

## کارآیی نمایه های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالی های حوزه آبخیز دریاچه های بختگان، طشک و مهارلو

مهدی وفاخواه<sup>۱</sup>، منصور رجبی<sup>۲</sup>

۱- مربی گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ وصول: ۸۳/۱۲/۴

### چکیده

خشکسالی به عنوان یکی از بزرگترین بلاایای طبیعی محسوب می شود که تاثیر آن بر جوامع بشری بیشتر از سایر بلاایای طبیعی می باشد. برای بررسی خشکسالی ها چندین نمایه خشکسالی هواشناسی وجود دارد. اگر چه هیچکدام از نمایه ها برتری مطلق نسبت به سایر نمایه ها در همه شرایط ندارند اما از آنجا که هر یک از نمایه ها برای اهداف معینی سنتز شده اند، بررسی خشکسالی با آنها ممکن است به جوابهای متعددی مبنی بر وجود یا عدم وجود خشکسالی منتج شود و لذا بعضی از آنها برای محیط ها و کاربردهای خاصی بهتر هستند.

در این مقاله نمایه های عدد (Z-Score) Z، درصد نرمال بارندگی (PNPI)، دهکهای بارندگی (DPI)، ناهنجاری بارش (RAI) و بارش استاندارد (SPI) حوزه آبخیز دریاچه های بختگان، طشک و مهارلو مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا محاسبه نمایه های مذکور با استفاده از آمار ماهانه بارندگی در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۷۸-۱۳۴۹) مربوط به ۸ ایستگاه هواشناسی واقع در حوزه آبخیز دریاچه های بختگان، طشک و مهارلو در مقیاسهای زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه انجام شد. سپس نمایه ها از مقیاس ماهانه به واحد مشترک سالانه تبدیل گردیدند و به منظور انتخاب مناسبترین نمایه از همبستگی بین نمایه ها، کمینه بارندگی در طول دوره آماری و میانگین و انحراف معیار ضریب همبستگی رتبه ای با نوسانات بارندگی سالانه استفاده شد. نمایه های دهکهای بارندگی و درصد نرمال بارندگی مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی رخداد خشکسالی بسیار شدید و شدید را در تمام ایستگاههای تحت مطالعه گزارش نموده از انحراف معیار کمتر و میانگین بیشتری نسبت به سایر نمایه ها برخوردار هستند به همین دلیل کارآیی بیشتری نسبت به سایر نمایه ها برای تعیین خشکسالی های هواشناسی دارند.

**واژگان کلیدی:** خشکسالی هواشناسی، نمایه خشکسالی، بارندگی، ارزیابی خشکسالی، پایش خشکسالی، حوزه آبخیز دریاچه های بختگان، طشک و مهارلو.

### مقدمه

خشکسالی ممکن است ناشی از کمبود بارندگی، کاهش رطوبت خاک یا افت سطح تراز منابع آب سطحی و زیر زمینی و یا ترکیبی از این سه عامل باشد. اگر چه در آنالیز کامل پدیده خشکسالی بایستی بارندگی، رطوبت خاک و رواناب را با هم در نظر گرفت اما همه این عوامل به طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تاثیر میزان بارندگی قرار دارند به طوریکه کاهش رطوبت خاک و در بلند مدت باعث افت سطح تراز منابع آب سطحی و زیر زمینی می گردد. بنابراین نمایه های خشکسالی هواشناسی که تنها بر اساس داده های بارندگی محاسبه می شوند و تحت تاثیر پارامترهای فیزیوگرافی قرار نمی گیرند نسبت به سایر نمایه ها برای پایش و ارزیابی خشکسالی ها بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند و چون نمایه های مزبور در مقیاسهای زمانی متفاوت قابل محاسبه هستند به ما اجازه می دهند که خشکسالی را برای اهداف هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی محاسبه نمائیم (لوکاس و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳). تحقیقاتی متفاوتی در زمینه نمایه های خشکسالی صورت گرفته است که از جمله مهمترین آنها می توان به این موارد اشاره نمود.

مک کی<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۱۹۹۵ با مقایسه ضرایب همبستگی بین دو نمایه بارش استاندارد و پالمر در مقیاسهای زمانی متعدد به این نتیجه رسیدند که این دو شاخص حداکثر همبستگی را در مقیاس

از دیدگاه کلی بلایای طبیعی به دو دسته تقسیم می شوند، یک دسته از بلایای ناشی از فعالیتها و فرآیندهای زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی از قبیل زلزله، آتشفشان، زمین لغزه و ... بوده و دسته دیگر ناشی از فرآیندهای آب و هوایی است که از فراوانی و گستردگی بیشتری بر خوردار هستند. از این دسته می توان به رخدادهایی از قبیل سیل، خشکسالی، طوفانهای شدید و ... اشاره کرد. بررسیهای انجام شده نشان می دهد که خشکسالی از نظر فراوانی وقوع و همچنین ویژگیهایی شدت، مدت، وسعت، تلفات جانی، خسارات اقتصادی، آثار اجتماعی و آثار شدید دراز مدت نسبت به سایر بلایای طبیعی اولویت داشته و مخاطره آمیزتر است و بنابراین نیاز به توجه بیشتر در تصمیم گیری های سیاسی دارد (ویلپیت<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰).

نظر به اهمیت پدیده خشکسالی از دیدگاه محققان رشته های مختلف علوم تعاریف ویژه ای از این پدیده ارائه شده است و روشهای مطالعاتی خاصی برای مطالعات خشکسالی ابداع شده است. ابزار سنجش خشکسالی در هر یک از این روشها نمایه هایی است که توسط محققان آن رشته ارائه شده است (ویلپیت و گلانتز<sup>۲</sup>، ۱۹۸۵).

اولین گام ضروری برای بررسی خشکسالی مشخص نمودن زمینه فعالیت و تحقیق می باشد. بحران

3 - Loukas et al  
4- Mackee

1 - Wilhite  
2 - Wilhite and Glantz

فرج زاده در سال ۱۳۷۴ با بررسی نمایه های مختلف خشکسالی، نمایه درصد نرمال بارندگی (PNPI) را به علت سادگی، جامعیت و انعطاف پذیری به عنوان نمایه مناسب انتخاب نمود و به بررسی خشکسالی ها در کل کشور پرداخت.

ثنایی نژاد در سال ۱۳۷۹ به بررسی خشکسالی و ارزیابی نمایه های بارش استاندارد و درصد نرمال در استان خراسان پرداخت و نتیجه گرفت که آستانه های نمایه های بارش استاندارد برای تعریف وضعیت اقلیمی در خراسان مجدداً بایستی تعریف شود.

حسنی ها و صالحی در سال ۱۳۷۹ وضعیت دوره های خشک و روند آن را در استان زنجان بر اساس چهار نمایه آماری درصد بارش میانگین، انحراف از میانگین، کلاسه بندی بارش و توزیع استاندارد مشخص و توصیف کرده اند.

قطره سامانی در سال ۱۳۸۰ روند خشکسالی ها و ترسالی های استان چهار محال و بختیاری را با استفاده از نمایه دهکها بررسی و دوره و روند خاصی نتوانست در میان آنها پیدا کند و با توجه به دهک اول و دوم و سوم نشان داد که از شرق به غرب و همچنین از شمال به جنوب تعداد دوره های خشک کاهش یافته است.

رضیئی و همکاران در سال ۱۳۸۲ برای شناخت توزیع مکانی خشکسالی های منطقه ای، پس از تعیین خشکسالی های استانهای یزد و اصفهان با استفاده از نمایه SPI نقشه گستره خشکسالی ها را در این دو استان تهیه کردند.

زمانی نزدیک به ۱۲ ماهه دارند که در این مقیاس ضریب همبستگی نزدیک به ۹۰٪ است و کمترین همبستگی مربوط به مقیاس زمانی ۲۴ ماهه است.

هایز<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۰ به مقایسه نمایه های SPI و پالمر در ایالت مختلف آمریکا پرداخت و به این نتیجه رسید که SPI، مناطق با حساسیت خشکسالی را حداقل یک ماه زودتر از نمایه پالمر نشان می دهد. دوپگنی - گیروکس<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۱ برای بررسی تاثیرات خشکسالی در سال ۹۹-۱۹۹۸ در ایالت ورمونت<sup>۳</sup> از بین نمایه های تجزیه و تحلیل خشکسالی، نمایه SPI را برای مطالعه در مقیاسهای زمانی کوچک تا متوسط به عنوان بهترین روش برای اندازه گیری خشکسالی معرفی کرد و با بررسی نمایه های مختلف (نمایه رطوبت محصول، نمایه بارش استاندارد و نمایه پالمر اصلاح شده) نشان داد که در مقیاس یک ماهه، نمایه بارش استاندارد بهتر از نمایه پالمر در ثبت شروع شرایط خشکسالی و شرایط آن عمل می کند.

لوکاس<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۳ به محاسبه سه نمایه (عدد Z، ناهنجاری بارش و بارش استاندارد) برای مطالعه خشکسالی هواشناسی در مقیاسهای زمانی متفاوت در یونان پرداختند. نتایج نشان داد که هر سه نمایه روند مشابه ای در مقیاس ۱۲ ماهه برای تعیین خشکسالی ها و ترسالی ها داشتند و همچنین این نمایه ها مطابقت خوبی با نمایه خشکسالی پالمر (PDSI) در تعیین خشکسالی دارند.

1-Hayes  
2-Dupigny-Girux  
3-Vermont  
4-Loukas

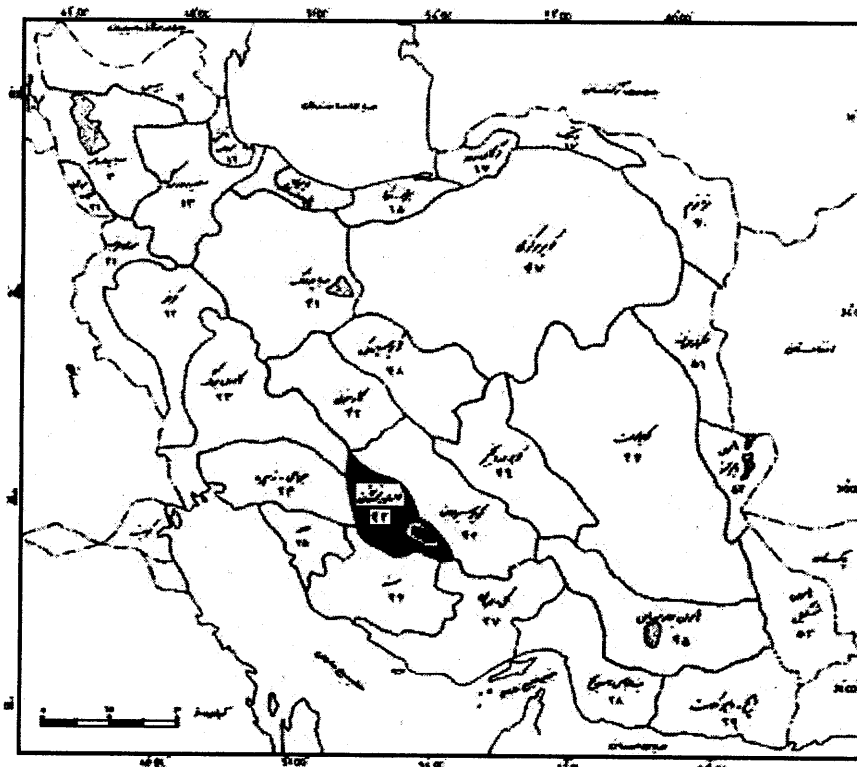
مهارلو با وسعت ۳۱۵۱۱ کیلومتر در نوار مدارهای تقریبی ۲۹ تا ۳۱ درجه شمالی و ۵۲ تا ۵۴ درجه شرقی قرار گرفته است. ارتفاع حوزه آبخیز دریاچه بختگان، طشک و مهارلو از ۱۴۶۰ متر در سطح دریاچه طشک تا ۳۹۴۳ متر در کوههای بوانات متغیر است. ترکیب ارتفاع و عرض جغرافیایی در این حوزه شرایط بسیار مناسبی را برای ایجاد آب و هوای نیمه خشک تا مرطوب را به وجود آورده است. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز دریاچه طشک، بختگان و مهارلو را در ایران نشان می دهد.

خلیلی و بذرافشان در سال ۱۳۸۲ به مطالعه برخی نمایه های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که نمایه های دهکهای بارندگی (DPI) و نمایه معیار بارندگی سالانه (SIAP) بهترین کاربرد را برای ارزیابی خشکسالی های هواشناسی در ایران دارند.

### مواد و روشها

#### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دریاچه های بختگان، طشک و



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز دریاچه های بختگان، طشک و مهارلو در ایران

بخش قابل توجهی از نزولات را نزولات جوی جامد تشکیل می دهد. رژیم بارندگی حوزه آبخیز دریاچه های بختگان، طشک و مهارلو مدیترانه ای

متوسط بارندگی سالانه در این حوزه آبخیز از ۲۰۰ میلیمتر در جنوب شرقی تا ۷۰۰ میلیمتر در ارتفاعات شمال غرب حوضه متغیر است. در این حوزه آبخیز

شده است تا محققین زیادی، به خصوص محققین استرالیایی، از آن استفاده نمایند. این نمایه از رابطه (۱) به دست می آید.

$$PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه:  $P_i$  بارندگی ماه  $i$  و  $\bar{P}$  میانگین دراز مدت بارندگی همان ماه است. این نمایه همواره مثبت بوده و از قسمت پایین محدود به صفر و از قسمت بالا از نظر تئوری محدودیتی ندارد. طبقات مختلف این نمایه در جدول ۱ درج شده است.

### نمایه دهکهای بارندگی

نمایه دهکهای بارندگی<sup>۳</sup> (DPI) اولین بار توسط گیس و ماهر برای اجتناب از بعضی نقاط ضعف روش درصد نرمال به کار گرفته شد و مشخص می کند که بارش یک ماه معین در چه بازه ای از دهکهای متوالی سری بارندگی ماهانه یا سالانه قرار گرفته است (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲). به منظور محاسبه دهکها ابتدا داده های بارندگی ماهانه یا سالانه به صورت صعودی یا نزولی مرتب می شوند. سپس احتمال وقوع بارش یک ماه یا سال معین از رابطه (۲) تعیین می گردد:

$$Pi = \frac{i}{N+1} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه:  $Pi$  احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف  $i$  ام و  $N$  تعداد داده های بارندگی می باشد. در این صورت بر حسب اینکه یک مقدار در چه فاصله دهکی (فاصله ۱۰ درصدی) قرار گرفته باشد

است و در مقیاس منطقه ای در پنج ماه از سال از خرداد لغایت مهر ماه، مقدار بارندگی ناچیز و در حدود صفر بوده و بخش اعظم نزولات جوی در سه ماه زمستان نازل می گردد.

### روش کار

از آنجائیکه هدف از این تحقیق بررسی کارایی نمایه های خشکسالی برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه بود به همین علت آمار کلیه داده های بارندگی ایستگاههای هواشناسی موجود در منطقه از سازمان هواشناسی و سازمان تحقیقات منابع آب جمع آوری، و مورد بررسی قرار گرفت و ایستگاههای که دارای آمار مناسب و طولانی مدت (بیشتر از بیست سال) بودند انتخاب شدند و با انتخاب پایه زمانی مشترک آماری، درستی و صحت داده ها و با روش آزمون توالی<sup>۱</sup> همگنی داده ها بررسی شد و با روش همبستگی بین ایستگاهها نواقص آماری برطرف گردید (مهدوی، ۱۳۷۱). در نهایت نمایه های خشکسالی در مقیاسهای ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه به روش ذیل محاسبه گردید.

### نمایه درصد نرمال بارندگی

نمایه درصد نرمال بارندگی<sup>۲</sup> (PNPI) یکی از ساده ترین نمایه های خشکسالی است. این امر سبب

1-Run Test

2-Percent Normal Precipitation Index

3-Decades Precipitation Index

$$RAI = -3 \left( \frac{P - \bar{P}}{m - P} \right) \quad (۴)$$

۵- نسبت دادن آستانه های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین مقادیر ناهنجاری های مثبت و ۱۰ مورد از کوچکترین مقادیر ناهنجاری منفی، نهایتاً، با مقیاس گذاری خطی روی مقادیر حاصل از نمایه ناهنجاری بارندگی، ۹ طبقه ناهنجاری با دامنه ای از ترسالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می شود. طبقات مختلف این نمایه در جدول ۱ منعکس شده است.

#### نمایه بارندگی استاندارد شده

اساس نمایه بارندگی استاندارد شده<sup>۳</sup> (SPI) بر محاسبه احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. SPI، صرفاً از داده های بارندگی ماهانه استفاده می نماید و برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاسهای زمانی چند گانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) طراحی شده است. محاسبه (SPI) شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین می باشد.  $G(X)$  احتمالات تجمعی گاما است که از رابطه (۵) به دست می آید.

$$G(x) = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (۵)$$

در این معادله:  $\hat{\alpha}$  و  $\hat{\beta}$  مقدار بهینه (پارامتر شکل)،  $\beta$  پارامتر مقیاس،  $x$  مقدار بارندگی و  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما می باشد. چون تابع گاما برای  $x=0$  (بارندگی صفر

مطابق جدول ۱ یکی از درجات خشکسالی به آن نسبت داده می شود. طبق تعریف، دهک اول مقدار بارندگی است که از کمترین ۱۰ درصد احتمال وقوع بارش تجاوز ننماید، دهک دوم، مقدار بارندگی است که از کمترین ۲۰ درصد احتمال وقوع بارش تجاوز ننماید و الی آخر.

#### نمایه ناهنجاری بارندگی

نمایه ناهنجاری بارندگی<sup>۱</sup> (RAI) توسط وان روی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۶۵ ارایه شد (van Rooy, 1965). این نمایه، بارندگی ماه یا سال معینی را بر روی مقیاس خطی که از روی سری داده ها حاصل می شود ارزیابی می کند. مراحل محاسبه این نمایه به صورت زیر است:

- ۱- محاسبه میانگین دراز مدت بارندگی ماهانه ( $\bar{P}$ ) در ایستگاه مورد نظر؛
- ۲- استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{m}$ )؛
- ۳- استخراج میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{X}$ )؛
- ۴- مقایسه داده های بارندگی ماهانه ( $\bar{P}$ ) با میانگین دراز مدت بطوریکه چنانچه  $P > \bar{P}$  باشد آنگاه RAI از رابطه (۳) و اگر  $P < \bar{P}$  باشد RAI از رابطه (۴) تعیین می شود در حالت اول ناهنجاری مثبت و در حالت دوم منفی است.

$$RAI = +3 \left( \frac{P - \bar{P}}{m - P} \right) \quad (۳)$$

1-Rainfall Anomaly Index

2-van Rooy

3- Standard Precipitation Index

$C_0 = 2.515517, C_1 = 0.802853, C_2 = 0.010328$   
 $d_1 = 1.432788, d_2 = 0.189269, d_3 = 0.001308$   
 طبقات مختلف SPI در جدول ۱ نشان داده شده است.

نمایه عدد Z یا عدد استاندارد

نمایه عدد Z یا عدد استاندارد (Z-Score) از رابطه (۱۲) محاسبه می شود.

$$Z - Score = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (12)$$

در این رابطه:  $P_i$  بارندگی ماهانه یا سالانه ایستگاه مورد نظر،  $\bar{P}$  میانگین و  $S$  انحراف معیار سری بارندگی است. آستانه های تفکیک این نمایه در جدول ۱ نشان داده شده است.

در راستای سنجش کارایی نمایه های خشکسالی منتخب در ابتدا کلیه نمایه های خشکسالی به جزء نمایه دهکهای بارندگی در مقیاسهای زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و نمایه دهکهای بارندگی در مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد و سپس این محاسبات به مقیاس مشترک سالانه تبدیل گردید و با توجه به کمینه مقدار بارندگی در طول دوره آماری که منعکس کننده خشکسالی هواشناسی بسیار شدید یا شدید است و میزان همبستگی بین نمایه کیفی خشکسالی و تغییرات بارش طی دوره آماری (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲) و همبستگی بین مقادیر کمی نمایه های خشکسالی در مقیاسهای زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه (لوکاس و همکاران، ۲۰۰۳) کارایی نمایه ها برای اهداف هواشناسی بررسی گردید.

میلیمتر) تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، احتمال تجمعی کل که در بر گیرنده مقادیر صفر نیز باشد از رابطه (۶) به دست می آید.

$$H(X) = q + pG(x) \quad (6)$$

که  $q$  احتمال صفر بودن مقدار بارندگی و  $p = 1 - q$  می باشد. اگر  $m$  تعداد داده های بارندگی صفر در سری زمانی  $n$  تایی باشد آنگاه  $q$  از رابطه (۷) به دست می آید.

$$q = \frac{m}{n} \quad (7)$$

پس از محاسبه احتمال تجمعی کل  $H(X)$ ، مقدار متغیر تصادفی نرمال استاندارد هم احتمال با احتمال مذکور که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است محاسبه می گردد. این مقدار همان نمایه SPI است. میزان Z یا SPI را می توان با استفاده از روابط (۸) و (۱۰) براساس مقادیر  $H(X)$  محاسبه نمود.

برای  $0 < H(x) \leq 0.5$

$$Z = SPI = - \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (8)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad (9)$$

و برای  $0.5 < H(x) < 1.0$

$$Z = SPI = + \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (10)$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{1.0 - H(x)^2} \right)} \quad (11)$$

ثابتهای معادلات (۸) و (۱۰) عبارتند از:

جدول ۱- طبقات مختلف نمایه های خشکسالی مورد بررسی

نمایه بارش استاندارد شده (SPI)	Z نمایه عدد (Z-Score)	نمایه ناهنجاری بارش (RAI)	نمایه دهکهای بارندگی (DPI)	نمایه درصد نرمال بارندگی (PNPI)	رتبه	طبقات خشکسالی
+۱ تا -۱	+۰/۲۵ تا -۰/۲۵	+۰/۳ تا -۰/۳	۴۰ تا ۶۰٪	۸۰ تا ۱۲۰٪	۰	نرمال
-	+۰/۲۵ تا -۰/۵۲	-۰/۳ تا -۱/۲	۳۰ تا ۴۰٪	۷۰ تا ۸۰٪	-۱	خشکسالی ضعیف
-۱ تا -۱/۵	-۰/۵۲ تا -۰/۸۴	-۱/۲ تا -۲/۱	۲۰ تا ۳۰٪	۵۵ تا ۷۰٪	-۲	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۲	-۰/۸۴ تا -۱/۲۸	-۲/۱ تا -۳	۱۰ تا ۲۰٪	۴۰ تا ۵۵٪	-۳	خشکسالی شدید
کمتر از -۲	کمتر از -۱/۲۸	کمتر از -۳	کمتر از ۱۰٪	کمتر از ۴۰٪	-۴	خشکسالی بسیار شدید

### نتایج

با بررسی آمار کلیه ایستگاههای هواشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه هشت ایستگاه هواشناسی با دوره آماری مشترک ۳۰ سال (۷۸-۱۳۴۹) انتخاب گردید.

بررسی درستی، صحت و همگنی داده ها نشان داد که داده های ایستگاهها صحیح و همگن می باشد. جدول ۲ نتایج کمینه مقادیر بارندگی و سال وقوع آن را به همراه پایش وضعیت جوی از دیدگاه نمایه خشکسالی منتخب نشان می دهد. در این جدول رتبه صفر تا ۴- برای طبقات خشکسالی نرمال تا بسیار شدید بر اساس جدول ۱ در نظر گرفته شده است. با توجه به جدول ۲ نمایه های DPI و PNPI به ترتیب در صددرصد و در بیش از پنجاه درصد موارد توانسته اند خشکسالی هواشناسی بسیار شدید را نشان دهند و نمایه SPI و نمایه عدد Z کارآیی لازم را برای تعیین خشکسالی هواشناسی بسیار شدید نداشته اند.

برای تعیین میزان همبستگی بین نمایه کیفی خشکسالی و تغییرات بارش طی دوره آماری، ابتدا توصیف کیفی مقادیر نمایه های خشکسالی طی دوره آماری کمی گردید. سپس، ضرایب همبستگی رتبه ای اسپیرمن<sup>۱</sup> بین مقادیر کمی شده نمایه ها و بارندگی سالانه به تفکیک ایستگاهها و میانگین و انحراف از معیار این ضرایب تعیین گردید (جدول ۳) (کریمی، ۱۳۸۳).

آزمون ضرایب همبستگی، معنی دار بودن آنها را در سطح ۵ درصد در تمام ایستگاهها تایید می نماید. با توجه به جدول ۳ می توان نتیجه گرفت که نمایه های DPI و PNPI با دارا بودن بیشترین میانگین ضریب همبستگی می توانند خشکسالی هواشناسی را به خوبی نشان دهند در حالیکه نمایه SPI با دارا بودن کمترین میانگین ضریب همبستگی نمی تواند خشکسالی هواشناسی را خوب بیان نمایند. با توجه به نتایج به دست آمده از جداول ۲ و ۳ در کل می توان گفت که اولویت کاربرد

1 -Spearman Rank



جداول ۴ و ۵ مقادیر ماکزیمم، مینیمم و میانگین همبستگی بین مقادیر شدت خشکسالی محاسبه شده توسط نمایه های مذکور را نشان می دهد و همچنین شکل ۲ روند تغییرات بین ضرایب همبستگی نمایه های خشکسالی با مقیاس زمانی را نشان می دهد.

نمایه های خشکسالی مورد بررسی برای اهداف هواشناسی در حوزه آبخیز دریاچه های بختگان، طشک و مهارلو به ترتیب DPI, PNPI, RAI, Z-Score و SPI می باشد.

جدول ۲- تقارن سال وقوع کمینه بارندگی با خشکسالیهای بسیار شدید هواشناسی در ایستگاههای تحت مطالعه

نمایه	نی ریز	ده بید	دو بونه	شیراز محل سازمان	جهان آباد بختگان	چم ریز	مهرآباد را مجرد	سر جمع ایستگاهها	
								فلات شیراز	میانگین انحراف معیار
Z-Score	۰/۶۹۸	۰/۸۲۹	۰/۷۴۰	۰/۸۱۴	۰/۷۴۷	۰/۷۶۱	۰/۸۰۷	۰/۷۳۹	۰/۷۶۶
PNPI	۰/۸۸۴	۰/۹۸۳	۰/۹۵۵	۰/۹۵۴	۰/۹۶۸	۰/۷۸۷	۰/۹۷۶	۰/۷۷۹	۰/۹۱۰
DPI	۰/۹۸۸	۰/۹۹۳	۰/۹۹۳	۰/۹۹۱	۰/۹۹۳	۰/۹۹۳	۰/۸۸۵	۰/۹۹۳	۰/۹۷۸
RAI	۰/۷۲۰	۰/۷۸۶	۰/۸۳۷	۰/۸۰۷	۰/۷۰۶	۰/۸۲۱	۰/۷۴۵	۰/۷۳۸	۰/۷۷۰
SPI	۰/۴۴۳	۰/۳۵۳	۰/۶۴۲	۰/۶۶۴	۰/۳۷۱	۰/۵۲۱	۰/۵۰۷	۰/۶۵۵	۰/۵۱۴

جدول ۳- ضریب همبستگی رتبه ای اسپیرمن بین مقادیر نمایه های خشکسالی و بارندگی سالانه در ایستگاههای مورد مطالعه

ایستگاه	کمینه بارش (میلیمتر)	سال وقوع	Z-Score	PNPI	DPI	RAI	SPI
نی ریز	۸۳/۵	۱۳۴۹	-۱	-۴	-۴	-۳	۰
ده بید	۸۸	۱۳۵۸	-۱	-۴	-۴	-۳	۰
دوبونه	۱۷۵/۵	۱۳۴۹	-۱	-۳	-۴	-۳	۰
شیراز محل سازمان	۱۴۸/۴	۱۳۴۹	-۱	-۴	-۴	-۳	۰
جهان آباد بختگان	۶۸	۱۳۴۹	-۱	-۴	-۴	-۳	۰
چم ریز	۲۱۸/۵	۱۳۴۹	-۱	-۳	-۴	-۳	۰
مهر آباد را مجرد	۱۵۹/۵	۱۳۴۹	-۱	-۳	-۴	-۳	۰
فلات شیراز	۲۰۵/۵	۱۳۴۹	-۱	-۴	-۴	-۳	۰
رتبه نمایه			۴	۲	۱	۳	۵

\*P = سطح معنی داری

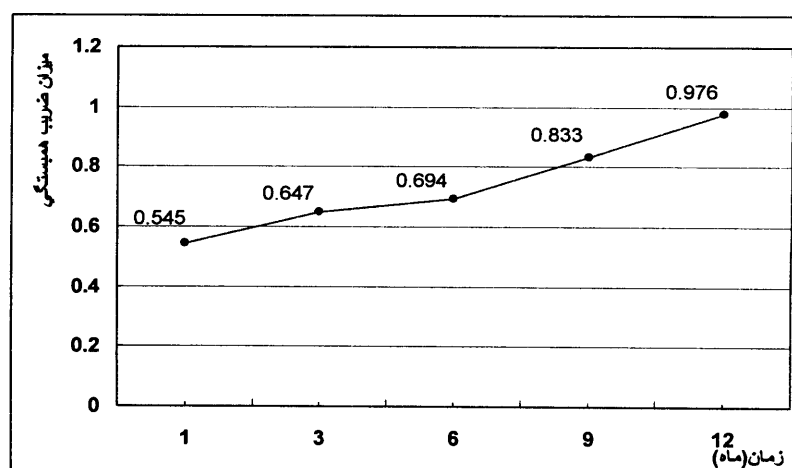
مهدی وفاخواه و منصور رجبی: کارآیی نمایه های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالی های حوزه آبخیز دریاچه های بختگان، طشک و مهارلو

جدول ۴ - ضریب همبستگی (R) بین نمایه های خشکسالی

مقیاس زمانی	RAI و PNPI			SPI و PNPI			Z-Score و PNPI		
	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	ماکزیمم	مینیمم
۱ ماهه	۰/۸۷۹	۰/۹۴۹	۰/۸۵۲	۰/۱۷۳	۰/۲۶۲	۰/۱۰۶	۰/۹۴۴	۱	۰/۵۵۸
۳ ماهه	۰/۹۰۴	۰/۹۴۹	۰/۸۵۸	۰/۴۰۵	۰/۵۲۴	۰/۲۹۹	۰/۹۲۵	۱	۰/۴۰۵
۶ ماهه	۰/۹۱۸	۰/۹۶۱	۰/۷۹۹	۰/۵۴۲	۰/۶۱۰	۰/۵۰۶	۰/۹۱۵	۱	۰/۳۲۷
۹ ماهه	۰/۸۸۲	۰/۹۹۵	۰/۱۶۲	۰/۷۷۳	۰/۸۲۹	۰/۷۴۸	۱	۱	۱
۱۲ ماهه	۰/۹۷۳	۱	۸۶۸	۰/۹۸۶	۰/۹۸۹	۰/۹۸۳	۰/۹۸۹	۱	۰/۹۱۹

جدول ۵ - ضریب همبستگی (R) بین نمایه های خشکسالی

مقیاس زمانی	RAI و SPI			RAI و Z-Score			Z-Score و SPI		
	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	ماکزیمم	مینیمم
۱ ماهه	۰/۲۳۵	۰/۹۰۷	۰/۰۶۵	۰/۸۳۰	۰/۲۶۲	۰/۴۹۳	۰/۲۰۸	۰/۳۸۵	۰/۱۰۸
۳ ماهه	۰/۴۰۳	۰/۹۴۰	۰/۲۳۰	۰/۸۳۵	۰/۵۲۴	۰/۳۴۷	۰/۴۰۸	۰/۵۲۴	۰/۲۹۹
۶ ماهه	۰/۴۷۴	۰/۵۷۳	۰/۳۸۷	۰/۸۴۰	۰/۶۱۰	۰/۳۱۷	۰/۴۷۷	۰/۵۹۱	۰/۰۸۹
۹ ماهه	۰/۶۸۹	۰/۸۱۹	۰/۲۰۱	۰/۸۸۲	۰/۸۲۹	۰/۱۶۲	۰/۷۷۴	۰/۸۲۹	۰/۷۴۸
۱۲ ماهه	۰/۹۶۸	۰/۹۹۰	۰/۹۰۲	۰/۹۶۳	۰/۹۸۹	۰/۸۶۸	۰/۹۷۷	۰/۹۸۹	۰/۹۱۳



شکل ۲- تغییرات میانگین ضرایب همبستگی بین نمایه ها نسبت به مقیاس زمانی

## بحث و نتیجه گیری

با توجه به بررسی انجام شده در این تحقیق مشخص گردید که نمایه های DPI, PNPI, RAI, Z-Score و SPI به ترتیب به عنوان مناسبترین نمایه های تعیین خشکسالی هواشناسی می باشند و در صورت تنظیم آستانه های شدت خشکسالی نمایه Z-Score با توجه به شرایط اقلیمی حوزه آبخیز مورد مطالعه می توان از این نمایه برای ارزیابی شدت خشکسالی هواشناسی به جای نمایه PNPI استفاده نمود. همچنین افزایش همبستگی بین نمایه های خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی آنها و عدم توانایی نمایه SPI در تشخیص خشکسالیها و ترسالیهای کوتاه مدت (کشاورزی و هواشناسی) و توانایی آن در تشخیص خشکسالیهای بلند مدت (منابع آب) از دیگر نتایج منتج از این تحقیق است. مقایسه نتایج به دست آمده در طی تحقیق حاضر با سایر دستاوردها و تحقیقات نشان داد که در این تحقیق همانند نتایج تحقیقات خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۱) و فرج زاده (۱۳۷۴) در مورد انتخاب بهترین نمایه خشکسالی، ثنایی نژاد (۱۳۷۹) در مورد تنظیم آستانه های بعضی از نمایه ها، لوکاس و همکاران (۲۰۰۳) در مورد همبستگی بین نمایه ها و هایز (۲۰۰۰)، مک کی و همکاران (۱۹۹۵) و بذرافشان (۱۳۸۱) در مورد عدم توانایی نمایه SPI در تشخیص خشکسالیها و ترسالیهای کوتاه مدت و توانایی آن در تشخیص خشکسالیهای بلند مدت همخوانی وجود دارد.

با توجه به جدول ۲ و شکل ۲ همبستگی بین ایستگاهها به خصوص در مورد نمایه SPI در مقیاسهای زمانی کوتاه مدت (۱ تا ۳ ماهه) کم است ولی با افزایش مقیاس زمانی همبستگی بین نمایه های خشکسالی افزایش می یابد اما همبستگی بین مقادیر نمایه های خشکسالی PNPI و نمایه عدد Z در همه مقیاسها زیاد است که در صورت تنظیم آستانه های شدت خشکسالی این نمایه با توجه شرایط اقلیمی حوزه آبخیز مورد مطالعه می توان برای ارزیابی شدت خشکسالی هواشناسی استفاده نمود. علت همبستگی بسیار کم نمایه SPI با سایر نمایه های خشکسالی این است که محاسبه نمایه SPI بر توزیع گاما استوار است و این توزیع برای مقادیر صفر بارندگی تعریف نشده است لذا در مقیاس های کوتاه مدت زمانی که مقادیر داده های صفر زیاد می باشند نتایج خوبی ارائه نمی دهد. به همین علت شدت های خشکسالی بر آورد شده از نمایه خشکسالی SPI فقط برای مقیاس های زمانی بلند مدت قابل قبول بوده و استفاده از آن برای اهداف کشاورزی و هواشناسی درست نیست. از طرف دیگر ماهیت نمایه های SPI و Z-Score باعث می شود که دوره های خشکسالی شدید که به وسیله این نمایه ها در یک دوره زمانی طولانی مدت تخمین زده شده است تناوب های یکسانی در همه ایستگاه ها ارائه دهند و بنابراین این نمایه ها قادر نیستند که مناطق حساس به خشکسالی را از بقیه مناطق جدا کنند.

حوزه آبخیز مزبور نقشه های پهنه بندی شدت خشکسالی و منحنی های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی ها تهیه گردد. دیگر نمایه های خشکسالی مانند خشکسالی کشاورزی و هیدرولوژیک برای حوزه آبخیز مزبور و سایر حوزه های آبخیز مقایسه صورت پذیرد و از نتایج این تحقیق در برنامه ریزیهای آبی منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه استفاده شود.

براساس نتایج به دست آمده در این تحقیق پیشنهاد می گردد، از آنجائیکه محاسبه نمایه های خشکسالی هواشناسی تنها بر اساس داده های بارندگی صورت می گیرد و دقت نتایج به دست آمده از این نمایه ها وابسته به صحت و کیفیت داده های مذکور می باشد لذا برای بازسازی نواقص داده های بارندگی از روشهای با دقت بیشتر مانند روش منطق فازی استفاده شود. با استفاده از نمایه های منتخب در

### منابع

- ۱- بذرافشان، ج.، ۱۳۸۱. مطالعه تطبیقی برخی شاخصهای خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران. گروه هواشناسی کشاورزی. دانشکده کشاورزی، ۱۰۰ص.
- ۲- ثنایی نژاد، س.، ۱۳۷۹. بررسی شاخصهای خشکسالی و ارزیابی شاخص SPI و درصد از نرمال در چند ایستگاه سینوپتیک در استان خراسان. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۹ و ۱۰ اسفند کرمان: ۹۵۲-۹۶۰.
- ۳- جوانمرد، س.، ۱۳۸۲، بررسی روشهای مختلف پیش بینی خشکسالی و ارائه روشهای مناسب برای اقلیم خراسان. طرح تحقیقاتی- پژوهشی، گزارش اولیه، ستاد حوادث غیرمترقبه استانداری خراسان. ۵۰ ص.
- ۴- حسنی ها، ح.ع. و صالحی، ز.، ۱۳۷۹. بررسی وضعیت خشکسالی بر اساس تعدادی از شاخص های آماری در استان زنجان. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۹ و ۱۰ اسفند کرمان: ۹۵۲-۹۶۰.
- ۵- خلیلی، ع. و بذرافشان، ج.، ۱۳۸۲، ارزیابی کارآیی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه های اقلیمی مختلف ایران، نیوار، بهار و تابستان ۱۳۸۲. شماره ۴۹ و ۴۸. ۷۹-۹۳.
- ۶- رضیئی، ط.، شکوهی، ع.، ثقفیان، ب. و دانش کار آراسته، پ.، ۱۳۸۲. پایش پدیده خشکسالی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص SPI، سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان، ۲۹ مهر تا ۱ آبان اصفهان: ۲۰۶-۲۱۶ص.
- ۷- فرج زاده، م.، موحد دانش، ع. ا. و قائمی، ه.، ۱۳۷۴. خشکسالی در ایران با استفاده از برخی شاخص های آماری. مجله دانش کشاورزی، ۵ (۲۰۱): ۳۱-۵۰.
- ۸- قطره سامانی، س.، ۱۳۷۹. بررسی روند خشکسالی در استان چهار محال بختیاری. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، دانشگاه با هنر کرمان، کرمان: ۱۰۰-۱۱۰ ص.

- ۹- کریمی، ی.، ۱۳۸۳. آمار غیرپارامتری برای علوم رفتاری. تالیف: سیدنی سیگل، چاپ دوم، دانشگاه علامه طباطبایی، ۳۸۴ ص.
- ۱۰- مهدوی، م.، ۱۳۷۱، هیدرولوژی کاربردی، جلد اول، چاپ اول، دانشگاه تهران، ۳۱۲ ص.
- ۱۱- وزارت نیرو (۱۳۷۸). مجموعه گزارشات جاماب. گزارش مربوط به حوزه کر و سیوند. ص ۲۰۷-۱۲۵.
- 12-Hayes, M. 2000. Drought Indices. National Drought Mitigation Center. [www.drought.unl.edu](http://www.drought.unl.edu).
- 13-Doupigny-Girux, L. A., 2001. Towards characterizing and planning for drought in Vermont-Part1: A climatological perspective. Journal of the American Water Resources Association. 37(3). 505-524.
- 14-Loukas, A., Vasiliades, L. and Dalezios, N.R., 2003. Inter comparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece, 8<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology Lemons Island, 8-10 September: 484-491.
- 15-Mackee, B., Nolan, T., Doesken, J. and Kleist, J., 1995. Drought monitoring with multiple timescales. 9<sup>th</sup>. Conference on Applied Climatology. 15-20 January, Boston, Massachusetts: 223-236
- 16-van Rooy, M.P., van, 1965, A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space, Notos, 14,43.
- 17-Wilhite, D.A. and Glantz, M. H., 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water Inter. 10(3): 111-120.
- 18-Wilhite, D.A., 2000. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions, Drought: A Global assessment, D.A. Wilhite (ed.) Rutledge. 3-18.

## EFFICIENCY OF METEOROLOGICAL DROUGHT INDICES FOR MONITORING AND ASSESSMENT OF DROUGHT IN BAKHTEGAN, TASHK, AND MAHARLO LAKES WATERSHED

M. Vafakhah<sup>1</sup>, M. Rajabi<sup>2</sup>

1- Lecturer of Watershed Management Group, Tarbiat Modares University, 2- MSc student of Watershed Management Group, Tarbiat Modares University

Received : 22/2/2005

### ABSTRACT

Drought is one of the most serious natural hazards that has more effect on human societies than the others. There are several meteorological drought indices for drought study. Although no index is superior to other indices in all circumstances, but every one has been developed for specific aims. The study of drought using different indices may conclude to the different answers for the existence and nonexistence of the drought and therefore some of them are better for special applications and areas.

In this paper, the applicability of different indices viz. Z-Score, PNPI, DPI, RAI and SPI were assessed in Bakhtegan, Tashk, and Maharlo lakes watershed. The above five indices were calculated using monthly precipitation data from 8 meteorological stations during 30 years (1970-99) for 1, 2, 6, 9 and 12 month basis. Then monthly indices were changed into annual scale. The correlation matrix among indices as well as minimum precipitation, average and standard deviation were used to select the most suitable index. The results showed that DPI and PNPI classified the least annual precipitation in time scale in severe and extreme drought in all study stations and these indices have had less standard deviation and more mean values compare to other indices and therefore have more efficiency to other indices for meteorological drought determination.

**Key words:** Meteorological drought, Drought indices, Assessment drought, Monitoring drought, Precipitation, Bakhtegan, Tashk, and Maharlo lakes watershed.