

## ارزیابی و تحلیل شاخصهای خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی

### بعنوان سرآغاز پدیده‌ی خشکسالی

سید حسن علوی نیا<sup>۱</sup>

#### چکیده

تغییر اقلیم یکی از معضلات کنونی جامعه بشری است و تهدید و بلایی برای سیاره زمین بشمار می آید. واقعیت تغییر اقلیم از موضوعات مورد بحث محافل علمی طی چند دهه‌ی اخیر بوده است و تحقیقات گسترده‌ای در مقیاس جهانی، ناحیه‌ای و محلی را به خود اختصاص داده است. خشکسالی یکی از پدیده‌های اقلیمی است که در پهنه‌ی وسیعی از کشور ایران به اشکال متفاوت قابل مشاهده است. این پدیده محدودیت و کمبود منابع آب شیرین، محدودیت رشد گیاهان زراعی و همچنین غیر زراعی، کمبود بارش و نوع آن، دما، افزایش تبخیر و تعرق و ... را به همراه دارد که بروز اشکال فوق در پهنه سرزمینی سبب عدم تعادل طبیعی و مقیاس ناحیه‌ای و منطقه‌ای می‌گردد، که نتایج آن آلودگی محیط زیست، خشک شدن تالابها، افزایش بیماریها، فقر و قحطی می‌باشد که پیشرفت آن بطئی و موزیانه بوده و دارای اثرات ویرانگر می‌باشد. خشکسالیها دارای انواع متفاوتی می‌باشد که برای پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل هریک از شاخص خاصی استفاده می‌شود. هدف از این مقاله تعریف انواع خشکسالی، شاخصهای مطالعه‌ی خشکسالی و پیامدها و تاثیرات ناشی از هر کدام می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** تغییر اقلیم، خشکسالی، انواع خشکسالی، شاخصهای خشکسالی

#### مقدمه

از دیرباز مطالعات اقلیمی در زمینه بلایای طبیعی زمانی که اثرات شدیدی داشته مورد توجه بوده است. ایران بدلیل قرارگیری در کمربند خشکسالی دنیای قدیم و مجاورت با پرفشار جنب حاره دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و در نتیجه در اکثر سالها دچار خشکسالیهای شدید شده است. آیین‌های باران‌خواهی که سابقه هفت هزار ساله در ایران دارد، مویید این نکته میباشد(1). همچنین یکی از اسناد موجود درباره‌ی

<sup>1</sup> E\_mail: h\_alavi2@yahoo.com

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه شهرکرد



خشکسالی در ایران کتیبه‌ای از داریوش در تخت جمشید است که در آن از خشکسالی به عنوان دومین معضل ایران یاد شده است (2). خشکسالی کاهش و بی‌نظمی بارش در حدی است که در آن روند عادی رشد، تولید محصول و رابطه متعارف و متوازن انسان و محیط مختل می‌گردد. تاکنون حداقل 150 تعریف متفاوت از خشکسالی توسط متخصصین هواشناسی، آب و هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و علوم اجتماعی پیشنهاد شده است (9). اما نکته مشترک این تعاریف عامل بارش است که به عنوان معیار و شاخص اصلی در نظر گرفته شده است. یکی از معروفترین تعریف‌هایی که برای خشکسالی استفاده شده است، تعریف پالمر (Palmer) می‌باشد که خشکسالی را چنین توصیف می‌کند: «خشکسالی عبارتست از کاهش رطوبت مستمر و غیر طبیعی». واژه مستمر به استمرار حالت کمبود و واژه غیر طبیعی به انحراف شاخص مورد نظر از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می‌شود (3). به صورتی دیگر و ساده‌تر خشکسالی را می‌توان چنین تعریف نمود که دوره‌هایی را که در آن، بارش نسبت به میانگین دراز مدت آن کمتر باشد، خشکسالی قلمداد می‌شود.

وجود نیازها و زمینه‌های کاری متفاوت محققین، باعث شده که هریک از آنها با توجه به دیدگاه خاص و مطالعاتی خود، پدیده‌ی خشکسالی را مورد بررسی قرار دهد. این حالت باعث شده که انواع مختلفی از خشکسالی تعریف گردد که شامل: 1- خشکسالی هواشناسی (اقلیم‌شناسی) 2- خشکسالی هیدرولوژیک 3- خشکسالی کشاورزی 4- خشکسالی اقتصادی-اجتماعی. خشکسالی اقلیم‌شناسی زمانی رخ می‌دهد که میزان بارندگی سالیانه کمتر از میانگین دراز مدت آن باشد. اگر خشکسالی اقلیم‌شناسی تداوم یابد منجر به وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود که از ویژگیهای مهم آن کاهش سریع جریانهای سطحی و افت سطح مخازن آبهای زیرزمینی، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها را بررسی و فراوانی و شدت آن غالباً در مقیاس یک حوزه‌ی آبخیز یا رودخانه تعریف می‌شود. اگر رطوبت قابل دسترس خاک برای محصولات کشاورزی به حدی برسد که باعث پژمردگی گیاه و اثرات زیانبار بر روی میزان تولید گردد، خشکسالی کشاورزی حادث می‌گردد. خشکسالی اقتصادی-اجتماعی پس از تداوم خشکسالی اقلیم‌شناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی حادث می‌گردد که از بدترین انواع خشکسالی می‌باشد و موجب قحطی، مرگ و میر و مهاجرت‌های دسته جمعی می‌شود (10).

سازمان هواشناسی ایران عمده‌ترین روشهای مطالعه‌ی خشکسالی را بر مبنای شاخصهای زیر قرار داده است (4).

1) روش مطالعه‌ی بیان آبی (2) روش مطالعه و تحلیل جریان رودخانه‌ای (3) روش مطالعه و تحلیل داده‌های بارندگی (4) روش مطالعه و تحلیل سینوپتیکی (5) روش مطالعه و تحلیل با استفاده از داده‌های اطلاعاتی ژئومورفولوژیکی و تاریخی.

در هر خشکسالی چهار ویژگی عمده مورد بررسی قرار می‌گیرد که عبارتند از: شدت، مدت، فراوانی (دوره بازگشت) و گستره. برای ارزیابی شدت خشکسالیها به صورت کمی از شاخصهای خشکسالی استفاده می‌شود. یک شاخص خشکسالی زمانی مفید است که بتوان ارزیابی کمی، ساده و روشنی از خصوصیات اصلی خشکسالی یعنی تداوم، شدت، فراوانی و سطح درگیر با خشکسالی ارائه دهد (11). شاخصهای خشکسالی همانند یک مدل، اطلاعات زیادی از نمودهای ذخایر آب را به شکل مفهومی به تصویر می‌کشند که تصمیم‌گیری با استفاده از آنها بسیار کارآتر از داده‌های خام با حجم زیاد است (12). با توجه به اینکه در شرایط مختلف، تعاریف مختلفی از خشکسالی ارائه شده است و عوامل بسیاری در وقوع پیوستن یک خشکسالی دخالت دارند، شاخصهای مختلفی برای پایش یک خشکسالی تعریف شده‌اند که هر شاخص یک یا پارامترهای متفاوتی از قبیل بارندگی، رطوبت خاک، جریان سطحی، مخازن زیرزمینی و خسارتهای اقتصادی را مورد توجه قرار می‌دهد. اما هیچ یک از شاخصها بطور ذاتی برتر از بقیه شاخصها نیست، بلکه هر کدام از آنها برای کاربرد خاص خود مناسب‌تر از دیگر شاخصهاست (5 و 12). در ادامه مهمترین شاخصها برای بررسی انواع خشکسالی مورد بحث قرار می‌گیرد.

## مواد و روشها

### 1- شاخصهای خشکسالی هواشناسی (اقلیمی):

از جمله شاخصهای خشکسالی هواشناسی عبارتند از: نمایه‌های عدد  $Z$  (Z-Score)، درصد نرمال بارندگی (PNPI)، دهکهای بارندگی (DPI)، ناهنجاریهای بارش (RAI) و شاخص بارش استاندارد (SPI) می‌باشند.

#### 1-1 شاخص درصد نرمال بارندگی

شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI) یکی از ساده‌ترین نمایه‌های خشکسالی است. این نمایه از رابطه‌ی (1) بدست می‌آید.

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

در این رابطه:  $P_i$  بارندگی ماه  $i$  و  $\bar{P}$  میانگین دراز مدت بارندگی است. این نمایه همواره مثبت بوده و از قسمت پایین محدود به صفر بوده و از قسمت بالا از نظر تئوری محدودیتی ندارد. طبقات مختلف این نمایه در جدول 1 درج شده است.

### 2-1- شاخص دهکهای بارندگی:

شاخص دهکهای بارندگی (DPI) اولین بار توسط گیسی و ماهر برای اجتناب از بعضی نقاط ضعف روش درصد نرمال بکار 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 (6). 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 ی (2) تعیین می گردد:

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

در این رابطه:  $P_i$  احتمال وقوع بارندگی در شماره ی ردیف  $i$ ام و  $N$  تعداد داده های بارندگی می باشد. در این صورت برحسب اینکه یک مقدار در چه فاصله ی دهکی (فاصله ی 10 درصدی) قرار گرفته باشد، مطابق جدول 1 یکی از درجات خشکسالی به آن نسبت داده می شود. طبق تعریف، دهک اول مقدار بارندگی است که از کمترین 10 درصد احتمال وقوع بارش تجاوز نماید و دهک دوم، مقدار بارندگی است که از کمترین 20 درصد احتمال وقوع بارش تجاوز نماید و الی آخر.

### 3-1- شاخص ناهنجاریهای بارندگی

شاخص ناهنجاریهای بارندگی (RAI) توسط وان روی در سال 1965 ارائه 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 ی این نمایه به صورت زیر است:

- 1- محاسبه ی میانگین دراز مدت بارندگی ماهانه ( $\bar{P}$ ) در ایستگاه مرد نظر
- 2- استخراج میانگین 10 مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{m}$ )
- 3- استخراج میانگین 10 مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره ی مطالعاتی ( $\bar{X}$ )

4- مقایسه داده‌های بارندگی ماهانه ( $\bar{P}$ ) با میانگین دراز مدت بطوریکه چنانچه  $\bar{P} > P$  باشد آنگاه RAI از رابطه‌ی (3) و اگر  $\bar{P} < P$  باشد RAI از رابطه‌ی (4) تعیین می‌شود. در حالت اول ناهنجاری مثبت و در حالت دوم منفی است.

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

$$RAI = -3 \left( \frac{P - \bar{P}}{\bar{m} - \bar{P}} \right) \quad \text{رابطه‌ی (4)}$$

5- نسبت دادن آستانه‌های +3 و -3 به ترتیب به میانگین 10 مورد از بزرگترین مقادیر ناهنجاریهای مثبت و 10 مورد از کوچکترین مقادیر ناهنجاری منفی. نهایتاً، با مقیاس گذاری خطی روی مقادیر حاصل از نمایه ناهنجاری بارندگی، 9 طبقه ناهنجاری با دامنه‌ای از ترسالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شود. طبقات مختلف این شاخص در جدول 1 آورده شده است.

4-1- نمایه عدد  $Z$  یا عدد استاندارد:

نمایه عدد  $Z$  یا عدد استاندارد (Z-Score) از رابطه (5) محاسبه می‌گردد.

$$Z - Score = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad \text{رابطه‌ی (5)}$$

در این رابطه:  $P_i$  بارندگی ماهانه یا سالانه ایستگاه مورد نظر،  $\bar{P}$  میانگین و  $S$  انحراف معیار سری بارندگی است. آستانه‌های تفکیک این نمایه در جدول 1 نشان داده شده است. (7)

5-1- شاخص بارش استاندارد شده:

مک کی و همکاران به منظور کمی سازی کمبود بارش و پایش وضعیت خشکسالی برای مقیاس‌های زمانی 3، 6، 12، 24، و 48 ماهه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) را ارائه دادند. تنوع کاربرد، به شاخص بارش استاندارد شده این امکان را می‌دهد که خشکسالی را هم برای مقیاس کوتاه مدت نظیر رطوبت خاک و هم برای مقیاسهای دراز مدت نظیر آبهای سطحی و آبهای زیرزمینی پایش نماید. همچنین براساس این شاخص میتوان آستانه‌ی خشکسالی را برای هر دوره‌ی زمانی تعیین کرد. بنابراین براساس این شاخص علاوه بر محاسبه شدت خشکسالی، مدت آن را نیز می‌توانیم تعیین نماییم (13). و براساس دلایل ذکر شده، از این شاخص نسبت به شاخصهای دیگر استفاده‌ی گسترده‌ای به عمل می‌آید. (5). به تجربه ثابت شده است که توزیع احتمال بارش در یک ایستگاه غالباً از تابع توزیع احتمال



گاما پیروی می کند. (5). محاسبه ی SPI شامل برآزش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین می باشد.  $G(X)$  احتمالات تجمعی گاما است که از رابطه ی (6) بدست می آید.

$$G(x) = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (6)$$

در این معادله:  $\alpha$  و  $\beta$  مقدار بهینه (پارامتر شکل،  $\beta$  پارامتر مقیاس،  $x$  مقدار بارندگی و  $I(\alpha)$  تابع گاما می باشد که برطبق رابطه ی (7) بدست می آید.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (7)$$

همچنین ضرائب  $\alpha$  و  $\beta$  بهینه نیز از طریق روابط (8) و (9) محاسبه می شوند. (5)

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (8)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\hat{x}}{\hat{\alpha}} \quad (9)$$

$$A = \ln(\hat{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (10)$$

چون تابع گاما برای  $x=0$  (بارندگی صفر میلیمتر) تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، احتمال تجمعی کل که دربرگیرنده ی مقادیر صفر نیز می باشد از رابطه ی (11) بدست می آید.

$$H(X) = q + pG(x) \quad (11)$$

که  $q$  احتمال صفر بودن مقدار بارندگی و  $p=1-q$  می باشد. اگر  $m$  تعداد دادهای بارندگی صفر در سری زمانی  $n$  تایی باشد، آنگاه  $q$  از رابطه ی (12) بدست می آید.

$$q = \frac{m}{n} \quad (12)$$

پس از محاسبه ی 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

شاخص SPI است. میزان  $Z$  یا SPI را می توان با استفاده از روابط (13) و (15) براساس مقادیر

$$H(X) \text{ محاسبه نمود. (7)}$$

$$\text{برای } 0 < H(x) \leq 0.5$$

رابطه (13) می باشد

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

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{1.0 - H(x)^2} \right)} \quad \text{رابطه (14)}$$

$$\text{و برای } 0.5 < H(x) < 1.0$$

$$Z = SPI = + \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{رابطه (15)}$$

ثابتهای معادلات (13) و (15) عبارتند از:

$$C_0=2.515517, C_1=0.802853, C_3=0.010328$$

$$d_1=1.432788, d_2=0.189269, d_3=0.001308$$

### جدول 1- طبقات مختلف نمایه های خشکسالی هواشناسی

طبقه خشکسالی	رتبه	نمایه درصد نرمال (PNPI) بارندگی	نمایه دمهکهای (DPI) بارندگی	نمایه ناهنجاریهای بارش (RAI)	نمایه عدد $Z$ (-) $Z$ Score	نمایه بارش استاندارد شده (SPI)
نرمال	0	80 تا 120٪	40 تا 60٪	-0/3 تا +0/3	-0/25 تا +0/25	-1 تا 1
خشکسالی ضعیف	-1	70 تا 80٪	30 تا 40٪	-1/2 تا -0/3	-0/52 تا +0/25	-
خشکسالی متوسط	-2	55 تا 70٪	20 تا 30٪	-2/1 تا -1/2	-0/84 تا -0/52	-1 تا -1/5
خشکسالی شدید	-3	40 تا 55٪	10 تا 20٪	-3 تا -2/1	-1/28 تا -0/84	-2 تا -1/5
خشکسالی بسیار شدید	-4	کمتر از 40٪	کمتر از 10٪	کمتر از -3	کمتر از -1/28	کمتر از -2

2- شاخصهای خشکسالی هیدرولوژیکی:



- 1-2- تحلیل دنباله‌ها (تحلیل کمبودها): یوجویچ (1967) براساس روش ران تست تعریف خاصی را برای خشکسالی قائل شد. منظور از ران دنباله‌ی ممتدی از متغیرهاست که مقدار آنها بزرگتر یا کوچکتر از حد مشخص (مبنا) باشد. در این تعریف منظور از خشکسالی، یک رشته‌ی بدون وقفه از متغیرهاست که زیر سطح مبنا قرار گرفته باشد. طول دوره‌ی خشکسالی (L) و وخامت خشکسالی (شدت) (D) دو متغیر اصلی برای تحلیل خشکسالی در این روش می‌باشند (14) و (15). سطح مبنا می‌تواند به عنوان سطح نیاز معرفی شود و معمولاً آن را شرایط نرمال در نظر می‌گیرند.
- 2-2- شاخصهای جریان حداقل: معمولاً از جریان کم رودخانه‌ها به خشکسالی هیدرولوژیک تعبیر می‌شود. دانستن مشخصات جریان کم در تعیین کفایت جریان در آبراهه، در برآورد کردن حداقل جریان برای دفع فاضلاب، آبرسانی شهری و صنعتی و حفظ شرایط مناسب برای زندگی موجودات آبی بسیار مهم است. (8).
- 3-2- شاخص شدت خشکسالی آبهای سطحی: متداول‌ترین شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی که مجموعه‌ای از شاخصهای منفرد موثر را در محاسبات خود بکار می‌گیرد، شاخص شدت خشکسالی آبهای سطحی (SWSI) می‌باشد. در مناطق برف گیر که منشاء جریانات سطحی، آب حاصل از ذوب برف است، SWSI شاخص مناسبی برای بررسی وضعیت جریان است. استفاده از این شاخص نخستین بار توسط Shafer and Dezma جهت تکمیل پایش خشکسالی در ایالت کلرادو در آمریکا که ذخیره‌ی برف منبع عمده‌ی تأمین آب در منطقه است، پیشنهاد گردید. هدف از تدوین شاخص SWSI، بدست آوردن معیاری برای تعیین مقدار آب موجود در مناطق کوهستانی (که منبع تأمین آب آنها بودجه‌ی برفی است) و ایجاد امکان مقایسه با هم است. علاوه بر بررسی وضعیت خشکسالیهای بوقوع پیوسته در منطقه، با کمک این شاخص می‌توان وضعیت آینده را پیش‌بینی نمود. برای انجام پیش‌بینی به کمک SWSI، کافی است بجای هر کدام از متغیرهای بکار رفته در رابطه، مقادیر پیش‌بینی آن پارامتر را در نظر گرفت. Shafer and Dezman نخستین بار در سال 1982 شاخص SWSI را براساس چهار پارامتر بودجه‌ی برفی، جریان رودخانه‌ای، بارش و حجم مخازن سطحی آب محاسبه نمودند. براساس الگوریتم ارائه شده، با توجه به فصلی بودن شاخص SWSI، از میان چهار پارامتر فوق، در هر زمان تنها از سه پارامتر در معادلات استفاده می‌گردد. محاسبات در ماههای زمستان





بر اساس سه پارامتر بودجه‌ی برفی، بارش و حجم مخزن است. در ماههای تابستان اثر بودجه‌ی برفی بصورت جریان رودخانه‌ای در محاسبات وارد می‌شود. مقدار شاخص SWSI بصورت ماهانه و با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$SWSI = (a * P_{snow} + b * P_{prec} + c * P_{strm} + d * P_{res} - 50) / 12 \quad (16)$$

که در رابطه‌ی فوق،  $a$ ،  $b$ ،  $c$  و  $d$  وزن هریک از اجزاء در نظر گرفته شده در محاسبه‌ی SWSI است و مجموع آنها برابر با 1 می‌باشد.  $P_i$  نیز احتمال عدم تجاوز برای متغیر  $i$ ام (برف، باران، رواناب و مخزن) می‌باشد. در معادله بالا، تفاضل عدد 50 در صورت کسر برای آن است که مقادیر شاخص حول صفر متقارن باشد. همچنین با تقسیم بر عدد 12، مقادیر شاخص بین  $-4/17$  و  $4/17$  قرار می‌گیرد که این شاخص را از نظر عددی با شاخص PDSI همخوان می‌کند. محاسبه‌ی SWSI به این روش محدودیتهای زیر را دارد:

- 1) تعیین وزن هریک از اجزاء رابطه‌ی فوق در یک منطقه براحتی میسر نیست.
- 2) تعیین میزان آب حاصل از ذوب برف در منطقه مشکل است و پیش‌بینی این پارامترها با عدم قطعیت زیادی همراه است.
- 3) با وجود امکان برآزش توزیع آماری به هر کدام از اجزاء رابطه‌ی فوق، حاصل جمع احتمالات وزن دار شده این اجزاء لزوماً از توزیع آماری مشخصی پیروی نمی‌کند. این امر امکان مقایسه‌ی مناطق مختلف را از طریق این شاخص غیر ممکن می‌سازد. برای رفع این محدودیتهای، Garen در مطالعات خود بر روی رودخانه‌ی فلت هد در ایالت مونتانا بجای اجزاء در نظر گرفته شده در رابطه‌ی فوق، از سری زمانی مجموع مقادیر پیش‌بینی شده جریان و حجم مخزن استفاده نموده است. بنابراین، بجای در نظر گرفتن بودجه‌ی برفی بصورت یک جزء از رابطه، اثر آن بطور غیر مستقیم در سری پیش‌بینی جریان و حجم مخزن ظاهر می‌شود. پس رابطه‌ی مورد استفاده برای تعیین مقدار شاخص بصورت زیر تغییر می‌کند:

$$SWSI = \frac{P - 50}{12} \quad (17)$$

که در آن  $P$  برابر با احتمال محاسبه شده از روی تابع توزیع احتمالی برآزش شده به سری مجموع جریان و حجم مخزن برحسب درصد. استفاده از این رابطه اصطلاحاً روش اصلاحی SWSI نامیده می‌شود. (5).

جدول 2- وضعیت خشکسالی متناظر با مقادیر شاخص SWSI

مقادیر شاخص SWSI	وضعیت هیدرولوژیکی
$+3.0 < SWSI < +4.2$	خیلی تر
$+2.0 < SWSI < +3.0$	نسبتاً تر
$+1.0 < SWSI < +2.0$	تری کم
$-1.0 < SWSI < +1.0$	تقریباً نرمال
$-2.0 < SWSI < -1.0$	خشکی کم
$-3.0 < SWSI < -2.0$	نسبتاً خشک
$-4.2 < SWSI < -3.0$	خیلی خشک

نتیجه گیری

با توجه به آنچه گفته شد، هدف شناخت بموقع پدیده‌های خشکی، تشخیص شروع و خاتمه و همچنین ارزیابی درجه بحرانی بودن آن می‌باشد تا با توجه به آن بتوان با استفاده از شیوه‌های مدیریتی مناسب، اثرات ناشی از آن را کاهش داد. با توجه به اینکه خشکی اقلیمی و هیدرولوژیکی، در ابتدای پدیده‌ی مخرب و ویرانگر خشکسالی اتفاق می‌افتد و سرآغاز خشکسالیهای کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی که اثرات آنها فاجعه‌آمیز است رخ می‌دهد، شناسایی و حتی پیش‌بینی این دو نوع خشکسالی می‌تواند تا حد زیادی در مدیریت بحران و کاهش خسارات ناشی از آن مؤثر باشد. در این مقاله ضمن تعریف انواع خشکسالیها، سعی شده است که تمامی روشها و شاخصهای بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بیان شود و از بین این شاخصها، نمایه‌هایی که طبق بررسیهای محققین نتایج بهتری را داشته است به تفصیل ذکر شود. جهت رسیدن به این هدف، با تعریف خشکی اقلیمی و هیدرولوژیکی، معیاری جهت شناسایی وقوع یک پدیده‌ی خشک از روی پارامترهای اقلیمی که بطور مستقیم مشاهده می‌شوند، تعریف شده است.

## منابع

- 1- پاپلی یزدی، محمد حسین و دیگران (1378)، آیینهای بارانخواهی در زمان خشکسالیها، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی ویژه‌ی هوا-اقلیم، سال چهارم، شماره‌ی 3 و 4، شماره‌ی پایا 54، 55 پاییز و زمستان، صفحات 186 - 211.
- 2- کتیبه‌ی داریوش کبیر در تخت جمشید (قویدل رحیمی، 1381 الف، : 16 به نقل از فرهنگنامه‌ی بریتانیکا)
- 3- فرج زاده، م.ع، موحد دانش و ه، قائمی. 1379. خشکسالی در ایران با استفاده از برخی شاخصهای آماری. نشریه دانش کشاورزی، شماره‌های 1 و 2 (جلد 5)، ص 51-31.
- 4- سازمان هواشناسی کشور 1381، خلاصه‌ی مقالات سومین کنفرانس تغییر اقلیم، اصفهان.
- 5- کارآموز، م. عراقی نژاد، ش. 1384. "هیدرولوژی پیشرفته". انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- 6- خلیلی، ع و بذرافشان، ج.، 1382، ارزیابی کارآیی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران، نیوار، بهار و تابستان 1382. شماره‌ی 49 و 48. 93-79.
- 7- وفاخواه، م. رجیبی، م. "کارآیی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالیهای حوزه‌ی آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلم". بیابان (جلد 10، شماره‌ی 2، سال 1384).
- 8- فرج زاده اصل، منوچهر. "تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی در ایران" رساله‌ی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، 1374.
- 9- Dupigny, J.A., "Towards characterizing and planning for drought in Vermont-Part I: A climatological perspective", J.Am. Water Resour. Assoc., 37(3):505-525, 2001.
- 10- Hayes, M. J. (2000); "Drought Indices", National Drought Mitigation Center (NDMC).
- 11- Hong. W and J. Hayes (2001) An Evaluation of the standardized precipitation Index, The China- Z Index and the statistical Z-Score Int. J.Climatol, 21745-758 PP.
- 12- Hayes, Michael (1999) "Drought Indices, "in Drought Happens, Climate Impacts Specialist, national Drought Mitigation Center, 8 pages.
- 13- Mckee, T. B, N. J. Doesken and J. Kleist (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales 8 Conf, Applied climatology.
- 14- Raudkivi Arvedj, (1979) "An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modeling", Percamon Press.
- 15- Chang fi-john and Yang-Hsiang Chin (1993) "Statistical Analysis of Extreme Hydrological Droughts" In Engineering Hydrology Edited by Y.H.Chin. Proceed; Hydraulic. Div. ASCE, San Francisco, California.