتر شده تا به حد فوق اشباع از نمک رسیده است (Kelt and Shahrabi, 1986) (غضبان و مهاجرباوقار، ۱۳۷۶). آب دریاچه ارومیه با pH از ۷/۲ تا ۷/۶ در حالت قلیایی است (درویشی خاتونی و محمدی، الف ۱۳۹۰). ترکیب شیمیایی شوراب دریاچه ارومیه از نوع سدیم-کلرید-سولفات است (Kelt and Shahrabi, 1986؛ محمدی، ۱۳۸۴؛ مهاجرباوقار، ۱۳۷۶). میزان شوری دریاچه ارومیه، ۲۱۷ تا ۲۸۰ گرم در لیتر (طلوعی، ۱۳۷۵)، ۱۳۰ تا ۱۸۰ ppt و در برخی سال ها تا ۲۳۰ ppt (جلیلی، ۱۳۷۴)، حدود ۳۰۰ ppt (اسلامی، ۱۳۸۰)، ۳۸۰ ppt (درویشی خاتونی و لک، ۱۳۹۰)، حدود ۴۰۰ گرم در لیتر (لک و همکاران، ۱۳۹۰) گزارش شده است.

تاریخچه تحقیقات در زمینه مطالعه و بررسی دریاچه های شور و پلایاها نه تنها در ایران بلکه در سایر نقاط جهان سابقه چندانی ندارد. با این حال تاکنون مطالعات زیادی بر روی این مناطق در دنیا انجام شده است. از آن جمله می توان به مطالعاتی که در رابطه با تکامل شورابه ها توسط افرادی چون (Garrels and Mackenzi, 1967)، (Hardie and Eugster, 1970)، (Eugster and Jones, 1979)، (Smith and Drever, 1976)، (Drever, 1982)، (Herczeg and Lyons, 1991)، (Moore, 1960)، (Fayyazi, 1991) و (Warren, 1999; 2006) اشاره کرد. از جمله مطالعات اخیر صورت گرفته در رابطه با تکامل شورابه ها در ایران، می توان به کارهای افرادی چون، فیاضی و همکاران در سال ۲۰۰۷ و لک ۱۳۸۶ و ترشیزیان ۱۳۸۸ و درویشی و همکاران در سال ۱۳۹۴ اشاره کرد. اما در این میان شاید بتوان گفت که جامع ترین کار انجام شده در تفسیر روند تکامل شورابه ها مربوط به کارهای هاردی و اویگستر ۱۹۷۸ می باشد. این تحقیق قصد دارد با توجه به تغییرات میزان آنیون ها و کاتیون های اصلی در شورابه دریاچه ارومیه طی دوره ۹ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۷)، با استفاده از روش آماری ARIMA به پیش بینی مقدار یون های موجود در دریاچه ارومیه برای چند سال آینده بر مبنای اندازه گیری های سال های گذشته پردازد. بنابراین نتایج این تحقیق

جدول ۱- موقعیت نمونه های برداشت شده از شورابه دریاچه

ارومیه بین سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵

عمق آب	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نمونه
۲/۱	۴۵ ۱۶ ۰۳	۳۷ ۴۸ ۰۴	U-1
۲/۶	۴۵ ۱۶ ۲۳	۳۷ ۵۲ ۵۵	U-2
۲/۱	۴۵ ۲۱ ۲۳	۳۷ ۵۳ ۱۸	U-3
۲	۴۵ ۲۱ ۵۲	۳۷ ۵۰ ۱۶	U-4
۲/۳	۴۵ ۲۲ ۴۸	۳۷ ۴۶ ۰۴	U-5
۱/۳	۴۵ ۲۴ ۲۵	۳۷ ۴۳ ۳۳	U-6
۱/۵	۴۵ ۲۳ ۰۴	۳۷ ۴۱ ۲۸	U-7
۱/۵	۴۵ ۱۸ ۵۹	۳۷ ۴۲ ۲۰	U-8
۱	۴۵ ۱۸ ۰۲	۳۷ ۴۴ ۴۸	U-9
۱/۷	۴۵ ۲۰ ۲۱	۳۷ ۴۶ ۴۰	U-10
۰/۲	۴۵ ۱۶ ۲۶	۳۷ ۳۵ ۴۰	U-11
۰/۳	۴۵ ۱۶ ۴۱	۳۷ ۲۵ ۴۸	U-12
۰/۲	۴۵ ۳۱ ۲۹	۳۷ ۴۲ ۵۴	U-13
۰/۴	۴۵ ۰۳ ۰۱	۳۷ ۵۵ ۵۴	U-14
۰/۴	۴۵ ۰۹ ۱۶	۳۸ ۰۱ ۰۸	U-15
۰/۲	۴۵ ۲۴ ۲۷	۳۷ ۴۹ ۴۶	U-16
۰/۲	۴۵ ۴۱ ۱۶	۳۷ ۳۱ ۲۸	U-17
۰/۱	۴۵ ۲۰ ۵۷	۳۸ ۱۴ ۳۱	U-18
۰/۲	۴۵ ۲۱ ۳۹	۳۷ ۱۹ ۰۰	U-19
۰/۱	۴۵ ۰۶ ۵۳	۳۸ ۰۹ ۰۵	U-20

در رابطه Z_t سری های مشاهده شده، $\Phi(B)$ رتبه چندجمله ای p و $\theta(B)$ رتبه چندجمله ای q است. در فرآیند $ARIMA(p,d,q)$ ، p تعداد جملات فرآیند خود رگرسیون یا خودهمبستگی، d مرتبه انباشتگی یا یکپارچگی و q تعداد جملات میانگین متحرک می باشد که هر سه اعداد حقیقی غیر منفی هستند. در صورتی که سری زمانی مورد مطالعه ایستا باشد d برابر صفر خواهد بود و فرآیند $ARIMA(p,d,q)$ ، تبدیل به فرآیند $ARMA(p,q)$ می شود. اما از آنجا که متغیرها در طبیعت تحت تاثیر عوامل مختلف محیطی قرار دارند اغلب به صورت نایستاهستند، بنابراین برای این متغیرها d صفر نخواهد بود.

توصیف کمی جامعه آماری و فرآیندهای ایجاد کننده این جامعه آماری براساس تعداد محدودی نمونه است و رابطه آنها با تغییرات محیطی در هر منطقه می تواند در بررسی و پیش بینی مواردی چون کیفیت، دبی، تغییرات تراز و مدل سازی جریان موثر باشد (Hanh, 2010). برای مثال می توان به مطالعات آلفرس و همکاران (۲۰۱۴)، طاهری تیزرو و همکاران (۲۰۱۴) در زمینه بررسی کیفیت آب، خلیلی و همکاران (۱۳۸۹) در زمینه تحلیل روند و ایستایی جریان رودخانه و ولی پور و همکاران (۲۰۱۳) در زمینه میزان آب ورودی به سد دز اشاره نمود.

روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا در یک شبکه نامنظم (جدول ۱) در شمال و جنوب دریاچه ارومیه، ۱۸۰ نمونه آب طی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ برداشت و به منظور تعیین مقادیر یون های موجود، مورد آنالیز قرار گرفتند. سپس مقادیر یون های پتاسیم، کلسیم، سدیم، منیزیم، کلر، سولفات، بی کربنات و کربنات در طی ۹ سال اندازه گیری شدند.

این تحقیق قصد دارد مقادیر یون های مورد نظر را برای سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ با استفاده از نرم افزار Minitab پیش بینی نماید. اطلاعات استفاده شده شامل متغیرهای کمی یون های K^+ ، Ca^{2+} ، Na^+ ، Mg^{2+} ، Cl^- ، SO_4^{2-} ، HCO_3^- و CO_3^{2-} و متغیر کیفی سال (زمان) می باشد. با توجه به داده های موجود و آزمون های صورت گرفته از میان روش های تحلیل سری های زمانی در نرم افزار، روش $ARIMA$ بهترین مدل را به داده ها برازش می دهد. روش میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه $ARIMA(p,d,q)$ توسط باکس و همکاران (۱۹۹۴) در شرایط نایستایی و با در نظر گرفتن مرتبه تفاضلی ارائه شد. فرآیند $ARIMA(p,d,q)$ را می توان به صورت رابطه زیر نوشت:

$$\Phi(B)Z_t = \Phi(B)(1-B)^d Z_t = \theta(B)a_t \quad (2)$$

در آن صورت مقدار Na^+ و Cl^- کاهش می یابد. اما مقدار منیزیم، به واسطه کاهش سدیم، به شدت افزایش می یابد (Valero-Garces et al., 2000). از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ میزان سدیم در اثر ته نشست بسیار کاهش و در مقابل با تبلور مستقیم و غیر مستقیم سدیم میزان منیزیم در شورابه به شدت افزایش یافته است. همان گونه که مشاهده می شود در سال ۲۰۱۵ میزان منیزیم نسبت به سدیم بسیار بالا رفته و به دلیل وارد شدن سدیم به فاز جامد، ترکیب شورابه Mg-Na-Cl بوده و در شمال و جنوب دریاچه به دلیل عدم تبادل آب در محل میانگذر اختلاف فاحشی بین ترکیب شیمیایی آب دریاچه در بخش شمالی با بخش جنوبی دریاچه مشاهده می شود (درویشی و همکاران، ۱۳۹۴). در بین کانی‌های تبخیری، ژپس و هالیت از اهمیت بیشتری برخوردار است. با افزایش عمق نمونه‌های رسوبی تهیه شده از بستر دریاچه ارومیه کاهش نسبی در مقدار تبخیری‌ها مشاهده می‌گردد (درویشی خاتونی و محمدی، ۱۳۹۰). این حالت نشان‌دهنده افزایش شوری آب دریاچه با گذشت زمان است (Kelts and Shahrabi, 1986).

مدل های آریمای برای توصیف بسیاری از سری های زمانی مفید می باشند. این مدل های توانایی مدل بندی هر دو گروه فرآیندهای ایستا و نایستا را دارند. برای تخمین مدل ARIMA از روش باکس جنکینز (۱۹۷۶) استفاده می شود. این الگو شامل شناسایی آزمایشی مدل و تخمین پارامترهای مورد نیاز است. چنانچه مدل شناسایی شده مناسب باشد جهت پیش بینی به داده ها برازش داده می شود، در غیر این صورت باید از مدل های دیگر استفاده نمود.

بحث و نتایج

تغییرات شورابه دریاچه ارومیه

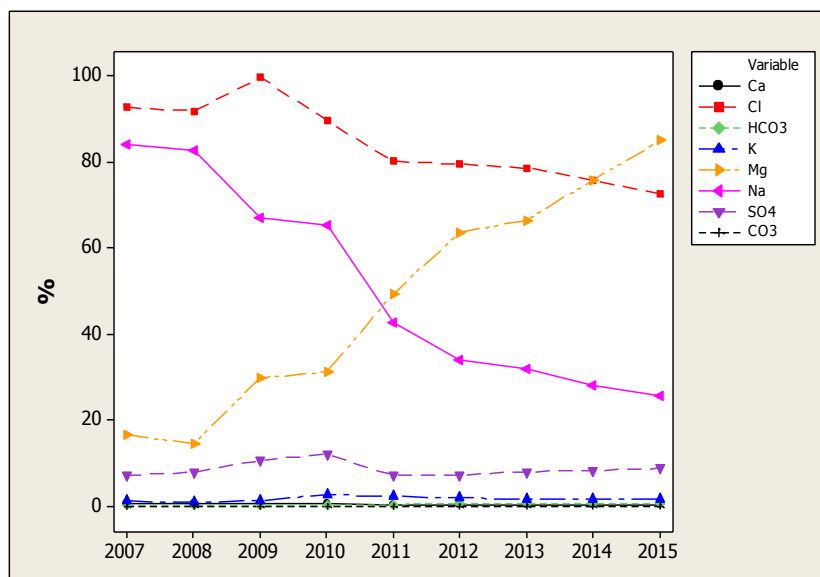
دریاچه ارومیه یک دریاچه فوق اشباع استثنایی است. درصد یون های اندازه گیری شده از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ در جدول ۲ نشان داده شده است. تغییرات سریع تیپ آن در مدت کمتر از ۱۰ سال بیانگر آن است که با کاهش ورود آب، پایین آمدن تراز آب، افزایش تبخیر و افزایش غلظت شورابه، غلظت عناصر بالا می رود. با ته نشست ژپس، مقدار کلسیم کاهش می یابد. تا جایی که هالیت ته نشست می گردد.

جدول ۲- درصد یون های اندازه گیری شده از دریاچه ارومیه به تفکیک سال

سال	پتاسیم	سدیم	منیزیم	کلسیم	سولفات	کلر	بی کربنات	کربنات
۲۰۰۷	۱/۲۲	۸۴/۱۵	۱۶/۵	۰/۶۹	۷/۱۹	۹۲/۷۵	۰/۲۱	<۰/۳
۲۰۰۸	۰/۹۴	۸۲/۶۵	۱۴/۵	۰/۶۱	۷/۹۳	۹۱/۸۳	۰/۲۰	<۰/۳
۲۰۰۹	۱/۲۵	۶۷/۱۵	۲۹/۸	۰/۵۹	۱۰/۷۳	۹۹/۶۵	۰/۳۰	<۰/۳
۲۰۱۰	۲/۷۵	۶۵/۳۵	۳۱/۲	۰/۵۲	۱۲/۱۳	۸۹/۶۴	۰/۴۰	<۰/۳
۲۰۱۱	۲/۲۶	۴۲/۸۱	۴۹/۴۸	۰/۴۶	۷/۱۳	۸۰/۱۷	۰/۳۹	<۰/۳
۲۰۱۲	۱/۹۰	۳۴/۱۱	۶۳/۵۸	۰/۴۰	۷/۳۲	۷۹/۵۴	۰/۶۹	<۰/۳
۲۰۱۳	۱/۷۶	۳۱/۸۳	۶۶/۵	۰/۳۷	۸/۰۶	۷۸/۶۳	۰/۶۲	<۰/۳
۲۰۱۴	۱/۷۲	۲۸/۲۱	۷۵/۷۴	۰/۳۲	۸/۳۷	۷۵/۶۹	۰/۶۹	<۰/۳
۲۰۱۵	۱/۷۰	۲۵/۷۰	۸۴/۹۸	۰/۲۸	۸/۸۴	۷۲/۷۵	۰/۷۶	<۰/۳

ولی این میزان در سال ۲۰۱۱ به ۰.۶۸ و در سال ۲۰۱۵ به ۰.۳۰ می رسد. هر چه تبخیر بالاتر رود، نسبت منیزیم به سدیم افزایش می یابد. وارن (۱۹۹۹) معتقد است هنگامی که دامنه شوری بین ۳۵ تا ۳۳۰ گرم بر لیتر می رسد شورابه‌های Na-Cl غالب است در حالی که در مقادیر بالای شوری، شورابه به سمت $Mg-Cl-SO_4$ پیش می رود و سدیم با ته نشست هالیت و سولفات سدیم از سیستم خارج شده و منیزیم کاتیون غالب می گردد. کلرید در سکناس های تبخیری، معمولاً آنیون غالب باقی می ماند و در شرایط خشک، با ته نشست سولفات سدیم و وارد شدن آن در فاز جامد، درصد منیزیم در آب نسبت به سدیم افزایش می یابد (Warren, 1999).

در شرایط کنونی مقدار منیزیم به مراتب بالاتر از سدیم است. این وضعیت وقتی ایجاد می شود که میزان تبخیر بسیار بالا و شورابه سطحی در حال خشک شدن باشد. در غلظت های بیشتر و تبخیر بالاتر سولفات سدیم ته نشست کرده و مقدار سدیم و سولفات علیرغم بالا رفتن غلظت شورابه، کاهش می یابد اما مقدار منیزیم افزایش می یابد (شکل ۱). نمودار تغییرات میزان یون های اصلی موجود در شورابه در حین تبخیر نیز موید این موضوع می باشد. همان طور که در شکل ۱ دیده می شود، در ابتدای مراحل تبخیر شورابه از نوع (Na-Cl-Mg) می باشد. با افزایش میزان تبخیر، مقدار سدیم، کاهش و مقدار منیزیم افزایش می یابد و شورابه از نوع Mg-Na-Cl خواهد شد. در ترکیب شیمیایی دریاچه ارومیه سال ۲۰۰۷، درصد سدیم بالاتر از منیزیم می باشد و نسبت سدیم به منیزیم ۵.۱۲ می باشد.



شکل ۱- نمودار سری زمانی متغیرهای مورد بررسی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵

تجزیه و تحلیل سری های زمانی

اولین مرحله در تجزیه و تحلیل سری های زمانی، رسم سری زمانی داده ها است (شکل ۱). ابتدا جهت بررسی نرمال بودن داده ها از آزمون های کلموگروف-اسمیرونوف (K-S) و کشیدگی و چولگی استفاده شد. نرمال بودن داده ها به این دلیل اهمیت دارد که تئوری سری های زمانی بر اساس نرمال بودن داده ها توسعه یافته است و در صورتی که داده ها نرمال نباشند باید با روش مناسب آنها را نرمال کرد (نیرومند و بزرگ نیا، ۱۳۸۱). با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمون ها، متغیرهای مورد مطالعه همگی نرمال هستند زیرا p value برای تمامی متغیرها بالاتر از ۰/۰۱ و در بررسی چولگی و کشیدگی نیز همه مقادیر به دست آمده در بازه ۲- تا ۲+ قرار گرفته اند که این مطلب نیز موید نرمال بودن داده ها و عدم وجود چولگی مثبت یا منفی در آن هاست و نمودارهای حاصله تقریباً متقارن هستند (جدول ۳). مرحله بعد در تجزیه و تحلیل سری های زمانی، تعیین مولفه روند در سری زمانی و همچنین حذف آن در جهت ایستا کردن داده ها می باشد و پس از بررسی ایستایی داده ها، مدل مناسب به داده ها برازش داده می شوند. در مدل های سری زمانی ایستایی مبحث بسیار مهمی است چرا که بسیاری از مدل های احتمالی سری زمانی بر مبنای ایستایی سری استوار می باشند و چنانچه یک سری زمانی نا ایستا باشد باید ابتدا آن را به یک سری ایستا تبدیل نمود. مفهوم ایستایی این است که قوانین احتمالی حاکم بر فرآیند با زمان تغییر نمی کند و فرآیند در تعادل آماری است و مشخصه های آماری آن مانند میانگین و واریانس در طول زمان تقریباً ثابت است. برای ایستا کردن یک سری نا ایستا ابتدا باید روند و تغییرات فصلی را از مجموعه داده ها حذف کرد و توسط یک فرآیند تصادفی ایستا تغییر در باقیمانده ها را الگوسازی کرد (Salas et al., 1980).

نرم افزار برای تعیین مولفه روند، یک خط را بر داده ها برازش می دهد. شیب این خط برابر با مولفه روند می باشد. بدیهی است در صورتی که شیب این خط صفر باشد و خط افقی باشد، داده ها فاقد مولفه روند بوده و ایستا می

باشند. با بررسی صورت گرفته مشخص گردید که داده ها دارای یک روند می باشند. این امر مبین نا ایستایی در میانگین می باشد. بنابراین ضروری است با استفاده از یک روش مناسب، سری زمانی موجود به سری ایستا تبدیل گردد. برای از بین بردن نا ایستایی میانگین و همچنین حذف اثر روند، تفاضلات مرتبه اول سری را محاسبه و سپس ایستایی سری تفاضلی را بررسی می نمایم. تفاضلی کردن سری زمانی با عملگر پس رو انجام می گیرد. این عملگر روی شاخص زمانی عمل کرده و آن را به اندازه یک واحد زمانی به عقب می برد. در عمل با یک یا دو بار تفاضلی کردن می توان سری نا ایستا را به سری ایستا تبدیل نمود. ایستایی میانگین به معنی عدم وجود روند در سری است (خرمی و بزرگ نیا، ۱۳۸۶). عملگر تفاضلی مورد استفاده برای سری های زمانی $\Delta=1-B$: عملگر جهش به عقب) می باشد. داده ها با یک بار تفاضلی کردن ایستا شدند بنابراین در مدل آریما مقدار $d=1$ در نظر گرفته شد. خاصیت این روش این است که میانگین داده ها صفر می باشد و روند داده ها با ایجاد مرتبه در سری نیز حذف می گردد.

برای مثال شکل ۲ A روند کاهشی سدیم و نا ایستایی میانگین را طی نه سال نشان می دهد و معادله خط رگرسیونی برازش داده شده به داده ها به صورت $Y_t = 92.9139 - 8.31687 * t$ است. شکل ۲ B نیز سری زمانی داده های تفاضلی شده برای سدیم را نشان می دهد که آن را با $Na d$ نشان می دهیم. همانطور که مشاهده می شود اثر روند در نمودار $Na d$ با یک بار تفاضلی کردن از بین رفته است. سپس جهت بررسی ایستایی از نظر واریانس از تبدیل کاکس باکس استفاده شد.

$$T(Z_t) = Z_t^{(\lambda)} = Z_t^\lambda - 1/\lambda \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه Z_t مقدار اولیه واقعه در زمان t ، λ پارامتر تبدیل و $Z_t^{(\lambda)}$ مقدار تبدیل یافته نظیر است.

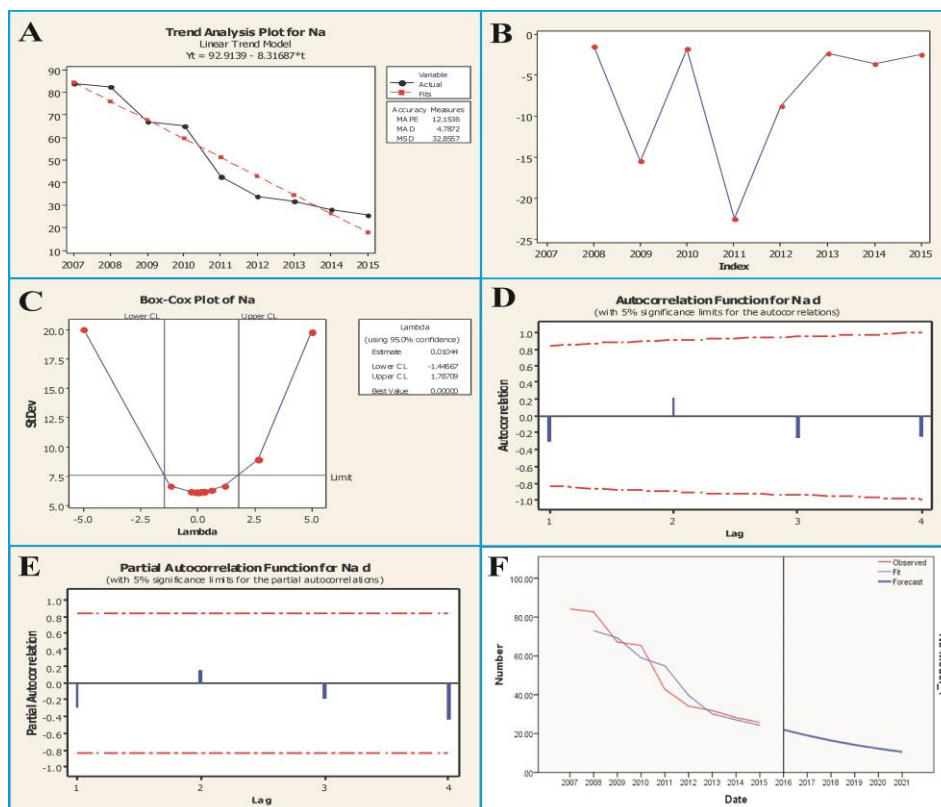
با توجه به نمودارهای کاکس باکس (شکل ۲ C) چون مقدار ۱ برای لاندا در بازه تعیین شده (یعنی کمترین و

انتخاب کرده ایم. این روش بر این مبنا استوار است که از بین مدل های مناسب، مدلی که دارای کمترین ضریب بیزی باشد به عنوان بهترین مدل انتخاب شود.

$$\text{BIC} = -\ln L(\mu, \phi, \tau, \sigma^2) + [(p+q+2) \ln n/n] \quad (4)$$

BIC شاخص اطلاعات بیزی، μ میانگین مشاهدات، σ انحراف معیار، ϕ ضریب مدل AR و τ ضریب مدل MA است. در نهایت طبق معیار BIC برای پیش بینی مقدار متغیرهای پتاسیم، سدیم، کربنات و کلر از مدل آریمای (1,1,0) و برای متغیرهای منیزیم، کلسیم و بی کربنات از مدل آریمای (0,1,1) استفاده شد (جدول ۳). بعد از تشخیص مدل، جهت پیش بینی مقادیر متغیرهای موجود تا سال ۲۰۲۱ این مدل را به داده ها برازش می دهیم. در جدول ۲ داده های سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ متغیرهای موجود هستند که برای پیش بینی تا سال ۲۰۲۱ مورد بررسی و آزمون قرار گرفتند. جدول ۴ نیز مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده برای سدیم را طی سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ نشان می دهد.

بیشترین مقدار لاندا برای هر متغیر) قرار گرفته است می توان ایستایی واریانس را نتیجه گرفت و نیازی به تبدیل داده وجود ندارد. کمترین و بیشترین مقدار لاندا برای هر متغیر در جدول ۳ درج شده است. پس از حذف روند، نمودارهای تابع خودهمبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) برای سری تفاضل گیری شده (یا حذف روند شده) به ازای چهار مرتبه تاخیر ترسیم شد تا از طریق آنها به تشخیص مدل اولیه سری زمانی پرداخته شود. نمودار خودهمبستگی، مرتبه اتورگرسیون (p) و نمودار خودهمبستگی جزئی، مرتبه میانگین متحرک (q) را مشخص می کند (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۴). همانطور که در شکل ۲ D و E مشاهده می شود در دو نمودار ذکر شده مقادیر همبستگی درون محدوده دو برابر خطای استاندارد (خطوط قرمز رنگ) قرار گرفته اند و با بررسی آنها نمی توان به یک مدل خاص برای پیش بینی یون ها رسید. بنابراین همه مدل های ممکن آریما را بررسی و براساس رابطه ۴ معیار اطلاعاتی بیزی (BIC) بهترین مدل را برای هر یون



شکل ۲- A: نمودار سری زمانی Na و خط رگرسیونی برازش داده شده به آن، B: نمودار سری تفاضلی شده Na، C: نمودار کاکس باکس ترسیم شده برای عنصر سدیم ایستایی واریانس شده را نشان می دهد. D: نمودارهای ACF، E: نمودارهای PACF برای سری تفاضلی شده سدیم. Lag فاصله هر دو نقطه زمانی است. F: در این نمودار خط قرمز مقادیر مشاهده شده (observed) از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵، خط آبی کمرنگ مقادیر برازش یافته (fitting) از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ و خط آبی تیره مقدار پیش بینی شده (forecasted) از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ را برای عنصر سدیم نشان می دهد.

جدول ۳- مقدار ارزش P، کشیدگی، چولگی، حد پایین و بالای لاند و مدل آریمای استفاده شده برای هر متغیر

مدل آریما	بیشینه لاند	کمینه لاند	کشیدگی	کج شدگی	P	میانه	
(۰,۱,۱)	۱/۹۱	-۱/۴۸	۰/۱۷۴	۰/۵۰	<۰/۱۵	۱/۷۲	پتاسیم
(۰,۱,۱)	۱/۷۹	-۱/۴۴	-۱/۸۱	۰/۳۷	۰/۱۳۴	۵۱/۳۲	سدیم
(۱,۱,۰)	۱/۸۳	-۰/۴۴	-۱/۶۴	۰/۱۷	<۰/۱۵	۴۸/۰۳	منیزم
(۱,۱,۰)	۲/۸۸	-۱/۶۰	-۱/۲۶	۰/۱۸	<۰/۱۵	۰/۴۷	کلسیم
(۰,۱,۱)	۱/۳۱	-∞	-۱/۰	۰/۳۵	<۰/۱۵	۸/۶۳	سولفات
(۰,۱,۱)	۲/۴	-∞	-۱/۲۲	۰/۳۸	۰/۱۴۵	۸۴/۵۱	کلر
(۱,۱,۰)	۱/۷۶	-۱/۲۳	-۱/۹	۰/۰۳۴	<۰/۱۵	۰/۴۷	بی کربنات
-	-	-	<۰/۳	<۰/۳	<۰/۱۵	<۰/۳	کربنات

جدول ۴- مقادیر متغیرهای پیش بینی شده برای سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱

سال	پتاسیم	سدیم	منیزم	کلسیم	سولفات	کلر	بی کربنات	کربنات
۲۰۱۶	۱/۷۸	۲۱/۹۵	۹۶/۱۶	۰/۲۶	۹/۰۳	۷۰/۲۷	۰/۸۲	<۰/۳
۲۰۱۷	۱/۸۴	۱۹/۰۱	۱۰۵/۸	۰/۲۳	۹/۲۳	۶۷/۷۶	۰/۸۹	<۰/۳
۲۰۱۸	۱/۹	۱۶/۴۰	۱۱۵/۴	۰/۲۱	۹/۴۴	۶۵/۲۵	۰/۹۶	<۰/۳
۲۰۱۹	۱/۹۷	۱۴/۱۷	۱۲۵	۰/۱۹	۹/۶۴	۶۲/۷۴	۱/۰۳	<۰/۳
۲۰۲۰	۲/۰۳	۱۲/۲۳	۱۳۴/۷	۰/۱۷	۹/۸۴	۶۰/۲۳	۱/۱۰	<۰/۳
۲۰۲۱	۲/۱	۱۰/۵۶	۱۴۴/۳	۰/۱۵	۱۰/۰۴	۵۷/۷۲	۱/۱۵	<۰/۳

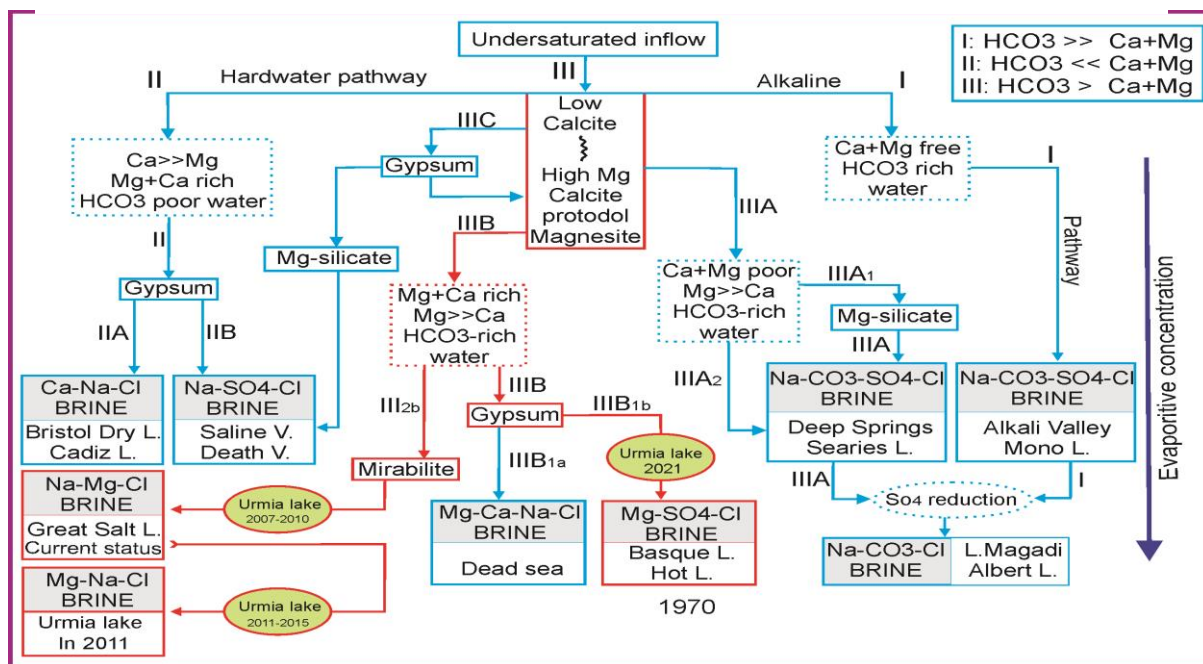
مسیر تکاملی شورابه دریاچه ارومیه، مسیر III در دیاگرام تکامل شورابه (Eugster and Hardie, 1978) می باشد (شکل ۳)، در نتیجه ترکیب شیمیایی آب های غالب وارده به حوضه، بایستی دارای $HCO_3 > Ca+Mg$ باشد. درحالی که در شرایط کنونی آب های وارده به دریاچه علیرغم آنکه دارای درصد یون های متفاوت می باشند، همگی دارای ترکیب شیمیایی $HCO_3 < Ca+Mg$ هستند (جدول ۴). علت اختلاف بین ترکیب آب های ورودی به دریاچه با تیپ شورابه دریاچه، رشد و توسعه شهری، طرح های توسعه ای و انسان ساز و استفاده از آب رودخانه ها می باشد. برای مثال رودخانه آجی چای که از شمال خاور وارد دریاچه می شود در سال های اخیر کاملاً خشک شده و میزان سدیم کلرید بالایی که این رودخانه به

تغییر تیپ شورابه در پلایاها و دریاچه های شور دیگری نیز گزارش شده است مثلاً در پلایایی در مرکز استرالیا، تیپ شورابه از $Na, (Mg), Cl, (SO_4)$ به $Na, (Mg), Cl$ و $Na, Cl, (SO_4)$ تغییر کرده است (Arakel and Hongyun, 1994). همچنین با توجه به مطالعات لک در سال ۱۳۸۶ این شرایط برای دریاچه مهارلو در فصل های خشک و تر و دوره های خشک سالی و ترسالی گزارش شده است. براساس درصد کاتیون ها و آنیون ها، تیپ شورابه دریاچه در شرایط کنونی (۲۰۱۵) Mg, Na, Cl می باشد. تیپ شورابه تا سال ۲۰۱۰ قابل مقایسه با داده های گزارش شده از دریای بزرگ نمک در آمریکا است (Domagalski et al., 1987; Hardie and Eugster, 1989) ولی از سال ۲۰۱۰ به بعد تکامل شورابه مسیر متفاوتی را طی می کند.

شورابه دریاچه ارومیه تا سال ۲۰۱۰ از نوع III بوده که قابل مقایسه با دریای بزرگ نمک در آمریکا بوده است و این روند با خشک شدن دریاچه ارومیه و تشدید میزان تبخیر در دریاچه به میزان ده ها برابر و همچنین کاهش میزان ورودی آب های سطحی و چشمه ها و زهکش های اطراف دریاچه در سال های اخیر به میزان بالایی تغییر ترکیب شیمیایی داده و از تیپ Na-Mg-Cl به Mg-Na-(k)-Cl در سال ۲۰۱۱ تغییر کرده و در سال ۲۰۱۵ به Mg-Na-Cl می رسد. با توجه به مقادیر پیش بینی شده به روش آماری ARIMA با ادامه روند تبخیر و کاهش تراز دریاچه می توان انتظار افزایش میزان منیزم و پتاسیم و کاهش میزان کلر و سدیم داشت. با دلایل و مستندات فوق به جرات می توان گفت شورابه تیپ Na-Mg-Cl در سال ۲۰۱۰ در اثر تکامل و تبخیر بالاتر، مسیر تکاملی دیگری را طی می کند و با ته نشست حالت به شورابه تیپ Mg-Na-Cl در سال ۲۰۱۵ تبدیل می گردد. اما مسیر تکاملی هنوز هم ادامه دارد و با افزایش تبخیر و ته نشست بیشتر حالت، شورابه در سال ۲۰۲۱ تیپ Mg-SO₄-Cl خواهد داشت. تیپ شورابه در ۵ سال آینده به صورت Mg-SO₄-Cl خواهد بود که با مسیر III_B در دیاگرام پیشنهادی تکامل شورابه هاردی و اگستر (۱۹۷۸) همخوانی دارد (شکل ۳).

دریاچه حمل می کرد، کاهش یافته لذا تغییراتی از این قبیل می توان در تناقض ترکیب شیمیایی بین رودخانه ها و شورابه دریاچه نقش داشته باشد، در دیاگرام تکامل شورابه (Eugster and Hardie, 1978)، فرایند I حاکی از لزوم آب های ورودی با میزان پایین یون کلسیم و منیزیم برای شوراب آلکالن قلیایی می باشد و در حوضه های تبخیری که نسبت R/S بیش از ۸۳ باشد، ترکیب آب های ورودی به حوضه ها به صورت $HCO_3^{2-} >> Ca^{+2} + Mg^{+2}$ که به طور عمده آب های رقیق متئوریک را شامل می شوند (لک، ۱۳۸۶). در فرایند II، آب های ورودی اولیه فقیر از یون بیکربنات است و در آنها $HCO_3^{-} << Ca^{+2} + Mg^{+2}$ است و نسبت آب های سطحی وارده به حوضه (R) در مقایسه با آب چشمه ها (S) یعنی کمتر از ۴۰ می باشد، شورابه های حاصل از نوع کلرووره و یا سولفات می باشند. در واقع مسیر II، شورابه ای با ترکیب Ca-Na-Cl یا Na-SO₄-Cl ایجاد می کند. ترکیب آب های وارده قابل رویت و امروزی دارای مقدار بیکربنات بسیار پایین می باشد. در واقع آب های وارده از نوع II می باشند (لک، ۱۳۸۶). در فرایند III، در آب های ورودی اولیه هیچ یک از یون های HCO_3^{-} ، Ca^{+2} ، Mg^{+2} غالب نیستند و نسبت R/S بین ۴۰ تا ۸۳ می باشد، آب های ورودی دارای ترکیب یونی $HCO_3 \geq Ca^{+2} + Mg^{+2}$ است و شورابه های حاصل یکی از انواع Mg-

شکل ۳- دیاگرام پیشنهادی تکامل شورابه (اقتباس از Hardie and Eguster, 1978) دریاچه ارومیه (۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱)



نتیجه گیری

آنالیز سری زمانی ARIMA در پیش بینی متغیرها در زمینه های مختلف از جمله علوم هیدرولوژی بسیار کارآمد است. در مطالعه حاضر سری داده ها برای هر متغیر رسم و با توجه به نایستایی داده ها از نظر میانگین و وجود روند در آنها، آن داده ها با یک مرتبه تفاضل گیری به داده های ایستا تبدیل شده و با توجه به معیار BIC بهترین مدل به داده ها برازش داده شد. بر این مبنای پیش بینی مقدار یون های پتاسیم، سدیم، کربنات و کلر از مدل آریمای (1,1,0) و برای منیزیم، کلسیم و بی کربنات از مدل آریمای (0,1,1) استفاده شد. با فرض حاکم بودن این الگوها در آینده این مدل ها برای پیش بینی هر یک از سری ها در آینده استفاده می شود. تیپ شورابه دریاچه ارومیه تا سال ۲۰۱۰ از نوع Na-Mg-Cl بوده که در مسیر III نمودار هاردی و اویگستر قرار گرفته و قابل مقایسه با دریای بزرگ نمک در آمریکا بوده است و این روند با خشک شدن دریاچه ارومیه و تشدید میزان تبخیر در دریاچه به میزان ده ها برابر و همچنین کاهش میزان ورودی آب های سطحی در سال های اخیر، به میزان بالایی تغییر ترکیب شیمیایی داده و به Mg-Na-Cl در سال ۲۰۱۵ تغییر یافته است. پیش بینی می شود در سال ۲۰۲۱ شورابه تیپ Mg-SO₄-Cl خواهد داشت که با مسیر IIIB_{1b} در دیاگرام پیشنهادی تکامل شورابه هاردی و اگستر (۱۹۷۸) همخوانی دارد. در ترکیب شیمیایی دریاچه ارومیه سال ۲۰۰۷، درصد سدیم بالاتر از منیزیم می باشد و نسبت سدیم به منیزیم ۵.۱۲ می باشد. ولی این میزان در سال ۲۰۱۱ به ۰.۶۸ و در سال ۲۰۱۵ به ۰.۳۰ می رسد. هر چه تبخیر بالاتر رود، نسبت منیزیم به سدیم افزایش می یابد و اختلاف ترکیب شورابه در شمال و جنوب بزرگراه شهید کلاتری بیشتر می گردد.

منابع

- آقا نباتی، ع.، (۱۳۸۵)، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.

- اسلامی، ل.، (۱۳۸۰)، "ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست دریاچه ارومیه با استفاده از مدل تخریب"، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۷ صفحه.

- برومند، ح.ع.، بزرگ نیا، ا.، (۱۳۸۱)، "مقدمه ای بر تحلیل های سری زمانی (ترجمه)"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم، ۲۸۷ ص.

- توشیزیان، ح.، (۱۳۸۸)، "تکامل شورابه ها و تشکیل کانی های تبخیری در پلایای ساغند ایران مرکزی و مقایسه آن با دریاچه بزرگ نمک و حوضه دره مرگ در ایالات متحده"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۱: ۴۳-۵۴.

- جلیلی، ح.، (۱۳۷۴)، "دریاچه ارومیه، مختصری از تاریخچه هیدرولوژی، هیدروگرافی"، مجله آب و توسعه، شماره ۴: ۲-۶.

- خرمی، م.، بزرگ نیا، ا.، (۱۳۸۶)، "تجزیه و تحلیل سری های زمانی با نرم افزار مینی تب"، نشر سخن گستر، ۳۵۰ ص.

- خلیلی، ک.، فاخری فرد، ا.، دین پژوه، ی.، قربانی، م.ع.، (۱۳۸۹)، "تحلیل روند و ایستایی جریان رودخانه به منظور مدل سازی سری های زمانی هیدرولوژیکی"، مجله دانش آب و خاک، سال بیستم، شماره ۱، ۷۲-۶۱.

- درویشی خاتونی، ج.، لک، ر.، (۱۳۹۰)، "محاسبه سرعت ته نشینی نمک در دریاچه ارومیه"، سی امین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین شناسی کشور، تهران.

- درویشی خاتونی، ج.، نریمی سا، س.، محمدی، ع.، (۱۳۸۹)، "بیان عمومی آب حوضه آبریز باختر دریاچه ارومیه"، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، ارومیه.

- درویشی خاتونی، ج.، محمدی، ع.، (۱۳۹۰)، "گزارش لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچه ارومیه"، فاز I: اقلیم شناسی، زمین شناسی، هیدرولوژی، سازمان زمین شناسی کشور، ۱۲۰ صفحه. الف.

- درویشی خاتونی، ج.، محمدی، ع.، (۱۳۹۰)، "گزارش لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچه ارومیه، فاز III: پالئوکلیماتولوژی، پالئواکولوژی و پالئوژئوگرافی"، سازمان زمین شناسی کشور، ۱۲۰ صفحه. ب.

- درویشی خاتونی، ج.، و لک، ر.، محمدی، ع.، (۱۳۹۴)، "بررسی هیدروژئوشیمیایی آب دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲"، مجله علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۵: ۲۳۹-۲۵۲.

- Azari Takami, G., (1993), "Urmiah Lake as a valuable source of Artemia for feeding sturgeon" fry. J Vet Fac Univ Tehran, 47: 2-14.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., (1976), "Time Series Analysis, Forecasting and Control", revised ed, Toronto: Holden-Day.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., (1994), "Time Series Analysis, Forecasting and Control", Pearson Education, Delhi.
- Domagalski, J.L., Orem, W.H. and Eugster, p., (1989), "Organic geochemistry and brine composition in Great Salt, Mono, and Walker Lakes", Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 53, p. 2857-2872.
- Drever, J. I., (1982), "The Geochemistry of Natural Waters: Englewood Cliffs", Prentice-Hall, 388p.
- Esmaeili Daheht, L., Negarestan, H., Eimanifar, A., Mohebbi, F. and Ahmadi, R., (2010), "The fluctuations of physicochemical factors and phytoplankton populations of Urmia Lake", Iran, Iranian Journal of Fisheries Sciences, Vol. 9(3): 368-381.
- Eugster, H. P. and Jones, B. F., (1979), "Behavior of major solutes during closed-basin brine evolution", American Journal of Science, v.279: 609-631.
- Fayazi, F., (1991), "Evaporates of the Howze Soltan lake basin", Ph.D. Thesis, University of East Anglia, 145p.
- Fayazi, F., Lak, R., Nakhaei, M., (2007), "Hydrogeochemistry and brine evolution of Maharlou saline Lake", Southwest of Iran, Carbonates and Evaporites, v. 22, n. 1: 34-42.
- Garrels, R.M. and Mackenzie, F.T., (1967), "Origin of the chemical composition of some springs and lakes, in Equilibrium Concepts in Natural Water Systems", Advances in Chemistry, American Chemical Society, v. 67: 222-242.
- Ghaheri, M.H., Baghal-Vayjooee, N.J., (1999), "Lake Urmia, Iran, A summary Review, International Journal of Salt Lake Research Kluwer Academic publisher", Netherlands, 8: 19-22.
- Hanh, P.T.M., (2010), "Analysis of variation and relation of climate, hydrology and water quality in the lower Mekong river", Water Science and Technology, 62 (7), 1587-1594.
- Herczeg, A. L. and Lyons, W. B., (1991), "A chemical model for the evolution of Australian sodium chloride lake brine", Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, v. 84: 43-53.
- Hardie, L.A. and Eugster, H.P., (1970), "The evolution of closed basin brines. Mineralogical", Society of America Special, 3: 273-290.
- طلوعی، ج.، (۱۳۷۴)، "مطالعه و بررسی ژئوشیمیایی و هیدروژئوشیمیایی و شناخت فازهای رسوبات شیمیایی حوضه رسوبی تبخیری دریاچه ارومیه"، رساله کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه تهران، ۲۱۰ صفحه.
- کارآموز، م.، عراقی نژاد، ش.، (۱۳۸۴)، "هیدرولوژی پیشرفته"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، ۴۶۸ ص.
- لک، ر.، درویشی خاتونی، ج.، محمدی، ع.، (۱۳۹۰)، "مطالعات پائولیومنولوژی و علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه ارومیه"، فصلنامه زمین شناسی کاربردی دانشگاه آزاد زاهدان، سال ۷، شماره ۴: ۳۷۲-۳۵۷.
- لک، ر.، (۱۳۸۷)، "گزارش بررسی زمین شناسی دریاچه مهارلو، فاز I: هیدروژئوشیمی و هیدروژئوشیمی"، سازمان زمین شناسی کشور، ۷۰ صفحه.
- غضبان، ف.، مهاجر باوقار، ن.، (۱۳۷۶)، "ژئوشیمی و منشأ شوری آب دریاچه ارومیه"، اولین همایش زمین شناسی دریایی ایران، چابهار، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- محمدی، ع.، (۱۳۸۴)، "بررسی تاریخچه رسوبگذاری هولوسن؟ دریاچه ارومیه بر اساس مطالعه مغزه‌های تهیه شده در مسیر بزرگراه شهید کلاتری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۱۲۷ صفحه.
- محمدی، ع.، لک، ر.، و درویشی خاتونی، ج.، (۱۳۸۹)، "بررسی تاریخچه رسوبگذاری دریاچه ارومیه بر اساس مغزه های تهیه شده از باختر دریاچه (جنوب بزرگراه شهید کلاتری)"، چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، ارومیه.
- مهاجر باوقار، ن.، (۱۳۷۶)، "بررسی رسوب شناسی و ژئوشیمی رسوبی دریاچه ارومیه در ارتباط با منشأ نمک"، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۱۴۰ صفحه.
- Alferes, J., Copp, J. B., Vanrolleghem, P. A., (2014), "Forecasting techniques applied to water quality time series in view of water quality assessment", 11 th International Conference on Hydroinformatics, New York City, USA.
- Arakel, A.V. and Hongyun, T., (1994), "Seasonal evaporate sedimentation in desert playa Lakes of the Karinga Creek drainage system central Australia", In: Renault R. W. and Last W.M. (eds.), Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient Saline Lake. Society for Sedimentary Geology (SEPM), Tulsa, PP91-101.

- Hardie, L. A. and Eugster, H. P., (1978)**, "Saline Lakes. In: A. Lerman(ed.), Lakes Chemistry, geology, physics". New Yourk, NY, Springer-Verlag., 230p.
- Hardie, L. A. and Eugster, H. P., (1987)**, "Dolomitization: A critical view of some current views", Journal of Sedimentary Petrology, v. 57, p. 166-183.
- Kelts, K. and Shahrabi, M., (1986)**, "Holocene sedimentology of hypersaline Lake urmia, Nortwestern Iran", Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 54: 105-130.
- Moore, G. W., (1960)**, "Origin and chemical composition of evaporate deposits": U. S. Geological Survey, Open-File Rep. 174p.
- Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V., Lane, W. L., (1980)**, "Applied modeling of hydrologic time Series", Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 484 p.
- Smith, C. L., and Drever, J. I., (1976)**, "Controls on the chemistry of spring at Teels Marsh", Mineral Country, Nevada: Geochemica et Cosmochimica Acta, v. 40: 1081-1093.
- Sorgeloos, P., (1997)**, "Resource assessment of Urmia lake Artemia cysts and biomass". In Artemia Lake Cooperation Project, Item B Edited by: Sorgeloos P. Laboratory of Aquaculture and Artemia Reference Center, Belgium, 1-114.
- Taheri Tizro, A., Ghashghaie, M., Georgiou, P., Voudouris, K., (2014)**, "Time series analysis of water quality parameters", Journal of Applied Research in Water and Wastewater, v.1, 43 – 52.
- Valero- Garces, B.L., Delgado-Huertas, A., Navas, J.M., Gonzalez-Samperiz, P. and Kelts, K., (2000)**, "Quaternary paleohydrological evolution of a playa lake: Salada Mediana, central Ebro Basin, Spain, Sedimentology, 47, p.1135-1156.
- Valipour, M., Banihabib, M. E., Behbahani, S. M. R., (2013)**, "Comparition of ARIMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Des dam reservoir", Journal of Hydrology, v. 476, 433 – 441.
- Warren, J., (1999)**, "Evaporites, Their Evolution and Economics", Blackwell Science, 438p.
- Warren, J., (2006)**, "Evaporites, Sediments, Resources and Hydrocarbons", Springer, 1035p.

Application of Time Series Analysis in Anticipation Brine Evolution in the Urmia Lake

Javad Darvishi khatooni¹, Foroogh Abasaghi²

1: Master sience in sedimentology, Geological survey of Iran
Darvishi.khatooni@gmail.com

2: PhD Student in Sedimentology, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

From 2007 to 2015, over the course of nine years, 180 water samples were analyzed. The present study plans to predict the values of ions lake Urmia with using statistical methods ARIMA for the next six years. The most important purpose of time-series analysis is finding the trends of changes and prediction the future based on measurements from previous years. At first, the data was tested to evaluate the stationary then their non-stationary was removed by creating order in series. Finally ARIMA (1,1,0) was used to predict the K, Na, CO₃ and Cl and ARIMA (0,1,1) for Mg, Ca and HCO₃. The results show the lake Urmia brine types was Na-Mg-Cl until 2010 and it is on III path in the Eugster and Hardie flow diagram. It is comparable to Great salt lake in USA. Because of drying of lake Urima and enhancement of the water EVAPORATION rate to the dozens of times and also reducing the amount of surface water in recent years this trend is changed to Mg-Na-Cl type. It is predicted that the brine will have Mg-SO₄-Cl type in 2021. It corresponds to the IIB_{1b} path in Eugster and Hardie brine evolution flow diagram.

Keywords: Time-series analysis, ARIMA, Hydrogeochemistry, Brine type, Urmia lake