

پایش روزانه خشکسالی در استان تهران

مهنوش مقدسی^۱، سعید مرید^۲، هوشنگ قائمی^۳ و جمال محمودولی سامانی^۴
۱، ۲، ۴، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیاران، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۳، عضو هیئت علمی پژوهشکده هواشناسی و علوم جو.
تاریخ پذیرش مقاله ۸۳/۲/۹

خلاصه

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 استان تهران در سال آبی ۱۳۷۷-۷۸ که شروع خشکسالی‌های اخیر بوده، با استفاده از شاخص خشکسالی موثر (EDI) که از مقیاس زمانی روزانه برخوردار است، به طور نقطه‌ای و مکانی پایش و ارزیابی شده است. در مرحله اول ایستگاههای ۳۰ ساله مورد استفاده قرار گرفته و از آنجائیکه تعداد ایستگاههای ۳۰ ساله برای پایش مکانی استان کم بوده، تاثیر طول دوره آماری کوتاه مدت تر (۲۰ و ۲۵ ساله) نیز بر روی نتایج شاخص مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که طول دوره آماری بر روی شاخص منتخب تاثیری چندانی ندارد، لذا می‌توان برای پایش بهتر، ایستگاههای ۲۵ و ۲۰ ساله را نیز اضافه نمود. سپس با توجه به وضعیت ایستگاههای منتخب و با استفاده از امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌های خشکسالی در سطح استان تهیه گردید. این نقشه‌ها نشان می‌دهند که از آبان ماه ۱۳۷۷ در حد خفیف خشکسالی آغاز و توسعه یافته، بطوریکه از فروردین ماه ۱۳۷۸ بخش‌های مرکزی استان با خشکسالی شدید مواجه می‌گردد و سپس این وضعیت در ماههای اردیبهشت و خرداد تشدید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سیستم پایش خشکسالی، شاخص خشکسالی موثر، استان تهران، خشکسالی ۱۳۷۷-۷۸

مقدمه

این تحقیقات اکیدا توصیه شد که لازم است سیستم پایش خشکسالی برای مقابله با خشکسالی طراحی و تدوین گردد (۱۷، ۲۰). در ایران نیز بخصوص بعد از خشکسالی سالهای اخیر استفاده از شاخص‌ها و پهنه‌بندی خشکسالی بیش از پیش مد نظر قرار گرفته است (۲، ۳، ۴، ۵، ۶).

پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌ها انجام می‌گردد. شاخص پالمر (۱۹۶۵) از اولین شاخص‌های خشکسالی بوده که در آمریکا و استرالیا بطور گسترده‌ای از آن استفاده شده‌است. علاوه بر آن، شاخص‌های دیگری مانند دهک، درصد از نرمال و بارندگی استاندارد شده نیز تدوین گردیده که شرح آنها در مرجع (۱۳) موجود است. مجموعه این شاخص‌ها ضمن محاسن، نقاط ضعف‌هایی را نیز شامل می‌شوند که از جمله مهمترین آنها عدم اعلام دقیق شروع، خاتمه و تداوم خشکسالی، دوره واقعی

در راستای تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت فعال آن، از ضروریترین ابزار طراحی سیستم‌های پایش با هدف بررسی تغییرات مکانی و شدت خشکسالی در یک ناحیه می‌باشد و بر اساس هشدارهای این سیستم‌ها، زمان و نوع عملیات از پیش‌طراحی شده برای مقابله با خشکسالی فعال می‌شود. کارهای اولیه در خصوص پایش عمدتا با تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشکسالی در مقیاس کوچک توسط ویپل در سال ۱۹۶۶ آغاز شد (۱۹). سپس توسط سایر محققین مانند ادر و دیویس، کلوگمن، اولاپیدو و سن در سطح بعضی از ایالات آمریکا (۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸) و در مواردی برای کل کشور دنبال گردید (۱۵). محققین دیگر با نگاه مدیریتی خشکسالی‌های اتفاق افتاده و نحوه مقابله با آن را مورد بررسی قرار دادند. در

شاخص، حساسیت آن نسبت به طول دوره آماری و قابلیت‌های آن برای پایش خشکسالی نیز مورد بررسی واقع شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

استان تهران بدلیل موقعیت سیاسی، اقتصادی و اجتماعی خود از جایگاه ویژه‌ای در بحث‌های مرتبط با خشکسالی برخوردار است که مجموعه این عوامل باعث گردید تا این استان به عنوان منطقه مطالعاتی این تحقیق انتخاب گردد. در این استان شبکه وسیعی از ایستگاه‌های هواشناسی وجود داشته که تحت سرپرستی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی می‌باشند. قابل ذکر است که ۱۳۰ ایستگاه در منطقه مطالعاتی وجود داشته ولی اغلب آنها کوتاه مدت و دارای نواقص زیاد آماری می‌باشند.

نحوه محاسبه شاخص خشکسالی موثر (EDI)

شاخص خشکسالی موثر شاخصی است که علاوه بر شدت خشکسالی، اطلاعات دیگری مانند شروع، خاتمه، تداوم و کمبود واقعی آب در طول دوره خشکسالی را ارائه می‌دهد که این موارد با مجموعه‌ای از عملیات ریاضی پیچیده و طولانی به انجام می‌رسد (به عنوان مثال برای ایستگاه مهرآباد با سی سال آمار و کامپیوتر P-IV عملیات آن ۳۵ دقیقه به طول می‌انجامد). متذکر می‌گردد برای کارهای تحقیقاتی قبل که با استفاده از این شاخص انجام گرفته، آمار و اطلاعات مربوطه برای تهیه کننده شاخص ارسال و تحقیق بر اساس خروجی‌های مدل وی انجام شده است.

در تحقیق حاضر، مراحل محاسباتی این شاخص با استفاده از یک مدل کامپیوتری به انجام رسید که برنامه‌نویسی آن وقت و انرژی زیادی را به خود اختصاص داد. در ادامه شرحی از شاخص و مبانی آن ارائه شده که با توجه به کمبود مرجع، سعی گردید مراحل محاسباتی آن با جزئیات بیشتری ارائه شود.

مراحل محاسباتی این شاخص با انتخاب دوره فرضی کمبود آب آغاز می‌گردد و در ادامه محاسبات، دوره واقعی آن تعیین خواهد شد. این دوره فرضی می‌تواند ۳۶۵ روز (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

کمبود آب و همچنین نیاز به اطلاعات و ارقام فراوان می‌باشد (۸، ۱۳).

نکته با اهمیت دیگر در طراحی سیستم‌های پایش خشکسالی، مقیاس زمانی شاخص‌ها می‌باشد که بتواند در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت این مهم را به انجام رسانند. با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای این تحقیق، از مجموع شاخص‌های مورد اشاره، پالمر قابلیت پایش را بطور هفتگی و بقیه عمدتاً ماهیانه و یا بالاتر را دارا می‌باشند. اما پالمر بدلیل نیاز به اطلاعات فراوان، بعنوان یک شاخص اجرایی مطلوب برای سیستم‌های پایش، با مشکلات زیادی همراه بوده که بویان و وایلهایت به پاره‌ای از آنها اشاره داشته‌اند (۸). برای اهمیت نقش مقیاس زمانی به این مثال توجه گردد. اگر بارندگی شدیدی در ۱ مهرماه و ۳۱ آبان یک سال به وقوع بپیوندد و بین ایندو بارانی نباریده باشد از دید شاخص‌های ماهانه این موضوع (عدم ریزش بارندگی از اول مهر تا آخر آبان) پوشیده مانده و این دو ماه را نرمال نشان می‌دهد. لذا برای پایش مطلوب خشکسالی، کوتاه شدن مقیاس زمانی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

بویان و وایلهایت (۱۹۹۶) شاخص جدیدی، تحت عنوان شاخص خشکسالی موثر^۱ (EDI) که دارای مقیاس زمانی روزانه می‌باشد را ارائه نمودند که بر برخی از مشکلات گذشته فائق آمد (۸). اطلاعات مورد نیاز این شاخص تنها بارندگی است ولی تحقیقاتی نیز در حال انجام می‌باشد تا رطوبت خاک و تبخیر را نیز در آن دخالت دهند (۱۰). تنها تحقیق موجود در ایران پیرامون این شاخص توسط بذرافشان انجام شده که از این شاخص برای تحلیل شدت و تداوم خشکسالی سال ۸۷-۱۹۸۶ در دو ایستگاه از حوزه کسلیان واقع در استان مازندران استفاده کرده است، لذا بنظر می‌رسد که ارزیابی و بررسی بیشتری، پیرامون این شاخص لازم می‌باشد (۱).

تحقیق حاضر بخشی از تدوین یک سیستم پایش خشکسالی در مقیاس زمانی روزانه و با استفاده از شاخص خشکسالی موثر (EDI) در سطح استان تهران می‌باشد که در آن ضمن ارزیابی

1. Effective Drought Index

محاسبه میانگین بارش موثر روزانه^۲ (MEP)

MEP در حقیقت نرمال EP برای هر روز تقویمی بوده که ویژگیهای اقلیمی در یک مکان و زمان معین را نشان می‌دهد. برای محاسبه MEP یک روز، بایستی EP های همان روز را در طول دوره مورد نظر با هم جمع و میانگین گرفت. به عنوان مثال چنانچه قبلاً اشاره شد طی سی سال آمار، ۲۹ مورد EP برای اول فروردین بدست می‌آید که از آنها میانگین‌گیری شده تا MEP اول فروردین محاسبه گردد و به همین ترتیب برای سایر ۳۶۴ روز نیز همین عملیات تکرار می‌شود. از آنجائیکه تغییرات MEP قدری زیاد می‌باشد، بویان و وایلهایت توصیه کردند تا از میانگین متحرک ۵ روزه MEP ها استفاده شود (۹).

محاسبه انحراف EP از MEP^۴ (DEP)

برآورد انحراف از EP مرحله بعدی محاسبات بوده که برای کل روزهای دوره آماری محاسبه می‌گردد:

$$DEP = EP - MEP \quad (۲)$$

مقدار مثبت DEP، نشان دهنده ذخیره آب در همان تاریخ و مکان بوده و مقدار منفی آن معنی عکس دارد.

محاسبه مقدار استاندارد شده DEP^۵ (SEP)

به منظور امکان مقایسه نتایج قبل بین مناطق مختلف بدون توجه به شرایط آب و هوایی، ارقام حاصل از مرحله قبل با استفاده از رابطه ذیل استاندارد می‌گردد:

$$SEP = \frac{DEP}{ST(EP)} \quad (۳)$$

در رابطه فوق ST(EP) انحراف معیار EP برای هر روز تقویمی می‌باشد (نظیر MEP که میانگین EP های یک روز خاص بود، ST(EP) انحراف معیار آنها می‌باشد).

تعریف دوره خشک و تداوم واقعی

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 نمود. تداوم واقعی از جمع تداوم فرضی (۳۶۵ روز در این تحقیق). دوره خشک یا تر بدست می‌آید. برای مثال اگر از ۲ فروردین ماه تا تاریخ پنجم اردیبهشت ماه به مدت ۳۵ روز مقدار DEP یا SEP منفی باشد (۲ فروردین تا ۵ اردیبهشت) تداوم واقعی برای این تاریخ، ۳۵ روز

مدت) باشد. در این تحقیق دوره ۳۶۵ روز که سیکل بارندگی قالب جهانی و حاکم بر کشور است، انتخاب گردید. بعد از انتخاب تداوم فرضی می‌توان محاسبات را مطابق مراحل زیر ادامه داد:

محاسبه بارش موثر روزانه^۱ (EP)

اصلی‌ترین مفهوم در EDI، مفهوم جدید بارش موثر (EP) است. EP، به معنای جمع مقادیر بارش روزانه با یک تابع کاهش و وابسته به زمان می‌باشد. به عبارت دیگر EP هر روز، تابعی از بارندگی همان روز و یک دوره ما قبل خود بوده که در آن بارشهای اخیر نسبت به بارشهای قدیمی‌تر وزن بیشتری را دارند. محاسبه EP با استفاده از رابطه زیر انجام می‌شود:

$$EP_i = \sum_{n=i}^i \left[\left(\sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \quad (۱)$$

که در آن 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_2 بارندگی یک روز قبل) می‌باشد. به عنوان مثال اگر i برابر ۳ روز باشد، EP مطابق زیر برآورد خواهد شد:

$$EP_3 = (P_1) / 1 + (P_1 + P_2) / 2 + (P_1 + P_2 + P_3) / 3 \quad (۱-۱)$$

این رابطه به خوبی تاثیر بیشتر بارشهای اخیر نسبت به بارشهای قدیمی‌تر و دیگر اینکه هر روز در طی دوره آماری مستقل یک EP خواهد داشت را نشان می‌دهد. لذا برای هر دوره که هدف بررسی خشکسالی باشد، بایستی EP هرروز دوره را با در نظر گرفتن تداوم مورد نظر (رابطه (۱-۱)) برای i برابر (۳۶۵) بدست آورد. بدیهی است که این محاسبات برای سال اول دوره آماری قابل انجام نخواهد بود و از سال دوم به بعد قابل انجام است (به عنوان مثال چنانچه ۳۰ سال آمار وجود داشته باشد، 29×365 مقدار EP بدست خواهد آمد).

1. Effective Precipitation

۲. متذکر می‌گردد در این روش سال‌های کیبسه در محاسبات وارد نمی‌شوند و چنانچه در سی‌ام اسفند، بارندگی وجود داشته باشد مقدار آن می‌تواند به روز قبل اضافه گردد (۱۰).

3. Mean of Effective Precipitation.

4. Deviation of MEP

5. Standardized Effective Precipitation

ترتیب این شاخص قابلیت آن را دارد تا مستقل از شرایط آب و هوایی، وضعیت خشکسالی را در مناطق مختلف بر اساس طبقه‌بندی خاصی که برای آن تعریف شده (جدول ۱) محاسبه و با هم مقایسه نماید (۱۰).

جدول ۱ - طبقه‌بندی شاخص خشکسالی موثر (۱۰)

شماره طبقه	مقدار شاخص خشکسالی موثر	وضعیت
۶	کوچکتر از ۱/۵	ذخیره بالای از آب
۵	کوچکتر از ۰/۷	ذخیره کم آب
۴	بزرگتر از -۰/۷	خشک
۳	بزرگتر از -۱/۵	خشکسالی ملایم
۲	بزرگتر از -۲/۵	خشکسالی شدید
۱	کوچکتر از -۲/۵	خشکسالی بسیار شدید

داده‌های مورد نیاز

همانگونه که آمد جهت محاسبه EDI، تنها به داده‌های بارندگی نیاز می‌باشد. به همین جهت آمار بارندگی ایستگاههای وزارت نیرو و سازمان هواشناسی در سطح استان، جمع‌آوری گردید. سپس ایستگاههاییکه دارای ۳۰ سال آمار بطور پیوسته (۴۹-۱۳۴۸ تا ۱۳۷۷-۷۸) بودند، انتخاب و وضعیت خشکسالی در آنها برای سال آبی ۱۳۷۷-۷۸ بطور روزانه تعیین گردید. این ایستگاهها عبارتند از: باقرآباد، مهرآباد، رودک، همنداآبسر، آبعلی، بیلقان و سیرا که تعداد آنها نسبت به مجموع ایستگاههای استان کم می‌باشد.

سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS)

تهیه نقشه‌های خشکسالی از ابزار اصلی در سیستم‌های پایش خشکسالی می‌باشند. در این تحقیق برای تهیه نقشه‌های لازم از امکانات GIS و نرم افزار IDRISI (۱۱) استفاده شده‌است. بدین منظور ابتدا نقشه برداری مرز استان تهران که در محیط اتوکد تهیه شده بود به محیط GIS منتقل گردید و سپس موقعیت ایستگاههای مورد نظر در قالب لایه برداری^۳ دیگر به آن اضافه شد. در ادامه لایه‌های فوق به فایل‌های رستری تبدیل

(دوره خشک) بعلاوه تداوم فرضی اولیه خواهد بود (روز ۳۹۹=۱-۳۵+۳۶۵). حال می‌توان برای هر روز در دوره آماری یک تداوم واقعی را بدست آورد.

محاسبه بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه^۱ (PRN)

محاسبه این قسمت با تکرار مراحل قبل با توجه به دوره تداوم واقعی حاصل از مرحله بالا آغاز می‌گردد. به عنوان مثال چنانچه پنجم اردیبهشت سال دهم، تداوم واقعی ۳۹۹ روز را داشته باشد، لازم خواهد بود تا برای پنجم اردیبهشت کلیه سالها EP ۳۹۹ روز، سپس MEP و DEP مربوط محاسبه گردد. به همین ترتیب برای کلیه پنجم اردیبهشت‌ها با توجه به تداوم واقعی محاسبه شده آن (۳۹۹ روز)، عملیات مجدداً (برای سالهای قبل و بعد) تکرار شود. 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 زیر محاسبه می‌گردد که اندیس زدر آن اشاره به تداوم واقعی دارد:

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j (1/N)} \quad (۴)$$

در رابطه فوق PRN، در حقیقت مقدار بارندگی لازم برای برگشت به شرایط نرمال، از حالت کمبود را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار کمبود بارندگی، نشان دهنده 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 (رابطه ۳)، استاندارد گردد.

محاسبه شاخص خشکسالی موثر (EDI)

EDI در واقع شکل استاندارد شده PRN می‌باشد و مطابق زیر برآورد می‌گردد:

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (۵)$$

در رابطه بالا ST(PRN) نشان دهنده انحراف معیار PRN می‌باشد (مطابق با منطقی که برای SEP ارائه گردید). بدین

2. Geographic Information System.

3. Vector layer.

1. Precipitation needed for a Return to Normal

روز ۳۶۵ به شهریور سال ۱۳۷۸ می‌باشد. همچنین جهت بهتر نشان دادن نتایج، ارتفاع بارندگی و PRN در ۱۰ و EDI مربوط در ۱۰۰ ضرب شده‌است. این شکل نشان می‌دهد که در ۱۹ روز اول سال آبی مقدار EP از MEP بیشتر و مقدار DEP آنها مثبت بوده، لذا هنوز دوره خشک شروع نشده است. بعد از این تاریخ مقدار EP از MEP بطور ناپیوسته بیشتر شده و از ۲۹ آذر ماه یعنی روز ۸۹م تا پایان سال، مقدار EP از MEP کمتر می‌باشد. در قسمت b این شکل مقدار EDI نیز گویای این موضوع است که تا روز ۸۹م به طور پیوسته دوره خشک وجود نداشته و از آن تاریخ به بعد مستمر می‌گردد. بدترین شرایط در این ایستگاه از لحاظ دوره خشک یا خشکسالی در سه ماهه فصل بهار اتفاق افتاده است.

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

شدند تا امکان استفاده از تحلیل‌های سلولی، از جمله برای تعیین محدوده مناطقی که وضعیت یکسان خشکسالی را دارند (مقدار یکسان شاخص خشکسالی) و همچنین محاسبه سطوح این مناطق، فراهم آید.

نتایج و بحث

۱- وضعیت خشکسالی ایستگاههای منتخب در سال آبی ۷۸-۱۳۷۷

با استفاده از مدل تهیه شده، EDI برای ایستگاههای منتخب بطور جداگانه محاسبه و برای پرهیز از حجیم شدن مقاله تنها نتایج مربوط به ایستگاه مهرآباد ارائه شده است (شکل ۱). قسمت a این شکل، 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 آنها روز ۱ مربوط به اول مهر سال ۱۳۷۷ و

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

نام ایستگاه	سیرا	باقرآباد	بیلقان	مهرآباد
ویژگی	زمان و مقدار وقوع	زمان و مقدار وقوع	زمان و مقدار وقوع	زمان و مقدار وقوع
دوره خشک	۳۶۵ تا ۴۴	۱ تا ۳۶۵	۲۴ تا ۲۰	۱۹ تا ۲۵
			۳۶۵ تا ۲۹	۳۱ تا ۷۹، ۸۹ تا ۳۶۵
دوره خشکسالی	۱۰۶ تا ۹۰			۱۱۵ تا ۱۱۲
	۱۱۵ تا ۱۱۲		۳۵ تا ۳۱	۱۴۵ تا ۱۳۹
	۱۴۵ تا ۱۳۹		۱۰۷ تا ۹۷	۱۶۷ تا ۱۶۷
	۱۵۳ تا ۱۵۶	۱۹۸ تا ۱۹۹	۱۱۲ تا ۱۱۵	۱۶۹ تا ۱۸۲
	۱۷۴ تا ۱۸۲	۲۰۳ تا ۲۳۴	۱۴۰ تا ۱۴۵	۱۸۴ تا ۱۸۵
	۱۸۴ تا ۱۸۵		۱۴۹ تا ۳۶۵	۱۹۱ تا ۳۰۳
	۱۹۶ تا ۳۰۳			۳۰۵ تا ۳۶۵
	۳۰۸ تا ۳۶۵			
مینیمم مقدار PRN	۲۳۶-۸۴/۶۳ روز	۲۴۷-۸/۴۷ روز	۲۴۹-۰۳/۵۶ روز	۲۳۵-۱۶/۳۲ روز
مینیمم مقدار EDI	۲۹۴-۶۲/۱ روز	۲۱۹-۱۷/۱ روز	۲۵۱-۹۳/۱ روز	۲۸۲-۰۷/۲ روز

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

نام ایستگاه	رودک	آبعلی	همند آسرد
ویژگی	زمان و مقدار وقوع	زمان و مقدار وقوع	زمان و مقدار وقوع
	۷۸ تا ۵۱	۷۴ تا ۷۸	
	۱۱۵ تا ۸۹	۵۱ تا ۷۹	۱۰۷ تا ۸۷
	۱۲۳ تا ۱۲۰	۸۴ تا ۱۱۶	۱۱۵ تا ۱۰۹
دوره خشک	۱۳۲ تا ۱۲۶	۱۵۸ تا ۱۱۸	۱۲۲
	۱۵۷ تا ۱۳۷	۱۸۶ تا ۱۶۲	۱۴۴ تا ۱۴۰
	۱۸۶ تا ۱۶۵	۳۶۵ تا ۱۹۱	۲۳۶ تا ۲۳۵
	۳۶۵ تا ۱۹۱		۳۰۱ تا ۲۳۹
	۲۱۸ تا ۲۱۲		
دوره خشکسالی	۲۶۰ تا ۲۵۹	۲۹۳ تا ۲۹۲	
	۳۰۰ تا ۲۶۳		
مینیمم مقدار PRN	۶۷/۳۵- روز ۲۱۸	۵۹/۳۹- روز ۲۶۴	۲۱/۱۲- روز ۷۷
مینیمم مقدار EDI	۴۱/۱- روز ۲۱۸	۱- روز ۲۹۲	۷۳/۰- روز ۱۱۵

۲- ارزیابی تاثیر طول دوره آماری بر روی شاخص خشکسالی موثر

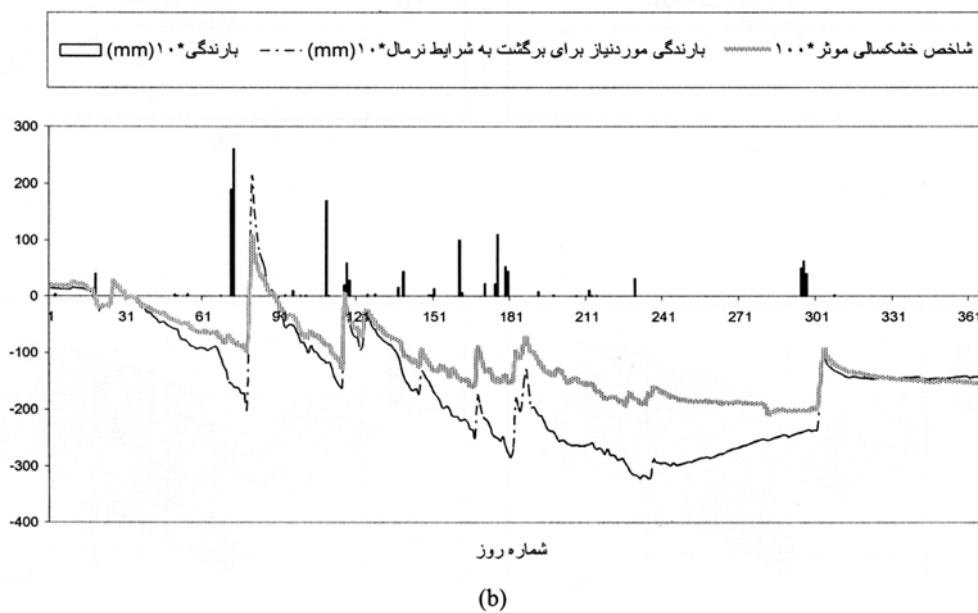
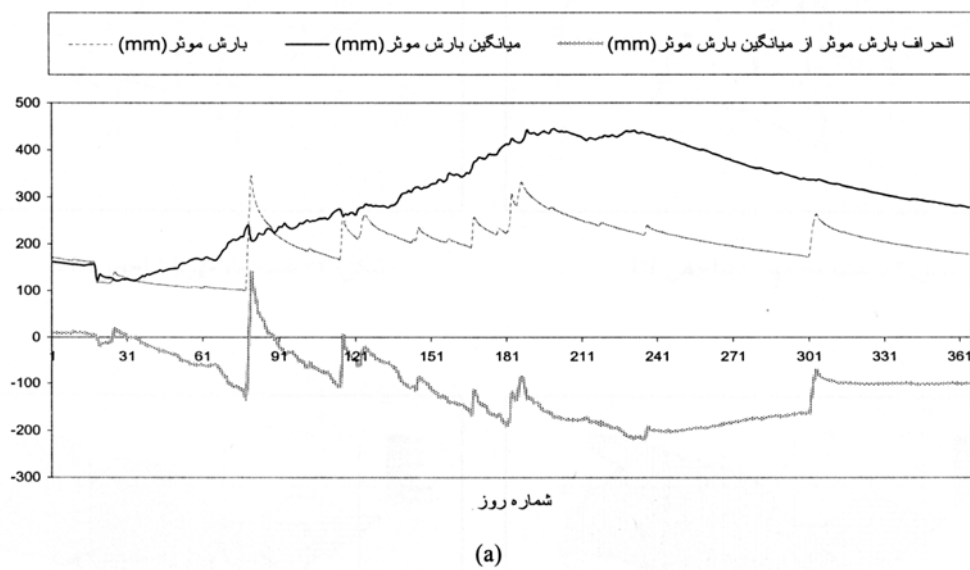
جهت استفاده بیشتر از ایستگاههای موجود در منطقه مطالعاتی، تاثیر طول دوره آماری روی نتایج EDI مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ایستگاههای منتخب (با ۳۰ سال آمار پیوسته) طی دو مرحله یکبار با حذف ۵ سال اول (۴۹-۱۳۴۸ تا ۵۳-۱۳۵۲) و بار دیگر با حذف ۱۰ سال اول (۴۹-۱۳۴۸ تا ۵۸-۱۳۵۷)، به ایستگاههای ۲۵ و ۲۰ ساله تبدیل شدند و سپس برای دوره ۲۰ و ۲۵ ساله ایستگاهها، EDI مجدداً محاسبه گردید. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که دوره آماری ۲۵ و ۲۰ ساله بر روی شاخص تاثیر زیادی ندارد. حساسیت کم شاخص به طول دوره آماری عمدتاً به خاطر مفهوم EP است که EDI از آن بهره می‌جوید.

از بررسی آمار ایستگاههای منطقه، فقط ۷ ایستگاه ۲۵ ساله یافت شد که وضعیت آنها نیز با شاخص منتخب تعیین گردید. این ایستگاهها عبارتند از: رودبار قصران، دربند، کریم آباد، کندسلفی، فشم، ولیان و نارون.

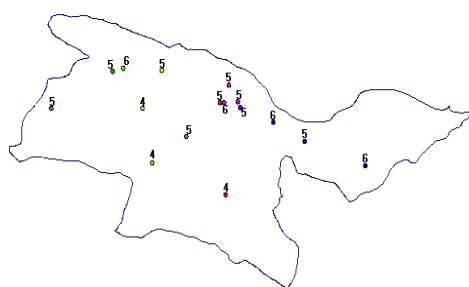
۳- نقشه‌های خشکسالی استان تهران در سال آبی ۷۸-۱۳۷۷

در خصوص قابلیت شاخص‌های خشکسالی در سیستم‌های پایش اشاره شد که همگی آنها این ویژگی را ندارند (۸). مقدسی، شاخص دهک را برای منطقه مطالعاتی این تحقیق محاسبه نمود و نتایج کار وی برای ماه مهر سال ۱۳۷۷ در شکل ۲ ارائه شده است. از این نقشه قابل ملاحظه می‌باشد که در ماه مهر تغییرات این شاخص در منطقه از خشکسالی شدید تا فوق العاده مرطوب بوده که محدوده بزرگی می‌باشد. به عنوان مثال ایستگاه رودک و رودبار قصران (مورد اشاره در شکل) که در مجاور هم هستند و انتظار می‌رود وضعیت نزدیکی را داشته باشند، مقادیر شاخص دهک آنها، بسیار متفاوت (خشکسالی شدید و نرمال) می‌باشد (۷).

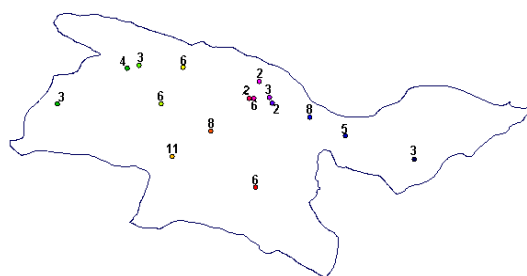
جهت بررسی قابلیت EDI برای سیستم‌های پایش، وضعیت همین ماه نیز با EDI تعیین شده تا بتوان مقایسه‌ای بین نتایج این دو شاخص به انجام رساند. از آنجائیکه مقادیر EDI بطور روزانه بوده لذا با متوسط‌گیری مقادیر روزانه، مقادیر ماهانه آن معلوم و سپس نقشه مربوط تهیه گردید (شکل ۳).



شکل ۱- تغییرات روزانه: (a) بارش موثر، میانگین بارش موثر و انحراف بارش موثر از میانگین بارش موثر و (b) بارندگی، بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال و شاخص خشکسالی موثر ایستگاه مهرآباد از مهر ۷۷ لغایت شهریور ۷۸



شکل ۳- نقشه ماه مهر با شاخص EDI



شکل ۲- نقشه ماه مهر با شاخص DI

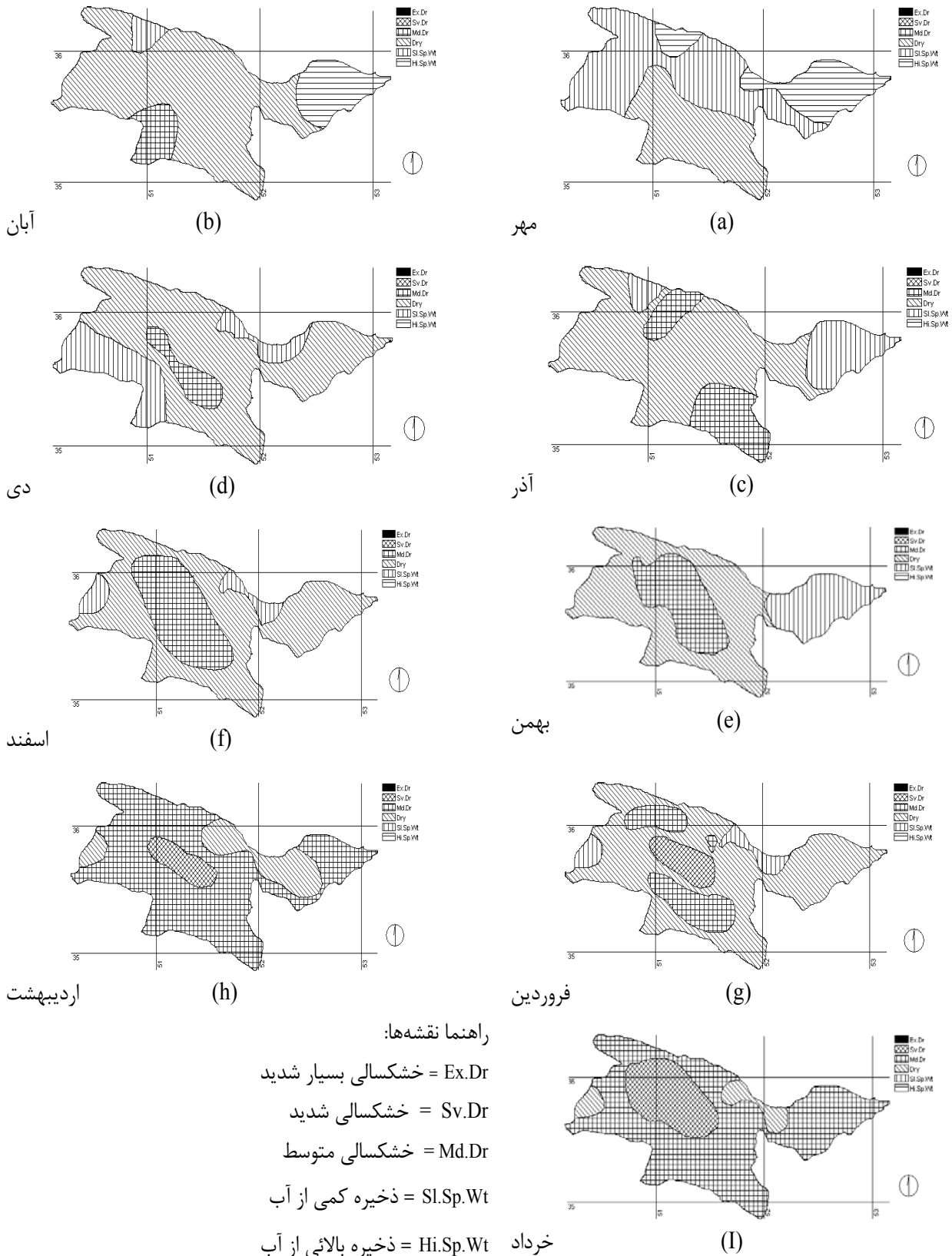
جدول ۳- مقایسه EDI برای دوره های مختلف آماری^۱

ایستگاه	دوره	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
باقرآباد	۳۰	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
	۲۵	۴	۴	۳	۴	۳	۳	۳	۳	۳
	۲۰	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
مهرآباد	۳۰	۵	۴	۴	۴	۳	۳	۲	۲	۲
	۲۵	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۳	۲	۲
	۲۰	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۳	۲	۲
بیلقان	۳۰	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۲
	۲۵	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۲
	۲۰	۴	۴	۳	۴	۳	۳	۲	۲	۲
رودک	۳۰	۶	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۳
	۲۵	۶	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۳
	۲۰	۶	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۳
سیرا	۳۰	۵	۵	۳	۴	۳	۳	۳	۳	۲
	۲۵	۵	۵	۳	۴	۳	۳	۳	۳	۲
	۲۰	۵	۵	۳	۴	۳	۳	۳	۳	۲
همندآبسر	۳۰	۵	۴	۴	۵	۵	۵	۵	۴	۴
	۲۵	۵	۴	۴	۵	۵	۵	۵	۴	۴
	۲۰	۵	۴	۴	۴	۵	۴	۵	۴	۴
آبعلی	۳۰	۶	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳
	۲۵	۵	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳
	۲۰	۵	۴	۴	۴	۳	۴	۳	۳	۳

(۱) مفهوم اعداد در جدول ۱ ارائه شده است.

ذخیره کم آب (قسمتی از شمال غربی)، ۱۶ درصد آن ذخیره بالایی از آب (شرق) و ۷۴ درصد استان خشک است. ملاحظه می‌گردد که در این ماه خشکسالی توسعه قابل توجهی داشته و علی‌رغم بارندگی‌های آذرماه، منطقه شاهد گسترش خشکسالی‌های متوسط تا مقدار ۱۶ درصد (شمال و جنوب شرقی) می‌باشد. در این دوره ۶۸ درصد استان خشک و ۱۶ درصد ذخیره کم آب (شرق و در قسمتی از شمال غربی) وجود دارد. بارندگی‌های دی ماه توانسته گستره خشکسالی را تا حدی کاهش دهد. برای این ماه ۲۲ درصد استان ذخیره کم آب (جنوب غربی و در قسمتی از شمال شرقی)، ۵ درصد آن خشکسالی متوسط (قسمتی از مرکز) و ۷۳ درصد استان خشک

این شکل نشان داد که محدوده تغییرات ارقام شاخص از خشک تا ذخیره بالایی از آب و برای دو ایستگاه مورد اشاره وضعیت ذخیره کم از آب و ذخیره بالایی از آب را گزارش می‌دهد که تفاوت معقولی را با هم دارند (جدول ۱). چنین وضعیتی برای سایر ماهها نیز ملاحظه گردید. نقشه‌های خشکسالی استان با EDI برای ماههای مهر لغایت خرداد سال آبی ۱۳۷۷-۷۸ در شکل ۴ آمده است. نقشه خشکسالی ماه مهر نشان می‌دهد که ۳۲ درصد استان در طبقه خشک (جنوب)، ۲۱ درصد آن ذخیره بالایی از آب (شرق و قسمتی از شمال) و ۴۷ درصد استان را ذخیره کم آب فرا گرفته است. در ماه آبان، ۵ درصد استان خشکسالی متوسط (جنوب غربی)، ۵ درصد آن



راهنما نقشه‌ها:
 خشکسالی بسیار شدید = Ex.Dr
 خشکسالی شدید = Sv.Dr
 خشکسالی متوسط = Md.Dr
 ذخیره کمی از آب = Sl.Sp.Wt
 ذخیره بالایی از آب = Hi.Sp.Wt خرداد

شکل ۴- نقشه‌های خشکسالی ماهانه استان تهران در سال آبی ۷۸ - ۱۳۷۷

۳- تاثیر دوره‌های آماری ۲۰ تا ۳۰ ساله بر روی نتایج EDI نشان داد که این شاخص حساسیت کمی نسبت به طول دوره آماری دارد و امکان استفاده از آن برای دوره‌های غیر ۳۰ ساله نیز میسر است.

۴- پایش خشکسالی بر اساس EDI برای سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ در سطح استان نشان داد که از آبان تا فروردین حدود ۶۵ تا ۸۰ درصد سطح استان خشک و در این مدت خشکسالی متوسط عمدتاً ۲۰ درصد از منطقه را فرا گرفته است. از فروردین به بعد خشکسالی شدید سطوحی از استان را در بر گرفته بطوریکه در خرداد ماه، ۲۰ درصد استان تحت تاثیر این نوع خشکسالی می‌باشد.

۵- سیستم اطلاعات جغرافیایی، ابزاری موثر در پایش خشکسالی تشخیص داده‌شد، هر چند که برای استفاده از امکانات خودکار آن مانند روش‌های زمین آماری، نیاز به تحقیق بیشتری وجود دارد.

سپاسگزاری

این مطالعات بخشی از طرح تحقیقاتی مورد حمایت دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی معاونت امور آب وزارت نیرو با کد WRE1-79489 بوده که بدین وسیله تشکر می‌گردد. همچنین از همکاری سازمان تمارب و سازمان هواشناسی در تامین آمار مورد نیاز این تحقیق قدردانی می‌شود.

REFERENCES

۱. بذرافشان، ج. ۱۳۷۹. بارش موثر نگرشی تازه بر روند شدت و تداوم خشکسالیها. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی کرمان، جلد اول، ۴۰۶-۳۹۹.
۲. ثنائی نژاد، ج. ۱۳۷۹. مروری بر شاخص‌های خشکسالی و ارزیابی شاخص‌های SPI و درصد از نرمال برای استان خراسان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی کرمان، جلد دوم، ۹۶۰-۹۵۲.
۳. جوانمرد، س.، ج. جمالی، ن. قهرمان و ح. مقدم. ۱۳۸۰. محاسبه نمایه شدت خشکسالی پالم در استان خراسان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب زابل، جلد سوم، ۱۶۸-۱۵۵.
۴. حسینی‌ها، ح. و ز. صالحی. ۱۳۷۹. بررسی وضعیت خشکسالی بر اساس تعدادی از شاخص‌های آماری در استان زنجان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی کرمان، جلد اول، ۲۷-۱۷.
۵. رضائی پزند، ح. و م. مهدی پور. ۱۳۷۹. تحلیل خشکسالی و پیش بینی بارندگی چهار سال آینده شهر زابل. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب زابل، جلد سوم، ۳۹۵-۳۸۳.

است. در بهمن‌ماه مجدداً خشکسالی توسعه یافته و ۲۱ درصد استان خشکسالی متوسط (قسمت وسیعی از مرکز)، ۲۱ درصد ذخیره کم آب (قسمت شرق)، و در بقیه استان دوره خشک حاکم گردیده است. در اسفند ماه کم و بیش وضعیت قبل ادامه دارد. نقشه خشکسالی فروردین ماه حکایت از وقوع خشکسالی شدید در ۶ درصد از سطح استان (قسمتهای مرکزی و شمال غربی) دارد. در این ماه در ۶ درصد سطح استان ذخیره کم آب (ماه غرب و قسمتی از شمال شرقی منطقه) و ۱۷ درصد خشکسالی متوسط (جنوب و جنوب غربی) و بقیه منطقه خشک می‌باشد. در ماه‌های اردیبهشت و خرداد خشکسالی شدید به ترتیب ۶ و ۲۱ درصد استان را فرا گرفته است.

جمع‌بندی

در این تحقیق، قابلیت شاخص خشکسالی موثر (EDI) برای پایش زمانی و مکانی خشکسالی در سطح استان تهران و برای سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که در ذیل به نتایج حاصل از آن اشاره می‌شود:

۱- نتایج تحقیق نشان داد که EDI دارای تغییرات منطقی زمانی و مکانی بوده و همچنین قابلیت لازم را برای استفاده در سیستم پایش خشکسالی دارد.

۲- محدودیت‌هایی برای EDI یافت گردید که از مهمترین آنها نیاز به داده‌های پیوسته، عملیات و محاسبات طولانی می‌باشد.

۶. فهمی، ه. ۱۳۸۰. ارزیابی اثرات خشکسالی بر منابع آب کشور. کارگاه تخصصی منابع آب کشور.

۷. مقدس‌ی، م. ۱۳۸۱. ارزیابی و پایش روزانه خشکسالی در استان تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

8. Byun, H. R. & D. A. Wilhite. 1996. Daily quantification of drought severity and duration. <http://rossby.metr.ou.edu/buun.html>
9. Byun, H.R. & D.A. Wilhite. 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*.
10. Byun, H.R. 2002. Personal communications.
11. Eastman, J.R. 1999. *Guide to GIS and image processing*.
12. Eder, B.K. & J.M. Davis. 1987. Spatial and temporal analysis of the palmer drought severity index over the south-eastern united states. *Journal of Climatology*, Vol. 7: 31-56.
13. Hayes, M. J. 2000. What is drought? *Climate impacts specialist*.
14. Klugman, M.R. 1978. Drought in the upper midwest. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 17: 1425-1431.
15. Karl, T.H.R. & R.W. Knight. 1985. Atlas of monthly palmer hydrological drought indices for the contiguous United States. *Historical Climatology Series 3-7*. National Climatic Data Center.
16. Oladipo, E.O. 1986. Spatial pattern of drought in the interior plains of North America, *Journal of Climatology*. Vol. 6: 495-513.
17. Palmer, W. C. 1965. *Meteorological drought*. U. S. Weather Bureau, Washington D.C., Research Paper 45.
18. Riebsame, W. E., S. A. Chandon & T. R. Karl. 1990. Drought and natural resources management in the United State, *Impacts and Implications of the 1987-89 Drought*, pp 174.
19. Sen, Z. 1980. Regional drought and flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, Vol. 46: 265-279.
20. Whipple, W. 1966. Regional drought analysis, ASCE. *Journal of Irrigation and drainage division*, Vol. 92: 11-31.
20. Wilhite, D.A. 1991. Drought planning: a process for state government. *Water Resources Bulletin*, Vol. 1: 29-38

Daily Drought Monitoring, Tehran Province

M. MOGHADDASI¹, S. MORID², H. GHAEMI³,
AND J. M.V. SAMANI⁴.

1, 2, 4, Former Graduate Student, Assistant Professors, Faculty of Agriculture,
University of Tarbiat Modarres 3, Faculty Member, Meteorological Research Center.

Accepted. April. 28, 2004

SUMMARY

Design of drought monitoring systems is an important measure in developing drought mitigation plans. Such systems act as a trigger to activate predefined programs for mitigating negative impacts of drought. Not all drought indices have the capability to monitor drought. The required data as well as their time scales are two of the important issues causing the referred limitations. The present research is an effort for designing drought-monitoring system at a daily time scale basis. The daily drought index, so called Effective Drought Index (EDI) has been selected to be evaluated for monitoring, starting year 1998-99 of the recent prolong drought spell in Tehran province. Furthermore, sensitivity of EDI to the record length has been assessed. The results show suitability of the index for daily monitoring system accompanied with meaningful spatial and temporal variation for the selected year as well as the study area. In the succeeding step, using the drought status of the selected stations and GIS, monthly drought maps of the province have been prepared. These maps reveal that the province started facing moderate drought from October 1998 to March 1999. From April 1999 the drought status worsened with especially the central parts of the province experiencing even more severe droughts.

Key words: Drought monitoring system, Effective Drought Index, Tehran province, Year 1998-99 drought.