نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال پنجم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۵

ISSN 2251-7480

برآورد جریان ورودی به دریاچه ارومیه با استفاده از تلفیق مدل‌های سری زمانی و شبیه‌سازی شرایط توسعه حوضه آبریز در دو سناریوی بلند و کوتاه مدت

اردلان شریف‌نسب[۱] و مجتبی شوریان[۲*]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد؛ دانشکده مهندسی عمران؛ آب و محیط زیست؛ دانشگاه شهید بهشتی؛ تهران؛ ایران

۲*) استادیار؛ دانشکده مهندسی عمران؛ آب و محیط زیست؛ دانشگاه شهید بهشتی؛ تهران، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: m_shourian@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۳۱

چکیده

دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین و مهم‌ترین دریاچه داخلی ایران و به عنوان یکی از ذخایر ارزشمند جهانی زیست‌کره از وضعیت نامطلوبی در سالهای اخیر برخوردار بوده است. شرایط نامناسب این دریاچه موجب آثار جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی خواهد شد. لذا بررسی این موضوع از جنبه‌های مختلف ضروری می‌نماید. در تحقیق حاضر، با استفاده از مدل‌های سری‌زمانی میانگین متحرک خود بازگشت (ARMA) جریان ورودی به رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای سال‌های آتی در دو سناریو، یک‌بار بر اساس داده‌های ثبت شده بلند مدت و بار دیگر بر اساس داده‌های کوتاه مدت دوره‌های خشکسالی اخیر پیش‌بینی گردیده است. سپس با وارد کردن پتانسیل جریان سطحی تولیدی رودخانه‌ها در مدل شبیه‌سازی شرایط توسعه حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه در افق ۱۴۲۰ در محیط MODSIM، پس از تعیین وضعیت منابع و مصارف، جریان ورودی به دریاچه ارومیه در هر یک از سناریوها برآورد و اختلاف آن با حقابه زیست محیطی مصوب دریاچه محاسبه گردیده است. در نهایت بعنوان یک راهکار کلی، میزان کاهشی که لازم است در مقادیر نیاز آبی کشاورزی بعنوان مصرف کننده اصلی آب در حوضه داده شود، محاسبه گردیده تا حقابه دریاچه تأمین گردد. نتایج حاکی از آن است در صورتی که نیاز آبی سالیانه متوسط کشاورزی در کل حوضه آبریز در سناریوهای پیش بینی بر اساس داده‌های بلند و کوتاه مدت به طور متوسط در حدود ۱۴٪ و ۵۶٪ کاهش یابد، حقابه زیست محیطی مصوب دریاچه ارومیه قابل تأمین خواهد بود.

کلید واژه‌ها: تولید و پیش‌بینی داده‌های جریان، مدل‌سازی سری زمانی، شبیه‌سازی منابع و مصارف، حوضه آبریز، دریاچه ارومیه

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل در برنامه‌ریزی‌های کارآمد بهره‌برداری از منابع آب سطحی، چه در مقیاس بلند مدت و چه کوتاه مدت، برآورد و پیش بینی قابل اطمینان مقادیر آبدهی رودخانه‌ها می‌باشد (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۲). تجزیه و تحلیل آبدهی رودخانه‌ها به‌وسیله آمار موجود و با استفاده از روش‌های آنالیز فراوانی انجام می‌گیرد. با این وجود علی‌رغم آن که استفاده از آمار دراز مدت کمک شایانی به برنامه‌ریزی مناسب منابع آب می‌کند، در مواقعی که این آمار و اطلاعات در اختیار نیست، تولید آمار مصنوعی و یا به عبارت دیگر تطویل آمار از طریق روش-های آماری- احتمالاتی (استوکستیک) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین تخمین و پیش بینی آورد هیدرولوژیکی احتمالی برای آینده حوضه آبریز می‌تواند نقش زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب داشته باشد. یکی از روشهای متعارف جهت برآورد جریان رودخانه‌ها استفاده از مدل‌سازی سری زمانی (Time Series Modeling) می‌باشد. با برآورد مقادیر جریان

رودخانه‌ها بعنوان منابع آب سطحی تأمین کننده احجام ذخیره سدها، با استفاده از شبیه‌سازی منابع و مصارف آبی در طول یک رودخانه و یا در یک حوضه آبریز، می‌توان وضعیت تأمین نیازهای آبی در سطح حوضه را مشتمل بر نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی، برقابی و محیط زیست تحلیل و ارزیابی نموده و نسبت به انتخاب سناریو یا سناریوهای مطلوب جهت تحقق اهداف مورد نظر برنامه‌ریزی نمود. امروزه در مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب در سطح حوضه‌های آبریز در دنیا مدل‌های شبیه‌سازی متعارف نظیر Mike Basin، Ribasim، River Ware، WEAP، MODSIM و ... کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند. مدل MODSIM بدلیل توسعه در محیط NET. و برخورداری از قابلیت ویژه سازی (customization) که با استفاده از آن می‌توان مقادیر پارامترها و مشخصه‌های مد نظر در سیستم حوضه آبریز را از یا از طریق کدنویسی به زبانهای توانمند VB.NET یا C.NET در مدل وارد کرد و یا از طریق اتصال با دیگر مدل‌های تخصصی بارش–رواناب، آب زیرزمینی و یا کیفیت آب آنها را محاسبه نمود و همچنین محاسبه و اخذ نتایج و خروجیهای مدل به به فرمت دلخواه، از جمله مدل‌های توانمند و کارآمد در زمینه شبیه‌سازی سیستم حوضه‌های آبریز بشمار می‌رود.

در زمینه تحقیقات انجام شده با استفاده از مدلسازی سری‌زمانی، محمدی (۲۰۰۵) با استفاده از داده های ذوب برف، جریان ورودی به سد کرج را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مدل ARMA و تحلیل رگرسیون پیش-بینی کرد. کرمی و اسماعیل پور (۱۳۹۲) با استفاده از آمار روزانه ۱۳٦٦ تا ۱۳۸۸ دریان‌چای در حوضه دریاچه ارومیه اقدام به پیش‌بینی دبی این رودخانه کردند. نتایج این پژوهش مبین ایستا بودن داده‌ها بود. هچنین مدل ARMA (٤و۱) برای این رودخانه مناسب تشخیص داده شد. همچنین مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی ۷۵٪ بدست آمد. خوش خلق و تابش (۱۳۸۲) با استفاده از مدل های سری زمانی ARMA اقدام به پیش بینی مصرف آب شهر تهران نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه عبارت بودند از: ۱- مناسب بودن مدل ARMA جهت پیش بینی مصرف آب شهری ۲- دقت بالاتر پیش‌بینی آب شهری با مدل ARMA نسبت به منطق فازی ۳- پارامترهای هواشناسی تاثیر زیادی بر میزان مصرف آب دارند و به تنهایی می‌توانند میزان مصرف آب را پیش بینی کنند ٤- مدل پیش‌بینی تهیه شده به روش سنتی در ماه های گرم سال نتایج بهتری را نسبت به مدل پیش‌بینی پیشرفته (ARMA) ارائه می‌دهد. آزاد طلا تپه و همکاران (۱۳۹۲) به پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های سری زمانی AR و ARMA پرداختند. نتایج این پژوهش مبین عملکرد بهتر مدل AR نسبت به مدل ARMA می‌باشد. همچنین این پژوهش نشان داد که مقدار پیش‌بینی برای هر ماه به ۱۱ ماه قبل وابسته است یا به عبارت دیگر AR(11) مناسبترین نتایج پیش‌بینی را در بر دارد. نعمتی (۱۳۸۸) به پیش‌بینی دبی رودخانه تلخه‌رود واقع در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های ARMA و ARIMA و Transfer Function Noise پرداخت. مقایسه آماره‌های R و RMSE و AME با رعایت اصل امساک بیانگر عملکرد بهتر مدل‌های TFN نسبت به مدل‌های ARMA و ARIMA بود. در زمینه پیش‌بینی وضعیت دریاچه ارومیه، جلیلی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تحلیل طیفی رفتار دوره‌ای سری زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه سعی کردند تا به علل افت تراز آب دریاچه ارومیه پی ببرند. در این راستا تخمینی از روش‌های تخمین طیفی چند کاهنده و آنالیز طیف تکین مورد استفاده قرار گرفت و نهایتاً نتایج بلند مدت معنی داری را در تخمین سطح تراز دریاچه ارومیه نشان داد. همچنین بررسی سری بازسازی شده از نوسانات هارمونیک تراز دریاچه ارومیه با سری اولیه نشان داد که با وجودی که نوسانات دوره‌ای در رفتار دریاچه ارومیه تأثیرگذار می‌باشند، رفتار دریاچه طی سال‌های اخیر کاملاً با این نوسانات دوره‌ای قابل توصیف نمی‌باشد. در زمینه

استفاده از MODSIM، شوریان و موسوی (۱۳۸۷) به‌منظور تعیین سیمای بهینه منابع آب بالادست حوضه سیروان از تلفیق MODSIM (به عنوان یک شبیه‌ساز) و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) بهره گرفتند و به منظور جلوگیری از یافتن نقاط بهینه محلی و به‌وجود آمدن شرایط همگرایی زودرس از مفهوم آشفتگی در الگوریتم استاندارد PSO استفاده کردند. مسگری برآبی (۱۳۸۹) به بررسی قابلیت‌های مدل MODSIM در شبیه‌سازی سیستم-های منابع آب پرداخت. وی ابتدا مدل MODSIM را برای یک دوره ٤٠ ساله بر روی حوضه رودخانه گرگک به صورت دستی کالیبره کرد. سپس حوضه مذکور برای طرح توسعه و ساخت سد دره‌باد مورد مطالعه قرار گرفت. Gibbens و Goodman (۲۰۰۰) در مطالعات خود در پروژه کشاورزی Wind River واقع در ایالت Wyoming از تلفیق MODSIM و GIS بهره گرفتند. آنها از MODSIM بعنوان شبیه‌سازی که حوضه آبریز را بر اساس ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولوژیکی و پارامترهای وابسته به آن و همچنین محدودیت‌های حوضه آبریز را شبیه‌سازی می‌کند، استفاده کردند.

در تحقیق حاضر، با هدف کلی پیش‌بینی میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه در آینده، ابتدا میزان جریان تولیدی در رودخانه‌های حوضه و در محل ایستگاه‌های منتخب با استفاده از مدلسازی سری زمانی ARMA برآورد گردیده است. داده‌های مورد استفاده جهت ساخت مدل‌های سری زمانی، داده‌های طبیعی شده (naturalized) جریان در محل ایستگاه‌ها می‌باشد. تولید داده‌های مصنوعی جریان در دو سناریوی بلند و کوتاه مدت انجام شده که در سناریوی بلند مدت از سری تاریخی ٤٥ ساله ثبت شده در محل ایستگاها استفاده شده، اما در سناریوی کوتاه مدت به منظور بررسی تأثیر کاهش رواناب رودخانه‌ها در سالهای اخیر بر میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه صرفاً از سری تاریخی ثبت شده در ۱۵ سال اخیر جهت ساخت مدل‌های ARMA استفاده گردیده است. در حقیقت استفاده از مدلسازی سریهای زمانی در این تحقیق به منظور لحاظ عدم قطعیت در آورد رودخانه‌ها بوده است، در حالیکه در صورت استفاده صرف از داده‌های ثبت شده تاریخی در ایستگاه‌ها جهت مدلسازی شرایط آتی، نتایج تحقیق را با خطای ناشی از عدم لحاظ عدم قطعیتهای هیدرولوژیکی مواجه می‌سازد. در مرحله بعد، با ورود داده‌های جریان آب سطحی پیش‌بینی شده به مدل شبیه‌سازی منابع و مصارف حوضه آبریز دریاچه ارومیه در محیط MODSIM که شرایط توسعه حوضه با لحاظ سدهای در دست اجرا و مطالعه و نیازهای برآورد شده در افق سال ١٤٢٠ بر اساس اطلاعات طرح جامع آب کشور در آن پیاده‌سازی شده است، نسبت به تعیین وضعیت منابع و مصارف حوضه در آینده ارزیابی گردیده است. با مشخص شدن وضعیت مصارف آبی حوضه، میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه در دو سناریوی بلند مدت و بنوعی خوش‌بینانه که پتانسیل آب سطحی حوضه در آن مطابق با نرمال دراز مدت بوده و کوتاه مدت و بنوعی بدبینانه که پتانسیل آب سطحی حوضه در آن مطابق با سال‌های خشک اخیر بوده، برآورد گردیده است. این نتایج می‌تواند جهت ترسیم یک چشم‌انداز مناسب از وضعیت آینده دریاچه ارومیه در شرایط توسعه حوضه آبریز به منظور اتخاذ سیاست‌های تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مناسب در آینده مورد استفاده قرار گیرد. در انتها نیز بر اساس نتایج بدست آمده، سطوح مورد نیاز کاهش تقاضای کشاورزی در سطح حوضه آبریز جهت تحقق حقابه زیست محیطی دریاچه ارومیه پیشنهاد گردیده است.

ساخت مدل‌های سری‌زمانی میانگین‌متحرک خودبازگشت (ARMA)

یکی از روش‌های بررسی اثرات تغییر اقلیم در حوضه‌های آبریز دیدن اثرات آن بر رواناب رودخانه‌های حوضه در قالب روند کاهشی یا افزایشی آنها می‌باشد. بر این اساس همواره نیاز به این نیست که سناریوهای بزرگ مقیاس تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های چرخش عمومی

جَو (Global Circulation Models) اجرا شده و پس از انجام محاسبات پیچیده ریزمقیاس‌سازی که ذاتاً با خطای زیادی همراه است مدل‌های بارش- رواناب اجرا گردیده و اثر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه‌ها تحلیل گردد. بلکه می‌توان روند کاهشی یا افزایشی اتفاق افتاده در دوره‌های اخیر در رواناب رودخانه‌ها را که بخشی از آن قطعاً بخاطر تغییرات اقلیمی صورت گرفته بوده، مورد بررسی و تحلیل قرار داد و با استفاده از آن اثرات تغییر اقلیم را در سایر بخشها ارزیابی نمود. حال نکته‌ای که در اینجا مطرح می‌شود اینست که این کاهش اتفاق افتاده در میزان رواناب رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه بعنوان مطالعه موردی تحقیق حاضر، آیا تماماً ناشی از تغییر اقلیم در منطقه می‌باشد؟ پاسخ قطعاً منفی است. بخشی از این کاهش ناشی از تغییر اقلیم بوده، بخشی از آن ناشی از افزایش سطح زیر کشت در مناطق بالادست حوضه بوده و بخشی نیز ناشی از سدسازی‌های انجام شده در حوضه بوده است. اما به منظور حداقل شدن اثرات دو عامل دیگر در تحقیق حاضر، حتی‌الامکان سعی شده تا رواناب رودخانه‌ها در ایستگاه‌های واقع در بالادست رودخانه‌ها و سرشاخه‌ها که جریان ثبت شده در آنها نزدیک به جریان طبیعی بوده، با استفاده از مدل‌های سری زمانی در دو سناریوی بلند و کوتاه مدت برآورد و پیش‌بینی گردد. بر این اساس می‌توان ادعا کرد که در داده‌های جریان ثبت شده در این ایستگاه‌ها بدلیل اینکه در بالادست رودخانه‌ها واقع شده‌اند، دست‌خوردگی کمتری ناشی از توسعه اراضی کشاورزی و سدسازی اتفاق افتاده و روند کاهشی مشاهده شده در آنها را عموماً می‌توان ناشی از تغییر اقلیم دانست. همچنین داده‌های سایر ایستگاه‌های مورد استفاده نیز پس از طبیعی‌سازی (naturalization) در ساخت مدل‌های سری زمانی ARMA استفاده شده است. به منظور صحت سنجی این موضوع آزمون من- کندال برای داده‌های تمامی ایستگاه‌های مورد استفاده انجام شده و ترند و پرش در آمار مشاهده نگردید.

مراحل مدل‌سازی سری‌های‌زمانی با استفاده از مدل‌های پارامتری خطی را می‌توان در یک دید کلی به صورت "آنالیز اولیه، شناسایی، تخمین پارامترها، آزمونهای نکویی برازش و انتخاب مناسب‌ترین مدل" خلاصه کرد. پس‌ازآن مدل منتخب به‌منظور تولید و یا پیش‌بینی داده‌ها بکار می‌رود. در سری‌زمانی زیر، y_t یک سری نرمال و ایستا با میانگین μ است. جهت ایجاد یک مدل میانگین-متحرک خودبازگشت بایستی یک مدل خودهمبسته مرتبه p را با یک مدل میانگین متحرک مرتبه q ترکیب نمود تا یک مدل ARMA از مرتبه (p,q) حاصل شود:

$$z_t = y_t - \mu \qquad (۱)$$

$$z_t = \sum_{j=1}^{p} \phi_j z_{t-j} + \sum_{i=0}^{q} \theta_i \varepsilon_{t-j} \qquad (\theta_0 = -1) \qquad (۲)$$

که در آن، ϕ_j و θ_i به ترتیب j امین ضریب خود-همبسته و i امین ضریب میانگین‌متحرک می‌باشند و ε_t یک سری مستقل (ناهمبسته) دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ_ε^2 است:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma_z^2 + \sum_{i=1}^{q} \theta_i \gamma_{z\varepsilon}(-i) - \sum_{j=1}^{p} \phi_j \gamma_j \qquad (۳)$$

$$\gamma_{z\varepsilon}(k) = \mathrm{cov}[z_{t-k}\ \varepsilon_t] \qquad (۴)$$

به ازای مقادیر k بزرگ‌تر از صفر $\gamma_{z\varepsilon}$ برابر صفر می‌باشد. در مدل‌سازی سری‌های‌زمانی پریودیک با استفاده از مدل‌های ARMA نیز همانند مدل‌های AR می‌توان پارامترهای خودهمبسته و میانگین‌متحرک را ثابت و یا پریودیک در نظر گرفت. یک مدل ARMA(p,q) با ضرایب ثابت را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$y_{\nu,\tau} = \mu_\tau + \sigma_\tau\ z_{\nu,\tau} \qquad (۵)$$

$$z_t = \sum_{j=1}^{p} \phi_i\ z_{t-j} - \sum_{i=1}^{q} \theta_i\ \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (۶)$$

که در آن، $t = (\nu - 1)\omega + \tau$، ϕ و θ ضرایب مدل و ε_t یک متغیر مستقل نرمال است. تابع خودهمبستگی (ACF) یا همبستگی‌نگار نمونه از ترسیم ضرایب خود-

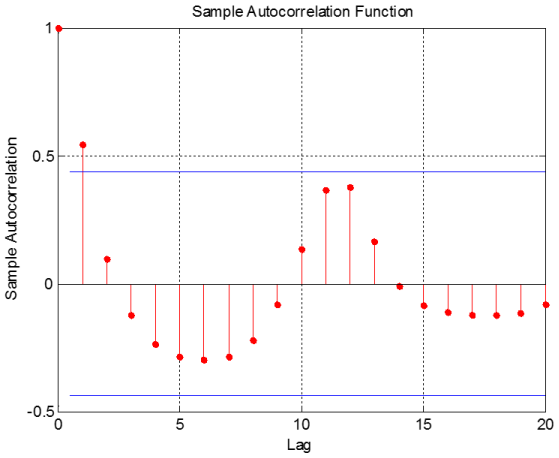
همبستگی، r_k که یک معیار بدون بعد از وابستگی خطی مقادیر سری‌زمانی در گام‌های مختلف زمانی می‌باشد، در مقابل گام‌زمانی K به دست می‌آید. ضرایب خودهمبستگی نمونه را می‌توان از معادله (۷) بدست آورد.

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k}(x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^{N}(x_t - \bar{x})^2} \qquad (۷)$$

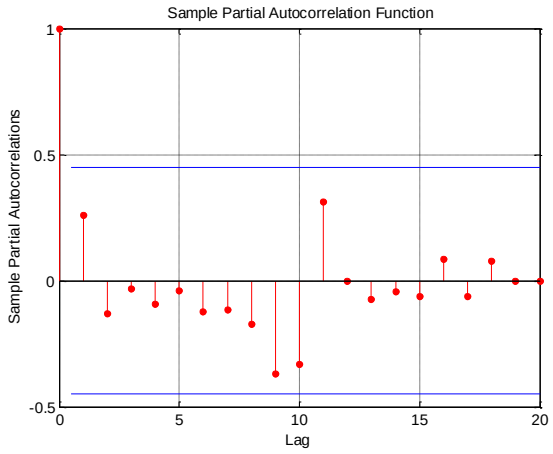
که در آن N طول نمونه، K گام‌زمانی موردنظر و $\bar{x}$ میانگین سری‌زمانی است. شکل ۱ تابع خود همبستگی برای داده‌های درازمدت ٤٦ ساله (حد فاصل سالهای ٤٦-۱۳٤٥ تا ۹۲-۱۳۹۱) جریان رودخانه در ایستگاه کلهور واقع بر روی رودخانه روضه‌چای (یکی از ایستگاه های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه) را بعنوان نمونه نشان می‌دهد. تابع خود همبستگی جزئی بر پایه این فرض که فرآیند، خود بازگشت مرتبه p باشد تعریف شده است. $\phi_k(k)$ معیاری برای اندازه‌گیری وابستگی خطی بین ρ_j و ρ_{j-k} (ضرایب خود بازگشت) برای $j \le k$ می‌باشد. مقادیر $\phi_k(k)$ با استفاده از معادلات بازگشتی دوربین (معادله ۸) به دست می‌آیند. شکل ۲ تابع خود همبستگی جزئی برای داده‌های درازمدت جریان رودخانه در ایستگاه کلهور را نشان می‌دهد.

$$\phi_k(k) = \frac{\rho_k - \sum_{j=1}^{k-1}\phi_j(k-1)\rho_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1}\phi_j(k-1)\rho_j} \qquad (۸)$$

با استفاده از توابع خود همبستگی و همبستگی جزئی مرتبه مدل ARMA تعیین می‌گردد. در جدول ۱ مرتبه مدل ARMA که یک بار بر اساس داده‌های بلند مدت جریان رودخانه و بار دیگر بر اساس داده‌های کوتاه مدت (۱۵ سال منتهی به سال آبی ۹۲-۱۳۹۱) در ایستگاه کلهور بعنوان نمونه نشان داده شده که بر اساس توابع همبستگی و همبستگی جزئی تعیین شده است.



شکل ۱. تابع خودهمبستگی جریان در ایستگاه کلهور



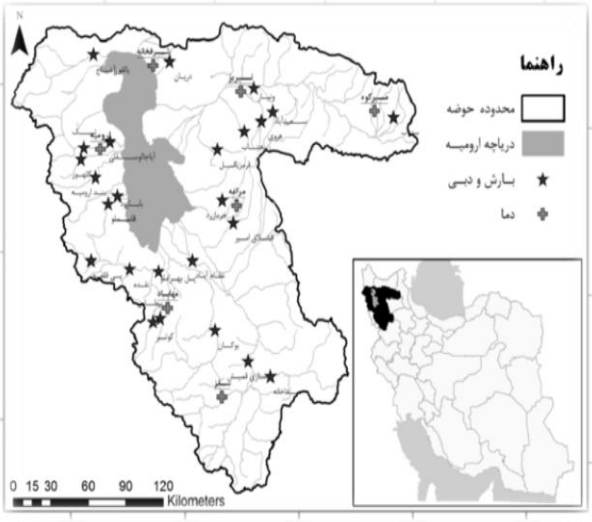
شکل ۲. تابع خودهمبستگی‌جزئی جریان در ایستگاه کلهور

جدول ۱. مرتبه مدل ARMA برای ایستگاه کلهور در سناریوهای مختلف تولید جریان

نام ایستگاه	بلند مدت	کوتاه مدت
کلهور	(۱و۱)	(۲و۳)

در تحقیق حاضر مدل‌های ARMA برای تولید داده‌های جریان رودخانه در ۲۵ ایستگاه شاخص حوضه آبریز دریاچه ارومیه که عموماً در سرشاخه‌ها واقع شده و جریان تولیدی در آنها کمتر متأثر از بالادست می‌باشد، با استفاده از روند توضیح داده شده در دو سناریوی بلند مدت و کوتاه مدت ساخته شده و مرتبه آنها تعیین گردید. همچنین کلیه داده‌های استفاده شده در محل ایستگاه‌ها پس از طبیعی‌سازی جریان در رودخانه‌ها جهت توسعه مدل‌های

ARMA مورد استفاده قرار گرفت. جریان‌های میان حوضه‌ای نیز در مناطق فاقد ایستگاه بر اساس داده‌های برآورد شده در مطالعات طرح جامع آب کشور در نظر گرفته شد. کدنویسی ساخت مدل‌های سری زمانی و ارزیابی نتایج آنها در محیط نرم افزار MATLAB انجام شده است. در شکل ۳ موقعیت شماتیک ایستگاه‌های مورد استفاده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و در جدول ۲ مشخصات ایستگاه‌ها ارائه شده است.



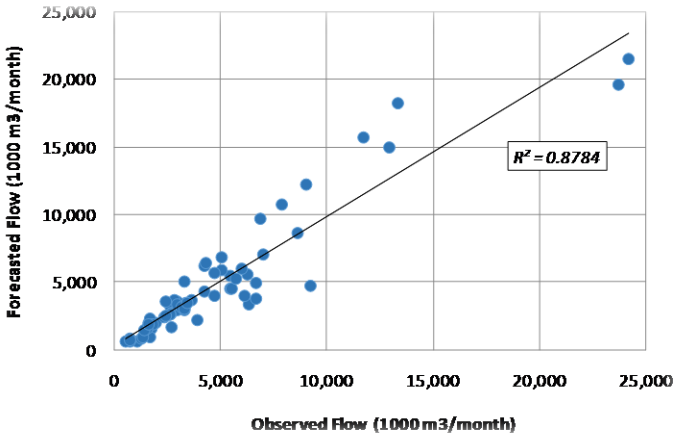
شکل ۳. موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده جهت تولید پتانسیل جریان سطحی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

پس از ساخت مدل‌های سری زمانی تولید داده‌های جریان رودخانه، عملکرد آنها بایستی مورد ارزیابی و صحت سنجی قرار گیرد. بدین منظور داده‌های جریان ماهانه ۵ سال آخر سری‌های زمانی توسط مدل‌های ساخته شده پیش‌بینی گردیده و با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید. در شکل ٤ مقایسه داده‌های محاسباتی و مشاهداتی جریان در محل ایستگاه کلهور بعنوان نمونه نشان داده شده است. ضریب همبستگی داده‌های جریان مشاهداتی و محاسباتی در این ایستگاه ۸۷٪ بدست آمده است. در جدول ۳ نیز ارزیابی عملکرد مدل‌های ARMA در محل چند ایستگاه شاخص حوضه آبریز دریاچه ارومیه ارائه شده است.

جدول ۲ مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده جهت تولید جریان در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

ردیف	نام	رودخانه	موقعیت نسبت به دریاچه ارومیه	طول دوره (سال)	داده‌های دبی‌متوسط (m^3/s)	انحراف معیار
۱	سهزاب	آغمیون‌چای	شرق	٤٦	۰/۸۸	۰/۲۸
۲	سعیدآباد	سعیدآباد	شرق	٤٦	۰/۳	۰/۱۵
۳	ونیار	آجی‌چای	شرق	٤٦	۱۲/۳	۷/۲۷
٤	هروی	لیقوان‌چای	شرق	٤٦	۰/٦۳	۰/۲۳
۵	زینجناب	سرد رود	شرق	٤٦	۰/۳	۰/۱۳
٦	قرمزیگل	گمبرچای	شرق	٤٦	۱/۱۲	۱/۱٦
۷	خرمازرد	ماهپری	جنوب‌شرق	٤٦	۰/۳۱	۰/۱۸
۸	قشلاق امیر	مردوق‌چای	جنوب‌شرق	٤٦	۲/٤۹	۰/۹٦
۹	صفاخانه	ساروق‌چای	جنوب	٤٦	۹/٤۸	۵/۲۹
۱۰	ساری‌قمیش	زرینه‌رود	جنوب	٤٦	۵۱/۹۷	۲۵/۹
۱۱	بوکان	سیمینه‌رود	جنوب	٤٦	۱۵/۳۸	۹/۸۳

ردیف	نام	رودخانه	موقعیت نسبت به دریاچه ارومیه	طول دوره (سال)	داده‌های دبی‌متوسط (m^3/s)	انحراف معیار
۱۲	گلی	زرینه‌رود	جنوب	٤٦	۱/۷	۱/۹
۱۳	کوتر	مهابادچای	جنوب‌غرب	٤٦	٦/۸	۲/۷۳
۱٤	بیطاس	مهابادچای	جنوب‌غرب	٤٦	۱/٥٤	۰/۸۳
۱٥	پی‌قلعه	گادارچای	جنوب‌غرب	٤٦	۸/۹۲	۳/۱۲
۱٦	نقده	گادارچای	جنوب‌غرب	٤٦	۱۱	٤/۷۲
۱۷	چپرآباد	گادارچای	جنوب‌غرب	٤٦	۰/۸۱	۰/۷۸
۱۸	قاسملو	بالانج‌چای	غرب	٤٦	۱/۲٥	۰/۷۷
۱۹	بی‌بکران	باراندوز چای	غرب	٤٦	۸/۱۲	۷/۸
۲۰	میرآباد	شهرچای	غرب	٤٦	٥	۰/٤٤
۲۱	تپیک	نازلوچای	غرب	٤٦	۱۱/۷۹	٥/۸٤
۲۲	آباجالو سفلی	نازلوچای	غرب	٤٦	۷/٤۳	٤/۸۳
۲۳	کلهور	روضه‌چای	غرب	٤٦	۱/۲۳	۰/۷
۲٤	نهند	آجی‌چای	شرق	٤٦	۱/۲۷	۱/۹۲
۲٥	دریان	دریان‌چای	شمال شرق	٤٦	۰/٤٦	۰/۲٤



شکل ٤. همبستگی داده‌های جریان مشاهداتی و محاسباتی در ایستگاه کلهور واقع بر روی روضه‌چای

جدول ۳. ارزیابی عملکرد مدل‌های سری زمانی برآورد جریان در محل چند ایستگاه شاخص حوضه آبریز دریاچه ارومیه

ایستگاه	میانگین داده‌های مشاهداتی ($1000m^3/month$)	میانگین داده‌های محاسباتی ($1000m^3/month$)	انحراف معیار داده‌های مشاهداتی	انحراف معیار داده‌های محاسباتی	RMSE ($1000m^3/month$)	همبستگی (R^2)
ساری قمیش	۲۰۳٥	۱۹۳۲	۱۷۷۲/۷	۱۰۹۸/۷	۱۳٦٦	۰/۸۲
ونیار	٤۰۰٦	۳۷۳۷	٥۷۱۷/۳	٤۸۱۷	۳۰۸۷	۰/۹
تپیک	۱۸۷٥۲	۱۸۷٥۹/۹	۲۳۷٥٥	۲۰۹۰۷/۷	۱٥۲۲	۰/۸٦
کلهور	۲۳۷۰۰	۲۳۸۰۰	۲۱٥۰۰	۱۹٥۰۰	۱۰۸۰	۰/۸۷
بوکان	۲٦۳۹۱	۲٤٤۷۲/٥	۳۸٦٤۸	۲٦۷٦۳/۹	۲۷۸٤	۰/۸٦

همانگونه که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد مقادیرآماره‌ها بطور کلی بیانگر عملکرد مناسب مدل‌های ARMA جهت تولید داده‌های جریان می‌باشند. با استفاده از مدل‌های سری زمانی ساخته شده در محل ایستگاه‌ها،

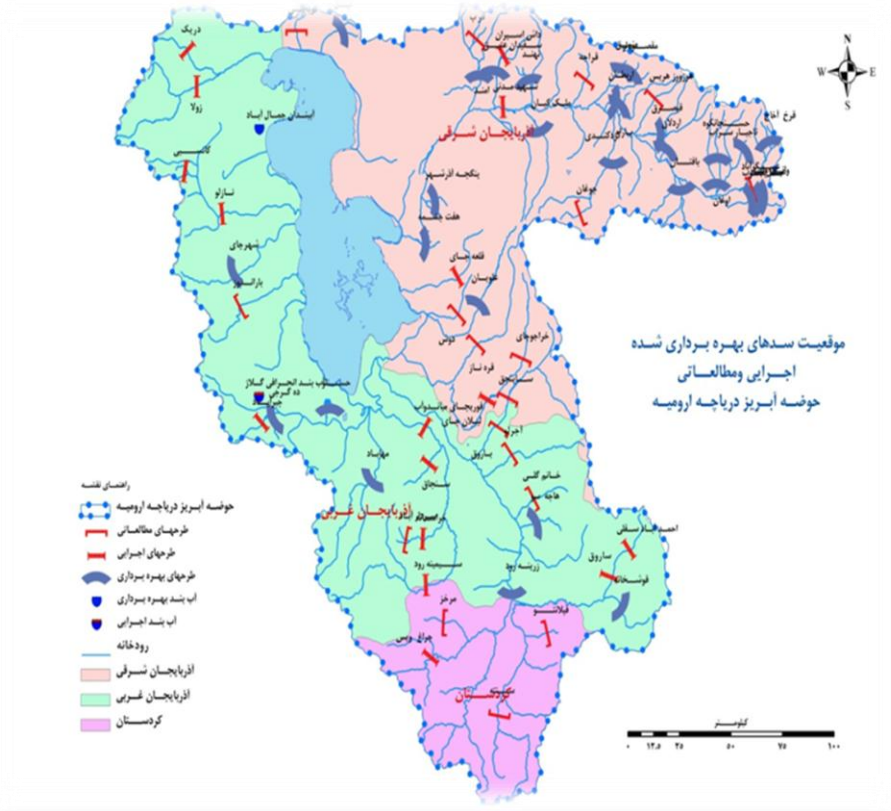
داده‌های جریان مصنوعی در رودخانه‌ها در دو سناریوی بلند مدت (٤٥ ساله) و کوتاه مدت (١٥ ساله) تولید و به مدل شبیه‌سازی منابع و مصارف حوضه آبریز دریاچه ارومیه وارد گردید تا با محاسبه میزان مصارف آبی در نقاط مختلف حوضه آبریز بتوان جریان ورودی به دریاچه ارومیه را در سناریوهای بلند و کوتاه مدت برآورد نمود. سناریوی بلند مدت بنوعی سناریوی خوش بینانه بوده که در آن پتانسیل منابع آب حوضه از روند بلند مدت تبعیت کرده در حالیکه می‌توان سناریوی کوتاه مدت را بنوعی سناریوی بدبینانه دانست که در آن پتانسیل منابع آب حوضه از روند حاکم بر سال‌های خشک اخیر پیروی می‌کند. در مدل شبیه‌سازی حوضه آبریز، بر اساس مطالعات طرح جامع آب کشور، مقادیر نیازهای آبی در محلهای تقاضا در سطح حوضه و به تفکیک شرب، صنعت، کشاورزی و محیط زیست برآورد و وارد گردیده است. با اجرای مدل در هر یک از سناریوهای بلند و کوتاه مدت و بر اساس میزان پتانسیل منابع آب تولیدی که از طریق مدل‌های ARMA پیش‌بینی گردیده، میزان تخصیص‌ها به گره‌های مختلف و یا همان مصارف آبی در سطح حوضه آبریز محاسبه می‌گردد. با محاسبه میزان مصارف و یا همان برداشتهای آبی در نقاط مختلف، میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه در سناریوهای بلند و کوتاه مدت بدست خواهد آمد.

مدل شبیه‌سازی حوضه آبریز دریاچه ارومیه

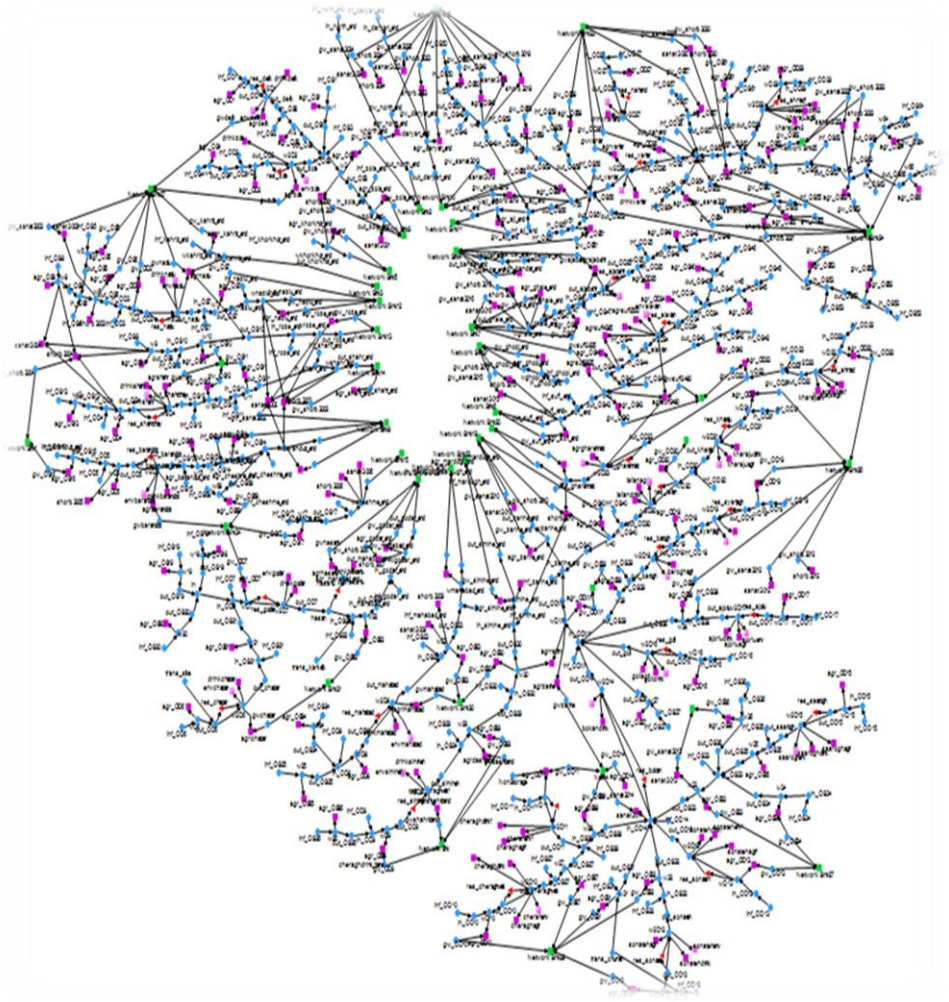
مدل شبیه‌سازی حوضه آبریز پس از وارد کردن دبی‌های ماهانه تولید شده ورودی به رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های سری‌زمانی، جهت شبیه‌سازی وضعیت منابع و مصارف حوضه آبریز و برآورد میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه در آینده به کار می‌رود. در حوضه دریاچه ارومیه جهت تأمین مصارف شرب، صنعت و به ویژه کشاورزی برداشت‌های گسترده‌ای از منابع آب سطحی حوضه صورت می‌پذیرد. همچنین برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و پایین افتادن سطح آبخوان منطقه باعث جریان معکوس از سمت دریاچه به آبخوان گردیده و روند خشک شدن دریاچه را تسریع کرده است. احداث ٢٩ سد مخزنی بر روی رودخانه‌های منتهی به دریاچه تأثیر زیادی در کاهش دبی آب ورودی به دریاچه داشته است. لذا تمامی عوامل فوق‌الذکر بایستی در پیش‌بینی وضعیت دریاچه ارومیه برای هر یک از سناریوهای محتمل برای پیش‌بینی جریان رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه در یک مدل جامع به‌صورت یکجا و پیوسته دیده شوند. لذا نیاز مبرم به استفاده از یک مدل شبیه‌سازی جامع حوضه آبریز وجود دارد. امروزه مدل‌های زیادی برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز وجود دارند که یکی از انواع متعارف آنها نرم افزار MODSIM می‌باشد. در این تحقیق جهت شبیه‌سازی وضعیت منابع و مصارف آبی در شرایط آینده حوضه آبریز دریاچه ارومیه و پیش‌بینی مقدار جریان ورودی به دریاچه ارومیه بر اساس هر یک از سناریوهای تخمین آورد رودخانه‌ها و ارائه راهکارهای تحقق حقابه زیست محیطی دریاچه از MODSIM استفاده گردیده است.

مقادیر نیازهای آبی در گره‌های تقاضا و مشخصات سدهای در حال بهره‌برداری و سایر خصوصیات المانهای ذخیره، تنظیم و مصرف آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر اساس اطلاعات استخراج شده از مطالعات طرح جامع آب کشور (وزارت نیرو، ١٣٩٢) در مدل شبیه‌ساز وارد گردیده است. با شبیه سازی وضع موجود حوضه آبریز بر اساس آبدهی‌های جریان حد فاصل سال‌های ٤٦-١٣٤٥ تا ٩١-١٣٩٠ و مقایسه جریان محاسباتی و مشاهداتی در ایستگاه‌های شاخص حوضه آبریز، ضرایب آب برگشتی و سهم برداشت از منابع سطحی و زیرزمینی در زیرحوضه‌های سیستم کالیبره و صحت سنجی گردیده است. در شکل ٥ پیکربندی شرایط توسعه حوضه آبریز دریاچه ارومیه و در شکل ٦ توپولوژی حوضه آبریز دریاچه ارومیه پیاده سازی شده در محیط MODSIM نشان داده شده است.

پس از اطمینان از صحت عملکرد مدل شبیه‌سازی حوضه آبریز، مقادیر نیازهای آبی در افق مطالعات که سال ۱۴۲۰ در نظر گرفته شده بر اساس اطلاعات طرح جامع آب کشور در مدل وارد گردید. بر اساس این مطالعات، نیازهای آبی شرب، صنعت و کشاورزی حوضه‌های آبریز کشور بر اساس رشد و توسعه پیش‌بینی شده در مناطق مختلف برآورد گردیده است. پس از پیاده‌سازی شرایط توسعه نیازها در حوضه آبریز، سری‌های زمانی جریان پیش‌بینی شده برای رودخانه‌های حوضه نیز در دو سناریوی بلند مدت و خشک در مدل وارد گردید. یکی از ویژگی‌های منحصر بفرد MODSIM که بنوعی آن را متمایز از سایر مدل‌های شبیه‌سازی منابع آب می‌سازد، قابلیت کدنویسی (customization) در آن است. با استفاده از این قابلیت می‌توان اجرای مدل شبیه‌ساز در سناریوهای مختلف و ورود اطلاعات متناظر با هر سناریو از پایگاه داده‌ها و سپس ثبت و ارزیابی نتایج خروجی هر سناریو در فایل‌های جداگانه را بصورت اتوماتیک انجام داد. این ویژگی زمانی که وارد کردن اطلاعات بصورت دستی زمان زیادی نیاز داشته و یا اجرای مدل شبیه‌سازی در چندین تکرار به منظور ارزیابی سناریوها لازم است، می‌تواند بسیار مفید باشد. در تحقیق حاضر ورود داده‌های جریان برآوردی در رودخانه‌ها از پایگاه داده‌های نرم‌افزار MATLAB در سناریوهای دوگانه و اجرای مدل شبیه‌سازی و اخذ نتایج جریان در گره‌های خروجی با استفاده از قابلیت کدنویسی MODSIM صورت گرفته است. با انجام این مراحل مدل شبیه‌سازی آماده رفتارسنجی حوضه آبریز در شرایط آینده و در سناریوهای تعریف شده می‌باشد.



شکل ۵. پیکربندی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شرایط توسعه



شکل ٦. توپولوژی حوضه آبریز دریاچه ارومیه پیاده‌سازی شده در محیط MODSIM (طرح جامع آب کشور، ۱۳۹۲)

نتایج و بحث

برآورد جریان ورودی به دریاچه ارومیه در شرایط آینده حوضه

با اجرای مدل شبیه‌سازی حوضه آبریز دریاچه ارومیه تحت جریان پیش‌بینی شده برای رودخانه‌ها و مقادیر نیازهای آبی آینده حوضه، مقدار جریان ورودی به دریاچه ارومیه در دو سناریوی استفاده از داده‌های بلند مدت و دوره خشک جهت پیش‌بینی محاسبه گردیده است. مقدار جریان کل ماهانه تولیدی پیش‌بینی شده در رودخانه‌های حوضه آبریز توسط مدل‌های سری زمانی در هر یک از سناریوها در جدول ٤ نشان داده شده است.

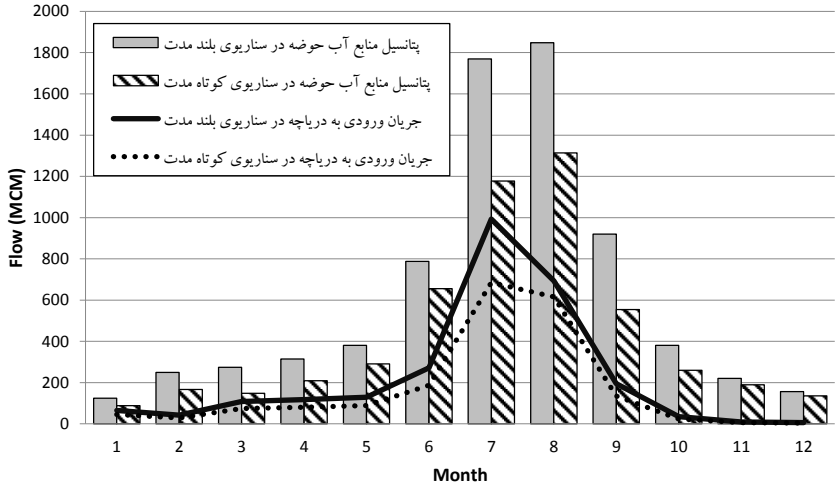
بر اساس نتایج مدل‌های سری زمانی مشاهده می‌شود که متوسط پتانسیل جریان سالیانه تولیدی بلند مدت در رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه در حدود ۷/۵ میلیارد متر مکعب پیش‌بینی شده است. در حالیکه اگر داده‌های دوره کوتاه مدت اخیر ملاک قرار گیرد این مقدار در حدود ۵/۲ میلیارد متر مکعب برآورد گردیده است. بعبارت دیگر در نظرگیری داده‌های بلند مدت جهت پیش‌بینی آورد رودخانه‌ها منجر به افزایشی در حدود ۳۱٪ در پتانسیل منابع آب تولیدی نسبت به در نظرگیری شرایط اخیر حاکم بر حوضه آبریز دریاچه ارومیه شده است. این نکته به تنهایی می‌تواند لزوم بازنگری در برنامه‌ریزی‌های انجام شده بر اساس داده‌های دراز مدت را مشخص نماید. در نظرگیری جریانات مشاهداتی دراز مدت منجر به تولید پتانسیلی برای منابع آب در دسترس جهت تخصیص خواهد شد که در سال‌های اخیر این پتانسیل نه تنها در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بلکه در

اکثر حوضه‌های آبریز کشور مشاهده نشده و در دسترس نبوده است. لذا تخصیص‌های صورت گرفته در حوضه‌های آبریز که بر اساس پتانسیل منابع آب دراز مدت بوده منجر به وقوع کمبودهای شدید در مناطق پایین دست حوضه‌ها و پیدایش بحرانهای ناشی از کم‌آبی گردیده است. این عارضه خصوصاً در حوضه آبریز دریاچه ارومیه که دریاچه ارومیه در خروجی رودخانه‌ها قرار داشته و با افزایش توسعه کشاورزی در بالا دست نیز مواجه بوده تشدید گردیده است. تخصیصهای آبی در حوضه آبریز بر اساس پتانسیل منابع آبی انجام شده که در شرایط حاضر حاکم بر حوضه این پتانسیل حداقل کاهشی در حدود ۳۰٪ را نشان می‌دهد. بدیهی است این کاهش پتانسیل منابع آب اثر خود را بر پایین دست حوضه آبریز که همان دریاچه ارومیه می‌باشد، نشان خواهد داد.

جدول ٤. متوسط پتانسیل جریان تولیدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (MCM)

ماه	سناریو	
	بلند مدت	کوتاه مدت
مهر	۱۲۴/۱	۸۷/۹
آبان	۲۴۹/۲	۱۶۷/۴
آذر	۲۷۴/۲	۱۴۸
دی	۳۱۴/۹	۲۰۹/۵
بهمن	۳۸۰/۳	۲۹۱/۳
اسفند	۷۸۷/۳	۶۵۵/۵
فروردین	۱۷۶۹/۱	۱۱۷۷/۸
اردیبهشت	۱۸۴۷/۵	۱۳۱۳/۹
خرداد	۹۲۰/۲	۵۵۴/۴
تیر	۳۸۰/۷	۲۶۰/۵
مرداد	۲۲۰/۳	۱۸۹/۲
شهریور	۱۵۶/۴	۱۳۵/۸
سالیانه	**۷۴۹۸**	**۵۱۸۶/۲**

حقابه زیست‌محیطی مصوب برای دریاچه ارومیه در شرایط نرمال، بر اساس مصوبه شماره ۱۳۰۳۲٤۸ مورخ ۱۳۹۱/۰۸/۲۰ دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفای وزارت نیرو ۳/۱ میلیارد متر مکعب در سال تعیین گردیده است. البته این مقدار شامل دو بخش می‌باشد: قسمتی برای جبران تبخیر و پایدارسازی وضعیت دریاچه و قسمت دیگر شامل احیاء دریاچه ارومیه و جبران دبی کم ورودی در سنوات گذشته. مجموع کل آب مورد نیاز آبی ناخالص بخش کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر اساس مطالعات طرح جامع آب کشور در حدود ۱۱/۹ میلیارد مترمکعب در سال خواهد بود. مصارف کشاورزی حوضه از منابع آب زیرزمینی و سطحی تأمین می‌گردد. پس از ورود داده‌های جریان پیش‌بینی شده برای رودخانه‌ها و اجرای مدل شبیه‌سازی حوضه آبریز، مقادیر منابع و مصارف آبی در محلهای تقاضا در سراسر حوضه آبریز بدست آمده و در انتها میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه محاسبه گردیده است. بر اساس نتایج بدست آمده از اجرای مدل شبیه‌سازی شرایط آینده، میزان کل تخصیص به گره‌های کشاورزی در سناریوی بلند مدت در حدود ٤/٤ و در سناریوی کوتاه مدت در حدود ۳ میلیارد متر مکعب تأمین گردیده و یا به عبارت دیگر برابر با مصارف کشاورزی حوضه می‌باشد. لذا در شرایط بلند مدت که پتانسیل آورد حوضه در حدود ۷/۵ میلیارد متر مکعب برآورد گردیده، میزان مصارف کشاورزی ٤/٤ میلیارد متر مکعب و کل مصارف آبی حوضه ٤/۸ میلیارد متر مکعب بدست آمده و جریان ورودی به دریاچه در حدود ۲/۷ میلیارد متر مکعب در سال محاسبه گردیده است. همچنین در سناریوی کوتاه مدت که پتانسیل آورد حوضه ۵/۲ میلیارد متر مکعب برآورد گردیده، میزان مصارف کشاورزی ۳ میلیارد متر مکعب و کل مصارف آبی حوضه ۳/۲ میلیارد متر مکعب بدست آمده و جریان ورودی به دریاچه در حدود ۲ میلیارد متر مکعب در سال محاسبه گردیده است. در شکل ۷ متوسط پتانسیل منابع آب حوضه و جریان ورودی به دریاچه ارومیه در دو سناریوی بلند و کوتاه مدت نشان داده شده است.



شکل ۷

پتانسیل منابع آب حوضه و جریان متوسط ورودی به دریاچه ارومیه پیش‌بینی شده در دو سناریوی بلند و کوتاه مدت

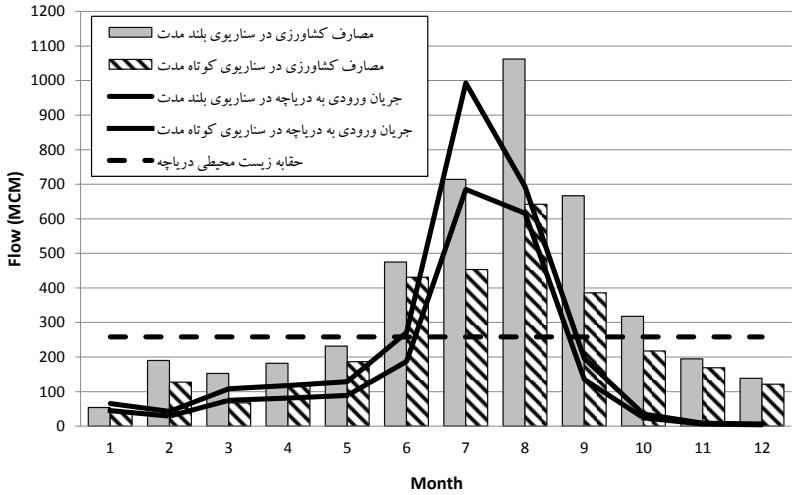
بر اساس نتایج شکل ۷، متوسط جریان سالیانه ورودی به دریاچه ارومیه در سناریوی بلند مدت در حدود ۲/۷ میلیارد متر مکعب و در سناریوی کوتاه مدت در حدود ۲ میلیارد متر مکعب بدست آمده است. به عبارت دیگر در صورت ادامه شرایط خشکسالی حاکم بر حوضه آبریز دریاچه ارومیه، متوسط جریان سالیانه ورودی به دریاچه ارومیه کاهشی در حدود ۲٦٪ نسبت به آورد دراز مدت خواهد داشت. نتایج بدست آمده از اجرای مدل شبیه‌سازی بیانگر برداشت بیشتر از منابع آب زیرزمینی در سطح حوضه آبریز در شرایط خشکسالی نسبت به شرایط دراز مدت می‌باشد که منطبق با وضعیت اخیر حاکم بر حوضه است. یکی از عوارض این پدیده افت شدید سطح آب زیرزمینی در آبخوانهای مجاور دریاچه و تغذیه معکوس آبخوان از دریاچه است که موجب شور شدن جریان آب زیرزمینی و چاههای برداشت از آبخوان و وارد شدن خسارت به اراضی کشاورزی حاصلخیز اطراف دریاچه شده است. بر اساس نتایج، جریان متوسط سالیانه ورودی دراز مدت به دریاچه ارومیه میزان کسری در حدود ۰/٤ میلیارد متر مکعب نسبت به حقابه زیست محیطی دریاچه (معادل ۱۳٪) خواهد داشت. همچنین این میزان کسری در شرایط ادامه روند خشکسالی حاکم بر حوضه آبریز دریاچه ارومیه در حدود ۱/۱ میلیارد متر مکعب (معادل ۳٦٪) خواهد بود. این نکته بیانگر وخیم تر شدن اوضاع دریاچه ارومیه در صورت ادامه روند خشکسالی است. به بیان دیگر در این شرایط بطور متوسط سالیانه در حدود ۱/۱ میلیارد متر مکعب از حقابه دریاچه ارومیه در نواحی بالا دست حوضه آبریز به مصرف می‌رسد.

راهکارهای تحقق حقابه زیست محیطی دریاچه ارومیه

مصرف‌کننده عمده آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مانند اکثر مناطق کشور بخش کشاورزی است به گونه‌ای که در حدود ۹۲٪ از منابع آب مصرفی در حوضه آبریز به مصارف کشاورزی اختصاص دارد. لذا مؤثرترین راهکار جهت بهبود پایدار وضعیت دریاچه ارومیه اصلاح وضعیت مصارف آبی کشاورزی در حوضه آبریز می‌باشد. از جمله این راهکارها می‌توان به اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی و کاشت گیاهان کم‌آب‌بر بجای الگوی کشت باغی پرآب‌بر حاکم بر منطقه اشاره نمود. همچنین استفاده از روشهای نوین آبیاری بجای روشهای سنتی و افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه کاهش هدر رفت آب نیز کمک شایانی به کاهش مصرف آب در این

بخش می‌کند. تمامی این راهکارها منجر به کاهش نیاز ناخالص آبی در بخش کشاورزی می‌شود.

لذا به منظور بررسی این موضوع می‌توان مقادیر نیاز کشاورزی در گره‌های تقاضا در مدل شبیه‌سازی حوضه آبریز را بصورت تدریجی کاهش داد تا جایی که حقابه زیست محیطی دریاچه ارومیه تأمین گردد. بر این اساس میزان کاهشی که در تقاضای بخش کشاورزی بایستی صورت گیرد تا دریاچه ارومیه مجدداً احیا شود، مشخص خواهد شد. در شکل ۸ متوسط ماهیانه مصارف کشاورزی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه و جریان ورودی به دریاچه در دو سناریوی بلند و کوتاه مدت بر اساس نتایج بدست آمده از اجرای مدل شبیه‌سازی در کنار حقابه زیست محیطی دریاچه (با فرض توزیع یکنواخت ماهیانه) نشان داده شده است.



شکل ۸. میزان مصارف کشاورزی و جریان ورودی به دریاچه ارومیه در سناریوهای بلند و کوتاه مدت

بر اساس نتایج نشان داده شده در شکل ۸، در صورت ادامه روند توسعه در حوضه، جریان ورودی به دریاچه ارومیه در سناریوی بلند مدت در ماههای اسفند، فروردین و اردیبهشت و در سناریوی کوتاه مدت تنها در ماه‌های فروردین و اردیبهشت از حقابه زیست محیطی دریاچه بیشتر بدست آمده و در ماه‌های دیگر سال بطور متوسط از این میزان کمتر خواهد بود. بر این اساس، به منظور افزایش جریان ورودی به دریاچه ارومیه یک راهکار مؤثر کاهش میزان تقاضای کشاورزی در سطح حوضه آبریز به نظر می‌رسد.

در مدل شبیه‌سازی حوضه آبریز دریاچه ارومیه بالغ بر ۸۰ گره کشاورزی در سطح حوضه تعریف شده است. همانگونه که ذکر شد مقادیر نیاز ناخالص کشاورزی بر اساس مطالعات طرح جامع آب کشور در گره‌ها وارد شده است. به منظور تعیین میزان کاهش مورد نیاز تقاضای آب در بخش کشاورزی، مقادیر نیاز ماهیانه در محل گره‌ها با درصد مشخص و ثابتی در هر مرحله کاهش یافت. سپس مدل شبیه‌سازی MODSIM در شرایط نیازهای کاهش یافته جدید اجرا شده و میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه (قرائت شده در محل گره‌های متصل به دریاچه) محاسبه گردید. این روند تا جایی که جریان ورودی به دریاچه برابر با حقابه زیست محیطی آن شود ادامه یافت. میزان کاهش نیاز در گره‌های کشاورزی بر حسب الگوی کشت هر منطقه می‌تواند متفاوت باشد. انجام تمامی این مراحل بصورت اتوماتیک و تا رسیدن جریان ورودی به دریاچه به سطح حقابه زیست محیطی با استفاده از قابلیت کد نویسی در MODSIM انجام شده است. با انجام این محاسبات متوسط میزان کاهش لازم در نیازهای کشاورزی

در سطح کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه جهت تحقق حقابه زیست محیطی دریاچه در هر سناریو مطابق جدول ۵ بدست آمده است.

جدول ۵. متوسط میزان کاهش لازم نیاز ناخالص کشاورزی در سطح حوضه آبریز جهت تحقق حقابه زیست محیطی دریاچه ارومیه

سناریو	درصد کاهش
بلند مدت	۱۴٪
کوتاه مدت	۵۶٪

بر اساس نتایج جدول ۵ مشاهده می‌شود که در صورت حاکم بودن شرایط نرمال بلند مدت بر آینده حوضه آبریز دریاچه ارومیه کاهش متوسطی در حد ۱٤٪ لازم است در میزان تقاضای کشاورزی در سطح حوضه اعمال شود تا جریان ورودی به دریاچه به سطح حقابه زیست‌محیطی آن رسیده و یا به بیان دیگر وضعیت دریاچه ارومیه به حالت مطلوب برگردد. همچنین در صورت حاکم بودن شرایط کوتاه مدت خشکسالی اخیر بر آینده حوضه این میزان کاهش تقاضای کشاورزی بطور متوسط بایستی به ٥٦٪ برسد. بعبارت دیگر مجموعه عوامل مؤثر بر تقاضای آب در بخش کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نظیر اصلاح الگوی کشت، افزایش راندمان آبیاری و استفاده از روش‌های کم آبیاری در شرایط ادامه روند خشکسالی بایستی بگونه‌ای برنامه‌ریزی شوند که این میزان تقاضا به بیش از نصف مقدار حال حاضر کاهش یابد. این موضوع می‌تواند جهت تبیین سیاست‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی کلان در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه شایان توجه باشد. توسعه پایدار حوضه آبریز دریاچه ارومیه با رویکرد اصلاح مصارف آبی درون حوضه و بدون اتکاء به انتقال‌های بین حوضه‌ای در شرایط ادامه روند خشکسالی حاکم بر حوضه در شرایطی محقق خواهد شد که میزان تقاضای ناخالص بخش کشاورزی در حوضه به بیش از نصف مقدار کنونی کاهش یابد. از طرف دیگر، در صورت تعدیل شرایط خشکسالی اخیر حاکم بر حوضه و بازگشت شرایط هیدرولوژیک به شرایط نرمال بلند مدت، کاهشی در حد ۱٤٪ لازم است تا در میزان تقاضای کشاورزی داده شود تا حیات دریاچه به خطر نیافتد. این میزان کاهش با اصلاح شیوه آبیاری سنتی حاکم بر کشاورزی و استفاده از روش‌های نوین با راندمان بالاتر قابل تحقق است. البته شایان ذکر است که این نتایج با درنظرگیری حقابه زیست‌محیطی مصوب دریاچه بصورت یکسان در هر دو سناریو بدست آمده است. با انجام مطالعات دقیق‌تر زیست‌محیطی اکوسیستم دریاچه ارومیه و مشخص شدن میزان حقابه آن در شرایط هیدرولوژیکی مختلف می‌توان به مقادیر دقیقتری برای کاهش تقاضای کشاورزی دست یافت.

نتیجه‌گیری

هدف کلی در تحقیق حاضر را می‌توان در قالب سه بخش اصلی بیان نمود: ۱- استفاده توأم از مدل‌های سری زمانی و شبیه‌سازی حوضه آبریز به منظور برآورد پتانسیل جریان تولیدی در حوضه و جریان ورودی به دریاچه ارومیه ۲- بررسی اثرات کاهش رواناب رودخانه‌ها بر میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه و ۳- برآورد میزان کاهش لازم در تقاضای بخش کشاورزی به منظور تحقق حقابه دریاچه ارومیه. بررسی‌های آماری انجام گرفته برروی داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که جریان رودخانه‌ها در محل ورودی به دریاچه ارومیه در سالهای اخیر نسبت به جریان متوسط بلند مدت کاهش چشم‌گیری داشته است. این عارضه می‌تواند ناشی از سه عامل اصلی باشد: ۱) تغییرات اقلیمی رخ داده در سطح حوضه آبریز و در نتیجه کاهش بارش و رواناب؛ ۲) احداث سدها بر روی رودخانه‌ها و کاهش جریان ورودی به دریاچه؛ ۳) افزایش مصارف آبی خصوصاً کشاورزی در سطح حوضه. لذا در تحقیق حاضر سعی شده است اثر

تجمیع شده این سه عامل بر روی میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه دیده شود. بدین منظور ابتدا با استفاده از مدلهای سری زمانی ARMA جریان سطحی تولیدی در رودخانه‌های حوضه در دو سناریوی مبتنی بر داده‌های دوره بلند و کوتاه مدت پیش‌بینی گردیده است. مقایسه نتایج بدست آمده در این دو حالت بیانگر کاهشی در حدود ۳۰٪ در پتانسیل منابع آب سطحی سالیانه حوضه در شرایط ادامه روند خشکسالی (سناریوی کوتاه مدت) است. این نتیجه خود به تنهایی بیانگر لزوم بازنگری در تخصیص‌های صورت گرفته بر اساس پتانسیل منابع آب بلند مدت در سطح حوضه‌آبریز است. سپس داده‌های پتانسیل منابع آب در هر سناریو بهمراه سایر اطلاعات منابع و مصارف و سدها در شرایط توسعه در مدل شبیه‌سازی منابع و مصارف حوضه آبریز در محیط MODSIM وارد گردیده است. پس از صحت‌سنجی عملکرد مدل، با اجرای مدل شبیه‌سازی و محاسبه مصارف آبی در محل گره‌های نیاز، میزان جریان ورودی به دریاچه ارومیه در هر سناریو برآورد گردیده است. در این مرحله نیز جریان ورودی به دریاچه ارومیه در شرایط ادامه روند خشکسالی اخیر کاهشی در حدود ۲۶٪ نسبت به آورد سالیانه بلند مدت نشان می‌دهد. در انتها، به منظور تحقق حقابه زیست محیطی مصوب دریاچه ارومیه، میزان کاهشی که بایستی در تقاضای کشاورزی در سطح حوضه داده شود بطور متوسط در حد ۱۴٪ و ۵۶٪ در هر یک از سناریوهای هیدرولوژیک بلند و کوتاه مدت بدست آمده است. در تحقیق حاضر، از مدلسازی سری‌های زمانی به منظور پیش بینی جریان رودخانه‌ها و از یک مدل شبیه‌سازی جامع منابع و مصارف حوضه آبریز به منظور محاسبه میزان مصارف آبی و جریان ورودی به دریاچه ارومیه استفاده شده است. استفاده از سایر روشهای پیش بینی جریان رودخانه‌ها نظیر شبکه‌های عصبی، بیزین و یا ماشین‌های بردار پشتیبان می‌تواند به تدقیق نتایج کمک کند. همچنین استفاده از قابلیت کدنویسی در MODSIM و تلفیق آن با مدل‌های تصمیم گیری نظیر تئوری بازی (Game Theory) می‌تواند به منظور استخراج سیاست‌های برنامه‌ریزی بهینه تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز بکار رود.

فهرست منابع

شوریان، م. ۱۳۸۷. برنامه ریزی تخصیص بهینه منابع آب در سطح حوضه آبریز: رویکرد شبیه سازی بهینه سازی. رساله دکتری، دانشگاه صنعتی امیر کبیر دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۷۵ صفحه.

داوودی، م. ۱۳۹۳. طراحی بهینه شبکه پمپاژ آب زیرزمینی به منظور زهکشی مناطق غرقابی با استفاده از الگوریتم فراکاوشی کرم شب‌تاب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، ۱۱۵ صفحه.

سبز زاده، ا. ۱۳۹۰. بهینه سازی ضرایب جریان برشتی در مدل شبیه سازی حوضه آبریز با استفاده از الگوریتم ژنتیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، ۱۱۲ صفحه.

رزاقی، پ.، بابازاده، ح. و شوریان، م. ۱۳۹۲. توسعه سیاست جیره‌بندی بهره‌برداری از مخزن چند منظوره در شرایط محدودیت منابع آب با استفاده از مدل MODSIM 8.1. حفاظت منابع آب و خاک، ۳ (۲): ۱۱-۲۳.

زراعت پور، ع. ۱۳۷۷. بررسی علل افزایش سطح آب دریاچه ارومیه و اثرات نا مطلوب آن در ساحل مجاور و انتخاب بهترین روش کنترل. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۲۰ صفحه.

زارع، م. ۱۳۹۰. اثر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی بر روی کیفیت آب دریاچه ارومیه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی دانشکده عمران، ۱۲۰ صفحه.

خوش خلق، ع. ۱۳۸۲. پیش‌بینی مصرف کوتاه مدت آب شهری به روش تحلیل سری زمانی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران دانشکده مهندسی عمران، ۱۱۷ صفحه.

دهقانی پور، آ. ۱۳۹۲. پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی با مدل تلفیقی شبکه عصبی فازی تطبیقی و تبدیلات موجک (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۲۳ صفحه.

الهامی‌نژاد، م. ۱۳۸۹. بررسی عملکرد مدل‌های شبکه عصبی Garch-Arima در پیش‌بینی قیمت روزانه نفت خام اوپک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق دانشکده مدیریت و اقتصاد، ۱۱٤ صفحه.

آرام، ع. ۱۳۸۹. پیش‌بینی مصرف روزانه آب شهری با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی ARIMA و مدل ترکیبی تبدیل موجک (مطالعه موردی شهر تهران). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق دانشکده مدیریت و اقتصاد، ۱۱۸ صفحه.

نعمتی، ح. ۱۳۸۸. پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی با استفاده از مدل تابع تبدیل – اغتشاش (مطالعه موردی حوضه دریاچه ارومیه). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۳٤ صفحه.

حضرتی یادکوری، ح. ۱۳۸۲. بررسی ارتباط تراز آب دریاچه ارومیه با شاخص های اقلیمی ENSO و NAO. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، ۱٤۷ صفحه.

جهانبانی، س. ۱۳۹۱. مقایسه روش‌های تجربی برآورد تبخیر از سطح دریاچه‌های شور با استفاده از روش بیلان انرژی (مطالعه موردی: دریاچه ارومیه). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۲۸ صفحه.

فاطمی قمی، م.، پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، نشر دانش امروز (وابسته به مؤسسه انتشارات امیرکبیر)، ۱۱۵ صفحه.

Dai, T. and Labadie, J. W. 2000. River Basin Network Model For Integrated Water Quantity/Quality Management. Journal of Water Resource Planning and Management, 4 (3): 295-305.

Shourian, M., Mousavi S. J. and Tahershamsi A. 2007. Basin-wide Water Allocation Planning by Integrating PSO Algorithm and MODSIM." J. Water Resources Management, 22: 1347-1366.

Rasi Nezami, S., Nazariha, M., Moridi, A. and Baghvand, A. 2013. "Environmentally Sound Water Resources Management in Catchment Level using DPSIR Model and Scenario Analysis." International Journal of Environmental Resources, 7(3): 569-580.

Zarghami, M. 2005. Uncertain criteria in ranking inter-basin water transfer projects in Iran, 73 rd Annual meeting of ICOLD. Tehran, 180-S1.

Srdjevic, B. , Medeiros, Y.D.P. and Faria, A.S. 2004. An Objective Multi-Criteria Evaluation of Water Management Scenarios. Water Resources Management, 18: 35-54.

Labadie, J. and Fontane, D. 2003. MODSIM river basin management DSS: Application to the GEUM river basin. Korea, Final Report, No. 168, 115 pp.

ISSN 2251-7480

Estimation of the inflow to the Urmia lake by integrating the time series modeling and the basin's future simulation in two long and short term conditions

Ardalan Sharifnasab[1] and Mojtaba Shourian[2*]

1) MSc. Student, Department of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2) Assistant Professor, Department of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
*Corresponding author Email: m_shourian@sbu.ac.ir

Received: 03-02-2016 Accepted: 20-05-2016

Abstract

The Urmia lake is the largest and the most important lake in Iran and is one of the most valuable international hemispherical resources in the world. But the Lake has been gradually getting dried nowadays. If the Lake gets completely dried, irreparable environmental, economical, and social damages will be done in the region. So, finding a practical solution for saving the Urmia lake is crucial. In the present research, it has been tried to predict the inflows of the rivers leading to the Urmia lake, once based on the long term period's recorded data and another time based on the recent dry period's recorded data, by using autoregressive moving average (ARMA) time series models in order to exert the effects of the recent drought in the forecasted data. The ARMA models are developed in the MATLAB software. After calibration of the created models, the predicted discharges of the basin's rivers were entered into the simulation model of MODSIM in order to estimate the water consumptions in the basin's future condition and finally the entering flows to the Urmia Lake in each of two forecasting scenarios. Results show that in each of two forecasting scenarios of long and short periods, the environmental water right of the lake wouldn't be supplied totally. Also, if the agricultural water consumptions are reduced about 14% and 56% in long and short periods respectively, the lake's water right will be completely supplied. In this study, solutions for supplying the environmental water right of the lake are presented and analyzed.

Keywords: flow data generation and prediction, Urmia lake river basin, water resources simulation, time series modeling