

## بررسی و تحلیل خشکسالی هواشناسی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در استان تهران

علی اکبر عرب سلغار<sup>۱\*</sup>، حسین صدقی<sup>۲</sup> و مهران ملکی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۲

### چکیده

خشکسالی به عنوان یکی از بزرگ‌ترین بلاایای طبیعی بشمار می‌آید، چه، تاثیر آن بر جوامع بشری بیش‌تر از دیگر بلاایای طبیعی است. مطالعه در زمینه‌ی خشکسالی نقشی بسیار مهم در برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت منابع آب دارد. هدف این مقاله، تحلیل و بررسی خشکسالی بر اساس داده‌های بارندگی سالانه در استان تهران با استفاده از الگوریتم بدون فراسنج تحلیل مکانی شبکه‌های عصبی (SANN) می‌باشد. داده‌های بهنجارسازی و معیار شده‌ی بارندگی به درجات معینی از شدت خشکسالی (بسیار زیاد، زیاد، متوسط و بدون خشکسالی) بر اساس روش حدآستانه و استفاده از توزیع بهنجار معیار طبقه‌بندی شدند سپس احتمالات خشکسالی در هر نقطه معین در منطقه تعیین شد و براساس نمایه‌ی شدت خشکسالی بیزین به درجات خشکسالی معین طبقه‌بندی شدند. همچنین، نقشه‌های شدت خشکسالی در استان تهران که نشان دهنده‌ی تغییرات مکانی از شدت خشکسالی برای کل منطقه در یک سال بخصوص می‌باشند، رسم گردیدند. نتایج نشان می‌دهند که در طول دوره‌ی آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۸-۱۳۸۷) ۱۶/۷٪ سال‌ها دارای خشکی بسیار زیاد، ۲۶/۶۵٪ سال‌ها دارای خشکی زیاد، ۳۰٪ سال‌ها دارای خشکی متوسط و ۲۶/۶۵٪ سال‌های بدون خشکی بوده اند که ۲۳ درصد خشکسالی‌ها مربوط به دهه‌ی نخست و دو دهه‌ی دیگر به گونه‌ی مساوی ۳۸/۵ درصد خشکسالی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، الگوریتم بدون فراسنج تحلیل مکانی خشکسالی، شبکه‌ی عصبی، نمایه‌ی بیزین.

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

\*- نویسنده‌ی مسوول: ali.arabsolghar@gmail.com

## مقدمه

کشور را در بر گرفته بود که بیش‌ترین آن مربوط به ۱۳۴۹ و کم‌ترین آن مربوط به ۱۳۳۹ بوده است.

رضیئی و همکاران (۱۳۸۲)، در بررسی خشکسالی با استفاده از نمایه‌ی SPI، آن را یکی از ویژگی‌های اقلیمی مناطق گوناگون کشور می‌دانند و در این میان، مناطق مرکز و جنوب‌شرق کشور از فراوانی خشکسالی بیش‌تری برخوردارند.

شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۷۹)، در بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها بر اساس آمار بلند مدت بارندگی‌های سالانه‌ی ایران، احتمال وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها را برای ۵ ایستگاه سینوپتیک بوشهر، اصفهان، مشهد، تهران و جاسک که هر کدام معرف اقلیم و منطقه‌ی خاصی از کشورند را برآورد کرده و نتیجه گرفتند که احتمال خشکسالی‌ها در بوشهر، مشهد و جاسک بیش از ترسالی‌ها و در اصفهان و تهران احتمال ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها با هم برابر است.

مرادی و همکاران (۱۳۸۰)، در پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شبیه توزیع منطقه‌ای در ۵۰ ایستگاه منتخب ایران در یک دوره‌ی ۳۰ ساله، به این نتیجه رسیدند که در ۲۲ درصد از سال‌ها کل کشور تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته است. شدیدترین خشکسالی‌ها در ۶۳-۱۳۶۲ و ۷۴-۱۳۷۳ با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ ساله و در ۵۰ درصد از مساحت ایران با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله بوده است.

کمالی و خزانه‌داری (۱۳۸۰)، در پژوهشی بمنظور بررسی وضعیت خشکسالی مشهد از سه روش تحلیل بارش، نمایه درصد بهنجار و دهک‌ها استفاده کردند. بر پایه‌ی گزارش مزبور آخرین خشکسالی در آن زمان از سال ۱۳۷۸ آغاز شده و تا سال ۱۳۸۰ ادامه داشته است. همچنین، خشکسالی‌های شدید مشابهی در سال‌های ۱۳۴۵ و ۱۳۴۹ در این شهر رخ داده است و شدت خشکسالی در ماه‌های آغازین سال زراعی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ بسیار شدید بوده و در اسفند از شدت آن کاسته شده است. نصیری و همکاران (۱۳۸۸)، در پژوهشی با استفاده از نمایه‌ی معیار شده‌ی بارش SPI به بررسی و پیش‌بینی خشکسالی در شهرستان مرودشت پرداخته و به این نتیجه رسیدند که منطقه‌ی مورد مطالعه در بیش‌تر سال‌ها دچار

وقوع خشکسالی‌های متناوب و طولانی و نوسان‌های بالای آب و هوا، از عوامل اصلی کمبود آب بویژه منابع آب‌های سطحی است که فشار مضاعفی را بر منابع آب زیرزمینی وارد می‌آورد. مطالعه در زمینه‌ی خشکسالی تأثیر به‌سزایی در برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت سامانه‌های منابع آب دارد. در چند سال اخیر، با پیدایش و توسعه‌ی هوش محاسباتی که در واقع استخراج هوش، دانش و الگوریتم محاسبات عددی و ارایه‌ی روزآمد داده‌های عددی است، علاقه‌ی بسیاری را در میان پژوهشگران ایجاد کرده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزاری قدرتمند هستند که با تقلید ساده از سامانه‌ی عصبی انسان ساخته شده‌اند (منهاج ۱۳۸۸).

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر ساختارهای مبتنی بر هوش محاسباتی در علوم گوناگون، کاربرد این ابزار در دانش‌های آب اندک بوده و در ابتدای راه است، اما به دلیل توانایی این ابزار در شبیه‌سازی فرآیندهای بسیار پیچیده و نامعلوم که در علوم مرتبط با آب به وفور یافت می‌شوند، زمینه و امکان کاربرد گسترده‌ی آن‌ها مهیا شده و شمار بسیاری از پژوهش‌ها در این مورد می‌باشند. شبیه‌هایی که بر پایه‌ی شبکه‌های عصبی مصنوعی توسعه یافته‌اند، ماهیت تجربی دارند، با این وجود، در عمل می‌توانند راه حل‌های دقیقی برای مسایل دارای توسعه‌ی رابطه‌ی صریح یا ناصریح و هم‌چنین، برای پدیده‌هایی که تنها از راه داده‌های آزمایشی و مشاهدات میدانی قابل درکند، ارایه نمایند. یک سامانه ممکن است غیرخطی و چند متغیره بوده و متغیرهای دخیل ممکن است دارای روابط داخلی پیچیده‌ای باشند؛ شبکه‌های عصبی توانایی مطابقت این پیچیدگی را داشته و دقت آن‌ها با افزایش هر چه بیش‌تر داده‌های ورودی افزایش می‌یابد. همچنین، شبکه‌های عصبی توانایی استخراج رابطه‌ی بین داده‌های ورودی و خروجی یک فرآیند را بدون هیچ‌گونه آگاهی از اصول آن دارند (صیادی و همکاران، ۱۳۸۷).

احمدی (۱۳۸۳)، در بررسی خشکسالی‌های کشور بین ۱۳۳۵-۱۳۸۰ به این نتیجه رسید که ۱۳۳۵، ۱۳۳۹، ۱۳۴۹، ۱۳۵۲، ۱۳۶۱، ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ سال‌هایی بودند که در آن‌ها خشکی بیش از ۶۰ درصد از مساحت کل

## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

استان تهران در سرزمینی به وسعت ۱۷ هزار کیلومتر مربع در شمال فلات مرکزی ایران واقع شده است. این استان بین ۳۴/۰ تا ۳۶/۵ درجه‌ی عرض شمالی و ۵۰/۰ تا ۵۳/۰ درجه‌ی طول شرقی قرار گرفته است. آب و هوای استان در مناطق کوهستانی معتدل و در دشت‌ها نیمه‌بیابانی است اندازه‌ی بارندگی از ۷۰۰ میلی‌متر در نواحی شمالی تا ۱۲۰ میلی‌متر در نواحی جنوبی متغیر است.

### داده‌های مورد نیاز

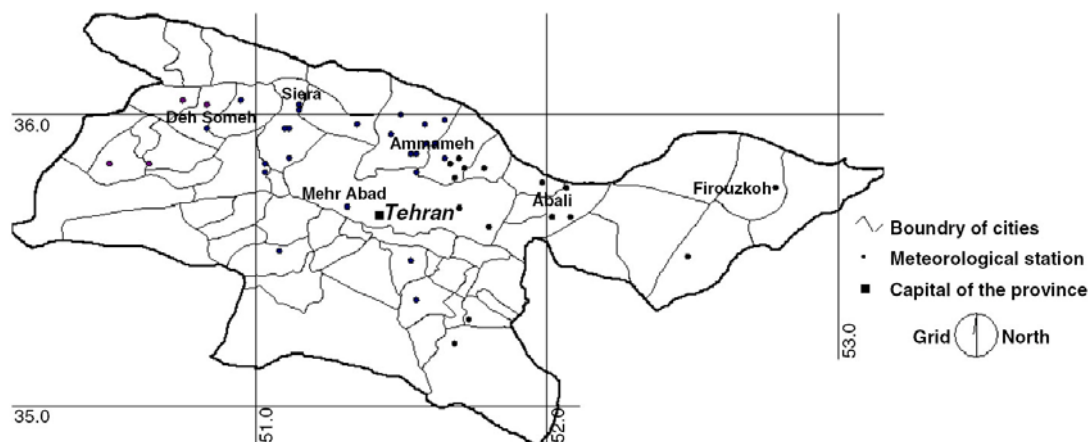
داده‌های خام که شامل آمار سالانه‌ی بارندگی که از مجموع ۱۳۰ ایستگاهی که سازمان هواشناسی و وزارت نیرو تحت نظارت و اداره‌ی خود دارند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ۳۰ مورد از این آمار، با توجه به طول دوره‌ی مورد نظر که ۳۰ ساله بوده برای این پژوهش مناسب تشخیص داده شده‌اند. موقعیت این ایستگاهها در شکل ۱ نشان داده شده است.

خشکسالی‌های کوتاه مدت بوده و با دیرپایی خشکسالی شدت آن در سال‌های اخیر به مراتب بیش‌تر از سال‌های گذشته است. همچنین، شهرستان مرودشت پنج دوره‌ی خشکسالی را تجربه کرده که طولانی‌ترین آن پنج سال ادامه داشته و شدیدترین آن مربوط به سال آبی ۸۶-۸۷ و در حد خشکسالی بسیار شدید می‌باشد.

Tingui (۲۰۰۱) با تهیه‌ی یک شبیه مصنوعی چند متغیره‌ی جریان فصلی، داده‌های دراز مدت رواناب را در رود زرد تهیه و با استفاده از روش فازی<sup>۱</sup> سال‌های خشک را تعیین کرد. ترکیب این دو روش دارای نتایج مطلوبی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب این رود بود.

شین و سالاس (۲۰۰۰)، با تحلیل منطقه‌ای خشکسالی در جنوب‌غربی کلرادو با استفاده از داده‌های بارندگی و رسم نقشه‌های شدت خشکسالی در سال‌های گوناگون توانستند دوام و شدت آن را در این منطقه تخمین بزنند.

در این پژوهش از شبکه‌ی عصبی چند لایه‌ای پیشخور و الگوریتم بدون فراسنج تحلیل مکانی<sup>۲</sup> (SANN) جهت تحلیل و بررسی خشکسالی براساس داده‌های بارندگی سالانه در استان تهران استفاده شده است.



شکل ۱- محدوده‌ی جغرافیایی استان تهران همراه با موقعیت ایستگاههای مورد استفاده.

1- fuzzy

2- spatial analysis neural networks

### بهنجارسازی<sup>۱</sup>، معیارسازی<sup>۲</sup> داده‌ها و روش حدآستانه<sup>۳</sup>

نخستین گام در تحلیل خشکسالی بهنجارسازی داده‌ها می‌باشد به گونه‌ای که داده‌ها از توزیع بهنجار معیار پیروی کنند؛ برای این منظور با استفاده از رابطه‌ی ۱ داده‌ها به بهنجار تبدیل می‌شوند:

$$x_i = \frac{X_i - X_{\min} - (h-l)}{X_{\max} - X_{\min}} + l \quad i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

$x_i$  = مقدار بهنجار شده‌ی داده‌ی  $\bar{A}_m$ ،

$X_i$  = مقدار واقعی داده‌ی  $\bar{A}_m$ ،

$X_{\min}$  = مقدار واقعی کوچک‌ترین داده،

$X_{\max}$  = مقدار واقعی بزرگ‌ترین داده،

$h$  = حد بالای فاصله‌ی بهنجارسازی،

$l$  = حد پایین فاصله‌ی بهنجارسازی.

سپس داده‌ها را با استفاده از رابطه‌ی ۲ به داده‌های معیار شده‌ی بارندگی تبدیل کردیم:

$$Z_t(k) = \frac{Q_t(k) - \bar{Q}(k)}{S_Q(k)} \quad (2)$$

$Q_t(k)$  = داده‌های بهنجارسازی شده،

$\bar{Q}(k)$  = میانگین داده‌های بهنجارسازی شده،

$S_Q(k)$  = انحراف معیار داده‌های بهنجارسازی شده.

روش حدآستانه بمنظور تعیین محدوده‌ی شدت‌های گوناگون خشکسالی انجام گرفته که کل منطقه را به چهار درجه یا طبقه از شدت خشکسالی به نام‌های  $C^1$ ،  $C^2$ ،  $C^3$  و  $C^4$  که به ترتیب نشان دهنده‌ی شدت خشکسالی بسیار زیاد، زیاد، متوسط و بدون خشکسالی می‌باشند، تقسیم کردیم.

### تنظیم کیفی داده‌ها

با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش Run-Test تنظیم کیفی داده‌ها انجام گرفت. بر این اساس، کلیه‌ی داده‌های بارندگی ایستگاهها همگن تشخیص داده شدند.

### طبقه بندی بیزین<sup>۴</sup>

برای محاسبه‌ی میانگین شرطی از الگوریتم بدون فراسنج تحلیل مکانی استفاده می‌کنیم. تحلیل براساس تخمین گر بدون فراسنج چگالی نقاط پارزن<sup>۵</sup> (۱۹۶۲) صورت می‌گیرد. متغیر مکانی  $Z(x)$  که دارای مختصات دو بعدی  $X=[x,y]$  است و هر متغیر مکانی شامل آمار بارندگی، پس از بهنجارسازی و معیارسازی به صورت  $Z_t(x)$  نمایش داده می‌شود.  $t$  نشان دهنده‌ی سال بخصوص و  $k$  نشان دهنده‌ی ایستگاه اندازه‌گیری داده‌ها می‌باشد و هدف ما در این بخش محاسبه‌ی میانگین شرطی نقاط است که بنا به روش ارایه شده به وسیله‌ی پارزن (۱۹۶۲) و اسپکت (۱۹۹۱) امید ریاضی با استفاده از روابط ۳، ۴ و ۵ محاسبه می‌شود:

$$\hat{z}(x) = \frac{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^j \left( \frac{1}{\sigma_x^2(i,j)} \right) Z_t(i,j) a_x(i,j)}{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^j \left( \frac{1}{\sigma_x^2(i,j)} \right) a_x(i,j)} \quad (3)$$

$a_x(i,j)$  = تابع مرکزی گاسین<sup>۱</sup> که به عنوان تابع تبدیل

یا فعال سازی عمل می‌کند.

$$a_x(i,j) = \exp \left[ -\frac{D_x^2(i,j)}{2\sigma_x^2(i,j)} \right] \quad (4)$$

فاصله‌ی بین بردار ورودی  $x$  و  $\bar{A}_m$  مرکز  $X_t(i,j)$

در طبقه‌ی  $z$   $D_x(i,j) = z$

$$D_x^2(i,j) = [x - x_t(i,j)]^T [x - x_t(i,j)] \quad (5)$$

عرض  $i$  آمین GKF در طبقه‌ی  $z$   $\sigma_x(i,j)$

برای طبقه‌بندی بیزین نیاز به محاسبه رخ دادن ردیف

معین  $C^j$  در نقطه‌ی  $x$  می‌باشد که با استفاده از رابطه‌ی

۶ محاسبه گردید.

$$\hat{P}(C^j | x) = \frac{\sum_{i=1}^{s_j} \left( \frac{1}{\sigma_x^2(i,j)} \right) a_x(i,j)}{\sum_{j=1}^{N_j} \sum_{i=1}^{s_j} \left( \frac{1}{\sigma_x^2(i,j)} \right) a_x(i,j)} \quad (6)$$

منطقه‌ی  $R$  را به زیر حوضه‌های  $R_1, R_2, \dots, R_N$  تقسیم

کرده به گونه‌ای که اگر یک نقطه در منطقه‌ی  $R_r$  قرار

گیرد، در طبقه‌ی  $C^r$  قرار گرفته است. مرز بین زیر

حوضه‌های گوناگون با استفاده از بیزین و رابطه‌ی ۷

محاسبه شد:

<sup>4</sup> - bayesian classifier

<sup>5</sup> parzen's nonparametric point density estimators

<sup>6</sup> -gaussian kernel function (GKF)

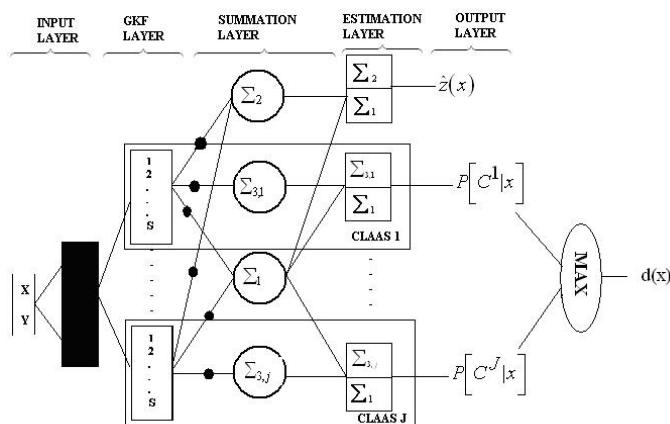
<sup>1</sup> - normalization data

<sup>2</sup> - standardization data

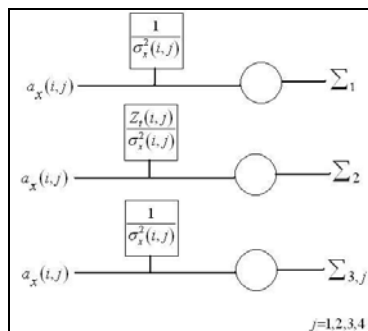
<sup>3</sup> - truncation levels

### ساختار تحلیل مکانی شبکه‌های عصبی (SANN) و آموزش شبکه<sup>۲</sup>

SANN یک شبکه‌ی پیشخور عصبی است که در شکل ۲ نشان داده شده است. این شبکه شامل ۵ لایه بوده، گره‌ها یا نرون‌ها به وسیله‌ی اتصالاتی با وزن و بدون وزن به هم متصل شده‌اند.



شکل ۲- ساختار تحلیل مکانی شبکه‌های عصبی شامل پنج لایه و اتصالات بین آن‌ها.



شکل ۳- وزن‌های بین اتصالات در گره‌های GKF و جمع. گره‌ی GKF به لایه‌ی جمع با وزن‌هایی که در شکل ۳ نشان داده شده اند، متصل شده و خروجی‌های آن بر اساس روابط ۸ تا ۹ محاسبه می‌شوند.

$$\Sigma_1 = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{N^j} \left( \frac{1}{\sigma_x^2(i,j)} \right) a_x(i,j) \quad (8)$$

$$\Sigma_2 = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{N^j} \left( \frac{1}{\sigma_x^2(i,j)} \right) Z_i(i,j) a_x(i,j) \quad (9)$$

$$\Sigma_{3,j} = \sum_{i=1}^{N^j} \left( \frac{1}{\sigma_x^2(i,j)} \right) a_x(i,j) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{If } \max \{ \hat{P}[C^1|x], \hat{P}[C^2|x], \dots, \hat{P}[C^N|x] \} = \hat{P}[C^r|x] \\ \text{then } d(x) = r \\ r = 1, \dots, N; \text{ and } d(x) = \text{class indicator} \end{aligned} \quad (7)$$

نخستین لایه، لایه‌ی ورودی است؛ سپس لایه‌ی GKF و پس از آن لایه‌های مجموع و تخمین و در آخر لایه‌ی خروجی می‌باشد. لایه‌ی ورودی دارای S گره بوده که هر کدام نشان دهنده‌ی مختصات x و y از مشاهدات یک ایستگاه می‌باشند (X=[x,y]). مختصات بردار ورودی به لایه‌ی GKF انتقال داده می‌شود که اتصال بین آن‌ها بدون وزن است. در این لایه، مجموع مشاهدات  $\{X_i(k), Z_i(k) | k=1, \dots, S\}$  به چهار طبقه طبقه‌بندی شده و به صورت  $\{X_i(i,j), Z_i(i,j) | i=1, \dots, S^j \text{ and } j=1, 2, 3, 4\}$  نمایش داده می‌شوند. لایه‌ی GKF شامل S گره همراه با  $S^1 + S^2$  گره در هر طبقه‌ی J می‌باشد و به صورت  $S^1 + S^2 = S$  نمایش داده می‌شوند. خروجی هر گره GKF نشان دهنده‌ی یک تابع از فاصله بین مرکز  $X_i(i,j)$  و نقطه‌ی ورودی x می‌باشد و هر گره GKF فقط زمانی که نمونه‌ی ورودی در داخل محدوده قرار گیرد، پاسخ می‌دهد.

<sup>1</sup>- spatial analysis neural networks  
<sup>2</sup>- training

سپس بر اساس احتمالات خشکسالی منطقه  
 $(EDP_t^1, EDP_t^2, EDP_t^3, EDP_t^4)$  و  $(NDP_t^1, NDP_t^2, NDP_t^3, NDP_t^4)$  شدت  
 خشکسالی منطقه برای سال  $t$ ،  $RDS_t$  با استفاده از  
 رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} & \text{if } EDP_t^1 > (SDP_t^1 + MDP_t^1 + NDP_t^1), \text{ then} \\ & \quad RSD_t = \text{Extreme} = E \\ & \text{or else if } (EDP_t^1 + SDP_t^1) > (MDP_t^1 + NDP_t^1) \\ & \quad \text{then } RSD_t = \text{Severe} = S \\ & \text{or else if } (EDP_t^1 + SDP_t^1 + MDP_t^1) > NDP_t^1 \\ & \quad \text{then } RSD_t = \text{Mild} = M \\ & \text{otherwise, } RSD_t = \text{Regional Nondrought} = N \end{aligned} \quad (13)$$

### نتایج

برای محاسبات از ابزار شبکه‌های عصبی استفاده شد.  
 احتمالات شدت‌های خشکسالی برای کل ایستگاهها و  
 همچنین، احتمال خشکسالی برای کل استان تهران، در  
 بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله (۸۷-۱۳۵۸) بر اساس نمایه‌ی شدت  
 خشکسالی بیزین در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

خروجی‌های لایه‌ی جمع با وزن واحد به لایه‌ی تخمین  
 منتقل شده و مقدار  $\hat{P}[C^j|x], j=1,2,3,4$  و  $\hat{z}(x)$  تعیین  
 می‌گردد.

$$\hat{z}(x) = \sum_2 / \sum_1 \quad (11)$$

$$\hat{P}[C^j|x] = \sum_{3,j} / \sum_1 \quad (12)$$

### نمایه‌ی شدت خشکسالی بیزین (BDSI)

هر نقطه‌ی  $x$  در منطقه‌ی مورد نظر دارای یک احتمال  
 است که متعلق به درجه‌ی معینی از شدت خشکسالی  
 است. احتمال خشکسالی بیزین در نقطه‌ی  $x$  برابر است با  
 بیش‌ترین احتمال شدت خشکسالی در نقطه‌ی  $x$  که در  
 جدول ۱ نشان داده شده است.

#### جدول ۱- شدت خشکسالی بیزین در نقاط و نمایه‌ی

شدت خشکسالی بیزین		نمایه‌ی خشکسالی	شرط تصمیم‌گیری
۱	خشکسالی بسیار زیاد	بیزین	$\text{if } \max [EDP_t^1(x), SDP_t^1(x), MDP_t^1(x), NDP_t^1(x)] = EDP_t^1(x)$
۲	خشکسالی زیاد	بیزین	$\text{if } \max [EDP_t^1(x), SDP_t^1(x), MDP_t^1(x), NDP_t^1(x)] = SDP_t^1(x)$
۳	خشکسالی متوسط	بیزین	$\text{if } \max [EDP_t^1(x), SDP_t^1(x), MDP_t^1(x), NDP_t^1(x)] = MDP_t^1(x)$
۴	بدون خشکسالی	بیزین	$\text{if } \max [EDP_t^1(x), SDP_t^1(x), MDP_t^1(x), NDP_t^1(x)] = NDP_t^1(x)$

پس از تخمین و محاسبه‌ی نمایه‌ی شدت خشکسالی  
 بیزین، بایستی شدت خشکسالی را برای کل منطقه  
 محاسبه گردد. احتمالات خشکسالی منطقه را با استفاده از  
 میانگین احتمالات خشکسالی نقاط برای هر شدت  
 خشکسالی محاسبه می‌کنیم:

$$\overline{EDP_t^1} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M EDP_t^1(x^m) \quad \text{احتمال خشکسالی بسیار زیاد منطقه}$$

$$\overline{SDP_t^1} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M SDP_t^1(x^m) \quad \text{احتمال خشکسالی زیاد منطقه}$$

$$\overline{MDP_t^1} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M MDP_t^1(x^m) \quad \text{احتمال خشکسالی متوسط منطقه}$$

$$\overline{NDP_t^1} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M NDP_t^1(x^m) \quad \text{احتمال بدون خشکسالی منطقه}$$

$M$  = تعداد نقاطی که در موقعیت همان شدت خشکسالی  
 قرار گرفته است.

<sup>2</sup> -Extreme Drought Severity

<sup>3</sup> -Severe Drought Severity

<sup>4</sup> -Mild Drought Severity

<sup>5</sup> -Nondrought Severity

<sup>6</sup> -Regional Drought Severity

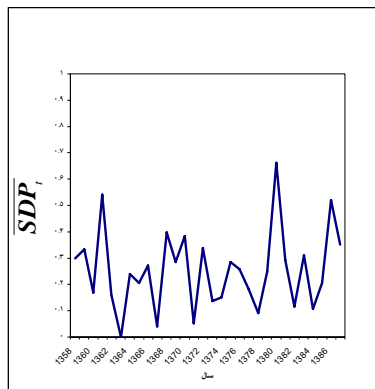
<sup>1</sup> - Bayesian Drought Severity Index

جدول ۲- احتمالات شدت خشکسالی منطقه‌ای در استان تهران در بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله (۸۷-۱۳۵۸).

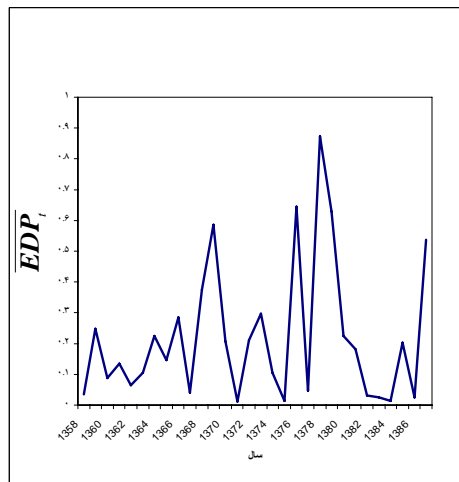
سال	$EDP_t$	$SDP_t$	$MDP_t$	$NDP_t$	$EDP_t + SDP_t$	$MDP_t + NDP_t$	$EDP_t + SDP_t + MDP_t$	$SDP_t + MDP_t + NDP_t$	شدت خشکسالی منطقه‌ای
۱۳۵۸	۰/۱۴۶	۰/۲۰۵	۰/۲۲	۰/۴۲۹	۰/۳۵۱	۰/۶۴۹	۰/۵۷۱	۰/۸۵۴	M
۱۳۵۹	۰/۱۷۱	۰/۱۱۶	۰/۱۳۴	۰/۵۷۹	۰/۲۸۷	۰/۷۱۳	۰/۴۲۱	۰/۸۲۹	N
۱۳۶۰	۰/۰۹۲	۰/۳۶۳	۰/۵۴۵	۰	۰/۴۵۵	۰/۵۴۵	۱	۰/۹۰۸	M
۱۳۶۱	۰/۲۲۵	۰/۲۳۹	۰/۰۹۸	۰/۴۳۷	۰/۴۶۴	۰/۵۳۶	۰/۵۶۲	۰/۷۷۵	M
۱۳۶۲	۰/۲۰۷	۰/۴۲۳	۰/۱۲۲	۰/۲۴۸	۰/۶۳	۰/۳۷	۰/۷۵۲	۰/۷۹۴	S
۱۳۶۳	۰/۰۱۴	۰/۲۸۶	۰/۱۹۲	۰/۵۰۸	۰/۳	۰/۷	۰/۴۹۲	۰/۹۸۶	N
۱۳۶۴	۰/۱۱۲	۰/۴۸۲	۰/۳۳۴	۰/۰۷۲	۰/۵۹۴	۰/۴۰۶	۰/۹۲۸	۰/۸۸۸	S
۱۳۶۵	۰/۱۵۱	۰/۱۸۴	۰/۲۰۴	۰/۴۶۲	۰/۳۳۴	۰/۶۶۶	۰/۵۳۸	۰/۸۴۹	M
۱۳۶۶	۰/۶۴۴	۰/۲۵۷	۰/۰۴۷	۰/۰۵۱	۰/۹۰۱	۰/۰۹۹	۰/۹۴۹	۰/۳۵۶	E
۱۳۶۷	۰	۰	۰/۰۰۸	۰/۹۹۲	۰	۱	۰/۰۰۸	۱	N
۱۳۶۸	۰/۲۲۵	۰/۶۶۳	۰/۱	۰/۰۱۱	۰/۸۸۹	۰/۱۱۲	۰/۹۸۹	۰/۷۷۵	S
۱۳۶۹	۰/۰۱۳	۰/۱۰۸	۰/۳۷۸	۰/۵۰۱	۰/۱۲۱	۰/۸۷۹	۰/۴۹۹	۰/۹۸۷	N
۱۳۷۰	۰/۱۳۶	۰/۵۵۵	۰/۱۷۳	۰/۱۳۶	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۸۶۴	۰/۸۶۴	S
۱۳۷۱	۰	۰/۰۸۳	۰/۱۱۵	۰/۸۰۲	۰/۰۸۳	۰/۹۱۷	۰/۱۹۸	۱	N
۱۳۷۲	۰/۳۷۵	۰/۳۹۸	۰/۱۴	۰/۰۸۶	۰/۷۷۴	۰/۲۲۷	۰/۹۱۴	۰/۶۲۵	S
۱۳۷۳	۰/۲۵۵	۰/۳۱۲	۰/۲۱۶	۰/۲۱۷	۰/۴۳۳	۰/۴۳۳	۰/۷۸۳	۰/۷۴۵	S
۱۳۷۴	۰/۰۳۵	۰/۲۹۹	۰/۳۴۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۴	۰/۶۶۶	۰/۳۷۷	۰/۹۶۴	M
۱۳۷۵	۰	۰	۰/۰۱۹	۰/۹۸۱	۰	۱	۰/۰۱۹	۱	N
۱۳۷۶	۰/۰۳۱	۰/۱۱۷	۰/۲۶۶	۰/۵۸۶	۰/۱۴۸	۰/۸۵۲	۰/۴۱۴	۰/۹۶۹	N
۱۳۷۷	۰/۲۵۶	۰/۱۵۱	۰/۴۲۱	۰/۱۷۲	۰/۴۰۷	۰/۵۹۳	۰/۸۲۸	۰/۷۴۴	M
۱۳۷۸	۰/۰۲۶	۰/۵۲۱	۰/۲۶۴	۰/۱۸۹	۰/۵۴۷	۰/۴۵۳	۰/۸۱۱	۰/۹۷۴	S
۱۳۷۹	۰	۰	۰/۰۲۲	۰/۹۷۸	۰	۱	۰/۰۲۲	۱	N
۱۳۸۰	۰/۰۵۲	۰/۰۸۷	۰/۱۴۹	۰/۷۱۳	۰/۱۳۹	۰/۸۶۲	۰/۲۸۷	۰/۹۴۸	N
۱۳۸۱	۰/۰۲۸	۰/۳۵	۰/۲۲۸	۰/۳۹۴	۰/۳۷۸	۰/۶۲۲	۰/۶۰۶	۰/۹۷۲	M
۱۳۸۲	۰/۰۲۵	۰/۳۱	۰/۲۲۱	۰/۴۴۴	۰/۳۳۵	۰/۶۶۵	۰/۵۵۶	۰/۹۷۵	M
۱۳۸۳	۰/۱۳۵	۰/۳۰۴	۰/۳۳۷	۰/۲۳۴	۰/۴۳۹	۰/۵۶۱	۰/۷۷۶	۰/۸۶۵	M
۱۳۸۴	۰/۱۳۶	۰/۳۳۲	۰/۵۰۱	۰/۰۴۱	۰/۴۵۸	۰/۵۴۲	۰/۹۵۹	۰/۸۷۴	M
۱۳۸۵	۰/۱۸۱	۰/۲۹۲	۰/۳۰۷	۰/۲۲	۰/۴۷۳	۰/۵۲۷	۰/۷۸	۰/۸۱۹	M
۱۳۸۶	۰/۲۸۵	۰/۳۷۲	۰/۲۴۵	۰/۱۹۷	۰/۵۵۸	۰/۴۴۳	۰/۸۰۳	۰/۷۱۵	S
۱۳۸۷	۰/۲۴۹	۰/۳۳۳	۰/۱۸	۰/۲۳۷	۰/۵۸۲	۰/۴۱۸	۰/۷۶۳	۰/۷۵۱	S

سپس نقشه‌های پایش خشکسالی برای ۳۰ سال دوره‌ی آماری رسم گردید که به عنوان نمونه نقشه‌ی سال‌های ۱۳۶۰، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۴ در شکل ۵ نشان داده شده است.

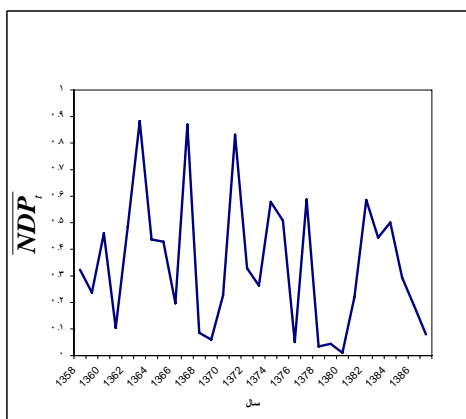
در این جدول، E خشکسالی بسیار زیاد، S خشکسالی زیاد، M خشکسالی متوسط و N احتمال بدون خشکسالی را نشان می‌دهد. در شکل ۴، گروه زمانی احتمالاتی خشکسالی بسیار زیاد، زیاد، متوسط و بدون خشکسالی نشان داده شده اند که آخرین نمودار در این شکل نشان دهنده‌ی گروه زمانی رخداد خشکسالی می‌باشد.



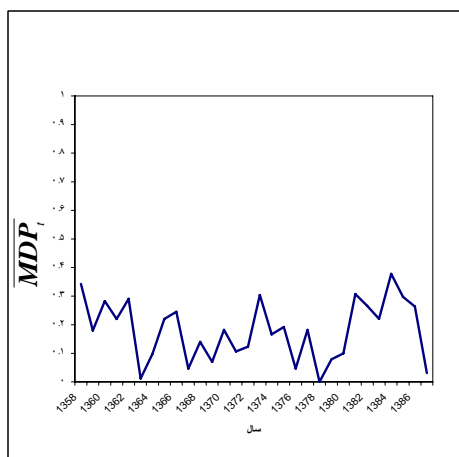
(ب)



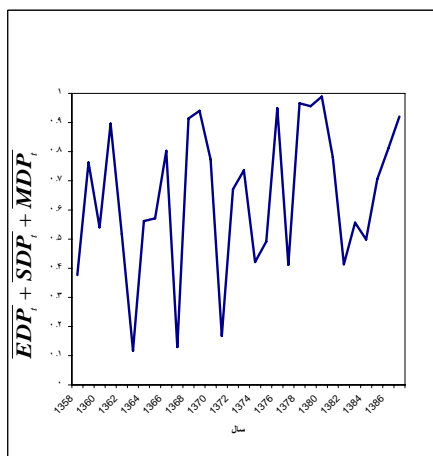
(الف)



(د)



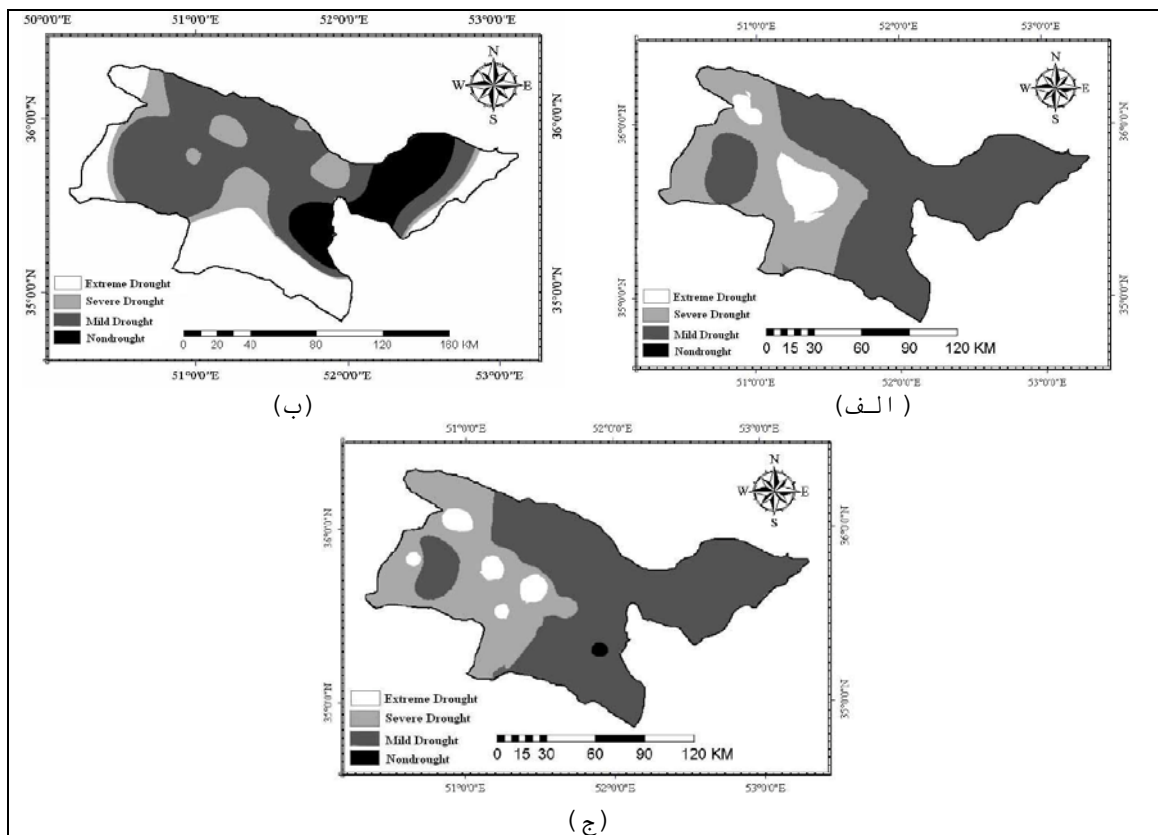
(ج)



(ه)

شکل ۴- گروه زمانی احتمالاتی خشکسالی منطقه الف) خشکسالی بسیار زیاد، ب) خشکسالی زیاد، ج) خشکسالی متوسط، د) بدون خشکسالی، ه) وقوع خشکسالی.





شکل ۵- توزیع مکانی شدت خشکسالی براساس نمایه‌ی شدت خشکسالی بی‌زین:  
 (الف سال ۱۳۶۰ ب) سال ۱۳۷۷ ج) سال ۱۳۸۴.

در (شکل ۴- الف) گروه زمانی احتمالاتی خشکسالی بسیار زیاد منطقه در بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله نشان داده شده است، همان گونه که از نمودار مشخص است، تنها در سال ۱۳۷۸ احتمال خشکسالی بسیار زیاد از مرز ۸۰ درصد تجاوز کرده که نشان دهنده‌ی بیش‌ترین احتمال خشکسالی بسیار زیاد در بین سال‌ها می‌باشد. در سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۶، ۱۳۷۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۷ خشکسالی بسیار زیاد منطقه از مرز ۵۰٪ گذشته است. شکل ۴- ب گروه زمانی خشکسالی زیاد منطقه را در بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله نشان می‌دهد؛ تنها در سال‌های ۱۳۶۱، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶ این مقدار از ۵۰ درصد تجاوز کرده است که نشان دهنده‌ی احتمال خشکسالی زیاد منطقه در این سال‌ها نسبت به سال‌های دیگر است. شکل ۴- ج، گروه زمانی خشکسالی متوسط منطقه را در بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله نشان می‌دهد که تنها تعداد محدودی از سال‌ها از مرز ۳۰ درصد گذشته است (سال‌های ۱۳۵۸، ۱۳۷۳، ۱۳۸۱،

۱۳۸۴). بقیه احتمالات شدت خشکسالی، کم‌تر از این مقدار هستند. شکل ۴- د، گروه زمانی احتمالاتی بدون خشکسالی منطقه در بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله را نشان می‌دهد؛ تنها در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۶۷ و ۱۳۷۱ احتمال بدون خشکسالی منطقه از مرز ۸۰ درصد گذشته و کم‌ترین آن در سال ۱۳۸۰ و ۱۳۷۹ می‌باشد که این مقدار زیر ۵ درصد است. از شکل ۴- ه می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌تر سال‌هایی که دارای مجموع احتمالات خشکسالی زیاد و بسیار زیاد منطقه با احتمال بیش از ۸۰ درصد می‌باشند، دارای خشکسالی بسیار زیاد بوده و تنها در سال ۱۳۸۰ خشکسالی از نوع Severe بوده است، همچنین، تمامی سال‌هایی که دارای مجموع احتمالات خشکسالی بسیار زیاد و زیاد منطقه با احتمالات کم‌تر از ۲۰ درصد بوده‌اند، در آن سال فاقد خشکسالی<sup>۱</sup> بوده‌اند.

<sup>۱</sup>- Nondrought

## نتیجه گیری

تحلیل مکانی خشکسالی با استفاده از الگوریتم بدون فراسنج تحلیل مکانی شبکه‌های عصبی روشی نوین در تحلیل مکانی و رسم نقشه‌های شدت خشکسالی با دقت بسیار بالا بوده و جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی در زمان خشکسالی، مانند استفاده از آبیگرها، سدها و ... کمک می‌کند. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که در دوره ۳۰ ساله در استان تهران، ۵ سال (حدود ۱۶/۷٪ سال‌ها) دارای خشکی بسیار زیاد، در ۸ سال (حدود ۲۶/۶۵٪ سال‌ها) دارای خشکی زیاد، در ۹ سال (حدود ۳۰٪ سال‌ها) دارای خشکی متوسط و در ۸ سال (حدود ۲۶/۶۵٪ سال‌ها) بدون خشکی بوده‌است. در نتیجه، خشکسالی متوسط بیش‌ترین آمار را در بین خشکسالی‌ها دارا می‌باشد. شاهیان و همکاران (۱۳۸۸)، به صورت مشابه با استفاده از نمایه SPI، داده‌های بارش را در استان فارس تحلیل نمودند؛ نتایج نشان دهنده‌ی بیش‌ترین فراوانی مربوط به خشکسالی‌های ملایم و در مرحله‌ی بعدی متوسط و بسیار شدید بودند.

بر اساس نمایه بیزین خشکسالی‌های بسیار زیاد در منطقه به ترتیب در ۱۳۷۸، ۱۳۷۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۷ به‌وقوع پیوسته‌اند. اگر کل دوره‌ی آماری را به ۳ دهه‌ی ۶۷-۵۸، ۷۷-۶۸ و ۸۷-۷۸ تقسیم کنیم، مشاهده می‌شود که حدود ۲۳ درصد خشکسالی‌ها مربوط به دهه‌ی نخست و دو دهه‌ی دیگر به گونه‌ی مساوی ۳۸/۵ درصد خشکسالی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. عثمانی (۱۳۸۸)، با استفاده از نمایه‌ی SPI در استان کردستان، به این نتیجه رسید که روند خشکسالی در منطقه رو به افزایش بوده و همچنین، خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال به ترتیب ۱۳۷۸ و ۱۳۷۲ بوده‌اند.

نتایج بدست آمده از گروه‌های زمانی نشان می‌دهند که امتداد خشکسالی‌ها به صورت سه سال متوالی در دوره‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۰ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ رخ داده است، کمالی و خزانه‌داری (۱۳۸۰)، به بررسی وضعیت خشکسالی در مشهد با کاربرد سه روش تحلیل بارش، نمایه درصد بهنجار و دهک‌ها بیان نمودند که آخرین خشکسالی متوالی (تا ۱۳۸۰) از ۱۳۷۸ آغاز شده و تا ۱۳۸۰ ادامه داشته است. در طول دوره‌ی آماری، استان

تهران دارای احتمال خشکسالی ۷۰٪ و احتمال ترسالی ۳۰٪ می‌باشد. با توجه به نقشه‌های پایش خشکسالی وقوع خشکسالی‌های شدید در جنوب و جنوب‌غرب این استان بیشتر از دیگر مناطق آن است.

## منابع

- ۱- احمدی، ح. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در بیابان‌زایی. مجله جنگل و مرتع، شماره ۶۲.
- ۲- اختری، ر.، م. ح. مهدیان و س. مرید. ۱۳۸۵. تحلیل مکانی نمایه های خشکسالی SPI و EDI در استان تهران. سال دوم شماره ۳. انجمن علوم و مهندسی منابع آب.
- ۳- رضیئی، ط.، ع. شکوهی، ب. ثقفیان و پ. دانش‌کار آراسته. ۱۳۸۲. پایش پدیده خشکسالی در ایران مرکزی با استفاده از نمایه SPI. سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم.
- ۴- شامحمدی حیدری، ز.، پ. حقیقت‌جو و پ. افراسیاب. ۱۳۷۹. تعیین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها براساس آمار بلند مدت بارندگی‌های سالانه در ایران. مجموعه مقالات کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب. دانشگاه زابل. اسفند ماه. ص. ۶۳-۷۰.
- ۵- شاهیان، ر.، ع. ک. جامع، ر. مستمند، م. حقیقت و م. دهقان. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی آستانه بحران خشکسالی استان فارس با استفاده از نمایه معیار بارش (SPI) در جهت نیل به مدیریت ریسک خشکسالی. همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
- ۶- صیادی، ح.، ا. فعالیان و ع. ا. صدرالدینی. ۱۳۸۷. پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شبکه‌های عصبی تاخیر زمانی مطالعه موردی: دشت تبریز. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، ایران.
- ۷- عثمانی، ل. ۱۳۸۸. کاربرد نمایه SPI در مطالعه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در استان کردستان طی دوره آماری (۱۳۶۸ تا ۱۳۸۷). همایش ملی بحران آب. دانشگاه آزاد مرودشت.
- ۸- مرادی، ا. و ج. بذرافشان. ۱۳۸۰. بررسی الگوهای مکانی توزیع خشکسالی، با استفاده از شبیه توزیع منطقه‌ای خشکسالی هواشناسی. مجموعه مقالات کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب. دانشگاه زابل. ص. ۱۱۶-۱۰۶.
- ۹- منهج، م. ب. ۱۳۸۸. مبانی شبکه‌های عصبی. جلد اول. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- ۱۰- نصیری، م. ع.، س. جباری، ف. بوستانی و س. ا. شمس‌نیا. ۱۳۸۸. تحلیل و پایش خشکسالی با استفاده از نمایه معیار شده

- 13- Saha, A., and J. D. Keeler. 1990. networks P: 482-489 in D. S. Touretzky. (eds). Advances in neural information processing system 2, Morgan Kaufmann, San Monteo, C.A.
- 14- Specht, D.F. 1991. A general regression neural network , IEEE Trans. On Neural Networks, 2(6).
- 15- Shin, H.S., and J.D. Salas. 2000. Regional drought analysis based on neural networks. J. Hydrol. Eng. 5: 145–155.
- بارش (SPI): (مطالعه موردی شهرستان مرودشت). همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
- 11- Moody, J., and D. J. Darken. 1989. Fast learning in networks of locally-tuned processing units. Neural Comput. 1: 281-294.
- 12- Parzen, E. 1962. On the estimation of a probability density function and mode. Annal. Math. Statis. 33: 1065–1076.

