

مقدمه

دیده خشکسالی از جمله بلایایی است که آن را باید بدون پیشگیری اطلاق کرد. انسان با تمام پیشرفت‌های علمی و فنی هنوز نتوانسته زمان و محل وقوع خشکسالی‌های شدید را به طور دقیق پیش‌بینی نماید.

خشکسالی طی سال‌های اخیر مشکلات زیادی را ایجاد نموده و صدمات سنگین ناشی از آن لزوم توجه بیش از پیش به این فرآیند طبیعی را که جزء لاینفکی از اقلیم هر منطقه می‌باشد آشکار کرده است. پاره‌ای از بررسی‌های انجام شده خشکسالی نشان می‌دهد که میزان بارش جوی ایران طی دو سال آبی ۷۹-۱۳۷۷ حدود ۴۰ درصد نسبت به متوسط ۳۲ ساله دوره مشابه کاهش نشان می‌دهد. در راستای تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت فعال آن از ضروری‌ترین ابزار، طراحی سیستم‌های پایش خشکسالی می‌باشد که اطلاعات استخراج شده از آنها تعیین‌کننده نوع عملیات مقابله با خشکسالی و زمان شروع آنها می‌باشد. کارهای اولیه در خصوص پایش عمدتاً با تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشکسالی در مقیاس کوچک توسط ویپل [۶] آغاز شد. محققین دیگر با نگاه مدیریتی خشکسالی‌های اتفاق افتاده و نحوه مقابله با آن را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیقات اکیداً توصیه شد که لازم است سیستم پایش خشکسالی برای مقابله با خشکسالی طراحی و تدوین گردد [۶ و ۹]. یکی از ابزارهای پایش خشکسالی استفاده از شاخص‌های خشکسالی می‌باشد. شاخص‌های نظیر پالمر، دهک، درصد از نرمال و بارندگی استاندارد از جمله شاخص‌های هستند که پایش توسط آنها انجام گردیده که شرح آنها در مرجع [۳] موجود است. این شاخص‌ها علاوه بر دارا بودن محاسن، دارای نقاط ضعف نیز می‌باشند که از جمله آنها عدم اعلام دقیق شروع، خاتمه و تداوم خشکسالی، دوره واقعی کمبود آب و همچنین نیاز به اطلاعات و ارقام فراوان می‌باشد [۵ و ۶]. بیشتر شاخص‌ها از مقیاس زمانی ماهانه یا طولانی‌تر استفاده می‌کنند و فقط تعدادی از شاخص‌ها مانند پالمر مقیاس زمانی شان، هفتگی می‌باشد، که این شاخص نیز به علت نیاز به اطلاعات فراوان به عنوان یک شاخص اجرایی مطلوب محسوب نمی‌شود [۶]. برای اهمیت نقش مقیاس زمانی روزانه به این مثال توجه نمایید. اگر بارندگی شدیدی در اول مهرماه و ۳۱ آبان ماه یک سال به وقوع بپیوندد و بین این دو تاریخ بارانی نبایده باشد از دید شاخص‌های ماهانه این موضوع (عدم ریزش بارندگی از اول مهرماه تا آخر آبان ماه) پوشیده مانده و این دو ماه را نرمال نشان می‌دهد. لذا برای پایش

معرفی روش EDI در پهنه‌بندی خشکسالی در دشت اراک

محسن محمدی^۱ و مهدی وفاخواه^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۱۱

چکیده

سیستم پایش از مقدمات لازم در طرح‌های مقابله با خشکسالی بوده که مقیاس زمانی نقش تعیین‌کننده‌ای در قابلیت و کارایی آن دارد. در این تحقیق وضعیت خشکسالی دشت اراک در سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ که شروع خشکسالی‌های اخیر بوده، با استفاده از شاخص خشکسالی موثر (EDI) که از مقیاس زمانی روزانه برخوردار است، به طور نقطه‌ای و مکانی ارزیابی شده است. همچنین تاثیر طول دوره آماری کوتاه مدت (از ۲۲ به ۱۵ سال) نیز بر روی نتایج شاخص، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که طول دوره آماری روی شاخص EDI تاثیر چندانی ندارد، لذا می‌توان برای پایش بهتر، ایستگاه‌های تا ۱۵ سال آمار را نیز استفاده کرد. سپس نقشه‌های خشکسالی در سطح دشت اراک با استفاده از سیستم GIS تهیه گردید. نقشه‌ها نشان می‌دهند که خشکسالی از آبان ماه ۱۳۷۷ در حد خفیف آغاز و توسعه یافته و در اردیبهشت و خرداد ۱۳۷۸ شدت یافته است. واژه‌های کلیدی: سیستم پایش خشکسالی، شاخص خشکسالی موثر (EDI)، دشت اراک، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس

۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس

Email: Vafakhah@modares.aci.ir

مطلوب خشکسالی مقیاس زمانی و شاخصی که بتواند این پدیده را در هر مقیاس پایش نماید، بسیار با اهمیت است.

بویان و وایلهايت [۵] شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص خشکسالی موثر (EDI) ارائه نمودند و خشکسالی سال ۹۶-۱۹۹۵ در آمریکا نیز با این شاخص با بهره‌گیری از ۱۹۵ ایستگاه ارزیابی شد. در این شاخص، خشکسالی به طور روزانه پایش می‌شود که این قابلیت در شاخص‌های قبلی کمتر مدنظر بوده است. اطلاعات مورد نیاز این شاخص تنها بارندگی است، ولی تحقیقاتی نیز در حال انجام است تا رطوبت خاک و تبخیر را نیز در آن دخالت دهند [۱]. تحقیقاتی در ارتباط با این شاخص انجام شده است، از جمله بذر افشان [۸] در تحقیقی تحت عنوان بارش موثر نگرشی تازه بر روند شدت و تداوم خشکسالی‌ها انجام دادند و برای تحلیل کمی و دو بعدی (شدت و تداوم) خشکسالی در چند ایستگاه حوزه آبخیز کسلیان در سال ۸۷-۱۹۸۶، از این شاخص جدید استفاده نموده است. همچنین مقدسی و همکاران [۴] پایش روزانه‌ی خشکسالی در استان تهران را با استفاده از شاخص بارش موثر انجام دادند. در این تحقیق وضعیت خشکسالی استان تهران در سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ با استفاده از شاخص EDI که از مقیاس زمانی روزانه برخوردار است، به طور نقطه‌ای و مکانی پایش و ارزیابی شده است. نتایج تحلیل آنها مشخص کرد که خشکسالی از آبان ۱۳۷۷ آغاز و در ماه‌های اردیبهشت و خرداد به اوج شدت خود رسیده است.

تحقیق حاضر نیز با استفاده از شاخص خشکسالی موثر و در مقیاس روزانه و در سطح دشت اراک انجام شده است و در آن حساسیت شاخص به طول آمار کوتاه مدت بررسی شده است. همچنین با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پهنه‌بندی خشکسالی در سطح دشت اراک انجام شده است که نشان‌دهنده قابلیت‌های شاخص EDI برای پایش خشکسالی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

استان مرکزی به دلیل موقعیت سیاسی، اقتصادی و اجتماعی خود از جایگاه ویژه‌ای در بحث‌های مرتبط با خشکسالی برخوردار است و در طرح‌های مقابله با خشکسالی و سیستم‌های پایش خشکسالی قطعاً از اولویت‌های اول برخوردار باید باشد. در این خصوص دشت اراک در حوضه‌ی کویر میقان، به عنوان یکی از زیر حوضه‌های ایران مرکزی می‌باشد که در محدوده جغرافیایی ۲۱° ۴۹' تا ۱۸° ۵۰' طول شرقی و ۴۸° ۳۲' تا ۴۴° ۳۳' عرض شمالی قرار دارد و بارندگی متوسط آن در حدود ۳۰۰ میلیمتر در سال می‌باشد. این دشت با وسعتی معادل ۵۴۰۰ کیلومتر مربع بیش از ۱۸ درصد مساحت استان مرکزی را به خود اختصاص داده و دریاچه فصلی میقان با وسعت بیش از ۱۰۰ کیلومتر مربع در مرکز دشت واقع است و جریان آب‌های سطحی و زیر زمینی منطقه به سمت آن هدایت می‌شوند [۲]. قابل ذکر است که علی‌رغم تعداد زیاد ایستگاه در استان، تعداد

ایستگاه‌های منطقه‌ی مطالعاتی اغلب دارای آمار کوتاه مدت و یا دارای نواقص آماری زیاد می‌باشند.

مراحل محاسبه IDE

مراحل محاسباتی شاخص بسیار طولانی و پیچیده می‌باشد. مهمترین قسمت برای محاسبه این شاخص، تعیین دوره واقعی کمبود آب می‌باشد. برای تعیین این دوره ابتدا بایستی، یک دوره فرضی را در نظر گرفته که این دوره فرضی می‌تواند شامل دو مقدار یکی ۳۶۵ (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره شده برای یک دوره طولانی) و دیگری ۱۵ روزه (نماینده مقدار کل منبع آب ذخیره شده برای یک دوره کوتاه مدت) باشد. بعد از انتخاب تداوم فرضی می‌توان محاسبات را مطابق مراحل زیر ادامه داد.

محاسبه بارش موثر روزانه (EP)

به منظور محاسبه این عامل از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

$$EP_i = \sum_{n=i}^i \left[\left(\sum_{m=i}^n p_m \right) / n \right] \quad (1)$$

در این رابطه: i = تداوم فرضی و p_m = بارندگی ($m-1$) روز قبل (مثلاً p_1 بارندگی همان روزی که بایستی بارش موثر محاسبه شود و p_1 بارندگی یک روز قبل می‌باشد) است. این معادله به خوبی تاثیر بیشتر بارش‌های اخیر نسبت به بارش‌های قدیمی‌تر و این که هر روز برای خود یک EP دارد، را نشان می‌دهد. لذا برای هر دوره که هدف، بررسی خشکسالی باشد، بایستی EP هر روز را با در نظر گرفتن یک تداوم فرضی و مطابق فرمول به دست آورد.

محاسبه میانگین بارش موثر روزانه (MEP)

MEP در حقیقت نرمال EP برای هر روز تقویمی بوده که ویژگی اقلیم‌شناسی منابع آب در یک مکان معین را نشان می‌دهد. برای محاسبه MEP یک روز، بایستی EP‌های همان روز را در طول دوره مورد نظر با هم جمع نموده و میانگین گرفت یعنی این روز درکل دوره دارای MEP مساوی می‌باشد. از آنجائی که تغییرات MEP زیاد است، لذا بهتر است برای یکنواخت کردن تغییرات از میانگین متحرک پنج روزه استفاده شود.

محاسبه انحراف EP از MEP (DEP)

به منظور محاسبه این عامل از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

$$DEP = E - MEP \quad (2)$$

مقدار DEP یعنی EP یک روز نسبت به MEP همان روز چه وضعیتی دارد. اگر این مقدار مثبت بود، نشان‌دهنده ذخیره آب در همان تاریخ و مکان می‌باشد و اگر منفی بود، معنی عکس دارد. در حقیقت برای هرروز یک مقدار وجود دارد که نشان‌دهنده وضعیت همان روز می‌باشد.

جدول ۱- طبقه بندی شاخص خشکسالی موثر [۳]

ردیف	وضعیت	مقدار شاخص خشکسالی موثر
۱	خشکسالی بسیار شدید (Extremely Drought)	کوچکتر از -۲/۵
۲	خشکسالی شدید (Severe Drought)	بزرگتر از -۲/۵
۳	خشکسالی ملایم (Moderate Drought)	بزرگتر از -۱/۵
۴	خشک (Dry)	بزرگتر از -۰/۷
۵	ذخیره کم آب (Slight surplus of water)	کوچکتر از ۰/۷
۶	ذخیره بالایی از آب (High surplus of water)	کوچکتر از ۱/۵

محاسبه مقدار استاندارد شده DEP (SEP)

به منظور محاسبه این عامل از رابطه (۳) استفاده می شود.

$$SEP = \frac{DEP}{ST(EP)} \quad (3)$$

در این رابطه: ST (EP) انحراف معیار EP برای هرروز تقویمی می باشد. این مقدار قادر است، شدت خشکسالی یک موقعیت را با موقعیت دیگر بدون توجه به اختلاف آب و هوایی مقایسه کند.

تعریف دوره خشکسالی و تداوم واقعی

چون مقادیر منفی DEP حاکی از بارندگی زیر حد نرمال می باشد بنابراین دوره های خشک را می توان دوره های با مقادیر منفی متوالی آن تلقی نمود. تداوم واقعی از جمع کردن تداوم فرضی (۳۶۵) یا (۱۵) و دوره خشک یا تر به دست می آید. برای مثال اگر تا تاریخ

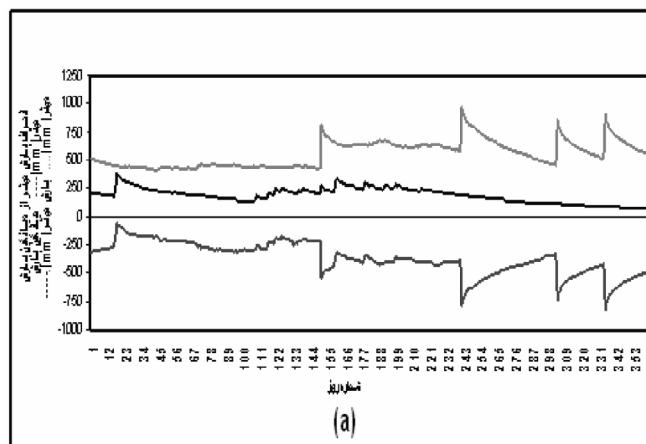
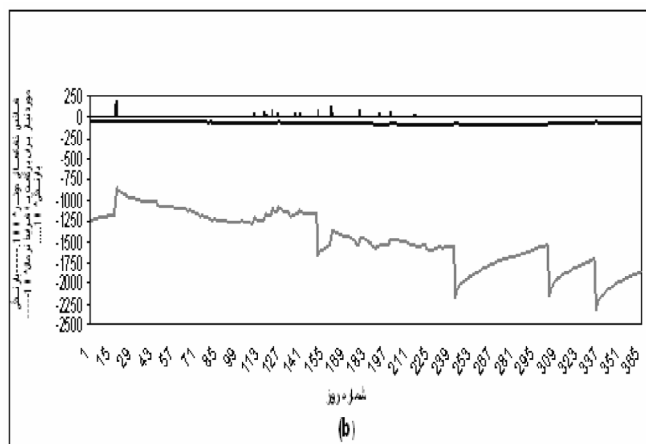
دوم اردیبهشت ماه به مدت ۳۵ روز مقدار DEP منفی باشد، دوره خشک تا این تاریخ ۳۵ روز و تداوم واقعی برای دو دوره فرضی به ترتیب ۳۹۹ (۳۶۵+۳۵-۱) یا ۴۹ (۱۵+۳۵-۱) روز خواهد بود. حال می توان برای هر روز یک تداوم واقعی را به دست آورد.

محاسبه شاخص بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه (PRN)

به منظور محاسبه این عامل از رابطه (۴) استفاده می شود.

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{n=1}^j \frac{1}{n}} \quad (4)$$

در این رابطه: j تداوم واقعی که با مقدار تداوم فرضی تفاوت دارد. این شاخص در حقیقت یک روز بارندگی مورد نیاز برای برگشت



شکل ۱- تغییرات روزانه: (a) مربوط به EP (بارش موثر)، MEP (میانگین بارش موثر) و DEP (انحراف بارش موثر از میانگین بارش موثر) و (b) مربوط به بارندگی، PRN (بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال) و EDI (شاخص خشکسالی موثر) هستند. توجه گردد که در این اشکال روز یک مربوط به اول مهر سال ۱۳۷۷ و روز ۳۶۵ مربوط به ۳۱ شهریور ۱۳۷۸ می باشد. برای بهتر نشان دادن اشکال، بارندگی و PRN در ۱۰ و EDI در ۱۰۰ ضرب شده اند.

جدول ۲- وضعیت ایستگاه‌های منتخب با شاخص EDI در سال آبی ۱۳۷۷-۷۸

نام ایستگاه	ایستگاه اراک	ایستگاه ساروق	ایستگاه داودآباد	ایستگاه آشتیان
ویژگی	زمان وقوع	زمان وقوع	زمان وقوع	زمان وقوع
دوره خشک	۱ تا ۳۶۵	۵۶ تا ۱۲۰	۱ تا ۱۷	۳۴ تا ۱۲۴
		۱۳۳ تا ۱۳۶	۳۷ تا ۳۶۵	۱۲۷ تا ۳۶۵
		۱۴۹ تا ۱۵۰		
		۱۵۶ تا ۱۶۰		
		۱۸۶ تا ۳۶۵		
دوره خشکسالی	۱۸۹ تا ۱۹۱	۸۱ تا ۱۰۸	۱۹۵ تا ۱۹۹	۷۰ تا ۱۲۴
	۱۹۵ تا ۱۹۸	۱۱۲ تا ۱۱۵	۲۰۴ تا ۳۶۵	۱۳۴ تا ۱۳۵
	۲۰۵ تا ۲۴۱	۲۰۸ تا ۳۶۵		۱۴۵ تا ۳۶۵
	۲۴۴ تا ۳۰۳			
کمترین مقادیر PRN	-۲۳۳/۲۷	-۳۰/۲	-۱۹۷/۷۲	-۳۸/۴۵
کمترین مقادیر EDI	-۰/۸۳	-۱/۳	-۰/۸۸	-۱/۷۷

به شرایط نرمال را از حالت کمبود نشان می‌دهد. مثلاً... PRN یعنی بارش مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال از حالت کمبود، در طی ۴۰۰ روز گذشته را نشان می‌دهد. برای محاسبه PRN یک روز، بایستی با تداوم واقعی همان روز و همچنین این تاریخ در بقیه سالهای دوره با همین تداوم (قبل و بعد از این سال) محاسبه و سپس این روز را به دست آورد تا مقدار این روز (با یک تداوم واقعی) به دست آید. با این شاخص می‌توان شدت خشکسالی را ارزیابی کرد، اما این شاخص به شرایط آب و هوایی وابسته می‌باشد.

محاسبه شاخص خشکسالی موثر (EDI)

به منظور محاسبه این عامل از رابطه (۵) استفاده می‌شود.

$$EDI = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (5)$$

در این رابطه: $ST(PRN_j)$ نشان‌دهنده انحراف استاندارد PRN می‌باشد. نحوه محاسبه EDI یک روز بدین ترتیب است که ابتدا بایستی PRN این تاریخ را با تداوم واقعی خودش و سپس همین تاریخ را در همه سالهای دوره تداوم واقعی آن روز (روزی که EDI آن محاسبه می‌گردد) محاسبه کرده و سپس انحراف استاندارد PRN های این تاریخ را به دست آورد. این شاخص برای ارزیابی خشکسالی به طور جهانی بسیار مفید می‌باشد زیرا به خصوصیات آب و هوایی منطقه بستگی ندارد [۸].

نتایج و بحث

وضعیت خشکسالی ایستگاه‌های منتخب در سال آبی ۱۳۷۷-۷۸

در شکل (۱) ارائه شده است. نتایج محاسبه شاخص EDI برای هر ایستگاه به طور جداگانه محاسبه شده است. برای پرهیز از حجیم شدن مقاله تنها نتایج مربوط به ایستگاه اراک ارائه شده است (شکل ۱). همانطور که در شکل (۱) ملاحظه می‌گردد در کل سال EP از MEP کمتر بوده یعنی مقدار DEP آنها منفی شده است. لذا از آغاز سال علائم دوره ی خشک شروع و تا پایان سال ادامه داشته است. شکل (۱-ب) نیز نمایان می‌سازد که مقدار EDI از آغاز تا پایان، وضعیت منطقه را تحت دوره خشک و یا خشکسالی گزارش می‌کند. در این ایستگاه بدترین شرایط خشکسالی مربوط به سه ماهه ی فصل بهار ۱۳۷۸ می‌باشد.

در جدول ۲ نیز وضعیت سایر ایستگاه‌ها از لحاظ شروع، خاتمه و تداوم دوره خشک و یا خشکسالی، بیشترین مقدار کمبود بارندگی و شاخص خشکسالی موثر مشخص کرده است.

ارزیابی تاثیر طول دوره آماری بر روی شاخص EDI

ایستگاه‌های منتخب (با ۲۲ سال آمار پیوسته) طی یک مرحله با حذف ۷ سال اول (۶۴-۱۳۶۳ تا ۷۰-۱۳۶۹) به ایستگاه‌های ۱۵ ساله تبدیل شدند و سپس برای دوره ۱۵ ساله ای ایستگاه‌ها شاخص EDI محاسبه گردید. نتایج محاسبه شاخص EDI با استفاده از آمار ۱۵ ساله ای ایستگاه‌های منتخب و ۲۲ ساله ای ایستگاه‌های منتخب در جدول ۳ ارائه شده است.

تهیه نقشه گستره خشکسالی‌های دشت اراک

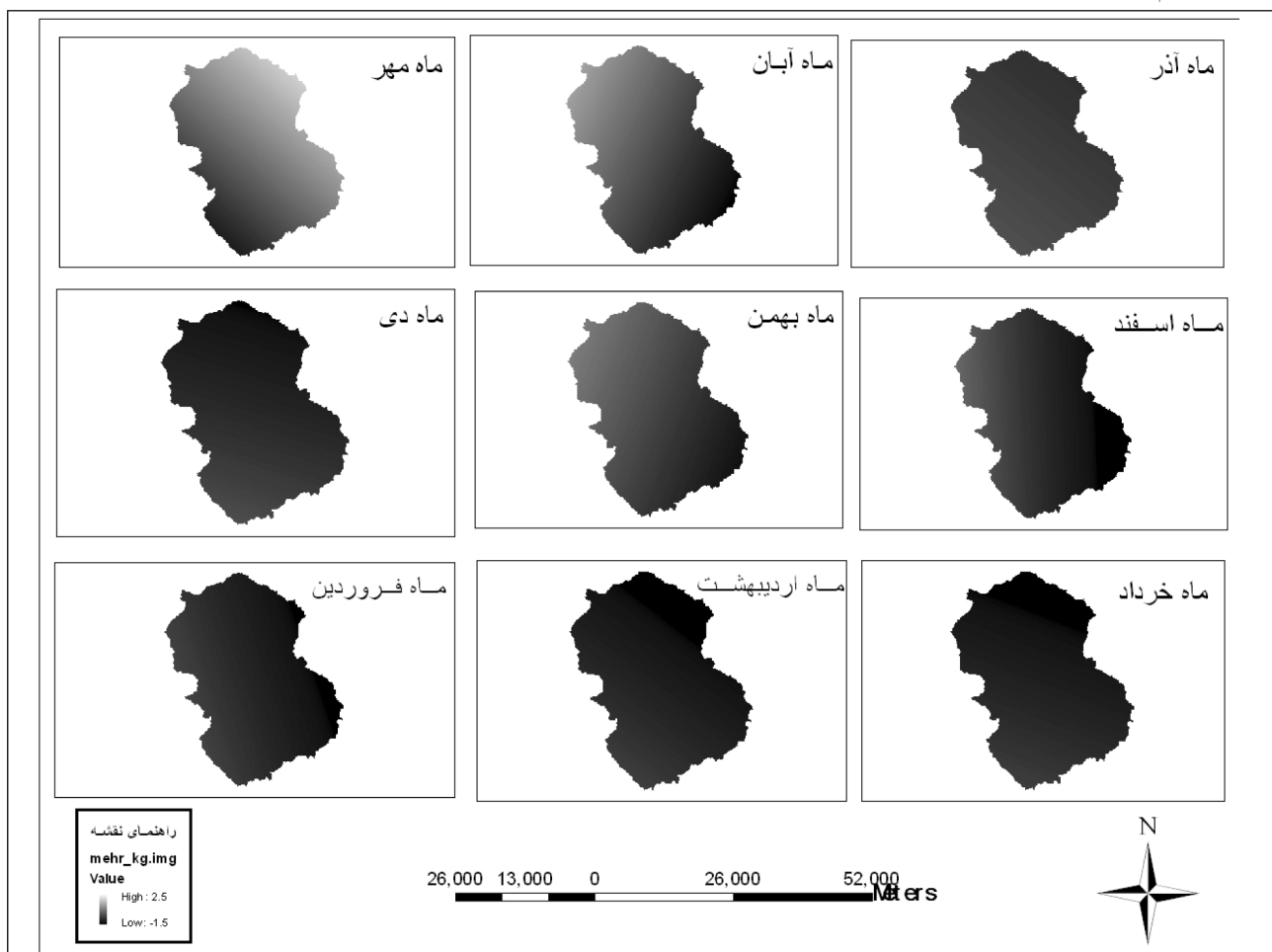
به منظور بررسی بهتر تغییرات مکانی خشکسالی‌ها در کل منطقه

جدول ۳- نتایج محاسبه شاخص EDI بر اساس طول دوره آماری ۲۲ و ۱۵ ساله

ایستگاه	ماه دوره	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
اراک	۲۲	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۳	۴/۴	۴/۳
	۱۵	۴/۲	۴/۳	۴/۴	۴/۳	۴/۳	۴/۳	۴/۲	۴/۳	۴/۳
ساروق	۲۲	۴/۴	۴/۳	۴/۳	۴/۳	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۴/۳
	۱۵	۴/۵	۴/۳	۴/۲	۴/۳	۴/۴	۴/۴	۴/۵	۴/۶	۴/۵
آشتیان	۲۲	۴/۴	۴/۳	۴/۲	۴/۵	۴/۴	۴/۴	۴/۵	۴/۵	۴/۴
	۱۵	۴/۴	۴/۳	۴/۲	۴/۴	۴/۴	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵
داودآباد	۲۲	۴/۳	۴/۵	۴/۲	۴/۳	۴/۳	۴/۳	۴/۳	۴/۳	۴/۳
	۱۵	۴/۳	۴/۴	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۳	۴/۳	۴/۴	۴/۳

مطالعه خشکسالی مشخص شوند. مقادیر شاخص محاسبه شده در ایستگاه‌ها به سطح تعمیم داده شده و نقشه‌های پهنه‌بندی ویژگی‌های خشکسالی تولید شده است (شکل ۲). شکل ۲ نشان می‌دهد که در

مورد تحقیق، نقشه‌های خشکسالی در ماه‌های مختلف ترسیم گردید. بررسی این ویژگی‌ها به صورت منطقه‌ای این امکان را می‌دهد که نقاط حساس از لحاظ تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه در هر



شکل ۱- نقشه پهنه‌بندی خشکسالی در دشت اراک

فصل پائیز خشکسالی به طور آرام از ماه مهر آغاز شده و در ماه آبان نمایان تر و در آذرماه مجدداً وضعیت به حالت نرمال در آمده است. در فصل زمستان، در دی ماه خشکسالی در بخش‌های از منطقه نمایان گشته و در بهمن و اسفند نیز همچنان تداوم داشته است. تداوم خشکسالی در فصل بهار نیز ادامه داشته و در خردادماه ۱۳۷۸ خشکسالی به اوج شدت خود رسیده است. نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی وجود روند خاصی را در خشکسالی‌های منطقه نشان نمی‌دهند. ولی اوج شدت خشکسالی در شمال دشت اراک به وقوع پیوسته است.

نتایج حاکی از آن است که: ۱- از جمله دلایل کارایی EDI، روزانه بودن و اعلام دقیق زمان شروع، خاتمه و شدت خشکسالی می‌باشد.

۲- شاخص خشکسالی موثر (EDI) حساسیت کمتری را نسبت به طول دوره‌ی آماری نشان می‌دهد.

۳- نتایج تحقیق نشان داد که شاخص EDI دارای تغییرات ملایم و تدریجی زمانی و مکانی می‌باشد و نقشه‌های خشکسالی حاصل از این روش بسیار منطقی و معقول به نظر می‌رسد.

۴- محدودیت‌های برای شاخص EDI وجود دارد که از جمله‌ی آنها نیاز به داده‌های پیوسته‌ی روزانه، عملیات و محاسبات طولانی می‌باشد.

۵- نقشه‌های خشکسالی دشت اراک نشان می‌دهد که خشکسالی از سال ۱۳۷۷ شروع و به سمت جلو شدید و در ماه‌های اول سال ۱۳۷۸ بسیار شدید بوده است.

منابع

۱- بذرافشان، ج. ۱۳۷۹. بارش موثر نگرشی تازه بر روند شدت و تداوم خشکسالی‌ها. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی مقابله با کم آبی و خشکسالی کرمان، جلد اول، ۳۹۹-۴۰۶.

۲- سیادت، ب. و انصاری، ژ. ۱۳۷۹. تاثیر پدیده خشکسالی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت اراک). مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی مقابله با کم آبی و خشکسالی کرمان، جلد دوم، ۷۳۶-۷۴۳.

۳- مرید، س.، مقدسی، م.، پایمزد، ش. و قائمی، ه. ۱۳۸۴. طرح تحقیقاتی سیستم پایش خشکسالی استان تهران، دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی، معاونت امور آب، وزارت نیرو، تهران.

۴- مقدسی، م.، مرید، س.، قائمی، ه. و سامانی، ج. ۱۳۸۴. پایش روزانه خشکسالی در استان تهران. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۳۶: ۵۱-۶۲.

5- Byun, H. R. and Wilhite, D. A. 1999. Objective quantification of drought severity and duration. Journal of Climate, 12(9): 2747-2756.

6- Sen, Z. 1980. Regional drought and flood frequency analysis: Theoretical consideration. Journal of hydrology, 46(4): 265-279.

7- Smith, D.I., Hutchinson, M.F. and McArthur, R.J. 1993. Australia climate and agriculture drought: payments and policy.

8- Whipple, W. 1966. Regional drought analysis, ASCE. Journal of Irrigation and Drainage Division, 92: 11-31.

9- Willeke, G., Hosking, J., Wallis, J. and Guttman, N. 1994. The national drought atlas. Institute for Water Resources Rep. 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers.