



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

زمان چاپ: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰

## پیش‌بینی تخمین میزان خشکسالی با استفاده از الگوریتم‌های داده‌مبنا (مطالعه موردی دریاچه ارومیه)

نفیسه حاج قاسم<sup>۱</sup>، علیرضا گرایلی<sup>۲</sup>، فریده کرم زاده<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی کامپیوتر (نرم افزار)، دانشگاه بین‌المللی قزوین

nnafisehghajhasem@gmail.com

۲. دکتری عمران گرایش سازه، عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد گنبدکاووس

alireza.gerayeli@iau.ac.ir

۳. دکتری مهندسی آب، رییس گروه تحقیق، پژوهش و نوآوری شرکت مدیریت منابع آب ایران

Karam\_f83@yahoo.com

### چکیده

تغییر اقلیم و افزایش دمای جهانی از مسائل مهم محیط زیست است که در سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی آن صورت گرفته است. این موضوع به دلیل پیامدهای زیست محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است. فعالیت‌های انسانی بر مبنای ثبات و پایداری تغییر اقلیم، و عدم توازن اکوسیستم می‌باشد. سیستم‌های پیش‌بینی و پایش خشکسالی در راستای تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت فعال آن، از ضروری‌ترین ابزار طراحی برای بررسی تغییرات مکانی و شدت خشکسالی در یک ناحیه می‌باشند و بر اساس هشدارهای این سیستم‌ها، زمان و نوع عملیات پیش‌بینی شده برای مقابله با خشکسالی فعال می‌شوند. در این پژوهش ضمن آشنایی با پدیده‌ی تغییر اقلیم، اثرات آن بر منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه بررسی شده است. برای این کار از داده‌های بارش، دما (ماکزیمم، مینیمم)، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی استفاده گردید. ابتدا از داده‌های تاریخی برای یک دوره ۷۰ ساله استفاده گردید، سپس این داده‌ها برای ۳۰۰۰ نمونه تکرار شدند. بدین منظور با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های داده‌مبنا، سنجش از دور و روش رگرسیون خطی به بررسی سری‌های زمانی دما، بارش بر سطح دریاچه، جریان‌های سطحی ورودی به دریاچه، تبخیر از سطح دریاچه و حجم آب دریاچه با هدف یافتن روندی معنادار در دوره‌ی زمانی دراز مدت به کار گرفته شدند. عوامل کاهش سریع‌تر از سطح آب دریاچه در چند سال اخیر را باید در نوسانات اقلیمی نظیر ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها و عوامل انسانی نظیر سدسازی، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و شیوه‌های نامناسب آبیاری جستجو نمود. خروجی مدل‌ها اغلب افزایش دما و تبخیر و کاهش بارش را در دوره‌ی آتی نشان می‌دهد. تغییر در اکوسیستم، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، شیوه‌های نامناسب آبیاری می‌تواند توزیع ماهانه و سالانه را تغییر دهد. در این پژوهش ما با استفاده از الگوریتم ترکیبی M5-GEP داده‌ها را دسته‌بندی، پیش‌بینی جهت میزان خشکسالی تخمین زدیم. در نهایت نتایج حاصل از آزمون M5-GEP بر اساس پارامترهای مختلف خشکسالی میزان تغییرات اقلیمی را در دو دوره آتی در حوضه دریاچه ارومیه را بترتیب، ۳۷ و ۴۴ درصد را نشان داد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، دریاچه ارومیه، خشکسالی، هواشناسی، هیدرولوژی، ترکیب الگوریتم‌ها، داده‌مبنا



## مقدمه

اقلیم کره زمین از گذشته همواره در حال تغییر بوده است. تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده در آب و هوای یک منطقه است که روند گرم شدن دمای کره زمین را نیز بخشی از آن قلمداد می کند.

افزایش دمای جهان است که الگوهای آب و هوایی را تغییر می دهد. بالا آمدن سطح آب دریاها و تغییر در آستانه های آب و هوایی از پیامدهای تغییر اقلیم می باشد (خسروی و اسماعیل نژاد ۱۳۸۹). تغییر اقلیم و افزایش جهانی دما از مسائل مهم زیست محیطی است. تحقیقات و مطالعات زیادی در ارتباط با روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره های گذشته انجام گرفته است که بیشتر این مطالعات بر تغییرپذیری بارندگی و درجه حرارت تمرکز دارند.

خشکسالی نوعی از بلاای طبیعی است که بطور نامحسوس و بیشتر پس از بارندگی در طی یک دوره کوتاه یا بلند روی می دهد و دارای طبیعت پنهانی است که در تمامی نواحی اقلیمی می تواند پدیدار شود و با حرکت آرام خود پیش می رود و سالانه باعث وارد آوردن خسارت مستقیم و غیر مستقیم فراوانی می شود. خشکسالی به معنای پدید آمدن یک وضعیت خشک تر از نرمال در یک منطقه وسیع است. وقوع خشکسالی در یک منطقه بصورت دوره ای تکرار می شود و می تواند خسارت های جبران ناپذیری برجای بگذارد اگر چه شروع خشکسالی به طور معمول با کاهش بارندگی همراه است که این را به منظور تعریف و پایش مرحله به خشکسالی هواشناسی موسوم است. مک کی و همکاران شاخص بارش استاندارد شده ۲۴ و ۴۸ ماهه توسعه داده اند [۸]. فراوانی و شدت خشکسالی، تعیین کمبود بارش برای مقیاس های زمانی از ویژگی هایی است که باید مورد مطالعه قرار گیرند که به طور معمول این ویژگی ها در مقیاس های مختلف زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) محاسبه می شوند. از دیگر خصوصیات مهم خشکسالی که باید مد نظر قرار گیرد وسعت منطقه ای است که دچار خشکسالی می شود.

گریزر و همکاران (۲۰۰۲) صد سال دمای اروپا را بررسی کرده و نشان دادند که در شرق اروپا نوسان سالانه ی دما افزایش معناداری را نشان می دهد و تقریباً در سراسر منطقه دما روند افزایشی داشته است.

ابیب و فورچ (۲۰۰۷) به منظور شبیه سازی و پیش بینی کوتاه مدت شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در ایتالیایی، از مدل SPI استفاده نمودند. بعد از تعیین سطح آستانه احتمال، متغیرهای خشکسالی را بر اساس داده های جریان SARIMA احتمالاتی را به عنوان بهترین مدل برای SARIMA (0,1,1)(0,1,1) سطحی ماهانه تعیین و سپس با مقایسه نتایج بدست آمده، مدل منطقه تشخیص دادند.

سیستم های پیش بینی و پایش خشکسالی در راستای تدوین طرح های مقابله با خشکسالی و مدیریت فعال آن، از ضروری ترین ابزار طراحی برای بررسی تغییرات مکانی و شدت خشکسالی در یک ناحیه می باشند و بر اساس هشدارهای این سیستم ها، زمان و نوع عملیات پیش بینی شده برای مقابله با خشکسالی فعال می شوند.

آزمون من-کندال یکی از متداولترین روش های ناپارامتری تحلیل روند سری های هیدرولوژیکی و هواشناسی محسوب می شود. مطالعات مختلف انجام شده با استفاده از این روش حاکی از اهمیت و کاربرد فراوان آن در تحلیل روند سری های زمانی می باشد (حجام و خوشخو). این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۴۸ توسعه یافت. کاربرد این روش توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه گردیده است. از نقاط قوت روش نیز می توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری های زمانی که از توزیع خاصی پیروی نمی کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری های زمانی مشاهده می گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (حجام و خوشخو). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن، دقت بالا و عدم وجود روند در سری داده ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک رد فرض صفر به معنای وجود روند در سری داده ها می باشد (بذر افشان و خلیلی).

در پژوهش حاضر با استفاده از الگوریتم های محاسبات نرم (GEP, PSO) و ماهواره سنجنش از دور (sential 2 and Landsat 8) بررسی روند در سری های زمانی دما، بارش بر سطح دریاچه، جریان های سطحی ورودی به دریاچه، تبخیر از سطح دریاچه و



حجم آب دریاچه و دسته بندی داده‌ها با الگوریتم درخت G5 در دوره‌ی زمانی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۴۴ بررسی شده است. با توجه به این که بعضی از سال‌ها داده‌ها به طور کامل و دقیق توسط ایستگاه‌های هیدرومتری ثبت نشده و در دسترس نبود ما آن دسته از داده‌ها را به عنوان داده گم‌شده در نظر گرفتیم و با نرم افزار R تخمین زدیم.

## پیشینه پژوهش

از جمله روش‌های آماری دیگر که در پیش‌بینی خشکسالی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد زنجیر مارکف مرتبه اول است. تامپسون (۱۹۹۰) از ترکیب تئوری ران، نمایه پالمر و زنجیره مارکف جهت پیش‌بینی خشکسالی در ایالت‌های مرکزی آمریکا استفاده نمود. وی نتیجه گرفت که ماندگاری خشکسالی‌های شدید در منطقه، از دیگر وضعیت‌ها بیشتر است. بدین منظور، نقشه‌های ماندگاری خشکسالی خیلی شدید و همچنین نقشه پهنه‌بندی احتمال معادل برای خشکسالی‌های خیلی شدید را در این منطقه رسم نمود.

پائولو (۲۰۰۵) با توجه به مدل زنجیره مارکف و مدل لگاریتم خطی و با یک اخطار پیش از هنگام خشکسالی را برای منطقه وسیعی از پرتقال به انجام رساند.

استینمن (۲۰۰۳)، SPI استفاده از نمایه زنجیره مارکف را جهت ارزیابی نمایه‌های خشکسالی به منظور تعیین آستانه‌های خشکسالی در جنوب شرقی آمریکا طی دوره‌ی آماری ۱۹۳۹ الی ۲۰۰۱ به کار گرفت و با استفاده از روابط احتمالاتی و ماتریس احتمال انتقال، ماندگاری، تداوم و فراوانی هر یک از وضعیت‌های رطوبتی را به دست آورد بطور کلی تکرار، تداوم و شدت دوره‌های خشک همگی توابعی هستند که به طور صریح و یا غیرصریح به مقیاس زمانی وابسته‌اند. بنابراین برای پیش‌بینی دوره‌های خشک، ارائه شاخصی که در آن مقیاس زمانی مدنظر قرار گرفته باشد، از اهمیت خاصی برخوردار بوده و برای تحلیل و بررسی این پدیده و اثرات آن بر محیط کاربردهای فراوانی دارد بدین جهت میتوان از شاخص استاندارد شده بارندگی گفت این شاخص تنها شاخصی است که در آن مقیاس زمانی برای پیش‌بینی دوره خشک مدنظر قرار گرفته است و بدین جهت از انعطاف پذیری بالایی در تعیین و پای این دوره‌ها و بررسی اثرات این پدیده بر ذخایر آبی کوتاه مدت (بخش کشاورزی) و بلندمدت (آب‌های زیرزمینی)، برخوردار است در صورتیکه شاخص‌هایی مانند شاخص پالمر (پالمر ۱۹۶۵) که کاربرد بسیاری در سطح جهان دارد، این امکان را بدست نمی‌دهد و این شاخص بطور ذاتی یک مقیاس زمانی ۱۲ ماهه را در محاسبات مد نظر قرار می‌دهد [۹]. امیر عطایی و همکاران ۱۳۹۲ به مقایسه عملکرد هفت شاخص خشکسالی رایج به منظور پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو پرداختند، نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که بکارگیری شاخص‌های SPI و SPI۰ دارای مزیت نسبی بالایی برای یک تحلیل جامع و دقیق‌تر داشته و شاخص Nitzche هم برای تحلیل‌های اولیه یا مقدماتی بسیار مناسب خواهد بود، همچنین شاخص PNPI به عنوان ناکارآمدترین شاخص برای تحلیل خشکسالی بوده است، که استناد به این شاخص برای تحلیل‌های خشکسالی دارای خطای بالا و گمراه کننده خواهد بود. [1]

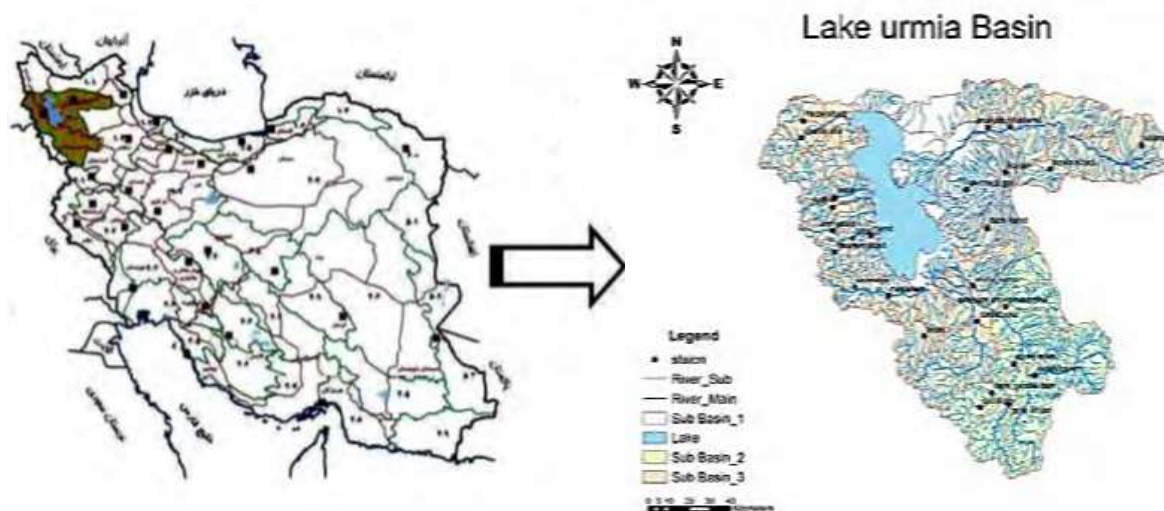
سبزی پرور و همکاران به مقایسه هفت شاخص خشکسالی با آمار بارندگی ۳۵ ساله در ۲۲ ایستگاه در استان همدان پرداختند و نشان دادند شاخص‌هایی همچون DI و RAI، Z از نظر آماری به هم شبیه بوده و در ارزیابی خشکسالی در شرایط اقلیمی سرد و نیمه خشک استان همدان به نتایج مشابهی ختم می‌شوند آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI علی‌رغم توانایی آن در شروع خشکسالی، شاخص مناسبی جهت پیش‌بینی خشکسالی در مقیاس ماهیانه در شرایط اقلیمی سرد و نیمه خشک نمی‌باشد [۳].



## داده‌ها و روش‌ها

مطالعه منطقه موردی:

حوضه آبریز دریاچه ارومیه در تقسیم‌بندی شش گانه حوضه‌های آبریز در ایران و شمال غرب کشور واقع شده و بخش‌های زیادی از اراضی استان‌های آذربایجان غربی، شرقی و کردستان را شامل می‌شود. جریان‌های سطحی در حوضه‌ی آبریز ارومیه برای تأمین آب شرب و کشاورزی مردم منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این حوضه با وسعتی برابر ۵۲۷۰۰ کیلومتر مربع و مساحتی معادل ۳/۲۱ درصد مساحت کل کشور بین مدارهای  $38^{\circ}29'$  تا  $35^{\circ}40'$  عرض شمالی  $47^{\circ}53'$  تا  $44^{\circ}13'$  طول شمالی قرار گرفته است. بزرگترین ارتفاع حوضه در نزدیکی قله سبلان و معادل ۸۳۱۰ متر است و اختلاف ارتفاع موجود در حوضه معادل ۲۱۱۹ متر برآورد می‌گردد. (شکل ۱)



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری در حوضه آبریز دریاچه ارومیه



در این مطالعه، خلاصه نتایج مطالعات پایه گزارش‌های هواشناسی و هیدرولوژی مدیریت جامع منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفته شد. داده‌ها در دوره‌ی زمانی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۴۴ است که شامل سری‌های زمانی دما، بارش برسطح دریاچه، جریان‌های سطحی ورودی به دریاچه، تبخیر از سطح دریاچه و حجم آب دریاچه ارومیه توسط الگوریتم G5 دسته بندی شده است. جهت استفاده به عنوان داده ورودی به صورت ۷۵٪ جهت آزمایش<sup>۱</sup> و ۲۵٪ جهت آزمون<sup>۲</sup> در ترکیب الگوریتم‌ها<sup>۳</sup> به صورت کامل تصادفی<sup>۴</sup> استفاده شده است.

## روابط محاسبه خطا و همبستگی مدل‌ها:

برای محاسبه میزان خطای هریک از فرمول‌های به دست آمده از الگوریتم‌ها جهت پیش‌بینی و تخمین میزان خشکسالی دریاچه ارومیه از پارامترهای شاخص پراکندگی (SI)<sup>۵</sup>، انحراف اریبی (Bias)، ضریب همبستگی (CC)<sup>۶</sup>، جذر متوسط مربع خطا (RMSE)<sup>۷</sup>، میانگین خطای مطلق (MAE)<sup>۸</sup>، شاخص توافق (Ia)<sup>۹</sup>، نسبت اختلاف (DR)<sup>۱۰</sup> استفاده شد، هریک از این پارامتره به شرح زیر هستند:

شاخص پراکندگی:

$$SI = 1 - \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (XI - Yi)^2}}{\bar{x}}$$

## انحراف (اریبی):

اختلاف میانگین داده‌های اندازه‌گیری و محاسباتی می‌باشد:

$$Bias = \bar{y} - \bar{x}$$

## ضریب همبستگی:

شاخصی است که به منظور تعیین نوع همبستگی و میزان درجه رابطه بین دو متغیر به کار می‌رود و مقدار آن بین یک نوسان می‌کند، یعنی  $1 \leq CC \leq 1$  چنانچه  $CC = 1$  باشد، نشانگر این است که بین متغیرهای مورد بررسی همبستگی کامل و مستقیم موجود است و اگر  $CC = -1$  باشد بیان‌کننده این است که بین متغیرها همبستگی کامل ولی معکوس وجود دارد و مفهوم

<sup>1</sup> Test

<sup>2</sup> Train

<sup>3</sup> Algorithm Hybrid

<sup>4</sup> Random

<sup>5</sup> Scatter Index

<sup>6</sup> Correlation coefficient

<sup>7</sup> Root Mean Square Error

<sup>8</sup> Mean Absolute error

<sup>9</sup> Index of Agreement

<sup>10</sup> Discrepancy Ratio



CC=0 آنست که بین دو متغیر هیچ رابطه خطی (همبستگی) وجود ندارد.

$$C = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

ریشه میانگین مربعات خطا

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2}{N}}$$

میانگین خطای مطلق<sup>۱۱</sup>

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

در تمام روابط بالا  $x_i$  داده‌های اندازه‌گیری شده،  $y_i$  داده‌های پیش‌بینی شده،  $\bar{x}$  میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و  $\bar{y}$  میانگین داده‌های پیش‌بینی شده می‌باشند.

$$SDR = sd(I) - \sum_i \frac{|I_i|}{|I|} \times (I_i)$$

شاخص توافق

$$I_a = 1 - \frac{\sum (x_i - y_i)^2}{\sum (|x_i - \bar{x}| + |y_i - \bar{y}|)^2}$$

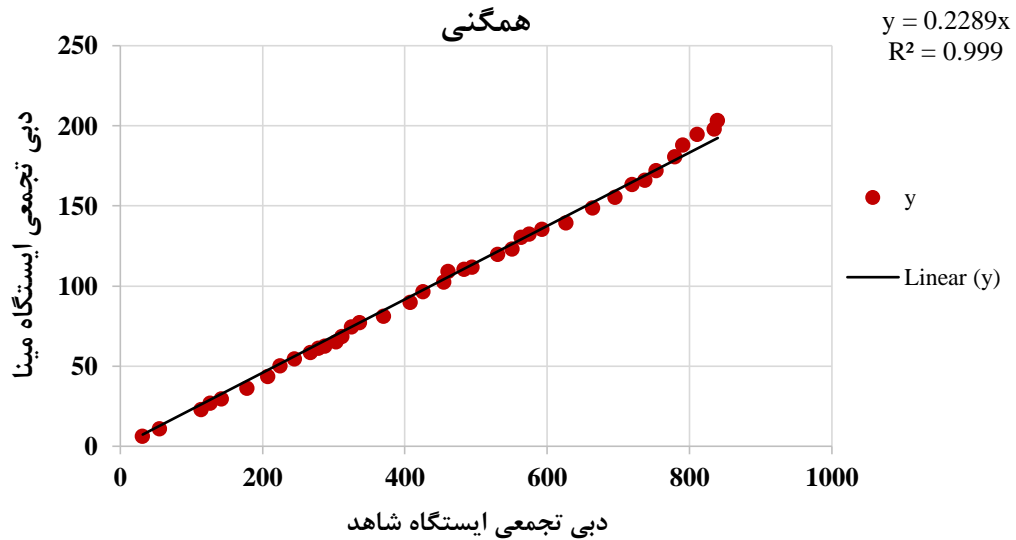
نسبت اختلاف

$$DR = \frac{1}{N} \sum \frac{y_i}{x_i}$$

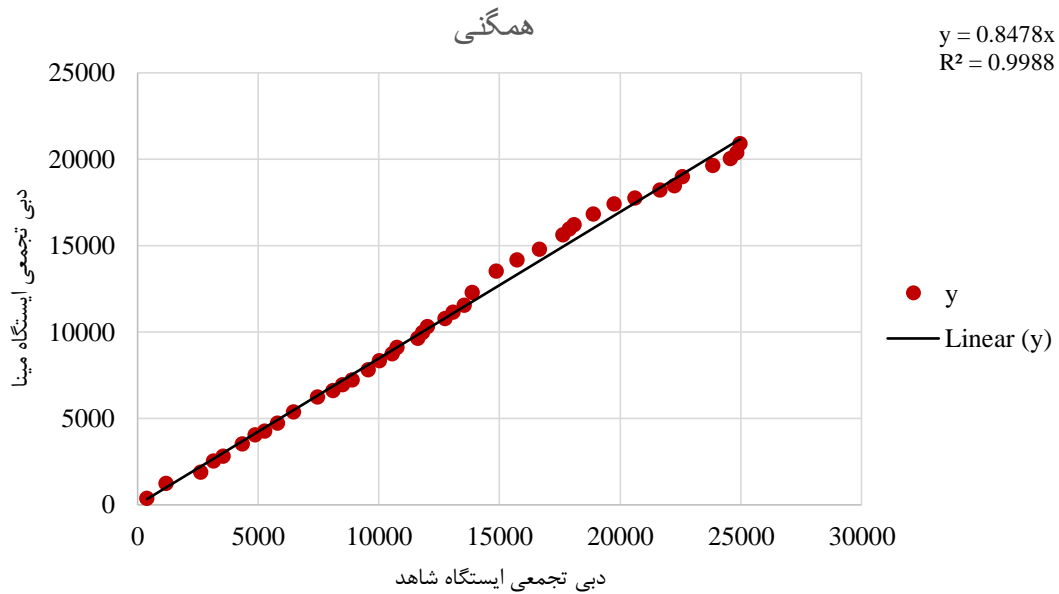
در این معادله، I مجموعه رکوردهایی است که به گره می‌رسند، I<sub>i</sub> آنهایی هستند که در نتیجه تقسیم گره با توجه به پارامتر انتخاب شده و sd انحراف استاندارد است.

در نمودارهای زیر میزان همبستگی با توجه به روابط بالا را نشان می‌دهد.

<sup>11</sup> Mean Absolute Error



شکل ۳. همگنی ایستگاه‌ها



شکل ۴. همگنی ایستگاه‌ها

### بحث و نتیجه گیری

علت استفاده و ترکیب الگوریتم‌های محاسبات نرم (M5-PSO, M5-GEP) تصادفی بودن انتخاب داده‌ها و دقت بالا این الگوریتم‌ها است. جدول زیر نتایج حاصل از ترکیب الگوریتم M5-GEP را نشان می‌دهد:



جدول ۱. نتایج حاصل از تست تصادفی و ایستایی بودن داده‌ها

نام ایستگاه	بیطاس				بی قلعه			
	Test		Trend		Test		Trend	
Month								
Oct.	-0.49	±1.94	1.27	±2	-1.58	±1.94	0.58	±2
Nov.	-0.62	±1.94	0.61	±2	-1	±1.94	1.32	±2
Dec.	-0.192	±1.94	2.17	±2	-2.36	±1.94	2.2	±2
Jan.	-0.96	±1.94	1.12	±2	-1.05	±1.94	2.04	±2
Feb.	-1.58	±1.94	1.45	±2	-2.01	±1.94	1.77	±2
Mar.	-0.61	±1.94	-0.078	±2	0.58	±1.94	-0.21	±2
Apr.	-0.89	±1.94	1.77	±2	-0.57	±1.94	1.5	±2
May.	0.062	±1.94	1.05	±2	-0.31	±1.94	1.48	±2
Jun.	0.063	±1.94	0.86	±2	1.22	±1.94	0.78	±2
Aug.	-1.66	±1.94	0.33	±2	-0.29	±1.94	0.51	±2
Sep.	-1.65	±1.94	1.32	±2	-1.58	±1.94	0.66	±2

## دما

جدول شماره ۲ نتایج آزمون M5-GEP برای دمانه ماکزیمم و مینیمم در ایستگاه های سینوپتیک شاخص را نشان میدهد:

جدول ۲: نتایج آزمون M5-GEP برای دما به صورت ماهانه و سالانه

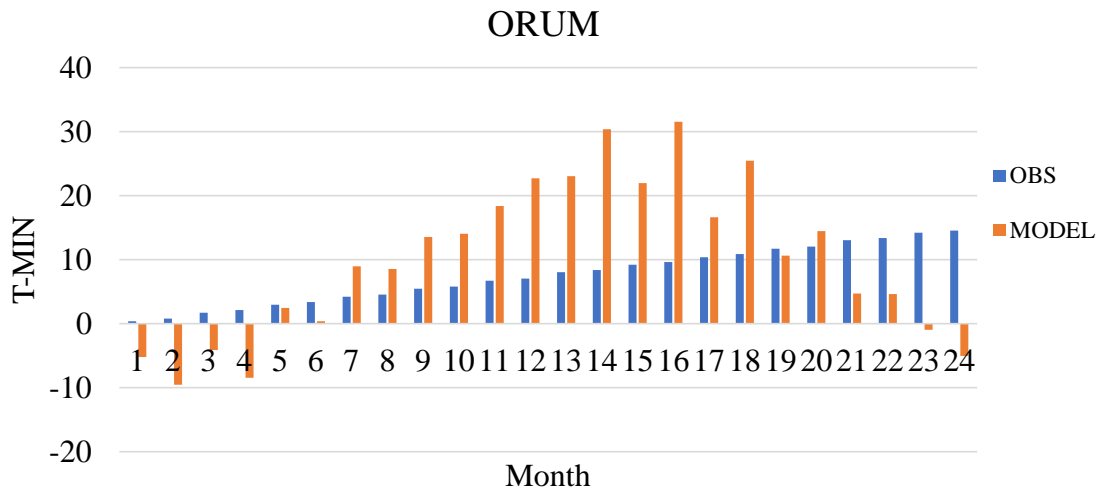
Temprate	Station	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
MIN	Urmia	0	0	-	0	-	0	-	-	-	-	-	-	0
MAX	Urmia	0	-	-	0	0	0	-	-	-	0	0	0	-

+ : روند افزایشی 0 : روند خنثی - : روند کاهشی

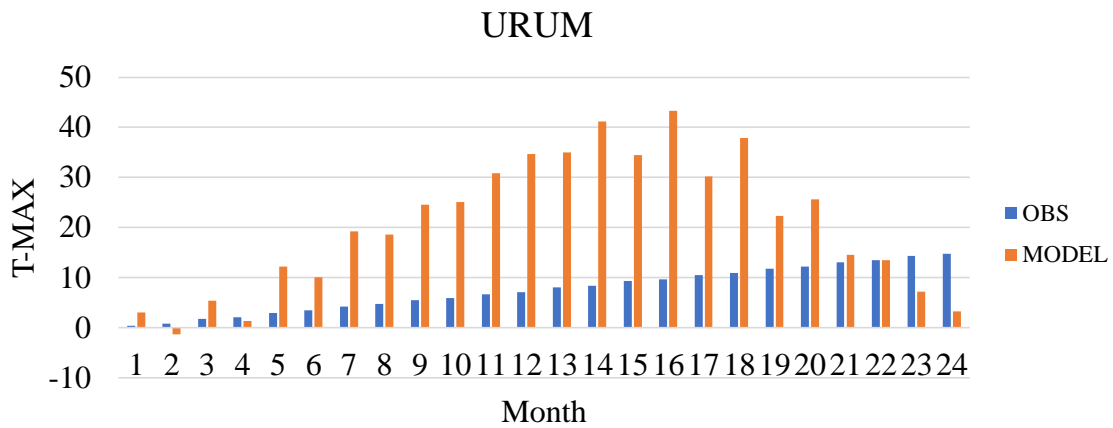
با افزایش دوره‌های خشکسالی، احتمال تجمعی عدم خشکسالی افزایش یافته، بطوریکه احتمال رویداد خشکسالی در منطقه برای داده‌های شبیه سازی شده با دوره پنج ساله و بیشتر در منطقه حدود نزدیک صفر پیش‌بینی می‌گردد. نتایج حاکی از آن است که تغییرات دمای ارومیه مثبت و رو به افزایش است.

نمودار زیر میانگین دمای پیش بینی و تخمین را نشان می‌دهد:





شکل ۵. مقایسه مینیمم زمان مشاهده شده و مدل شده ماهانه



شکل ۶. مقایسه ماکزیمم زمان مشاهده شده و مدل شده ماهانه

در جدول زیر دمای ارومیه توسط الگوریتم M5-GEP پیش بینی شده است.

جدول ۳: اختلاف الگوریتم پیش بینی شده با نتایج رخ داده

MAX	MIN	Temprate
ارومیه	ارومیه	Station
18.34	4.07	مشاهداتی
18.01	3.79	Pridectio
0.33	0.28	اختلاف



## بارش

در جدول زیر نتایج تخمین و پیش بینی روش M5-GEP برای بارش ماهانه و سالانه در ایستگاه سینوپتیک شاخص را نشان می دهد.

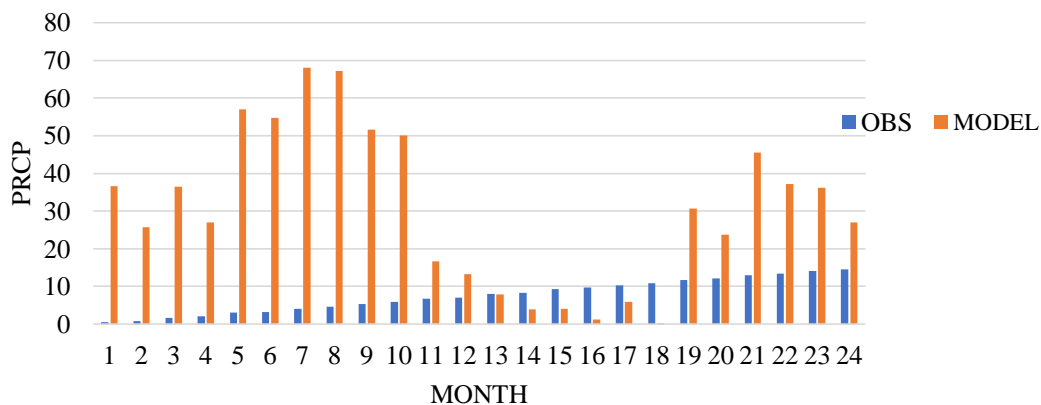
جدول ۴: تخمین و پیش بینی روش M5-GEP برای بارش ماهانه و سالانه در ایستگاه سینوپتیک

Station	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
Urmia	0		-	0	-	0	-	-	-	-	-	-	0

+ : روند افزایشی 0 : روند خنثی - : روند کاهشی

با بررسی پارامتر بارش همانطور که مشخص است روند بارش ماهانه و سالانه نزولی می باشد.

## ORUM

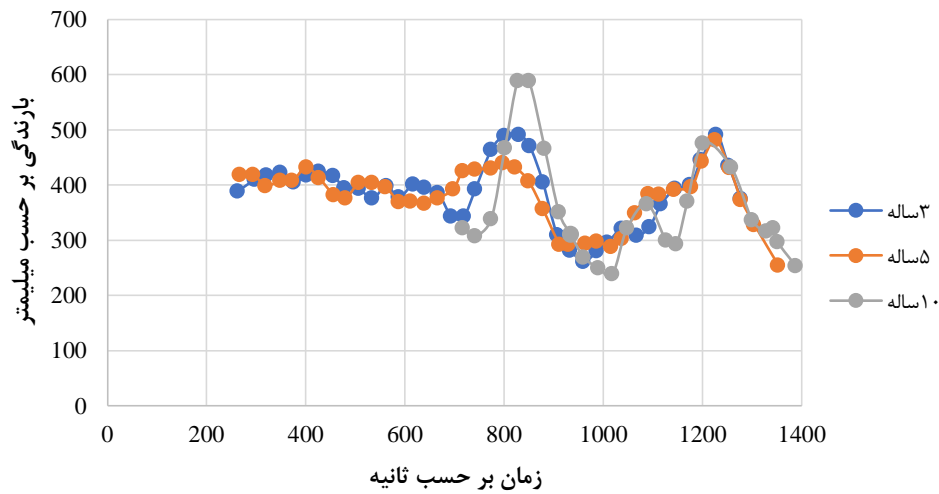


شکل ۷. مقایسه میزان بارش مشاهده شده و مدل شده ماهانه

مقادیر بارش از سال ۲۰۲۱-۲۱۲۱ را می توان به صورت نمودار زیر نشان داد: تحلیل های تغییر اقلیم و خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد در دوره های مختلف و مناطق مختلف می تواند نمای کلی از اقلیم و خشکسالی را نشان دهد. بطوری که براساس این شاخص در اینجا در اکثر ایستگاه های واقع در شرق دریاچه ارومیه در دوره های آتی شاهد تغییرات اقلیمی خواهیم بود.



## URUM



شکل ۸. میانگین دینامیک ایستگاه ارومیه

همانطور که نمودارهای بالا نشان میدهد براساس شاخص بارش استاندارد بر اساس این پارامتر مشابه پارامترهای قبلی در اکثر ایستگاه‌های آذربایجان غربی شاهد تغییرات اقلیمی خواهیم بود.

جدول ۵. بارش پیش بینی شده توسط M5-GEP

ارومیه	ایستگاه
26.2	مشاهداتی
25.88	پیش بینی
1.01	درصد کاهش

### شدت خشکسالی

در این تحقیق جهت برآورد مقادیر شدت خشکسالی برای درک بهتر بصورت مقادیر مثبت در نظر گرفته شده است. (جدول ۶) نمونه ای از شدت‌های خشکسالی توسط شاخص بارش استاندارد برای ایستگاه‌های نمونه را نشان می‌دهد. نتایج این بخش برای داده‌ها با نتایج پژوهشی امیر عطایی (۱۳۹۰) را که مدلسازی خشکسالی را در شمال غرب ایران با استفاده از شبیه سازی انجام دادند، مطابقت دارد.

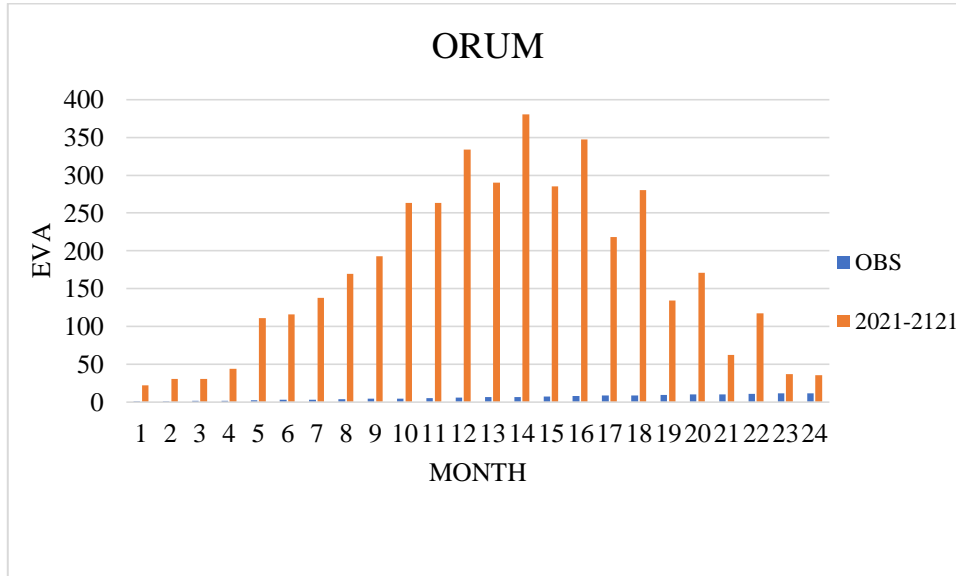
جدول زیر نتایج آزمون برای تبخیر ماهانه در ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان می‌دهد:

جدول ۶. نتایج آزمون برای تبخیر به صورت ماهانه و سالانه

Station	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
Urmia	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0	+



جدول ۶ نشان می‌دهد روند تبخیر دما افزایشی می‌باشد.



شکل ۹. تخمین مقادیر تبخیر در دوره ۲۰۲۱-۲۱۲۱ در ایستگاه‌های سینوپتیک

جدول ۷. تبخیر پیش بینی شده توسط M5-GEP

ارومیه	ایستگاه
38.7	مشاهداتی
38.2	پیش بینی
1.013	درصد کاهش

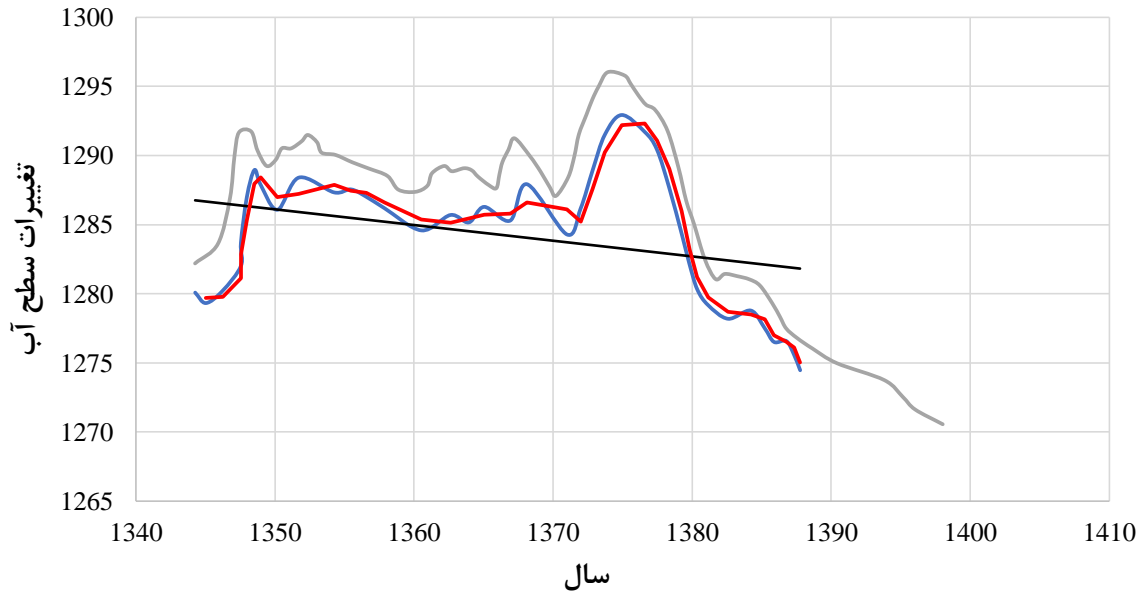
## مقایسه شاخص بارش استاندارد براساس کلاس بندی مقادیر ترسالی و خشکسالی

در این مطالعه، داده‌های برگرفته از خلاصه نتایج مطالعات پایه گزارش‌های هواشناسی و هیدرولوژی مدیریت جامع منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفته است. لازم است که داده‌های مورد مطالعه از لحاظ آماری تقریباً همگن می‌باشند.

پس از آماده سازی داده‌ها (دسته بندی با الگوریتم M5) روند عوامل هواشناسی و هیدرولوژیکی موثر حوضه آبریز دریاچه ارومیه بررسی شد. بدین منظور برای استفاده از M5-GEP و رگرسیون خطی به بررسی روند تغییرات پارامترهای دما، بارش و تبخیر در سطح دریاچه، رواناب سطحی ورودی به دریاچه، تغییرات تراز سطح آب دریاچه و حجم دریاچه بررسی شد. نتایج حاصل از آزمون M5-GEP و روش رگرسیونی در جدول ۸ گزارش شده است. به عنوان نمونه مقادیر تغییرات سطح آب دریاچه برای بازه زمانی هفتاد ساله مذکور در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

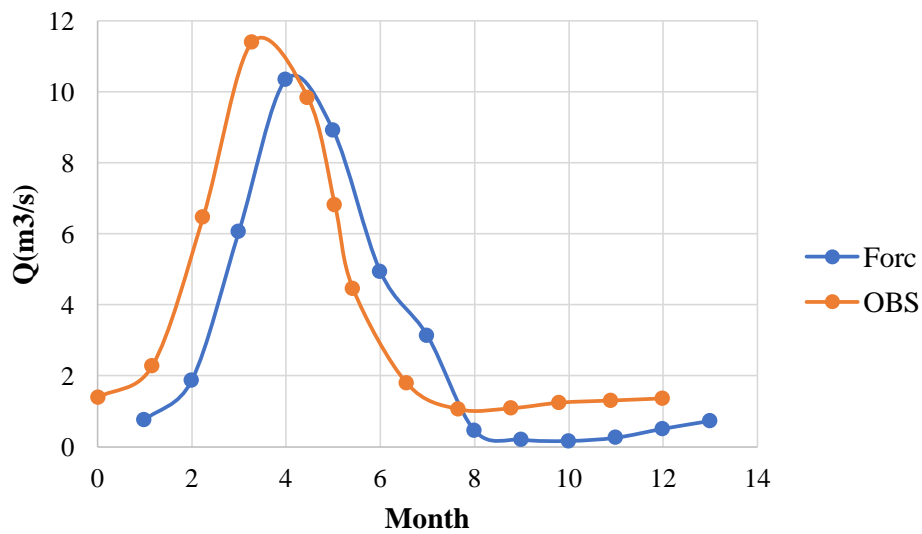


روند تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه



شکل ۱۰. روند تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه برای دوره آماری ۷۰ ساله

همانطور که نمودار بالا نشان میدهد تغییرات آب علاوه بر تغییر اقلیم با توجه به نتایج زیر می‌تواند بر روی دبی ماهانه و سالانه تغییرات زیادی بگذارد.



شکل ۱۱. میزان تغییرات دبی ماهانه دریاچه ارومیه



جدول ۸. نتایج آزمون M5-GEP

سری زمانی	معادله رگرسیون	R <sup>2</sup>
متوسط سطح آب دریاچه	$Y=-0.3X+1234$	0.83%
متوسط ارتفاع بارش بر دریاچه	$Y=-0.17X+253$	0.1%
متوسط جریان سطحی ورودی	$Y=-85.3X+10008$	12.4%
متوسط حجم بارش بر دریاچه	$Y=-4.53X+1448$	2.1%
متوسط حجم تبخیر از دریاچه	$Y=30.8X+7745$	24.2%
تغییرات حجم دریاچه	$Y=-19.01X+19124$	0.2%
تغییرات دما	$Y=0.04X+8.96$	19.9%

## نتایج

نتایج حاصل از این تحقیق در مورد پارامتر تعداد دوره‌های خشکسالی نشان می‌دهد که ما در بیشتر ایستگاه‌های که در شرق دریاچه واقع شده اند یعنی در آذربایجان شرقی، در دوره‌های آبی بر مبنای این شاخص شاهد نوسان در تعداد دوره‌های خشکسالی و چند مورد هم در ایستگاه‌های آذربایجان غربی شاهد نوسان در دوره‌های خشکسالی خواهیم بود، که این خود حاکی از تغییرات اقلیمی در دوره‌های آبی خواهد بود. نتایج حاصل از این محاسبات نشان می‌دهد که بر اساس شاخص بارش استاندارد و پارامتر تعداد دوره‌های خشکسالی، در دریاچه ارومیه روبرو خواهیم شد. بر اساس این توضیحات این تحلیل‌ها به ما هشدار می‌دهند که خشکسالی نیز خواهیم داشت بنابراین ارائه تمهیداتی جهت کنترل خشکسالی امری ضروری است. در نهایت نتایج حاصل از آزمون M5-GEP بر اساس پارامترهای مختلف خشکسالی میزان تغییرات اقلیمی را در دو دوره آبی در حوضه دریاچه ارومیه را بترتیب، ۳۷ و ۴۴ درصد را نشان داد.

نتایج نشان می‌دهد که طی دوره سال‌های ۱۳۸۹-۱۴۰۱ تراز سطح آب دریاچه، جریان سطحی ورودی به پیکره دریاچه، متوسط حجم بارش بر دریاچه و تبخیر از سطح دریاچه روند کاهشی معنی داری داشته است. همچنین نتایج آزمون برای پارامتر دما روند افزایشی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج آزمون رگرسیون خطی روند کاهشی عامل‌های متوسط جریان ورودی به حوضه آبریز ارومیه و تبخیر از روند پراهمیتی برخوردار می‌باشد. همچنین نتایج این آزمون اهمیت روند افزایشی دما را نشان داد. تبخیر از سطح دریاچه با توجه به روند افزایشی دما در طول سال‌های اخیر روندی کاهشی را نشان می‌دهد که دلیل اصلی آن می‌تواند کاهش سطح آب دریاچه ارومیه و افزایش شوری آب دریاچه باشد. به طور کلی نتایج این تحقیق، با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و بررسی‌های انجام شده در ارتباط با اقلیم منطقه با نواحی دیگر مشخص می‌کند که در منطقه مورد مطالعه، متوسط بارش در ارومیه بین ۶۰۰ تا ۶۱۰ میلی‌متر بوده و متوسط دما بین ۹۹ تا ۹۱ درجه سانتی‌گراد بوده، مشاهده می‌شود که میزان دما در حدی نبوده که بتوان تغییرات سطح آب دریاچه را صددرصد به تغییرات اقلیمی نسبت داد، و اثرات ناشی از آن را کم ارزیابی کرده است. نتایجی که برای دیگر حوضه‌های کشور نیز قابل پیش‌بینی است و لزوم توجه به آن مشهود می‌باشد.



از این رو به کارگیری متخصصان علمی در سیستم‌های پیش هشدار برای پیش‌بینی و تخمین خشکسالی با روش‌های الگوریتم‌های محاسبات نرم پیرامون راهکارهای مقابله با خشکسالی کمک بسیاری در جهت کارآمدی و اثر بخشی خواهد داشت.

## مراجع

- [1] امیر عطایی، ب، منتصری، م، یاسی، م، مقایسه عملکرد ذاتی هفت شاخص خشکسالی در پایش خشکسالی با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۳، شماره ۱، بهار ۹۲
- پایان، «ارزیابی شاخص‌های خشکسالی در سیستم‌های چندگانه با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو»
- [2] امیر عطایی، ب. ۱۳۹۰ نامه کارشناسی ارشد دانشگاه ارومیه
- [3] سبزی پرور، ع، کاظمی، آ. "ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از تحلیل خوشه ای" مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۳۸۹
- [4] تقوی، ف. (۹۸۳۰) روند شاخص‌های حدی دما و بارش در ایران. پایان نامه دوره ی دکتری رشته اقلیم شناسی. دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.
- [5] سیف ز، معروفی ص، زارع ایبانه ح، قیامی شمامی ف. (۹۸۳۳)، "مطالعه تغییرات اقلیمی سبزوآر با استفاده از دما و بارش" همایش ملی بحران آب در کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری
- [6] حجام س، خوشخوی، شمس الدین وندی ر. (۹۸۳۱). "تحلیل روند تغییرات بارندگی های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش های ناپارامتری"، فصل نامه پژوهش های جغرافیایی، شماره ۹۰، صفحات ۹۱۱ تا ۹۹۳.
- [7] خسروی م، اسمعیل نژاد م، نظری پور ح. (۹۸۳۱). "تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب خاورمیانه"، چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام.
- [8] رحیم زاده ف، هدایت دزفولی ا، پوراصغریان، آ. (۹۸۱۰)، "ارزیابی روند و جهش نمایه های حدی دما و بارش در استان هرمزگان"، فصل نامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۹، صفحات ۱۱ تا ۹۹۹.
- [9] عزیزی ق، شمسی پور ع، یار احمدی ر. (۹۸۳۱)، "بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل های آماری چند متغیره"، فصل نامه پژوهش های جغرافیایی طبیعی، شماره ۹۹، صفحات ۹۱ تا ۸۱.
- [10] عزیزی ق، روشنی م. (۹۸۳۱)، "مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من کندال"، فصل نامه پژوهش های جغرافیایی، شماره ۹۰، صفحات ۹۸ تا ۲۳.
- [11] علیزاده امین، ۹۸۳۱ هیدرولوژی کاربردی انتشارات دانشگاه امام رضا چاپ بیست و هشتم ۳۱۰ ص.
- [12] اقرسانی، م، سلطانی، ا. (۹۸۳۹)، "بررسی تغییر اقلیم گرگان طی چهل سال گذشته"، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی
- [13] قهرمان ن، بذرافشان ج، قره خانی ا. (۹۸۳۳)، "تحلیل روند تغییرات تبخیر از تشت در مقیاس سالانه و فصلی در استان خوزستان با استفاده از روش های پارامتری و ناپارامتری"، دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.
- [14] کوثری م، اختصاصی م، تازه م، صارمی نائینی ع. (۹۸۳۱)، "بررسی روند تغییرات بارش، دما و رطوبت نسبی در ۲۹ ایستگاه سینوپتیک کشور"، ویژه نامه منابع طبیعی.
- [15] محمدی، م. (۹۸۳۰) بررسی روند تغییرات دما، بارش، رطوبت و ساعات آفتابی در تهران) ۹۸۰۰ ۹۸۱۰. (پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته - جغرافیای طبیعی. دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس.



- [16]-Abebe, A., and Forch, G. 2007. Stochastic Simulation of the Severity of Hydrology Drought, *J. Water and Environment*, 21: 223-233.
- [17]-Bars, R. L., "Hydrology: An Introduction to Hydrologic Science", Addison-Wesley Publishing Co., New York, USA, 1990.
- [18]-Kendall M.G.; Stuart A., "The Advanced Theory of Statistics", Charles Griffin & Company, London, High Wycombe, 1976, 400-401.
- [19]- McKee, T. B., Doesken N. J. and Kleist, J. 1993, The relationship of drought Frequency and duration to time scales, 8th conference on Applied Climatology.
- [20]-McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. 1993. The relation of drought frequency and duration to time scales. Proceedings, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, 379-384.
- [21]-McKee, T. B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. In: Proc. 9th Conf. on Applied Climatology, January 15 - 20, 1995. American Meteorological Society, Massachusetts: 233 - 236.
- [22]-McGhee, J. W., "Introductory Statistics", West Publishing Co., New York, USA, 1985.
- [23]- Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought. Research. Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
- [24]-Paulo, A.A., Ferreira, E., Coelho, C., Pereira, L.S. 2005. Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning, *Agricultural Water Management*, 77: 59-81.
- [25]- Steinmann, A. 2003. Drought Indicators and Triggers: A Stochastic Approach to Evaluation. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 39(5):1217-1233.
- [26]-Thompson, S.A. 1999. Hydrology for water management, Balkema, Rotterdam Netherlands.
- [27]Hayes, M., 2000. Drought Indices. National Drought Mitigation Center. University of Nebraska- Lincoln.
- [28]McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales, Paper Presented at 9th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Dallas, Texas Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought, Research Paper, No. 45. Cutforth, h,b., Gwoodvin, R., J. Mcconkey, D.G. smith, P.G. Jefferson., (1999). "climate change in the semiarid prairie of south western saakthwestern: late winter-early spring. *can.plant.sci.* 79:343-353.
- [29] Bryson, K. a ., (1997). "the paradigm pf climatology :an essay". *Bul. Amer. Meteor. soc*
- [30] Grieser J., S. Tromel, C. D. Schonwiese., (2002): statistical time series decomposition into significant components and application to European temperature, *Theor. Appl. climatol.* 71, pp. 171-183.
- [31] Garbrecht, J., Liew, M.V. and Brown, G.O. (2004). "Trends in precipitation, streamflow and evapotranspiration in the Great Plains of the United States", *Journal of Hydrologic Engineering*
- [32] Jiang, T., Su, B. and Hartmann, H. (2007). "Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961–2000", *Geomorphology*.
- [33] Mutreja. 1986. *Applied Hydrology*. New Delhi.
- [34] Maidment, M, 1992, *Handbook of hydrology*. Dover, New York.
- [35] Thodsen, H. (2007). "The influence of climate change on stream flow in Danish rivers
- [36] Xu, C.Y. (2000). "Modelling the Effects of Climate Change on Water Resources in Central Sweden", *Water Resources Management*.
- [37] Maidment, M, 1992, *Handbook of hydrology*. Dover, New York.
- [38] Chen, Jie., Francois P, Brissette, Robert, L., 2011. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology, *Jurnal of Hydrology*, 401, 190-202.
- [39] Dibike YB, Coulibaly P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology* 307: 145–163.
- [40] Hessami, M., Gachon, P., Quarda, T.B.M.J. and St-Hilaire, A., 2008. Automated regression-based Statistical downscaling tool, *Environmental Modelling & Software*, 23, 813-834.
- [41] IPCC, (2007a). "Climate Change 2001: Impacts Adaptation and Vulnerability", Contribution of Working Group II, Cambridge University Press. New York, USA.
- [42] Semenov MA, Brooks RJ, Barrow EM, Richardson CW. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research* 10: 95–107.
- [43] Wilby, R.L., L.E., Leavesley, G.H., 1999. A comparison of downscaled and raw GCM output: implications for climate change scenarios in the San Juan River basin, Colorado. *Journal of Hydrology* 225, 67-91.
- [44] Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M., 2002. SDSM e a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling and Software* 17, 147e159.





# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

- [45]Wilks D.S. and Wilby R.L. 1999: The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography* 23, 329-357.
- [46].Ahmed S. Mazumder Q. Jahan C. Ahmed M. and Islam S. 2002. Hydrochemistry and classification of groundwater, Rajshahi city corporation area, Bangladesh. *JGeolSocIndia* 60: 411-418.
- [47]Anbazhagan S. and Nair A. 2004. Geographic information system and groundwater quality mapping in Panvel basin, Maharashtra, India. *J. Environ. Geol.* 45: 753-761.
- [48]Bronswijk H. and Prins H. 2001. Nitrogen inputs and nitrate concentrations in the deeper groundwater of the Netherlands. *H2O*, 25/26: 27-29.
- [49]Broers H.P. 2004. The spatial distribution of groundwater age for different Geohydrological situations in the Netherlands: Implications for groundwater quality monitoring at the regional scale. *J. of Hydrology*, 299(1/2): 84-106.
- [50]Ford M. and Tellam J.H. 1994. Source, type and extent of inorganic contamination within the Birmingham urban aquifer system, UK. *J. of Hydrology*, 156: 101-135.
- [51]Hallberg G.R. and Keeney D.R. 1993. Nitrate. PP. 297-322. In: Alley, W.M. (Ed.), *Regional Ground-Water Quality*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- [52]Hillel D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press, New York, 413 pp.
- [53]Kannel PR. Lee S. and Lee YS. 2008. Assessment of spatial-temporal patterns of surface and ground water qualities and factors influencing management strategy of groundwater system in an urban river corridor of Nepal. *J. of Environ. Manage.* 86: 595-604.
- [54]Saleh A. Ruwaih A.F. and Shehata M. 1999. Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. *J. Arid Environ.* 42: 195-209