

تعیین عوامل اقلیمی اثرگذار بر نوسانات بلندمدت تراز آب دریاچه پریشان استان فارس و پیش‌بینی تراز آن

• مریم شفیعی

دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

• محمود رائینی سرجاز

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسئول)

• رامین فضل‌اولی

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: مهر ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: خرداد ماه ۱۳۹۳

Email: m.raeini@sanru.ac.ir

چکیده

در کشور ما با شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک، استفاده بهینه از منابع محدود آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. انجام پژوهش‌هایی در زمینه منابع آب، به ویژه در دهه‌های اخیر که زیستگاه بشر با پدیده تغییر اقلیم و خشکسالی روبرو شده، بیشتر احساس می‌شود. در این پژوهش تاثیر عوامل اقلیمی بر نوسانات تراز سطح آب دریاچه پریشان طی یک دوره ۳۷ ساله (۱۳۸۸-۱۳۵۲) در نرم‌افزار SPSS.16 به صورت مدل‌های رگرسیونی ارائه شد. با کمک نرم‌افزار SAMS پیش‌بینی عوامل اقلیمی با مدل ARMA(1,1) برای ۳۰ سال آینده صورت گرفت. سرانجام متغیرهای پیش‌بینی شده در مدل‌های رگرسیونی وارد و شبیه‌سازی تراز سطح آب دریاچه برای ۳۰ سال آینده انجام شد. یافته‌ها نشان داد که موثرترین عوامل بر نوسانات تراز سطح آب دریاچه به ترتیب اهمیت بارش، تبخیر و دما می‌باشند. بررسی نوسانات تراز سطح آب دریاچه در دوره آماری مورد بررسی نشان داد این نوسانات غالباً پیامد تغییرپذیری طبیعی اقلیم، چرخه هیدرولوژیکی و دوره بازگشت خشکسالی می‌باشد. مدل‌ها نشان دادند که نوسانات سطح تراز آب دریاچه در آینده هم وجود دارد و برای سال‌های آینده انباشت آب در دریاچه و بالا آمدن تراز سطح آن پیش‌بینی می‌شود.

کلمات کلیدی: دریاچه پریشان، عوامل اقلیمی، مدل ARMA، نرم‌افزار SAMS

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 107 pp: 25-35

Determination effective climate factors on long -term fluctuations Parishan Lake level in Fars Province and prediction water level

By: *M. Shafiei*, Master student of Agricultural Meteorology, Agricultural Engineering Department, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari. *M. Raeini-Sarjaz*, Associate Professor of group Water Engineering, Agricultural Engineering Department, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari. *R. Fazoula*, Assistant Professor of group Water Engineering, Agricultural Engineering Department, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari.

In Iran, with semi-arid climate conditions, optimum use of limited water resources has particular importance. Conducting research projects in area of water resources, especially in recent decades, due to encounter of human habitats to climate change and drought phenomena is essential. In this study the influence of climate factors on fluctuations of Parishan Lake water level during 1973-2009, was conducted using statistical models. Projection of climate factors for the next three decades also was done by the ARMA (1, 1) model using the SAMS software. Finally, by regression models projected parameters were used to simulate Parishan Lake water level for the next three decades and determining the best model. Findings suggest that the effective climate factors influencing Lake's water level fluctuations consist of precipitation, evaporation and temperature. These findings reveal that Lake's water level fluctuations are mostly governed by natural climate variations, hydrological cycle and drought return periods. These models showed that lake's water level fluctuations exist in the future and the projected data predicted increase of lake's water reservoir and water level for upcoming years.

Keywords: Parishan Lake, climatic factors, ARMA model, SAMS Software

در پژوهشی با به کارگیری مدل خطی دینامیکی (DLM) آنالیز سری زمانی و متوسط سالانه سطح آب دریاچه سوپریور (۲۰۰۷-۱۹۶۰) بررسی گردید. یافته‌ها نشان داد روند سیستماتیک قوی روی سطح آب دریاچه حاکم بوده و در دهه‌های اخیر این روند منفی شده است (Lamon and Stow, ۲۰۱۰).

در پژوهشی گرمایش جهانی در زمین‌های دارای ذخایر آب و تاثیر آن بر تراز سطح آب دریا را بررسی شد. برای انجام این پژوهش ۳۳ رودخانه مهم در جهان انتخاب شد. تغییرات تراز سطح آب در مقیاس کوتاه مدت (۲۰۰۹-۲۰۰۲) و به صورت سالیانه بررسی شد، یافته‌ها نشان داد تاثیر روند گرمایش جهانی بر تراز سطح آب منفی بوده و 0.05 ± 0.22 میلی‌متر در سال می‌باشد. آن‌ها بیان داشتند تخمین به دست آمده نمی‌تواند بیان‌گر یک روند درازمدت باشد (Llovel و همکاران، ۲۰۱۰).

نتیجه پژوهش Guo و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که به علت تاثیر شدید آب و هوای منطقه روی سطح آب دریاچه پویانگ و منابع آب، انتظار می‌رود در آینده فرآیندهای هیدرولوژیکی و تخلیه حوزه به دریاچه تغییر کند. نتایج تحقیق روی سطوح آب دریاچه‌های بزرگ نشان داد که این نوسانات با تغییرات اقلیمی رابطه دارد و تغییرات سطوح آب دریاچه‌ها سالانه است (Rodionov, ۱۹۹۴؛ Changnon, ۱۹۸۷ و Brinkmann, ۱۹۸۵). یافته‌های پروژه ۲ برابر شدن CO_2 نشان داد که سطوح آب دریاچه‌های بزرگ از ۰/۵ تا ۲/۵ متر کاهش یافت. افزایش CO_2 جو باعث گرمایش جهانی و تغییر

مقدمه

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جهان می‌باشد. تغییرپذیری‌های طبیعی اقلیم برای ریزش‌های جوی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن تدریجی کره زمین در سال‌های اخیر نگرانی‌ها را برای تغییر اقلیم کره زمین افزایش داده است. آلودگی آب و هوا، بالا آمدن سطح آب دریاها، ویرانی منابع زیست‌محیطی و کاهش منابع آب از جمله مسائل و مشکلاتی هستند که به تغییر اقلیم مربوط می‌شوند. در کشور ما تغییر اقلیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور نسبت به دیگر مناطق تاثیر بیشتری داشته و روی منابع آب، آب‌های سطحی و زیرزمینی و کیفیت آب تاثیر گذاشته است و رشد تقاضا برای آب را به خصوص در بخش کشاورزی افزایش داده است. در صورت ادامه روند خشکسالی این مناطق با کمبود شدید ذخیره آب در آینده روبرو خواهند شد.

در سال‌های اخیر اقلیم کره زمین به علت فعالیت‌های صنعتی به سرعت در حال تغییر است. این امر به طور عمده به علت افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، شهرنشینی، جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی می‌باشد (CutForth و همکاران، ۱۹۹۹).

بنا به گزارش IPCC عوامل مختلفی باعث برهم خوردن شرایط حاکم بر اجزاء مختلف سیستم اقلیم کره زمین می‌شود که می‌تواند تاثیراتی را بر اجزاء دیگر بگذارد. در بین این عوامل تنها عاملی که بصورت غیرطبیعی بر سیستم اقلیم کره زمین تاثیر می‌گذارد افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (IPCC, ۲۰۰۷).

پیش‌بینی تراز آب دریاچه در دوره آتی به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

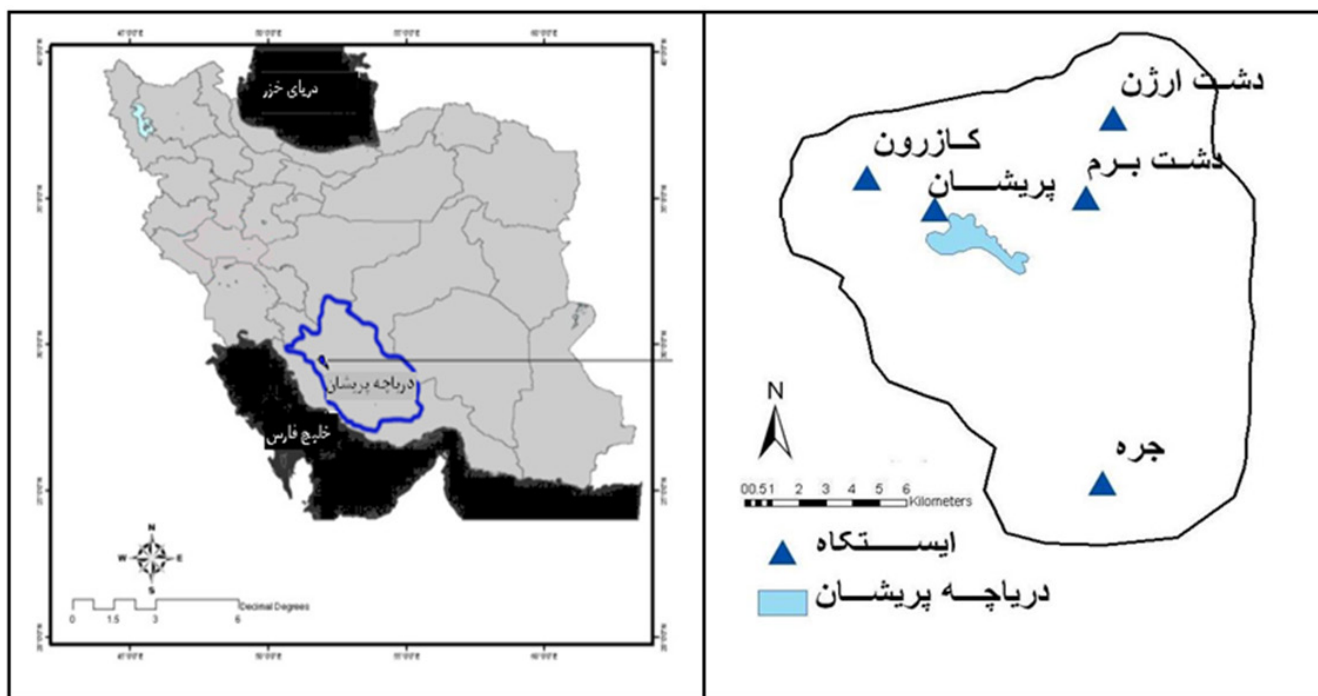
دریاچه پریشان در جنوب غرب استان فارس و در طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و ۲۹ درجه عرض جغرافیایی شمالی و در ۸۲۰ متر از سطح دریاهای آزاد واقع شده است. مساحت دریاچه نزدیک به ۴۲ کیلومترمربع است. این دریاچه بر طبق روش دومارتن در بخش نیمه‌خشک کشور واقع شده است. بارش سالانه این منطقه در حدود ۴۵۰ میلیمتر است که بین ۲۲۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است. ظرفیت تبخیر در این منطقه بالا است. متوسط تبخیر در حدود ۲۴۷۰ میلی‌متر و دامنه تغییرات آن بین ۱۶۰۰ تا ۳۳۵۰ میلی‌متر است (شرکت آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۹).

اقلیم می‌شود. در حقیقت، رواناب زود هنگام بهار به طرف دریاچه‌ها یکی از نتایج پیش‌بینی افزایش CO_2 و گرمایش جهانی می‌باشد (Croley, 1999; Smith, 1991 و Hartmann, 1990).

در پژوهشی که Assel و همکاران (۲۰۰۰) انجام دادند به این نتیجه رسیدند که صعود و نزول سطح آب دریاچه‌ها به صورت سالیانه می‌باشد. و رواناب رودخانه‌ها و تبخیر دریاچه‌ها از عوامل موثر بر نوسانات سالیانه سطح آب دریاچه‌ها می‌باشند

نتایج خوجینی و همکاران (۱۳۸۷) در مورد نوسانات طولانی مدت سطح آب دریای خزر و مسائل مربوط به آن نشان داد که در نوسانات طولانی مدت سطح آب دریا تغییرات آب و هوایی و گرم شدن هوا و فاکتورهای اقلیمی موثر هستند.

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر عوامل مختلف اقلیمی بر نوسانات بلندمدت تراز آب دریاچه پریشان، تعیین اثرگذارترین عامل و



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دریاچه پریشان و ایستگاه‌های برگزیده محدوده آن در استان فارس

تاثیر این عوامل به کمک مدل‌های رگرسیونی نشان داده شد. با کمک نرم‌افزار SPSS و روش رگرسیون خطی ساده و چندگانه مدل‌هایی برای تعیین رابطه بین تراز سطح آب و عوامل اقلیمی برآزش داده شد. از بین مدل‌های آماری مختلف، ۱۱ مدل که علاوه بر معنی‌داری بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا را داشتند، انتخاب شدند. در مرحله بعد برای گزینش بهترین مدل، آزمون نکویی برآزش صورت گرفت و ۵ مدل به عنوان مدل‌های منتخب برگزیده شدند. مدل‌ها برای ۳۲ سال آماری محاسبه شدند و ۵ سال اعتبارسنجی با دو آماره ضریب تبیین (R^2) و خطای استاندارد (SE)

روش تحقیق:

برای بررسی تاثیر عوامل مختلف اقلیمی تاثیرگذار بر نوسانات تراز سطح آب دریاچه پریشان از داده‌های آماری ۳۷ ساله طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۵۲ استفاده شد. این عوامل اقلیمی شامل تبخیر، بارش، دما، رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارانی می‌باشند، به دلیل وجود گام زمانی بین عوامل اقلیمی از جمله بارش و تراز سطح آب و به منظور بررسی دقیق‌تر تاثیر بارش از نمایه‌های خشکسالی هم استفاده شده، این نمایه‌ها از داده‌های بارش محاسبه می‌شوند و تاثیر ریزش‌های نیواری بر تراز سطح آب را در گام‌های زمانی طولانی‌تر نشان می‌دهند.

برای مدل‌ها صورت گرفت.

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

هم پیش‌بینی برای آینده صورت گرفت و با نتایج حاصل از مدل‌های رگرسیونی مقایسه شد.

نتایج و بحث:

-تهیه مدل‌های رگرسیونی

به منظور پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه و بررسی تاثیر عوامل اقلیمی بر تراز سطح آب مدل‌های رگرسیونی درجه ۱ تهیه شد که در جدول ۲ تعدادی از بهترین مدل‌ها آورده شده است. بررسی مدل‌ها نشان داد تاثیر همزمان چند عامل اقلیمی با هم می‌تواند نوسانات تراز سطح آب دریاچه را بهتر نمایش دهد. عامل‌های بارش، دما، رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارانی هر کدام به تنهایی با تراز سطح آب رابطه معنی‌داری را نشان ندادند ولی تاثیر همزمان این عوامل با همدیگر در برخی مدل‌ها معنی‌دار شد. عامل نمایه خشکسالی که منعکس‌کننده میزان بارش می‌باشد در هر سه مقیاس زمانی معنی‌داری را با تراز سطح آب نشان داد. رابطه عامل تبخیر با تراز سطح آب معنی‌دار شد. می‌توان عدم معنی‌داری مدل را برای سایر عوامل اقلیمی و پایین بودن ضریب همبستگی برای مدل‌های معنی‌دار را به گام زمانی بین تاثیر آن عامل و نوسانات تراز سطح آب ربط داد. مدل‌های رگرسیونی زیر به عنوان مدل‌های برگزیده برای پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه انتخاب شدند:

که در آن s انحراف معیار داده‌ها و n تعداد مشاهدات می‌باشد. مدل $ARMA(1,1)$ که تلفیقی از مدل $AR(1)$ (اتورگرسیو) و $MA(1)$ (میانگین متحرک) می‌باشد، و روش گشتاورها برای پیش‌بینی عوامل اقلیمی به کار برده شدند. برای این منظور از نرم‌افزار SAMS استفاده شد. این نرم‌افزار شبیه‌سازی با تجزیه و تحلیل تصادفی را انجام می‌دهد که برای اهداف هیدرولوژی و پیش‌بینی متغیرهای هیدرولوژی، هواشناسی و خشکسالی توسط دانشگاه کلرادو آمریکا طراحی شده است. بهترین خروجی مدل از هر کدام از متغیرهای پیش‌بینی به صورت تصادفی با توجه به دارا بودن بالاترین سطح معنی‌داری انتخاب شد. متغیرها شامل بارش، دما، تبخیر، رطوبت نسبی، تعداد روز بارانی، CZI در مقیاس زمانی ۳ ماهه و SPI در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۴۸ ماهه می‌باشند، پیش‌بینی برای ۳۳ سال آینده صورت گرفت. در نهایت متغیرهای پیش‌بینی در ۵ مدل‌های آماری منتخب وارد شدند و پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه توسط مدل‌های منتخب صورت گرفت. علاوه بر پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه بر اساس مدل‌های رگرسیونی، برای صحت‌سنجی مدل‌ها و به منظور دستیابی به قطعیت بیشتر در مورد آینده تراز سطح آب، بر اساس داده‌های پیشین تراز سطح آب

جدول ۱- متغیرهای مدل‌های رگرسیونی

علامت اختصاری	نام پارامتر	واحد اندازه‌گیری
H	تراز سطح آب (اشل)	سانتی‌متر
P	بارندگی	میلی‌متر
E	تبخیر	میلی‌متر
T	دما	درجه سانتی‌گراد
RH	رطوبت نسبی	درصد
N	تعداد روزهای بارانی	-

متقابل و در ارتباط با هم می‌باشد.

پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی توسط مدل ARMA

مدل‌های تصادفی (stochastic) برای شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژی به کار می‌روند. مدل‌های اتورگرسیو (AR) بیشتر برای شبیه‌سازی سری‌های زمانی سالانه و فصلی کاربرد دارند و به علت در نظر گرفتن وابستگی زمانی در سری داده‌ها و سادگی استفاده فراوانی دارند. برای شبیه‌سازی سری‌هایی که در آن دوره‌های پربابی وجود دارد، مدل‌های اتورگرسیو به تنهایی کافی نیست.

مدل‌های رگرسیونی ۱ و ۴ با داشتن ضریب تبیین به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۸۷ مدل‌های برتری هستند. مدل رگرسیونی ۳ با خطای استاندارد پایین و ضریب تبیین بالا مدل خوب و قابل قبولی است. مدل رگرسیونی ۲ کمترین خطای استاندارد را در بین مدل‌های منتخب داراست (۴۶/۸۶). مدل‌های رگرسیونی ۴ و ۵ بالاترین ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۷۴ را دارند. بررسی مدل‌های رگرسیونی نشان داد عامل بارش تاثیرگذارترین متغیر اقلیمی بر نوسانات تراز سطح آب می‌باشد. بعد از آن به ترتیب عامل‌های تبخیر، دما، تعداد روزهای بارانی و رطوبت نسبی منطقه قرار داشتند. هرچند تاثیر این عوامل جدا از هم نیست و اثر آن‌ها

جدول ۲- مدل‌های رگرسیونی درجه ۱ پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه و گزینش بهترین مدل با اعتبار سنجی مدل‌ها

مدل‌های رگرسیونی	تعداد سال	ضریب همبستگی	تعداد سال (اعتبارسنجی)	SE	R2
در مقیاس ۱۲ ماهه با تراز سطح SPI مدل رگرسیونی (۱): رابطه آب دریاچه $H=53/13+122/07SPI_{12}$	۳۲	$(0/01)0/54$	۵	۷۳/۳۵	۰/۸۱
مدل رگرسیونی (۲): رابطه دما، تبخیر، رطوبت نسبی و بارش با تراز سطح آب دریاچه $H=40/4T+0/45-E0/113+P1/2+RH774/72-$	۳۲	$(0/05)0/5$	۵	۴۶/۸۶	۰/۵۱
در مقیاس ۱۲ ماهه و تبخیر با تراز سطح SPI مدل رگرسیونی (۳): رابطه سطح آب دریاچه $H=46/97+20/92SPI0/33-12E$	۳۲	$(0/01)57$	۵	۴۷/۹۴	۰/۷۷
در مقیاس ۱۲ ماهه و دما با تراز سطح SPI مدل رگرسیونی (۴): رابطه سطح آب دریاچه $H=35/39T55/53+SPI672/44-12$	۳۲	$(0/01)0/62$	۵	۶۳/۱	۰/۸۷
در مقیاس ۴۸ ماهه، دما، تبخیر، SPI مدل رگرسیونی (۵): رابطه رطوبت نسبی و تعداد روزهای بارانی با تراز سطح آب دریاچه $H=42/43T0/4-E0/23-RH1/85+N54/48+SPI759/5-48$	۳۲	$(0/01)0/74$	۵	۶۳/۸۵	۰/۷۴

فاصله اطمینان ضریب خودهمبستگی هم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r_{k,a} = \frac{-1 \pm Z_{\alpha} \sqrt{N - K - 1}}{N - k}$$

که در آن $\Gamma_{k,\alpha}$ حدود اطمینان ضریب خودهمبستگی، k گام تاخیر، N تعداد کل داده‌ها و α سطح معنی‌داری می‌باشد.

شرط وابستگی زمانی متغیرهای مورد بررسی قبل از پیش‌بینی مورد بررسی قرار گرفت، که در مورد همه متغیرها ضریب خودهمبستگی معنی‌دار شد. به عنوان مثال شکل ۲ منحنی ACF دما می‌باشد که حدود اطمینان با خط‌چین تعیین شده است. اگر همه منحنی در داخل این ناحیه قرار گیرد، سری مستقل و تصادفی است. اما در اینجا بخشی از منحنی در برخی گام‌ها خارج از محدوده قرار گرفته و در سری وابستگی به زمان وجود دارد، در نتیجه قابل شبیه‌سازی با مدل ARMA می‌باشد. در مورد سایر متغیرهای هواشناسی هم ACF معنی‌دار شد.

شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرها توسط نرم‌افزار SAMS صورت گرفت. پس از بررسی مرتبه‌های مختلف مدل ARMA (p,q) توسط معیار اطلاعات آکائیک، مدل ARMA (1,1) به عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد.

ترکیب این مدل‌ها با مدل‌های میانگین متحرک (MA) این دوره‌ها را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. مدل‌های ARMA (p,q) از ترکیب مدل‌های اتورگرسیو از مرتبه p و میانگین متحرک از مرتبه q به دست می‌آیند. مرتبه مناسب برای مدل ARMA (p,q) بر اساس معیار اطلاعات آکائیک (Akaike Information Criteria) به دست می‌آید.

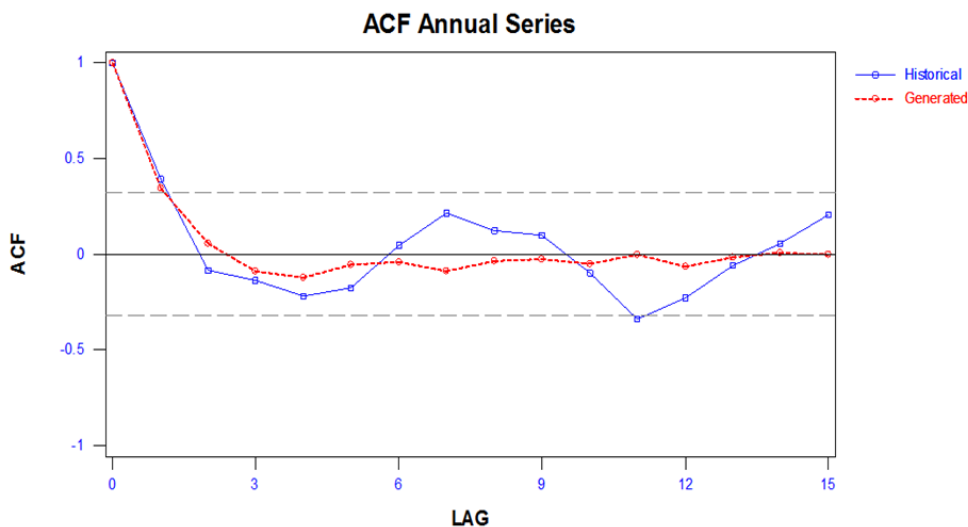
$$AIC(p,q) = N \times \ln(\delta_{\epsilon}^2) + 2(p+q)$$

که N تعداد کل داده‌ها، واریانس خطا و p و q مرتبه‌های مدل هستند. مدلی مناسب است که AIC کمتری داشته باشد.

سری زمانی متغیرها در صورت وابستگی زمانی در سری داده‌ها قابل شبیه‌سازی می‌باشد. در صورت معنی‌داری ضریب خودهمبستگی (ACF)، سری زمانی موردنظر مستقل نمی‌باشد. برای این منظور آزمون استقلال در زمان اندرسون (Anderson) به کار می‌رود.

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2}$$

که در آن r_k ضریب خودهمبستگی، k گام تاخیر، X_t مقدار متغیر در زمان t ، X_{t+k} مقدار متغیر در زمان $t+k$ ، میانگین متغیرها و N تعداد کل داده‌هاست.



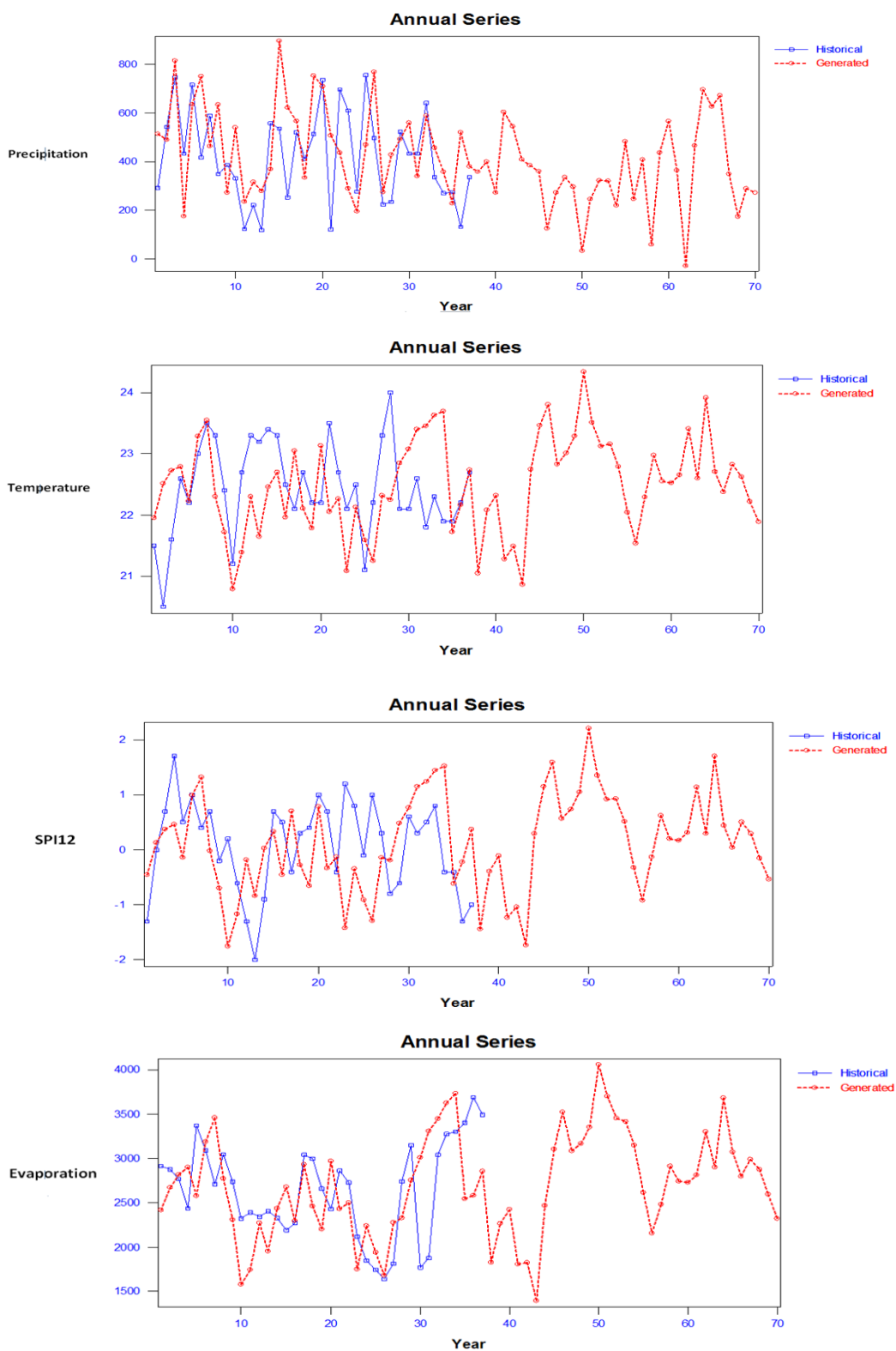
شکل ۲- منحنی ACF داده‌های واقعی (Historical) و داده‌های مدل شده (Generated) متغیر دما

داده‌های دوره پایه (۱۳۵۲-۱۳۸۸) صورت گرفت. بهترین خروجی متغیرهای پیش‌بینی بر اساس مقایسه آماره‌های کلیدی در جدول ۳ آورده شده است.

سری زمانی متغیرهای هواشناسی (بارندگی، دما، تعداد روزهای بارانی، تبخیر و رطوبت نسبی) و نمایه‌های خشکسالی SPI48 و SPI12 با مدل ARMA (1,1) برای دوره (۱۳۲۱-۱۳۸۸) پیش‌بینی شد (شکل ۳). این پیش‌بینی‌ها بر اساس

جدول ۳- بهترین خروجی متغیرهای پیش‌بینی و مقایسه آماری بین مقدار واقعی (Historical) و مدل شده (Generated)

		Mean	StDev	CV	Skew	Min	Max	Acf
بارش	داده‌های مشاهداتی	۴۲۱/۷	۱۸۶/۴	۰/۴۴	۰/۱۴	۱۱۷/۵	۷۵۷	۰/۰۳۸
	داده‌های شبیه‌سازی شده	۴۲۰/۴	۱۸۳/۹	۰/۴۳	۰/۱۱	۴/۴۳	۸۶۵	۰/۰۴
دما	داده‌های مشاهداتی	۲۲/۴۴	۰/۷۳	۰/۰۳۲	-۰/۲۵	۲۰/۵	۲۴	۰/۳۹
	داده‌های شبیه‌سازی شده	۲۲/۳۷	۰/۷۱	۰/۰۳	۰/۱۳	۲۰/۷۲	۲۴/۲۲	۰/۳۴
رطوبت نسبی	داده‌های مشاهداتی	۵۶/۳۶	۵/۹۳	۰/۱	۰/۵۵	۴۴/۱	۷۳	۰/۲۷
	داده‌های شبیه‌سازی شده	۵۶/۳۳	۵/۸۵	۰/۱	۰/۰۱۸	۴۱/۹۹	۷۰/۶	۰/۲۲
تبخیر	داده‌های مشاهداتی	۲۶۴۲	۵۳۵/۹	۰/۲	-۰/۱۳	۱۶۳۹	۳۶۸۷	۰/۰۶
	داده‌های شبیه‌سازی شده	۲۵۷۴	۴۹۷/۴	۰/۱۹	۰/۱۲	۱۴۶۸	۳۸۷۰	۰/۵۲
روز بارانی	داده‌های مشاهداتی	۲۵/۵۷	۹/۹۲	۰/۳۸	۰/۷۱	۹	۵۱	-۰/۰۰۳
	داده‌های شبیه‌سازی شده	۲۵/۵۱	۹/۷۸	۰/۳۸	۰/۱	۳/۱۷	۴۹/۲۷	-۰/۰۰۹
CZI۳	داده‌های مشاهداتی	۰/۱۲	۰/۴۴	۳/۵۱	۰/۱۴	-۰/۹۹	۱/۱۶	۰/۱۹
	داده‌های شبیه‌سازی شده	۰/۱۲	۰/۴۳	۷/۶۷	۰/۱۲	-۰/۸۵	۱/۱۵	۰/۱۹
SPI۱۲	داده‌های مشاهداتی	۰/۰۷	۰/۸۲	۱۱/۷۱	-۰/۴۸	-۲	۱/۷	۰/۰۹
	داده‌های شبیه‌سازی شده	-۰/۰۱۸	۰/۷۸	۳/۶۸	۰/۱۳	-۱/۸۱	۲/۰۴	۰/۰۸
SPI۴۸	داده‌های مشاهداتی	۰/۰۷	۰/۹۲	۱۲/۹۹	-۰/۸۱	-۲/۳۸	۱/۵۲	۰/۷۹
	داده‌های شبیه‌سازی شده	-۰/۰۸	۰/۷۸	-۰/۳۵	۰/۱۳	-۱/۷۳	۱/۹	۰/۶۸
تراز سطح آب	داده‌های مشاهداتی	۱۲۵/۸	۸۱	۰/۶۴	۰/۰۶	۰	۳۰۲/۶	۰/۷۵
		۱۱۲/۶	۷۰/۶	۰/۶۴	۰/۱۳	۰	۲۹۳/۴	۰/۶۵



شکل ۳- پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی بر اساس مدل ARMA (۱۴۲۱-۱۳۵۲)

نشان نداد. میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله تراز سطح آب هم این عدم معنی‌داری و همبستگی پایین را به خوبی نشان دادند. طبق نمودار ۴ تراز سطح آب دریاچه به ترتیب سه دوره پرآب، کم‌آب و پرآب را گذرانده و با پایین آمدن تراز مجدداً دوره کم‌آب خود را پشت سر می‌گذارد.

بررسی تراز سطح آب دریاچه در دوره آماری مورد بررسی و پیش‌بینی نوسانات آن در آینده

بررسی تراز سطح آب دریاچه در دوره آماری مورد بررسی نشان می‌دهد نوسانات تراز سطح روند افزایشی و یا کاهشی مشخصی نداشته و دوره‌های نوسان آن نامنظم است (شکل ۴). نوسانات تراز سطح آب دریاچه رابطه معنی‌داری با زمان (سال‌های مورد بررسی)

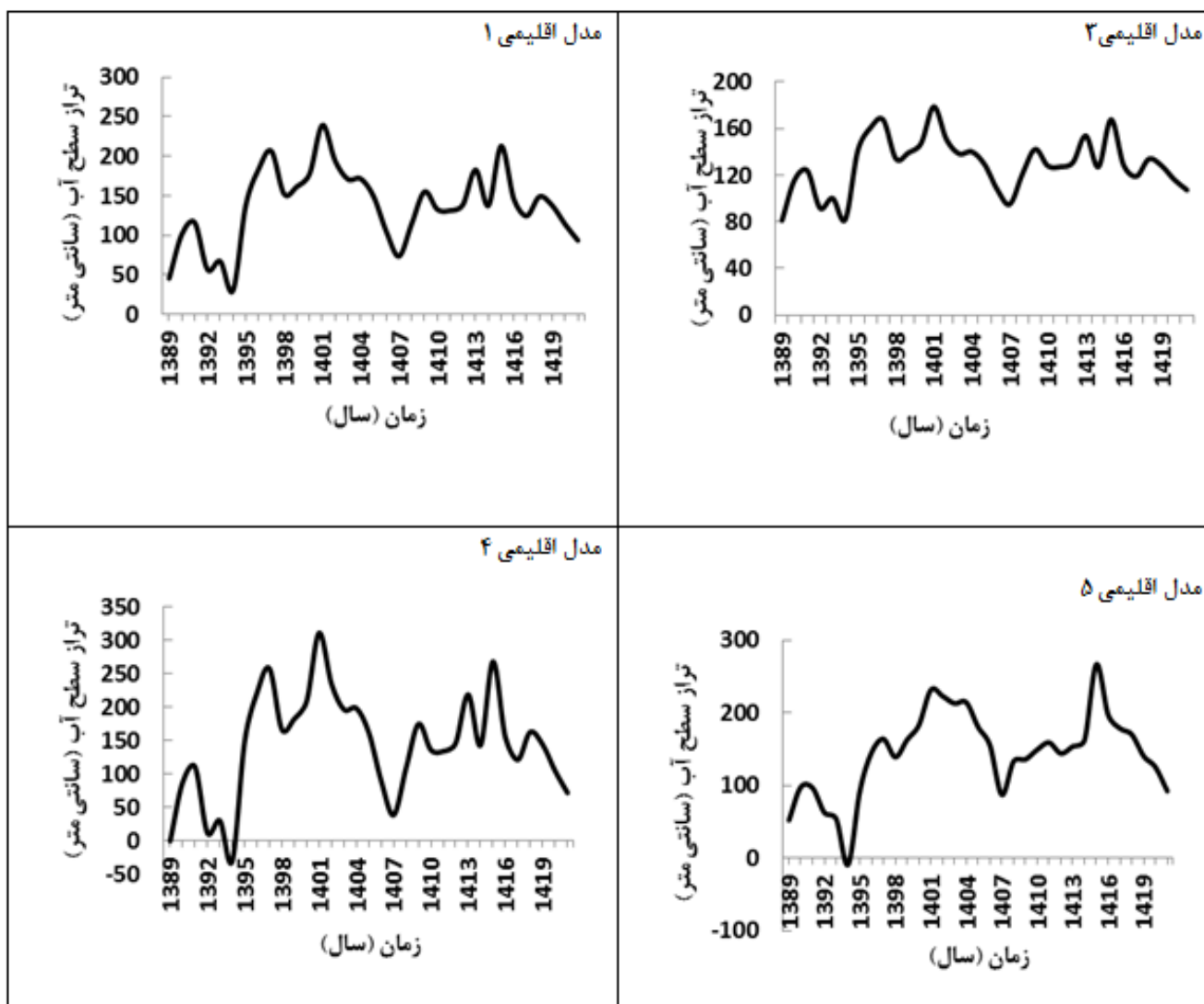


شکل ۴- تغییرات تراز سطح آب دریاچه پریشان در سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۸۸

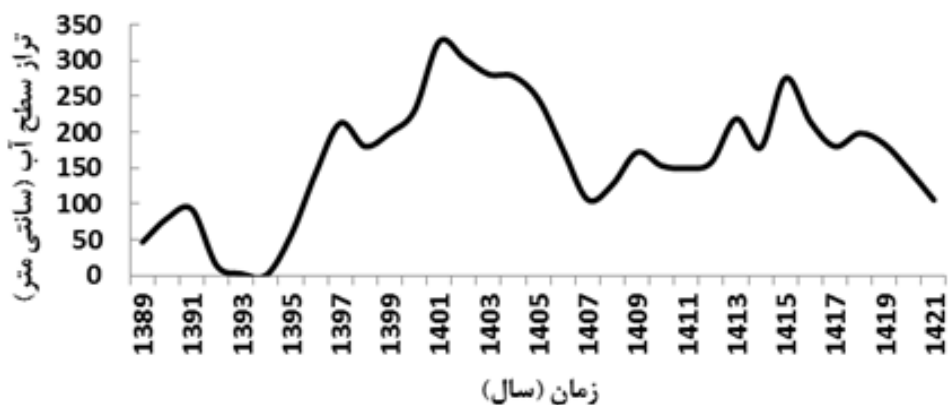
یکسان است. روند کاهشی تراز سطح آب از سال ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۷ در نمودارهای ذکر شده مشابه می‌باشد و بعد از آن روند افزایشی تراز سطح آب تا سال ۱۴۱۶، باز هم در این ۴ نمودار یکی است. نوسانات تراز سطح آب در نمودارهای شکل ۵ با نوسانات تراز سطح در نمودار شکل ۶ (نمودار صحت‌سنجی تراز سطح آب دریاچه) خیلی مشابه است. که این یافته‌ها دلیلی بر صحت مدل‌ها برای پیش‌بینی و درستی انتخاب تاثیرگذارترین عوامل اقلیمی و نیواری بر نوسانات تراز سطح آب دریاچه می‌باشند. البته میزان بالا آمدن سطح آب در این ۵ نمودار کمی متفاوت است، بیشترین مشابهت بین نمودار صحت‌سنجی و نمودار مدل ۴ مشاهده شد. نوسانات تراز سطح آب دریاچه با محاسبات مدل ۴ (شکل ۵) هماهنگی و تشابه بیشتری با نوسانات تراز سطح بر اساس شبیه‌سازی داده‌های تراز (شکل ۶) دارد، از این رو مدل ۴ (دارا بودن بالاترین ضریب تبیین و دومین ضریب همبستگی در بین مدل‌ها) را می‌توان به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی تراز سطح آب در آینده انتخاب کرد، مدل‌های ۱، ۵ و ۳ در مرتبه‌های بعدی قرار دارند.

با به کارگیری ۵ مدل برگزیده و با پیش‌بینی عوامل اقلیمی می‌توان تراز سطح آب دریاچه را در سال‌های آینده تخمین زد و راه‌کارهای مدیریتی برای حفاظت و ذخیره آب دریاچه پریشان ارائه کرد. پیش‌بینی تراز سطح آب با مدل ۲ نتیجه قابل قبولی نداد. ۴ مدل دیگر تقریباً روند تغییرات تراز سطح آب را برای ۳۰ سال آینده مشابه نشان دادند.

نمودارهای شکل ۵ نشان دادند در سال‌های آینده سطح آب دریاچه پریشان در صورتی که تنها تحت تاثیر شرایط اقلیمی قرار گیرد و دخالت انسان در آن به صفر برسد، بالا می‌آید. بر این اساس در چند سال آینده سطح آب پس از کمی بالا آمدن، مجدداً افت خواهد داشت، ولی بر پایه داده‌های مدل پس از آن دریاچه یک دوره ۱۲ ساله پرآبی را خواهد داشت. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که در ۳۰ سال آینده دریاچه دو دوره کم‌آبی کوتاه‌مدت و دو دوره پرآبی بلندمدت خواهد داشت. سطح آب دریاچه در دوره اول پرآبی بالاتر خواهد بود. طبق نمودارها در سال ۱۳۹۴ بالا آمدن تراز سطح آب آغاز می‌شود و در سال ۱۴۰۲ یعنی ۸ سال بعد به بالاترین سطح خود خواهد رسید. این روند برای نمودارهای حاصل از مدل‌های ۱، ۳، ۴ و ۵



شکل ۵- پیش‌بینی تراز سطح آب بر اساس مدل‌های رگرسیونی ۱، ۲، ۳ و ۴ برای سال‌های ۱۴۲۱-۱۳۸۹



شکل ۶- پیش‌بینی تراز سطح آب بر اساس شبیه‌سازی داده‌های تراز سطح آب برای سال‌های ۱۴۲۱-۱۳۸۹

شدن مخزن دریاچه و بالا آمدن تراز سطح آب پیش بینی شد. با توجه به اینکه طبق مدل‌های رگرسیونی عوامل رطوبتی موثرترین عوامل بر نوسانات تراز سطح آب دریاچه می‌باشند و تعیین کننده اصلی تراز سطح آب در آینده هستند و با توجه به تصادفی بودن و عدم روند این عوامل، بالا آمدن تراز سطح آب در آینده طبق این سناریو امری دور از انتظار نیست.

- نوسانات تراز سطح آب دریاچه از تغییرات اقلیم در امان نبوده، هرچند بر اساس پیش‌بینی‌ها تراز سطح آب دریاچه در دوره‌های آتی بالا خواهد آمد، ولی دوره‌های پرآبی در آینده نسبت به دوره پایه کوتاه تر و با تراز آب پایین تر خواهد بود.

- با پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه می‌توان در سال‌های آینده، با مدیریت صحیح آب دریاچه و کنترل دخالت انسان در آن شرایط پایداری را برای این بوم سامانه طبیعی ایجاد کرد.

پاورقی:

- Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation
- Autoregressive-moving-average model
- Intergovernmental Panel on Climate Change
- Dynamic Linear Models
- Standard Error
- China Z Index
- Standard Precipitation index

منابع مورد استفاده

۱. خلیلی‌اقدم، ن و سلطانی، ا. (۱۳۸۸) بررسی تغییر اقلیم ارومیه طی ۵۰ سال گذشته، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال ۱۶ شماره ۴، صص ۱۵۱ - ۱۴۱.
۲. خوجینی، ع و سیمردی، ع. (۱۳۸۷) افتاخیزها طولانی مدت سطح آب دریای خزر و مسائل مربوط به آن. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. صص ۹.
۳. رسولی، ع. (۱۳۸۷) پایش افتاخیزها دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. صص ۱۹.
۴. شرکت آب منطقه‌ای فارس. (۱۳۸۹) گزارش تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز رودخانه حله و مسیل‌های کوچک دو طرف آن. جلد سوم. بخش پنجم. صص ۶۵.
۵. عزیز، ق. شمسی‌پور، ع. یاراحمدی، د. (۱۳۸۷) بازبانی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۶، صص ۳۵ - ۱۹.
6. Argyilan, E.P. Forman S.L. (2003) Lake Level Response to Seasonal Climatic Variability in the Lake Michigan-Huron System from 1920 to 1995. J. Great Lakes Research. 500-488: (3)29.
7. Assel, R.A. Janowiak, J.E. Boyce, D. O'Connors, C. Quinn, F.H. and Norton, D.C. (2000) Lakes ice and

طبق مدل‌های رگرسیونی عوامل دما، تبخیر، رطوبتی و خشکسالی و ترسالی بر تراز سطح آب بررسی شد. عوامل رطوبتی و ترسالی متغیرهای مثبت و موثر بر تراز سطح آب، و عوامل دما، تبخیر و خشکسالی متغیرهای منفی بودند.

مدل ۴

$$H=۳۵/۳۹T۵۵/۵۳+SPI۶۷۲/۴۴-۱۲$$

مدل ۳

$$H= ۴۶/۹۷ + ۲۰۹/۲ SPI ۰/۰۳۳ - ۱۲E$$

با توجه به اینکه SPI در دو مدل ۳، ۴ و همچنین در سه مدل منتخب دیگر عامل مشترک معنی‌دار می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت موثرترین عامل بر نوسانات تراز سطح آب دریاچه می‌باشد. نمایه خشکسالی SPI منعکس کننده میزان بارش منطقه است بنابراین بارش را می‌توان به عنوان موثرترین عامل بر نوسانات تراز سطح آب دریاچه دانست. متغیر دیگر وارد شده در مدل ۴ دما می‌باشد که متغیر منفی تاثیرگذار است، با توجه به بالا آمدن سطح آب با دخالت این متغیر در مدل به عنوان یک متغیر کم-تاثیرگذارتر نسبت به تبخیر معرفی شد. از طرفی با وارد شدن متغیر تبخیر در مدل ۳ سطح آب در پایین‌ترین تراز قرار گرفت. این نتیجه‌گیری موید این مطلب است که تبخیر به عنوان یک متغیر تاثیرگذارتر منفی تراز سطح آب را پایین می‌آورد. بنابراین در بین عوامل اقلیمی، متغیرهای بارش، تبخیر و دما موثرترین عوامل تاثیرگذار بر تراز سطح آب دریاچه می‌باشند. عوامل تاثیرگذار بعدی متغیرهای رطوبتی تعداد روز بارانی و رطوبت نسبی هستند. یافته‌های Changnon (۲۰۰۴) نشان داد بارش مهم‌ترین عامل موثر بر تراز آب دریاچه‌های میشیگان، سوپریور و اریا می‌باشد. در پژوهش‌های مشابه (Joseph و همکاران، ۲۰۰۲؛ Timms، ۲۰۰۵؛ Tweed و همکاران، ۲۰۰۹) کمبود بارش و خشکسالی را مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر تراز سطح دریاچه‌های مورد مطالعه دانستند. رسولی (۱۳۸۷) و Argyilan و Forman (۲۰۰۳) بارندگی و تبخیر را به عنوان عوامل تاثیرگذار بر تراز سطح آب دریاچه معرفی کردند. نتایج Yu (۲۰۱۰) نشان داد بارش و دما عوامل موثر بر تراز سطح آب دریاچه می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

- به طور کلی تاثیر عوامل اقلیمی و نیواری همزمان و در ارتباط مستقیم و یا غیرمستقیم با هم می‌باشد و نمی‌توان تنها یک عامل را تاثیرگذار بر نوسانات سطح آب دریاچه دانست. ولی موثرترین عوامل به ترتیب بارش، تبخیر و دما می‌باشند.

- بررسی نوسانات تراز سطح آب دریاچه در دوره آماری مورد بررسی نشان داد این نوسانات روند مشخصی نداشته و نتیجه بی‌نظمی‌های طبیعت، سیکل هیدرولوژی و دوره بازگشت خشکسالی می‌باشد.

- مقایسه آماره‌های کلیدی در جدول ۳ نشان می‌دهد مدل ARMA قابلیت بالایی در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی دارد.

- شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی تاثیرگذار بر تراز سطح آب دریاچه و وارد شدن این متغیرها در مدل‌های رگرسیونی نشان داد نوسانات سطح تراز آب دریاچه در آینده هم وجود دارد و برای سال‌های آتی پر

United Kingdom and New York, NY, USA, 996 P.

16. Joseph, J. Donovan Alison, J. Smith Valerie, A. Panek Daniel, R. and Engstrom Emi Itoe. (2002) Grant County western Minnesota Climate-driven hydrologic transients in lake sediment records: calibration of groundwater conditions using 20th Century drought. *J. Quaternary Science Reviews*. 624–605 :21.
17. Lamon, E C. Stow, C A. (2010) Lake Superior water level fluctuation and climatic factors: A dynamic linear model analysis. *J. Great Lakes Research*. 178-172 :(1)36.
18. Llovel, W. Becker, M.L. Cazenave, A. Franc, J. and Cre'taux, O. (2010) Global land water storage change from GRACE over 2009–2002; Inference on sea level. *J. Guillaume Ramillien BC. R. Geoscience*. 188–179 :342.
19. Rodionov, S.N. (1994) Association between winter precipitation and water level fluctuations in the Great Lakes and atmospheric circulation patterns. *J. Climate*, 1706–7:1693.
20. Smith, J.B. (1991) The potential impacts of climate change on the Great-Lakes. *J. Bulletin of the American Meteorological Society*, 28–21:(1) 72.
21. Timms, B.V. (2005) Salt lakes in Australia: present problems and prognosis for the future. *J. Hydrobiologia*; 15–552:1.
22. Tweed, S. Leblanc, M. Cartwright, I. (2009). Groundwater–surface water interaction and the impact of a multi-year drought on lakes conditions in South-East Australia. *J. Hydrology*. 53–41 :379.
23. Yu, G. (2010) Lake water changes in response to climate change in northern China: Simulations and uncertainty analysis. *J. Huadong Shen Quaternary International*. :212 56–44
- weather conditions for the 1998 El Laurentian Great Niño winter. *J. Bulletin of the American Meteorological Society*. 717–703:(4)81.
8. Brinkmann, W.A.R. (1985) Association between summer temperature and precipitation patterns over and water supplies to the Great Lakes. *J. Climatology Great Lakes region*. 173–5:161.
9. Changnon, S A. (2004) Temporal Behavior of Levels of the Great Lakes and Climate Variability. *J. Great Lakes Research*. 200-184 :(1)30.
10. Changnon, S.A. (1987) Climate fluctuations and recordhigh levels of Lake Michigan. *J. Bulletin of the American Meteorological Society*. 1402–1394:(11) 68.
11. Croley, T.E. (1990) Laurentian Great Lakes double-CO2 climate change hydrological impacts. *J. Climatic Change*. 47–17:27.
12. Cut Forth, H.W. Woodwin, B.G. Mc Cokey, R.J. Smith, D.G. Jefferson, P.G. and Akinremy, O.O. (1999) Climate Change in the Semi arid prairie of southwestern Saskatchewan: Late winter-early spring. *J. Plant. Sci.* :79 353-343.
13. Guo, H. Jiang, T. Wang, G.J. Su, B.D. Wang, Y.J. (2006) Observed trends and jumps of climate change over Lake Poyang Basin, China. *J. Lake Science*. 451–443 :(5) 18
14. Hartmann, H.C. (1988) Historical basis for limits on Lake-Superior water level regulations. *J. Great Lakes Res*. 324–316:(3) 14.
15. IPCC. (2007) Climate Change: The Physical Science Basis. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge,

