

# پایش مکانی خشکسالی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹- ۱۳۸۰ استان تهران با استفاده از شاخصهای SPI، DI و سیستم اطلاعات جغرافیایی EDI

مهنوش مقدسی<sup>۱</sup>، شهلا پایمزد<sup>۲</sup>، سعیدمرید<sup>\*۲</sup>

۱- دانشجوی دوره دکترای سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش: ۸۳/۱۲/۱۷

دریافت: ۸۳/۲/۲۶

## چکیده

طی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ استان تهران شاهد شدیدترین خشکسالیهای دهه‌های اخیر بوده که بررسی گستره و تحلیل درباره آن لازم است. لازم به ذکر است که برای این تحلیل استفاده از شاخصهای خشکسالی می‌تواند مؤثر باشد. این شاخصها در واقع بیان کمی بلیه طبیعی خشکسالی بوده تا امکان ارزیابی آن را در مقیاسهای مختلف زمانی و مکانی ممکن سازند. در تحقیق حاضر برای پایش خشکسالی این دوره و تهیه نقشه‌های آن از سه شاخص DI<sup>۱</sup>، SPI<sup>۲</sup> و EDI<sup>۳</sup> و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS<sup>۴</sup> استفاده شده و به این منظور اطلاعات ۴۳ ایستگاه در سطح استان به کار رفته است. نتایج نشان داد که DI نسبت به بارندگی نوسانهای شدیدی داشت، ضمن اینکه هماهنگی زمانی و مکانی مناسبی بین نتایج آن قابل مشاهده نمی‌باشد. همچنین شاخص SPI در مقیاس ماهانه واکنش کافی به کمبود ریزشها از خود نشان نمی‌دهد. اما شاخص جدید EDI در مجموع عکس‌العمل مناسبی را نسبت به خشکسالیها داشته و پیوستگی منطقی بین نتایج آن قابل مشاهده است.

**کلید واژه‌ها:** سیستم پایش خشکسالی، شاخصهای خشکسالی هواشناسی، استان تهران، خشکسالی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

E-mail: [morid-sa@modarres.ac.ir](mailto:morid-sa@modarres.ac.ir)

\* نویسنده مسؤول مقاله

1. Deciles Index
2. Standardized Precipitation Index
3. Effective Drought Index
4. Geographic Information System

## ۱- مقدمه

استان تهران طی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ با یکی از شدیدترین خشکسالیهای دهه‌های اخیر مواجه شد که بررسی این دوره ضمن آنکه ضرورت دارد می‌تواند در پاره‌ای از تحلیلها مانند ارزیابی عملکرد شاخصهای خشکسالی و تدوین سیستمهای پایش مؤثر باشد. طراحی سیستم پایش خشکسالی از ضروری‌ترین ابزارهای لازم در مقابله با این بلیه طبیعی بوده و به کرات مورد توصیه قرار گرفته است [۱، ص ۱۷۴؛ ۲، صص ۲۹-۳۸].

به دنبال خشکسالیهای سالهای ۱۹۸۶ - ۱۹۹۲ م. در آمریکا، گزارشی به‌وسیله آژانس مدیریت ضرورت فدرال<sup>۱</sup> در خصوص مدیریت خشکسالی این دوره تدوین شد و توصیه‌هایی را در آن ارائه کرد که اولین آنها تهیه سیستم پایش خشکسالی بود [۱، ص ۱۷۴؛ ۲، صص ۲۹-۳۸]. اداره ارزیابی تکنولوژی<sup>۲</sup> نیز مطالعه‌ای خاص را به درخواست کنگره آمریکا انجام داد تا بررسی کند که ایالت متحده در مقابله با تغییر اقلیم چگونه باید عمل کند. در این مطالعه خشکسالی به طور گسترده‌ای مد نظر قرار گرفت و مجدداً بر لزوم ایجاد سیستم پایش خشکسالی و نقش مهم آن در مدیریت فعال خشکسالی تأکید شد [۳، صص ۱-۹۳]. این سیستم هم اکنون راه اندازی شده است و از طریق سایت مرکز ملی مقابله با خشکسالی قابل دسترس می‌باشد [۴]. مطالب بیشتر در این خصوص به وسیله مرید ارائه شده است [۵، صص ۱۹۱-۲۰۰].

در ایران بخصوص بعد از خشکسالیهای اخیر، استفاده از شاخصها و پهنه‌بندی خشکسالی بیش از پیش مد نظر قرار گرفته است. ابرقوئی و همکاران نقشه‌های شدت و پهنه‌بندی خشکسالی را برای استان یزد ترسیم نمودند [۶، صص ۸۳۷-۸۶۷]. قطره سامانی روند خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری را بررسی کرد و نقشه توزیع خشکسالی این استان را در سالهای ۱۹۹۹-۲۰۰۰ با توجه به دهک‌های اول، دوم و سوم رسم نمود [۷، صص ۳۶-۴۴]. لشنی زند و خرمیان پهنه‌بندی خشکسالی اقلیمی در استان لرستان را بر پایه درجه شدت خشکسالی تعیین نمودند و با استفاده از نرم افزار SURFUR ترسیم کردند؛ سپس مساحت گسترده‌های خشکسالی استان را در طول این دوره مورد بررسی قرار دادند [۸، صص ۱۰۹-۱۲۱]. در پایش و منطقه‌بندی خشکسالی، استفاده از سیستم اطلاعات

1. FEMA: Federal Emergency Management Agency  
2. OTA: Office of Technology Assessment

جغرافیایی کاربرد و قابلیت فراوانی یافته است که مقدسی و ناوا در تحقیقات خود به آن اشاره داشته‌اند [۹، صص ۳۰-۴۰؛ ۱۰].

اما از طرفی دیگر، سیستمهای پایش خشکسالی متکی به شاخصهایی می‌باشند که در واقع بیان کمی شدت خشکسالی بوده و امکان ارزیابی آن را در مقیاسهای مختلف زمانی و مکانی میسر می‌سازد. از جمله مهمترین این شاخصها، DI است که در استرالیا به دلیل محاسبات نسبتاً ساده، داده‌ها و فرضیه‌ها کمتر کاربرد فراوانی دارد [۱۱، صص ۱۱-۱۲]. طی سالهای اخیر SPI نیز توجه زیادی را به خود جلب کرده و بسیاری از محققان خشکسالی به قابلیت انعطاف پذیری این روش اشاره داشته‌اند. از دلایل اصلی امکان جایگزینی این شاخص نسبت به شاخص پیچیده پالمر می‌توان اتکا به آمار کمتر و محاسبات ساده‌تر را نام برد [۱۲، صص ۴۳؛ ۱۳، صص ۴۲۹-۴۳۸]. بویان و وایلهایت<sup>۱</sup> نقدی را به طور کامل بر شاخصهای خشکسالی ارائه دادند که مهمترین آنها عبارت بود از اینکه شاخصهای مرسوم نمی‌توانند به طور دقیق شروع و خاتمه خشکسالی را تعیین کنند، تأثیر تجمعی بارش را در پایش خشکسالی نمی‌بینند و مقیاس زمانی آنها که حداقل ماهانه است، نمی‌گذارد تا خشکسالی به طور پیوسته پایش شود. بنابراین این موارد انگیزه ارائه شاخص جدیدی به نام EDI شد [۱۴، صص ۲۷۴۷-۲۷۵۶].

تحقیق حاضر تلاشی برای پایش خشکسالی در سطح گسترده با استفاده از شاخصهای EDI، SPI، DI و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. به این منظور استان تهران به عنوان منطقه مطالعاتی و سالهای ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ که یکی از شدیدترین دوران خشکسالی در استان بوده است، ارزیابی می‌شود.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- منطقه مطالعاتی و داده‌ها

آب و هوای استان تهران تحت تأثیر سامانه‌های مختلف هواشناسی قرار دارد که از مهمترین آنها سامانه‌های کم فشار مدیترانه‌ای و سودانی است. هر قدر تواتر این سامانه‌ها روی منطقه کمتر باشد، از میزان بارش سالیانه کاسته شده و در نتیجه منجر به خشکسالی و کم آبی

---

1. Byun and Wilhite

می‌شود. عدم تأثیر این سامانه‌ها زمانی محقق می‌شود که پرفشاری روی استان مستقر شود و مانع از انتقال سامانه مزبور شود. در شرایطی که پرفشار جنب حاره روی کشور حاکم باشد، چنین خشکسالی‌هایی صورت می‌گیرد مانند آنچه که طی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ رخ داد [۱۵].

برای این تحقیق ۹۳ ایستگاه متعلق به وزارت نیرو و سازمان هواشناسی در سطح استان شناسایی شد. از این مجموع ۴۳ ایستگاه یافت شد که قدمت لازم برای تهیه یک دوره آماری حداقل ۳۰ ساله را دارا بودند (نقشه ۱). آمار این ایستگاهها پس از تکمیل، تصحیح و همسان‌سازی تقویم به یک پایه مشترک زمانی ۱۳۴۸-۱۳۴۹ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ ارتقا یافت.

نقشه ۱ نقشه محدوده تقسیم‌های استانداری تهران و موقعیت ایستگاههای باران سنجی مورد استفاده شده

بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، استان تهران دارای ۱۲ شهرستان شامل اسلام‌شهر، پاکدشت، تهران، دماوند، رباط‌کریم، ری، ساوجبلاغ، شهریار، شیمران، فیروزکوه، کرج و ورامین و ۴۰ شهر می‌باشد. در نقشه ۱ موقعیت استان براساس تقسیم‌های مذکور ارائه شده است که در ارائه نتایج تحقیق نیز از همین تقسیم‌بندی استفاده خواهد شد.

## ۲-۲- شاخصهای خشکسالی

### ۲-۲-۱- شاخص دهک (DI)

محاسبه DI به این صورت است که وقوع بارندگیهای طولانی مدت در دهم‌هایی از توزیع نرمال تقسیم شده است که هر یک از این گروهها یک دهک نامیده می‌شود. اولین دهک، یعنی مقدار بارندگی که از ده درصد و دومین دهک از بیست درصد وقوع بارندگی تجاوز نکند. این دسته‌بندی به همین ترتیب تا دهک دهم ادامه پیدا می‌کند [۱۶]. در جدول ۱ نحوه طبقه‌بندی دهکها نشان داده شده است [۱۷]. برای استفاده از این روش لازم است که داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند و از آنجایی که داده‌های بارندگی معمولاً از این توزیع پیروی نمی‌کنند ابتدا لازم است با یکی از روشهای مناسب، داده‌ها را نرمال کرد. یکی از این روشها روش Box-Cox بوده که از فرمول زیر برای آن استفاده می‌شود [۱۸، ص ۵۶]:

$$R_n = \frac{R^\lambda - 1}{\lambda} \quad (1)$$

در این رابطه  $R_n$  داده‌های بارندگی نرمال شده،  $R$  داده‌های بارندگی مشاهده شده و  $\lambda$  پارامتر معادله می‌باشد. مقدار  $\lambda$  از روش سعی و خطا و جایگزینی اعداد مختلف به طوری حاصل می‌شود که چولگی مقادیر  $R_n$  به سمت صفر میل کند.

جدول ۱ طبقه‌بندی دهک‌ها (DI)

مقدار درصد وقوع	وضعیت	شماره دهک
کمتر از ۱۰ درصد	خشکسالی خیلی شدید	اول
۱۰ - ۲۰ درصد	خشکسالی شدید	دوم
۲۰ - ۳۰ درصد	خشکسالی	سوم
۳۰ - ۴۰ درصد	تقریباً نرمال	چهارم
۴۰ - ۵۰ درصد	نرمال	پنجم
۵۰ - ۶۰ درصد	نرمال	ششم
۶۰ - ۷۰ درصد	کمی مرطوب	هفتم
۷۰ - ۸۰ درصد	مرطوب	هشتم
۸۰ - ۹۰ درصد	بسیار مرطوب	نهم
بیشتر از ۹۰ درصد	فوق‌العاده مرطوب	دهم

### ۲-۲-۲- شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

این شاخص به وسیله مکی و همکاران تدوین شد [۱۹، صص ۱۷۹-۱۸۴]. بسیاری از محققان در زمینه خشکسالی به قابلیت انعطاف‌پذیری این روش اشاره داشته‌اند [۱۳، صص ۴۲۹-۴۳۸]. شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگیهای طولانی‌مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلندمدت بارندگیها برآزش داده می‌شود. سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود؛ به طوری که استاندارد شده و متوسط آن برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر شود [۲۰، صص ۱-۳۰]. مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. طبق این روش، دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان پیدا کند که SPI مثبت شود. بنابراین مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی SPI تعیین می‌شود. مقادیر تجمعی SPI نیز بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد [۱۷]. طبقه‌بندی این شاخص در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲ طبقه‌بندی بارندگی استاندارد شده (SPI)

وضعیت	بارندگی استاندارد شده
خیلی خیلی مرطوب	$2 \leq$
خیلی مرطوب	$1/5 - 1/99$
کمی مرطوب	$1 - 1/49$
نزدیک به نرمال	$(-0/99) - 0/99$
کمی خشک	$(-1) - (-1/49)$
خشک شدید	$(-1/5) - (-1/99)$
بسیار زیاد خشک	$\leq -2$

### ۲-۲-۳- شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)

این شاخص به وسیله بویان از دانشگاه ملی پیوک‌یانگ<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۶ م. تحت عنوان EDI ارائه شد [۱۴، صص ۲۷۴۷-۲۷۵۶]. در این شاخص، خشکسالی به طور روزانه پایش می‌شود که این قابلیت در شاخصهای قبلی وجود نداشت. برای محاسبه EDI مراحل بسیار متعددی وجود دارد که در ادامه به اختصار تشریح می‌شود.

اصلی‌ترین مفهوم در این شاخص، بارش مؤثر EP<sup>۲</sup> است. EP جمع مقادیر بارش روزانه با یک تابع کاهشی وابسته به زمان می‌باشد. به عبارت دیگر EP هر روز، تابعی از بارندگی همان روز و یک دوره ماقبل خود بوده که در آن بارشهای اخیر نسبت به بارشهای قدیمی‌تر وزن بیشتری دارند.

مراحل محاسباتی این شاخص با انتخاب دوره فرضی کمبود آب آغاز می‌شود و در ادامه محاسبات، دوره واقعی آن تعیین خواهد شد. این دوره فرضی می‌تواند ۳۶۵ (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره شده برای یک دوره طولانی) و یا ۱۵ روز (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره شده برای یک دوره کوتاه مدت) باشد. در این تحقیق دوره ۳۶۵ روزه (که دوره بارندگی قالب جهانی و حاکم بر کشور است) انتخاب شد. بعد از انتخاب تداوم فرضی می‌توان محاسبات را مطابق مراحل زیر ادامه داد [۱۴، صص ۲۷۴۷-۲۷۵۶]:

1. Puk yong National University  
2. Effective Precipitation

بارش مؤثر روزانه EP که اصلی‌ترین مفهوم در این روش است با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EP_i = \sum_{n=i}^i [(\sum_{m=1}^n P_m) / n] \quad (2)$$

که در آن  $i$  تداوم فرضی و  $P_m$  بارندگی تا  $m-1$  روز قبل (مثلاً  $P_1$  بارندگی همان روزی که باید بارش مؤثر محاسبه شود و  $P_2$  بارندگی یک روز قبل) می‌باشد. به عنوان مثال اگر  $i$  برابر ۳ روز باشد، EP مطابق رابطه زیر برآورد خواهد شد:

$$EP_3 = (P_1)/1 + (P_1 + P_2)/2 + (P_1 + P_2 + P_3)/3 \quad (3)$$

این رابطه بخوبی تأثیر بالاتر بارشهای اخیر را نسبت به بارشهای قدیمی‌تر نشان می‌دهد و در انتها هر روز در طی دوره آماری مستقلاً یک EP خواهد داشت و برای هر دوره که هدف بررسی خشکسالی باشد، باید EP هر روز آن را با در نظر گرفتن تداوم مورد نظر به دست آورد. بدیهی است که این محاسبات برای سال اول دوره آماری قابل انجام نخواهد بود و از سال دوم به بعد قابل انجام می‌باشد (به عنوان مثال چنانچه ۳۰ سال آمار وجود داشته باشد،  $29 * 365$  مقدار EP به دست خواهد آمد).

محاسبه میانگین بارش مؤثر روزانه MEP که در حقیقت میانگین یا نرمال EP برای هر روز تقویمی بوده، مرحله بعد است که ویژگیهای اقلیمی را در یک مکان و زمان معین نشان می‌دهد. همچنین برآورد انحراف EP از MEP (DEP) برای کل روزهای دوره آماری و مقدار استاندارد شده آن SEP محاسبات بعدی است:

$$DEP = EP - MEP \quad (4)$$

مقدار مثبت DEP، نشان‌دهنده ذخیره آب در همان تاریخ و مکان بوده و مقدار بارش مؤثر منفی آن، معنای عکس دارد. به منظور امکان مقایسه نتایج قبل بین مناطق مختلف و بدون توجه به شرایط آب و هوایی، ارقام به دست آمده با استفاده از رابطه ذیل استاندارد می‌شود:

$$SEP = \frac{DEP}{ST(EP)} \quad (5)$$



در رابطه بالا  $ST(EP)$  انحراف معیار EP برای هر روز تقویمی می‌باشد (نظیر MEP که میانگین EP های یک روز خاص بود). چون مقادیر منفی DEP و SEP حاکی از بارندگی زیرحد نرمال می‌باشد، بنابراین دوره‌های خشک را می‌توان، دوره‌هایی با مقادیر منفی متوالی این پارامترها تلقی کرد. تداوم واقعی از جمع‌کردن تداوم فرضی (۳۶۵ روز در این تحقیق) و دوره خشک یا تر مشاهده شده به دست می‌آید. برای مثال اگر تا تاریخ دوم اردیبهشت ماه به مدت ۳۵ روز مقدار DEP یا SEP منفی باشد (۲۸ اسفند تا ۲ اردیبهشت)، تداوم واقعی برای این تاریخ، ۳۵ روز (دوره خشک) بعلاوه تداوم فرضی اولیه خواهد بود (روز  $۳۹۹ - ۱ = ۳۶۵ + ۳۵$ ). بنابراین می‌توان برای هر روز در دوره آماری یک تداوم واقعی را به دست آورد.

محاسبه شاخص بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه (PRN)، با تکرار مراحل قبل با توجه به دوره تداوم واقعی حاصل از مرحله قبل آغاز می‌شود. به عنوان مثال چنانچه اول فروردین سال دوم آماری تداوم واقعی ۳۷۷ روز را داشته باشد، لازم خواهد بود تا برای اول فروردین کلیه سالها، EP ۳۷۷ روزه و سپس MEP و DEP مربوط محاسبه شود. به همین ترتیب برای اول فروردین در سال بعد با توجه به تداوم واقعی محاسبه شده آن عملیات مجدداً (برای سالهای قبل و بعد) تکرار می‌شود. کلیه این مراحل برای تمامی روزها به همین ترتیب انجام خواهد گرفت. پس از محاسبه DEP هر روز با توجه به تداوم واقعی، PRN مربوط مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود که اندیس  $j$  در آن اشاره به تداوم واقعی دارد:

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j (1/N)} \quad (۶)$$

PRN در حقیقت مقدار بارندگی لازم برای برگشت به شرایط نرمال، از حالت کمبود را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار کمبود بارندگی، نشان‌دهنده شدت خشکسالی می‌باشد، لذا می‌توان با PRN شدت خشکسالی را ارزیابی کرد، اما به شرایط آب و هوایی وابسته بوده و لازم است تا مانند SEP استاندارد شود. شاخص خشکسالی مؤثر EDI که در واقع شکل استاندارد شده PRN می‌باشد، مطابق رابطه زیر برآورد می‌شود:

#### 1. Precipitation Needed for a Return to Normal

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (v)$$

در رابطه فوق (PRN) ST نشان‌دهنده انحراف معیار PRN می‌باشد (مطابق با منطقی که برای EP ارائه شد). به این ترتیب این شاخص قابلیت آن را دارد تا برای هر شرایط آب و هوایی، وضعیت خشکسالی را در مناطق مختلف بر اساس طبقه‌بندی خاصی که برای آن تعریف شده است محاسبه و با هم مقایسه کند (جدول ۳).

جدول ۳ طبقه‌بندی شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)

مقدار شاخص خشکسالی مؤثر	وضعیت
$\geq 2/5$	خیلی خیلی مرطوب
$\geq 1/5$	خیلی مرطوب
$\geq 0/7$	کمی مرطوب
$< 0/7$	نرمال
$\geq (-0/7)$	خشکسالی ملایم
$\leq -0/7$	خشکسالی شدید
$\leq -2/5$	خشکسالی بسیار زیاد خشک

### ۳-۲- ارزیابی مکانی شاخصهای هواشناسی

برای چنین تحلیلهای استفاده از GIS بسیار کارآمد می‌باشد. در این تحقیق از نرم‌افزار IDRISI<sup>۱</sup> که قابلیت‌های بسیار زیادی در تحلیلهای سلولی<sup>۲</sup> دارد، استفاده شده است. روش تیسین<sup>۳</sup> - با توجه به اینکه شاخصهای خشکسالی در ماهیت اصلی خود نسبت به مکان استاندارد شده و بخصوص تأثیر ارتفاع حذف می‌شود- به عنوان یکی از روشهای ممکن برای تحلیل مکانی نتایج استفاده شد. به این منظور در ابتدا مقدار عددی شاخص در موقعیت

1. Intelligent Document Retrieval and Information Search  
2. raster analysis  
3. Thiessen

ایستگاههای مربوط به آن در یک لایه برداری قرار داده شد؛ سپس در مرحله بعد نقشه تیسین مربوط آماده گردید و نقشه محدوده‌های استان روی آن قرار داده شد<sup>۱</sup> تا ارقام شاخص خشکسالی با توجه به چند ضلعیهای تیسین، به طور متوسط در هر محدوده از استان مشخص شود.

### ۳- نتایج و بحث

بر اساس آنچه که ذکر شد، نقشه‌های خشکسالی سالهای آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ با استفاده از سه شاخص تهیه و رسم شدند که در ادامه با توجه به تعداد بالای آنها، تنها به چند مورد اشاره و توضیحات لازم ارائه می‌شود.

#### ۳-۱- پایش خشکسالی با DI

شاخص DI استان را در مهرماه ۱۳۷۷ در وضعیت کاملاً مرطوبی اعلام می‌کند (نقشه ۲- الف). سپس در ماه آبان شرایط کاملاً تغییر کرده و خشکی تا حد شدیدی، بخصوص در جنوب پاکدشت و شرق فیروزکوه اعلام می‌شود (نقشه ۲- ب). این وضعیت با نوسانهایی تا اردیبهشت سال ۱۳۷۸ ادامه پیدا می‌کند و در این فاصله شرایط تر و خشک معمول در استان دیده می‌شود اما در خرداد ماه بخشهایی از شمیرانات و دماوند با خشکسالی شدیدی مواجه می‌شود (نقشه ۲- ج) ولی در تیر و مرداد به یکباره وضعیت تغییر کرده و شرایط مرطوب می‌شود (نقشه ۲- د). تا اسفند ۱۳۷۸ شرایط با نوسانهایی مرطوب و خشک اعلام شده است، اما در اسفند ۱۳۷۸ و فروردین ۱۳۷۹ خشکسالی بخصوص در شرق استان توسعه پیدا می‌کند. این شاخص از دی ماه سال ۱۳۷۹ خشکسالی شدیدی را در سطح استان اعلام می‌دارد که تبعات آن تا فروردین ۱۳۸۰ ادامه دارد (نقشه ۲- ه). ولی در تابستان این سال پس از وضعیت نسبتاً نرمال، شرایط مرطوب می‌شود.

شاخص DI ضمن اینکه تغییرات شدید بین ماهها را به همراه دارد، اما گاهی در یک ماه نیز تغییرات شدیدی بین محدوده‌های استان را نیز نشان می‌دهد، مانند شهریور ماه سال ۱۳۷۸ که در استان وضعیت بسیار مرطوب تا بسیار خشک را اعلام می‌کند (نقشه ۲- و).

---

1. Overlay



نقشه ۲ نقشه‌های خشکسالی ماهانه استان تهران از سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ براساس شاخص DI (V.m.b.n = خشکسالی بسیار شدید؛ M.b.n = خشکسالی شدید؛ B.n = خشکسالی؛ S.b.n = تقریباً نرمال؛ S.a.n = کمی مرطوب؛ A.n = مرطوب؛ M.a.b = بسیار مرطوب؛ V.m.a.n = فوق‌العاده مرطوب).

### ۳-۲- پایش خشکسالی با SPI

بر این اساس خشکسالی در آبان ۱۳۷۷ به طور موقتی و در حد خفیف در قسمتهای مرکزی، شمال و شرق استان حاکم شده است؛ سپس تا دی ماه، شرایط نرمال و در مواردی حتی مرطوب می‌شود. در بهمن ماه ۱۳۷۷ به یکباره شرق و جنوب استان (نقشه ۳- الف) بخصوص مناطقی از شهرستانهای کرج و ساوجبلاغ با شرایط خشکسالی شدید و بسیار شدید مواجه می‌شود. این وضعیت در ماه بعدی بهبود پیدا کرده و تنها در مواردی خشکسالی خفیف مشاهده می‌شود و حتی به دلیل بارندگیهای تابستان در آن وضعیت مرطوب نیز اعلام شده است (نقشه ۳- ب). مجدداً از ماه اسفند ۱۳۷۸ (نقشه ۳- ج) خشکسالی به طور گسترده‌ای قسمت غرب (بخصوص رباط کریم) و قسمتهایی از شرق را فرا گرفته و تا اردیبهشت ماه ۱۳۷۹ ادامه پیدا می‌کند (نقشه ۳- د). در اردیبهشت بجز منطقه ساوجبلاغ بقیه استان در وضعیت خشکسالی ملایم تا شدید به سر می‌برد. برای ماههای بعدی مجدداً وضعیت به طور عمده به شرایط نرمال برگشته و حتی در ماههایی وضعیت مرطوب می‌شود. اما در دی‌ماه ۱۳۷۹ خشکسالی گسترده‌ای بر استان غلبه می‌کند (نقشه ۳- ه) و بخصوص برای شهرستانهای فیروزکوه و دماوند وضعیت شدید می‌شود. این وضعیت تا اردیبهشت ۱۳۸۰ (نقشه ۳- و) ادامه پیدا می‌کند، با این تفاوت که شدت خشکسالی در مناطق مختلف فرق کرده است و سپس تا شهریور ۱۳۸۰ وضعیت نرمال می‌شود. اعلام وضعیتهای غیر عادی از شرایط مرطوب در بعضی از ماههای تابستان و اعلام شرایط نرمال در بسیاری از ماهها را طی این دوره، از ویژگی این شاخص می‌توان برشمرد.



نقشه ۳ نقشه‌های خشکسالی ماهانه استان تهران از سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ بر اساس شاخص SPI؛ Ex.Dr = خشکسالی بسیار شدید؛ Mo.Dr = خشکسالی متوسط؛ Se.Dr = خشکسالی شدید؛ Mo.We = ذخیره کمی از آب؛ Ve.We = ذخیره بالایی از آب.

### ۳-۳- پایش خشکسالی با EDI

با توجه به ماهیت EDI، مقادیر این شاخص در ابتدا به طور روزانه محاسبه و سپس ارقام ماهیانه برآورد شد. شاخص EDI، خشکسالی را طی این دوره، یعنی از تاریخ مهرماه ۱۳۷۷ در جنوب شهرستان پاکدشت اعلام کرد (نقشه ۴- الف)؛ سپس توسعه آن را در ماه بعد به سمت جنوب و رباط کریم نشان داد. در این نقشه نشان می‌دهد که طی ماههای دی، بهمن و اسفند، شدت خشکسالی در جنوب پاکدشت افزایش پیدا کرده و از خشکسالی خفیف به شدید ارتقا نموده است.

در طول بهار ۱۳۷۸ خشکسالی شدید به سمت غرب استان پیشروی کرده؛ به طوری که در خرداد ماه بجز شرق استان، سایر نواحی آن در خشکسالی به سر برده است (نقشه ۴- ب). این وضعیت به تدریج کاسته شده، ولی از فروردین ۱۳۷۹ مجدداً خشکسالی در استان ظاهر شده (نقشه ۴- ج) و تا شهریور ادامه پیدا کرده است. لازم به ذکر است که این وضعیت بتدریج افول کرده ولی از اسفند ۱۳۷۹ (نقشه ۴- د) تا شهریور ۱۳۸۰ (نقشه ۴- ه)، خشکسالی در استان حاکم شده است. در این مدت شهرستانهای فیروزکوه و پاکدشت، بیشتر تحت تأثیر این پدیده بوده‌اند.

برخلاف SPI، این شاخص طی این دوره در اکثر ماهها وضعیت خشکسالی را اعلام کرده است. در این دوره رفتار غیرمنطقی که در تابستانها به چشم می‌خورد، ملاحظه نمی‌شود. به عنوان نمونه وضعیت خشکسالی تیرماه ۱۳۷۸ (نقشه ۳- ب) که با SPI شرایط نرمال تا رطوبت بسیار شدید را اعلام کرده بود، با EDI خشکسالی خفیف تا شدید را نشان می‌دهد (نقشه ۴- و).



نقشه ۴ نقشه‌های خشکسالی ماهانه استان تهران از سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ بر اساس شاخص EDI (Ex.Dr) = خشکسالی بسیار شدید؛ Mo.Dr = خشکسالی متوسط؛ Se.Dr = خشکسالی شدید؛ Mo.We = ذخیره کمی از آب؛ Ve.We = ذخیره بالایی از آب.



#### ۴- نتیجه‌گیری

توانایی سه شاخص EDI، SPI، DI در پایش مکانی خشکسالی و در مقیاس ماهیانه در سطح استان تهران برای دوره خشکسالی ۱۳۷۷ - ۱۳۸۰ بررسی و نتایج زیر حاصل شد:

۱- تحقیق نشان داد که SPI (حداقل در مقیاس زمانی ماهیانه) عکس‌العمل کافی به کمبود ریزشها از خود نشان نمی‌دهد ولی شروع خشکسالی را از سایر شاخصها زودتر اعلام کرده است.

۲- DI نقاط ضعفی را نیز از خود نشان داد که مهمترین آنها تغییرات شدید وضعیت خشکسالی بین ماهها و ناهماهنگی کاملاً مشهود بین وضعیت خشکسالی در مناطق مختلف استان در یک ماه بود.

۳- در شاخص جدید EDI هیچ‌کدام از ضعفهای بالا ملاحظه نشد. شاخص هم عکس‌العمل مناسبی نسبت به خشکسالیها نشان می‌دهد و هم پیوستگی زمانی و مکانی را حفظ می‌کند. از مهمترین دلایل کارایی این شاخص اتکا به آمار روزانه و مفهوم EP است که بارندگی گذشته را در محاسبات جای می‌دهد. البته تهیه آمار مورد نیاز (که علاوه بر روزانه بودن لازم است پیوسته باشد) و مراحل محاسباتی طولانی آن از محدودیتهای این شاخص می‌باشد.

۴- روش به‌کار رفته در تحقیق و استفاده از لایه مرزهای سیاسی استان این امکان را فراهم ساخت تا شناخت لازم از شدت تأثیر شهرهای استان از خشکسالی با هم مقایسه شود تا اینکه در تخصیص اعتبارات جبرانی و دیگر بحثهای مدیریتی کارایی داشته باشد.

۵- استفاده از GIS در دقت، سرعت محاسبات و ارائه نقشه‌های لازم بسیار مؤثر بود؛ همچنین این امکان را فراهم ساخت تا پایش خشکسالی در عرصه‌های وسیع استانی و کشوری بخوبی میسر شود.

#### ۵- تشکر و قدردانی

شایان ذکر است که این مطالعات بخشی از طرح تحقیقاتی مورد حمایت دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی معاونت امور آب وزارت نیرو با کد WRE۱-۷۹۴۸۹ بوده است که به این وسیله تشکر می‌شود. همچنین از همکاری سازمان تمارب و سازمان هواشناسی در تأمین آمار مورد نیاز این تحقیق قدردانی می‌شود.

## ۶- منابع

- [1] Riebsame, W. E., Chandon, S. A., Jr. & Karl, T. R; "Drought and natural resources management in the United State", *Impacts and Implications of the 1987-1989 Drought*; 1990.
- [2] Wilhite, D. A.; "Drought planning: A process for state government"; *Water Resources Bulletin*, No. 1, 1991.
- [3] Wilhite, D. A.; "An assessment of drought mitigation technologies in the United States"; *Final Report to the Soil Conservation Service/USDA*, IDIC Technical Report, 1997.
- [4] NDMC; "National drought mitigation center"; URL, <http://enso.unl.edu/ndmc/watch/watch.htm>, 2000.
- [۵] مرید، س.؛ «ارزیابی عملکرد دولت آمریکا در مقابله با خشکسالی و نقطه نظرات کنگره»؛ مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب زابل، ج ۳، ۱۳۸۰.
- [۶] ابرقویی، ح.، توکلی، م و طالبی، م؛ «بررسی تغییرات اقلیمی و درصد فراوانی خشکسالی استان یزد»؛ مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی کرمان، ج ۲، ۱۳۷۹.
- [۷] قطره سامانی، س.؛ «بررسی روند خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری»؛ مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی کرمان، ج ۱، ۱۳۷۹.
- [۸] لشنی زاده، م. و خرمیان، ن.؛ «پهنه‌بندی خشکسالی‌های اقلیمی در استان لرستان با به‌کارگیری شاخصهای آماری»؛ مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب زابل، ج ۲، ۱۳۸۰.
- [۹] مقدسی، م.؛ «ارزیابی و پایش روزانه خشکسالی استان تهران»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۱.
- [10] Nava, K.; Drought monitoring in Zambia using meteosat and NOAAVHRRData, URL, <http://www.gisdevelopment.net.aars/2000/ps3/ps304.shtm>, 2000.

- [11] Smith, D. I., Hutchinson, M. F. & Mc Arthur, R. J.; "Australian climatic and agricultural drought payments and policy"; *Drought Network News*, No. 3, 1993.
- [12] Palmer, W. C.; "Meteorological drought U. S. weather bureau"; *Research Paper 43*, Washington D.C., 1963.
- [13] Hayes, M.J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A. & Vanyarkho, O.V.; "Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index"; *Bulletin of American Meteorological Society*, No. 80, 1996.
- [14] Byun, H. R. & Wilhite, D. A.; "Objective quantification of drought severity and duration"; *Journal of Climate*, No. 12, 1999.
- [۱۵] قائمی، ه؛ مکاتبات شخصی؛ سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۲.
- [16] Gibbs, W.J. & Maher, J. V.; "Rainfall deciles as drought indicators"; *Bureau of Meteorology Bulletin*; No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne, 1967.
- [17] Hayes, M. J.; "What is drought? climate impacts specialist"; URL, <http://www.drought.unl.edu>. 2000.
- [18] Mc Mahon, T. A.; "River and Reservoir Yield"; *Water Resources Publications*, 1986.
- [19] Mckee, T. B., Doesken, N. J. & Kleist, J.; "The relationship of drought frequency and duration to time scales"; *Preprints 8th conference on applied climatology*, 1993.
- [20] Edwards, D.C. & Mc Kee T. B.; "Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales"; *Climatology Report*, No. 2-97, Colorado: Colorado State University, 1997.