

مقایسه روش‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشکسالی: مطالعه موردی دوره خشکسالی ۱۳۷۸ لغایت ۱۳۸۰ استان تهران

سعید مرید* و شهلا پایمزد^۱

(تاریخ دریافت: ۸۴/۷/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۱/۲۴)

چکیده

استفاده از معرف‌های هواشناسی و به خصوص بارندگی از دیر باز برای پایش خشکسالی مد نظر بوده و روش‌های بسیاری در این خصوص ارائه شده است. اما علاوه بر آنها، معرف‌های هیدرولوژیکی نیز می‌توانند نقش مهمی را در بیان وضعیت خشکسالی داشته باشند. در این تحقیق، یکی از محدود روش‌های پایش هیدرولوژیکی خشکسالی به نام روش چانگ که مقیاس روزانه دارد، با تغییراتی برای ارزیابی چگونگی خشکسالی روزانه استان تهران مورد استفاده قرار گرفت و سپس با شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) (Effective Drought Index) که تنها شاخص هواشناسی با مقیاس روزانه است، مقایسه شد. نتایج ضمن تأیید قابلیت‌های روش چانگ و اهمیت دخالت معرف‌های هیدرولوژیکی در پایش خشکسالی، نشان می‌دهد که روش چانگ از حساسیت بیشتری به کمبود منابع آبی در شرایط خشکسالی برخوردار می‌باشد. به طوری که مقایسه دو روش طی سه سال ۱۳۷۷-۷۸ الی ۱۳۷۹-۸۰ حاکی از این است که ۳۱/۱ درصد ایام توسط چانگ خشکسالی "بسیار شدید" و شاخص خشکسالی مؤثر برای همین طبقه از خشکسالی رقم ۳/۷ درصد ایام را اعلام کرده است. به دلیل دخالت معرف‌هایی مانند ذخیره سدها و آب زیرزمینی، روش‌های هیدرولوژیکی همراه با شاخص‌های هواشناسی می‌توانند ترکیب ایدآلی را در اعلام وضعیت خشکسالی ارائه دهند که در آن هم خشکسالی ناشی از کاهش نزولات و هم ناشی از مصرف بالا و سوء مدیریت قابل تفکیک باشد.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی هیدرولوژیکی، شاخص خشکسالی هواشناسی، سطح آستانه، استان تهران، روش چانگ، شاخص خشکسالی مؤثر

مقدمه

این که کاهش بارندگی عامل اصلی خشکسالی می‌باشد، عمده این سیستم‌ها و شاخص‌هایی که استفاده می‌نمایند بر اساس آن می‌باشد. شاخص‌های مانند EDI و SPI, CZI, MCZI, PI, DI از این جمله می‌باشند که شرح کامل آنها در مرجع (۱) قابل دسترس است. ولی کمبود آب در یک ناحیه می‌تواند علی‌رغم

به منظور اتخاذ اقدامات مناسب به منظور مقابله با آثار زیان‌بار خشکسالی، سامانه‌های پایش خشکسالی یکی از ابزارهای مهمی می‌باشند که قادر به ارائه اطلاعات بهنگام از دوام، شدت و توسعه جغرافیایی خشکسالی در یک ناحیه هستند. با توجه به

۱. به ترتیب دانشیار و دانشجوی سابق دکتری منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: morid_sa@modares.ac.ir

است. اما برای SWSI نقاط ضعفی گزارش شده مانند این که: روشی مشخص برای بهینه‌سازی پارامترهای آن وجود ندارد، برآورد آن متکی به تجربه می‌باشد، عملکرد آن در تمام حوزه‌ها یکسان نبوده و ارقام شاخص در حوزه‌های مختلف مفهوم یکسانی ندارد (۱۰ و ۱۱).

با توجه به موارد فوق، هدف این تحقیق مقایسه استفاده تنها یک معرف بارندگی در پایش خشکسالی با ترکیب معرف‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی برای آن است. هم‌چنین از آنجایی که در مدیریت خشکسالی، اطلاعات روزانه ارتقای آن را سبب می‌گردد، مبنای انتخاب روش و داده‌های مورد استفاده نیز همین مقیاس زمانی بوده است. بدین ترتیب به استناد مطالعات کتابخانه‌ای برای پایش نوع اول (صرفاً بارندگی) شاخص خشکسالی موثر یا EDI مورد استفاده قرار گرفت (۵). مرید و همکاران (۱) نیز قابلیت این شاخص را برای منطقه مطالعاتی تأیید کردند. برای نوع دوم (ترکیب متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی) نیز با شرحی که در بالا آمد، روش چانگ به کار رفت. منطقه مطالعاتی تحقیق استان تهران در نظر گرفته شده که سیستم منابع آبی متنوعی دارد. این استان طی سال‌های آبی ۷۸-۱۳۷۷ لغایت ۸۰-۱۳۷۹ خشکسالی شدید و نادری را شاهد بود که در این تحقیق به این دوره توجه خاصی شده است.

مواد و روش‌ها

شرح منطقه مورد مطالعه

استان تهران، شامل سیستم متنوعی از منابع آب مانند رودخانه، سد و منابع آب زیرزمینی می‌باشد که برای ارزیابی متدولوژی تحقیق مناسب تشخیص داده شد. اطلاعات مورد نیاز شامل آمار آبرسانی از ایستگاه‌های سیرا، رودک، سطح آب دریاچه سدهای لار، لتیان و کرج، هواشناسی از ایستگاه‌های کرج، مهرآباد، همدان، ابعلی، باقرآباد، فشنند، مرا، سیرا و امامه و سطح آب زیرزمینی دشت کرج مورد استفاده قرار گرفته است. کلیه این آمار برای دوره آماری ۳۰ ساله (۵۱-۱۳۵۰ لغایت ۸۰-۱۳۷۹) تهیه و تکمیل شده ولی آمار آب زیرزمینی تنها برای سال‌های

بارندگی کافی، به واسطه تخییر زیاد و یا سایر افت‌ها و حتی مصرف بیش از حد رخ دهد. از این بابت است که در پایش خشکسالی ایدآل است تا معرف‌های دیگری مانند جریان آب سطحی، آب زیرزمینی و مصرف در محاسبات لحاظ گردند (۱۶). از اولین شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی، شاخص پالمر (PHDI) (Palmer Hydrological Drought Index) می‌باشد که برخلاف شاخص هواشناسی همین محقق (PDSI) (Palmer Drought Severity Index) مورد استقبال زیادی قرار نگرفت (۱۵). یوگویچ (۱۷) خشکسالی را بر اساس یک سری زمانی ایستا و تئوری گردش (Run Theory) تعریف کرد. وی سری مشاهدات دبی را روی نموداری که محور X آن زمان بود، قرار داد و سطح آستانه‌ای (Truncation Level) را برای آن تعریف نمود که ارقام کمتر از آن مبین خشکسالی و مدتی که جریان کمتر از این آستانه قرار می‌گرفت، تداوم خشکسالی را تعیین می‌نمود. روش آستانه بعدها توسط گوپتا و همکاران (۱۲)، دراکوپ و همکاران (۸ و ۹) و چانگ (۵ و ۶) به کار گرفته شد. این روش که چند معرفه تلقی می‌گردد، مجموعه‌ای از عوامل مانند ذخیره سدها و سفره‌های آب زیرزمینی، آورد رودخانه‌ها که می‌توانند معرف منابع آب در دسترس باشد را در خود جای دهد، ضمن این که مصرف و مدیریت منابع آب با دخالت این ذخائر به طور غیر مستقیم وارد محاسبات می‌گردد. شاخص هیدرولوژیکی دیگری که به لحاظ متدولوژی با کارهای قبل فرق می‌کند و بر مبنای یک رابطه تجربی استوار است، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI) (Surface Water Supply Index) می‌باشد (۱۰ و ۱۱). این شاخص در اواسط سال ۱۹۸۱ برای طرح مقابله با خشکسالی در ایالت کلرادو مطرح شد و بعدها نیز با تغییراتی برای بعضی ایالات مورد استفاده قرار گرفت. این دو برخلاف روش‌های هواشناسی خشکسالی که به طور نقطه‌ای عمل می‌کنند، خشکسالی را در یک منطقه و به عبارتی در یک سامانه منابع آب پایش می‌کند. از مجموعه شاخص‌های بالا روش چانگ و SWSI کاربرد بیشتری در پایش خشکسالی داشته



شکل ۱. موقعیت استان تهران و سامانه اصلی منابع آب آن

۷۱-۱۳۷۰ الی ۸۰-۱۳۷۹ در دسترس بود. در شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی ارائه شده است.

روش هیدرولوژیکی چانگ در پایش خشکسالی

کار اصلی چانگ برای این روش در سال ۱۹۹۱ انجام شد که وی با استفاده از تحقیقات قبلی روشی را برای پایش خشکسالی با استفاده از ۵ معرف شامل جریان رودخانه، بارندگی، دما، سطح آب زیرزمینی و سطح آب در مخازن ارائه داد (۷). لازم به ذکر است که از مجموعه این معرف‌ها سطح آب زیرزمینی و مخازن سدها ضمن این که معرفی برای خشکسالی هستند، اطلاعات مصرف را نیز در خود جای می‌دهند. در ادامه مراحل کار این روش به اختصار ارائه می‌گردد:

سطح آستانه و تعریف خشکسالی

برای تعیین خشکسالی در این روش از سطح آستانه معرف‌ها استفاده می‌گردد. در ابتدا داده‌های مشاهداتی به طور صعودی برای هر کدام از معرف‌ها مرتب می‌شود. سطح آستانه X درصد مقداری است که مربوط به موقعیت i ام داده‌های مرتب شده با طول N می‌باشد. این مقدار برای جریان رودخانه، بارندگی و

سطح آب دریاچه سدها مطابق زیر:

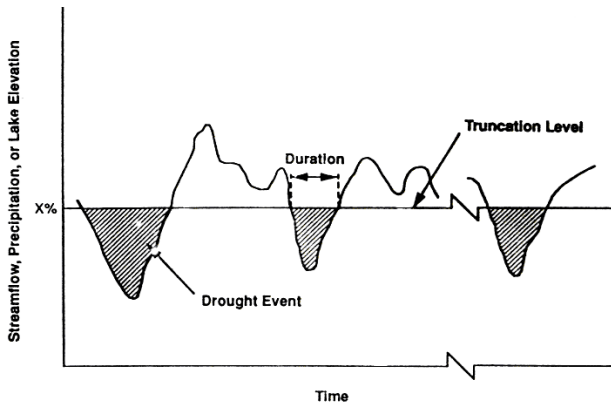
$$i = \frac{(100 - X)}{100} N \quad [1]$$

و برای افت آب زیرزمینی و درجه حرارت در ذیل تعریف شده است:

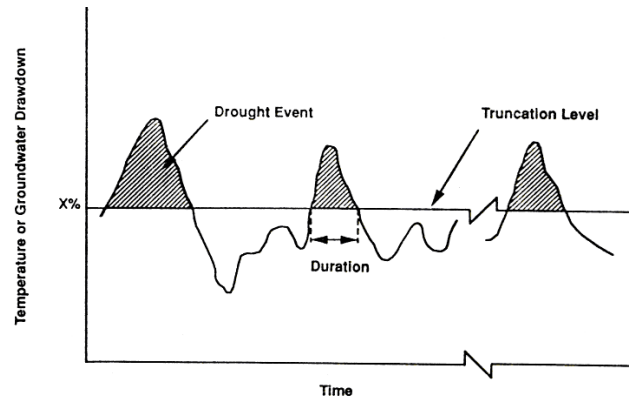
$$i = \frac{X}{100} N \quad [2]$$

اشکال ۲ و ۳ به طور شماتیک تعریف خشکسالی را برای معرف‌های دبی و آب زیرزمینی ارائه می‌دهد.

روابط فوق و مفهوم آن بدین معناست که در سطح آستانه مورد نظر، X درصد داده‌های ثبت شده (جریان رودخانه، بارندگی و سطح دریاچه) از آن بیشتر هستند. ولی برای آب زیرزمینی و درجه حرارت، X درصد داده‌های ثبت شده گذشته کمتر از آن می‌باشند. به همین ترتیب برای این معرف‌ها، تعداد روزهایی که داده‌های مشاهداتی به طور پی در پی کمتر از سطح آستانه خاص باشد، تعیین کننده مدت خشکسالی می‌باشد و برای دو معرف دیگر، آب زیرزمینی و درجه حرارت، حالت عکس را دارد. وی سطوح شدت ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۹۵ درصد را برای خشکسالی و تعیین سطح آن به کار برد. لازم به ذکر است که در محاسبات بالا هیچ گونه فرض نرمال بودن داده‌ها مطرح



شکل ۳. نمایش مفهوم خشکسالی در روش Chang برای معرف‌های دبی، بارندگی و ارتفاع آب در پشت سد (۷)



شکل ۴. نمایش مفهوم خشکسالی در روش Chang برای معرف‌های دما و آب زیرزمینی (۷)

- مدت خشکسالی فعلی از متوسط دوره خشکسالی سطح مربوط (سطح پایین‌تر که در بالا اشاره شد) که از داده‌های ثبت شده به دست آمده، بیشتر باشد.

- احتمال شرطی خشکسالی از سطح پایین‌تر به سطح بالاتر بعدی، بیشتر یا مساوی ۵۰ درصد باشد.

احتمال شرطی با تقسیم تعداد ایامی که دبی از یک سطح به سطح بالاتر رفته، بر کل ایامی که از یک سطح به همان سطح و یا بالاتر از خود می‌رود به دست می‌آید (به عنوان مثال تعداد ایامی که در طول دوره، سطح ۸۰ به ۹۰ درصد رسیده تقسیم بر تعداد ایامی که سطح ۸۰ به ۸۰ درصد و یا به ۹۰ و ۹۵ درصد رسیده است، احتمال شرطی سطح ۸۰ به ۹۰ درصد را تعیین می‌کند). میانگین مدت خشکسالی نیز از تقسیم مدت واقعه خشکسالی بر تعداد دوره‌های کمبود نتیجه می‌شود. این دوره فاصله زمانی است که بسته به نوع معرف، داده‌ها بالاتر یا پایین‌تر از سطح مورد نظر قرار می‌گیرند (به عنوان مثال در شکل ۳ چنانچه تعداد روزهایی که دبی از سطح آستانه خاصی پایین‌تر بوده، جمعاً ۶۰ روز فرض گردد، با توجه به این که شاهد ۳ مورد کمبود و پایین رفتن از سطح آستانه بوده‌ایم، میانگین مدت خشکسالی ۲۰ روز خواهد بود). بدین ترتیب اگر حداقل یکی از شرایط بالا محقق گردد، سطح بالاتر برای بیان شدت خشکسالی در روز جاری به کار خواهد رفت.

در این روش شدت خشکسالی معرف جریان رودخانه برای

نمی‌باشد و عملاً توزیع تجربی داده‌ها مانند آنچه در منحنی تداوم جریان انجام می‌گیرد، صورت می‌پذیرد.

روش پایش خشکسالی

در این روش مشخصات مبنا برای معرف‌های خشکسالی عبارت‌اند از: (۱) شدت واقعه خشکسالی (۲) مدت خشکسالی (۳) احتمال شرطی که یک واقعه خشکسالی از سطحی خاص به سطح شدت بالاتر برود. برای این کار در ابتدا سطح شدت خشکسالی هر کدام از معرف‌ها در کلیه ایستگاه‌ها تک به تک تعیین می‌گردد و سپس شدت خشکسالی هر معرف بر اساس کلیه ایستگاه‌های مورد نظر به دست می‌آید. در نهایت با بررسی و ترکیب سطح شدت پنج معرف یاد شده، سطح شدت خشکسالی حوزه تعیین می‌شود.

تعیین سطح شدت خشکسالی برای یک معرف (دبی)

به منظور تشریح بهتر مطالب، با استفاده از داده‌های دبی، نحوه تعیین شدت خشکسالی برای هر روز ارائه می‌گردد. در اولین قدم از داده‌های ثبت شده، سطوح آستانه دبی هر ایستگاه مطابق با شرحی که قبلاً آمد، تعیین می‌شود. سپس، دو سطح آستانه که دبی رودخانه روز جاری بین آنها قرار می‌گیرد، انتخاب می‌شود. سطح پایین‌تر مبنای تعیین شدت خشکسالی برای آن ایستگاه است مگر این که یکی از شرایط زیر محقق شده باشد:

EDI به طور روزانه خشکسالی را پایش می‌کند که این قابلیت در دیگر شاخص‌های هواشناسی خشکسالی وجود ندارد. اصلی‌ترین مفهوم در این شاخص بارش مؤثر (Effective Precipitation) (EP) 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 را دارند. برای محاسبه EP از فرمول زیر استفاده می‌گردد.

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left[\left(\sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \quad [3]$$

مراحل محاسباتی این شاخص بسیار طولانی و پیچیده می‌باشد که به طور مفصل توسط مقدسی (۲) ارائه شده‌است.

نتایج و بحث

با توجه به این که دو روش مورد بررسی در این تحقیق از طبقه‌بندی مختلفی استفاده می‌نمایند، برای ارزیابی نتایج و مقایسه آنها لازم بود تا طبقه‌بندی دو روش به نحوی همسان گردند. نحوه این همسان سازی در جدول ۱ آمده است که مبنایی آماری دارد. توضیح بیشتر این که مثلاً در طبقه‌بندی شاخص بارندگی استاندارد (SPI) طبقه "خشکسالی شدید" فراوانی تجمعی ۶/۷ تا ۲/۳ درصد و کمتر را دارد (۳ و ۱۳) که مقداری معادل فراوانی تجمعی ۹۳/۳ تا ۹۷/۷ درصد و بیشتر است. بسیاری دیگر از شاخص‌های مانند شاخص Z یا CZI نیز از همین طبقه‌بندی استفاده کرده‌اند و EDI نیز کم و بیش آن را حفظ کرده است (۱۴). لذا آستانه ۹۵٪ روش چانگ برابر طبقه "خشکسالی شدید" در EDI در نظر گرفته شده که برای راحتی ارجاع به آن، طبقه ۳- اطلاق شده است. به همین منوال برای سایر طبقات نیز عمل شد. نکته دیگر این که در روش چانگ شرایط نرمال و بالاتر از آن (مرطوب) یکسان دیده می‌شوند، لذا در موارد لازم کلیه وضعیت‌های نرمال و مرطوب شاخص EDI توأماً در یک طبقه جای داده شده‌اند تا مجدداً با روش چانگ قابل مقایسه شوند (طبقه صفر در جدول ۱).

با توجه به شرح بالا، دو روش مورد ارزیابی برای سه سال

کل حوزه برابر خواهد بود با: بالاترین شدتی که در حداقل نصف ایستگاه‌های واقع در آن حوزه رخ داده است. برای سایر معرف‌ها نیز روال کار به همین منوال خواهد بود.

تعیین سطح شدت خشکسالی در کل حوزه

با توجه به سطوح شدت خشکسالی که برای ۵ معرف بیان شد، شدت خشکسالی برای کل حوزه مطابق زیر انجام می‌گردد:
- اگر دبی در سطح شدت خشکسالی خاصی باشد (مثلاً ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۹۵ درصد) و حداقل یکی از چهار معرف دیگر به سطح شدت خشکسالی دبی و یا بیشتر از آن رسیده باشد، در این حالت سطح شدت خشکسالی دبی به عنوان سطح شدت خشکسالی در کل حوزه انتخاب می‌شود.

- اگر دبی در یک سطح شدت خشکسالی مشخص باشد و حداقل یکی از معرف‌ها به سطح شدت ۷۰ درصد یا بیشتر رسیده، ولی این شدت کمتر از شدت خشکسالی دبی باشد، سپس شدت خشکسالی ۷۰ درصد برای کل حوزه مبنا قرار می‌گیرد.

- اگر جریان رودخانه در سطح خشکسالی خاصی نباشد، اما حداقل دو معرف دیگر در سطوح خشکسالی واقع شده‌اند، در این حالت سطح شدت ۷۰ درصد برای کل حوزه در نظر گرفته می‌شود.

استفاده از سطوح آستانه ماهیانه به جای سالیانه

چانگ در روش خود کل دوره آماری را یکسان دیده است. بدین معنی که در این روش، سطوح آستانه به طور سالیانه محاسبه می‌شود. تحت چنین شرایطی با استفاده از اطلاعات کل دوره آماری (فقط) یک سطح آستانه ۷۰، ۸۰، ۹۰ یا ۹۵ درصد در هر ایستگاه قابل تعریف خواهد بود. در صورتی که متناسب با شرایط کشور، در یک سیکل هیدرولوژی سالانه، سطوح آستانه ماهیانه تفاوت‌های معنی‌داری با هم دارند، از این رو برای این تحقیق سطوح ماهیانه محاسبه و از آن استفاده شد.

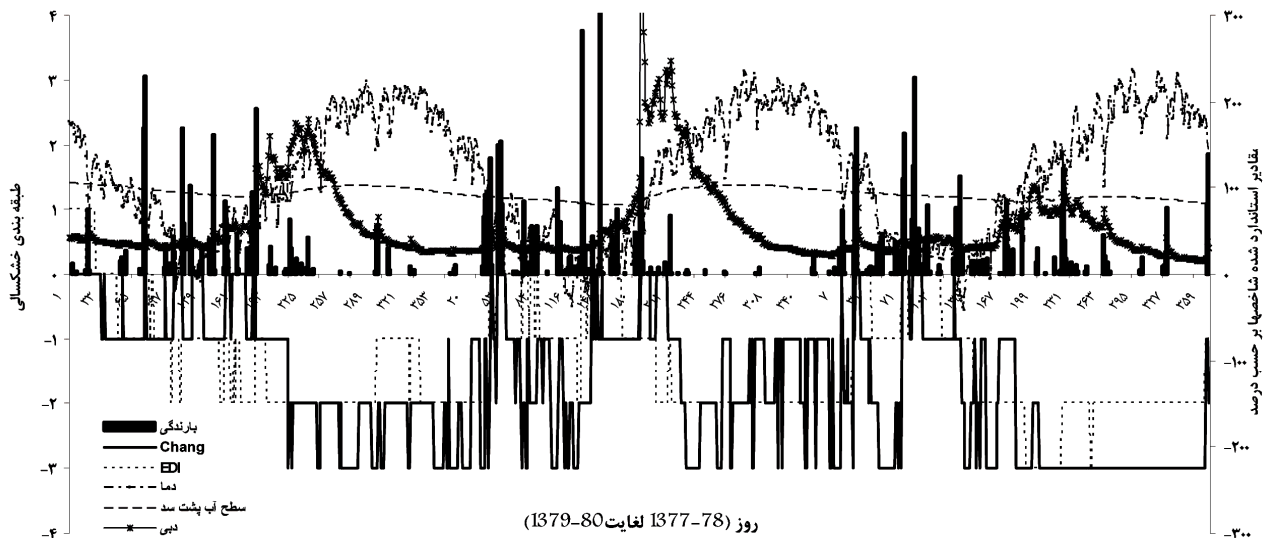
شاخص هواشناسی EDI در پایش خشکسالی

شاخص خشکسالی مؤثر EDI یک شاخص جدید می‌باشد (۴).

جدول ۱. همسان‌سازی طبقات خشکسالی در روش‌های EDI و چانگ

آستانه‌های روش چانگ (درصد مساوی و بیشتر)	EDI	فراوانی تجمعی (%)	شماره طبقه ^۱	طبقه خشکسالی
-	< -۲/۵	۹۷/۷ به بالا	-۴	خشکسالی بسیار شدید
۹۵	-۲/۴۹ تا -۱/۵	۹۳/۳ - ۹۷/۷	-۳	خشکسالی شدید
۹۰	-۱/۴۹ تا -۰/۷	۸۴/۱ - ۹۳/۲	-۲	خشکسالی متوسط
۷۰ تا ۸۰	۰ تا -۰/۷	۵۰ - ۸۴	-۱	خشکسالی خفیف
بدون خشکسالی	> ۰	۵۰ کمتر	۰	شرایط نرمال یا مرطوب

۱. در طول مقاله برای بیان میزان شدت خشکسالی از شماره طبقات آمده در این جدول استفاده شده است.



شکل ۴. تغییرات روزانه طبقات خشکسالی و مقادیر استاندارد شده معرف‌ها طی دوره خشکسالی ۱۳۷۷-۷۸ لغایت ۱۳۷۹-۸۰

بخش‌های اخیر (۱۳۷۹-۸۰ تا ۱۳۷۷-۷۸) به اجرا در آمد که نتایج در شکل ۴ بر اساس طبقات ارائه شده است. این شکل مقادیر دو روش را طی این دوره خشکسالی نشان می‌دهد. شکل علاوه بر طبقه خشکسالی، متوسط روزانه هر یک از معرف‌ها که با تقسیم بر متوسط بلند مدت آنها استاندارد شده‌اند را بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های مورد استفاده نشان می‌دهد. رفتار دو روش پایش در مقابل تغییرات معرف‌ها کاملاً قابل تعقیب است. هر دو روش حدوداً خشکسالی را نزدیک به هم اعلام داشته‌اند ولی طی ۶ ماه اول طبقات خشکسالی EDI از چانگ شدیدتر می‌باشد که ناشی از ذخیره منابع آبی از سال قبل می‌باشد. عکس همین روند برای ۶ ماه آخر این دوره نیز اتفاق افتاده است که علی‌رغم بهبود در بارندگی‌ها، چانگ شدت

بیشتری را اعلام می‌دارد که در ادامه بیشتر تشریح خواهد شد. در اواسط این دوره و به خصوص نیمه اول سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ نیز، استان بارندگی‌های مناسبی را شاهد بوده که هر دو روش به آن پاسخ داده‌اند و حتی برای چند روز پایان خشکسالی را نیز اعلام داشته‌اند، ولی EDI مدت بیشتری را در این شرایط باقی مانده است.

تفاوت‌های دو روش در جدول ۲ به طور کمی‌تری قابل مشاهده است. جدول نشان می‌دهد که تفاوت محسوسی به خصوص در فراوانی طبقه "خشکسالی شدید" در این دوره وجود دارد. در شرایطی که EDI تنها برای سال سوم خشکسالی (۱۳۷۹-۸۰) و آن هم حدود ۱۱ درصد ایام را این شدت اعلام می‌دارد، چانگ برای سه سال به ترتیب ۱۲/۹،

بیشتری را اعلام می‌دارد که در ادامه بیشتر تشریح خواهد شد. در اواسط این دوره و به خصوص نیمه اول سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ نیز، استان بارندگی‌های مناسبی را شاهد بوده که هر دو روش به آن پاسخ داده‌اند و حتی برای چند روز پایان خشکسالی را نیز اعلام داشته‌اند، ولی EDI مدت بیشتری را در این شرایط باقی مانده است.

جدول ۲. مقایسه فراوانی (%) طبقات خشکسالی در روش چانگ و EDI طی سال‌های آبی ۱۳۷۷-۷۸ لغایت ۱۳۷۹-۸۰

خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی خفیف	شرایط نرمال یا مرطوب	شاخص	سال آبی
۰۰/۰	۴۶/۰	۴۰/۳	۱۳/۷	EDI	۱۳۷۷-۷۸
۱۲/۹	۲۹/۳	۳۷/۰	۲۰/۸	Chang	۱۳۷۷-۷۸
۰۰/۰	۵۶/۲	۲۴/۴	۱۹/۵	EDI	۱۳۷۸-۷۹
۱۸/۹	۲۵/۵	۴۵/۵	۱۰/۱	Chang	۱۳۷۸-۷۹
۱۱/۰	۵۶/۴	۱۸/۴	۱۴/۳	EDI	۱۳۷۹-۸۰
۶۱/۶	۱۰/۴	۲۱/۱	۶/۹	Chang	۱۳۷۹-۸۰
۳/۷	۵۲/۹	۲۷/۷	۱۵/۸	EDI	کل دوره خشکسالی
۳۱/۱	۲۱/۸	۳۴/۵	۱۲/۶	Chang	کل دوره خشکسالی

جدول ۳. ارقام سالیانه معرف‌های مورد استفاده در روش چانگ

مجموع بارندگی سالیانه (میلی‌متر)						متوسط سطح آب سالیانه (متر)			
سال آبی	باقرآباد	فشند	مرا	سیرا	مهرآباد	امامه	لار	لتیان	کرج
۱۳۷۷-۷۸	۷۶	۲۲۳/۸	۲۹۰/۰	۳۸۳/۵	۱۴۵/۷	۴۲۸/۸	۲۴۷۳/۵	۱۶۰۱/۹	۱۷۲۹/۸
۱۳۷۸-۷۹	۱۳۲/۸	۲۶۶/۸	۲۳۹/۰	۴۶۲/۵	۱۵۹/۵	۴۳۶/۰	۲۴۶۹/۹	۱۵۹۵/۴	۱۷۱۸/۷
۱۳۷۹-۸۰	۱۸۲/۳	۳۸۴/۳	۳۴۶/۵	۴۲۱/۵	۲۰۰/۹	۴۷۱/۰	۲۴۶۲/۵	۱۵۹۲/۰	۱۷۰۹/۱
متوسط دما سالیانه (درجه سانتی‌گراد)						متوسط دبی سالیانه (متر مکعب بر ثانیه)			
سال آبی	کرج	آبعلی	همند	مهرآباد	سال آبی	سیرا	رودک	سال آبی	سیرا
۱۳۷۷-۷۸	۱۰/۰	۱۶/۴	۱۲/۵	۱۹/۵	۱۳۷۷-۷۸	۷/۱	۴/۵	۱۳۷۷-۷۸	۷/۱
۱۳۷۸-۷۹	۹/۴	۱۵/۷	۱۱/۷	۱۸/۹	۱۳۷۸-۷۹	۷/۸	۴/۹	۱۳۷۸-۷۹	۷/۸
۱۳۷۹-۸۰	۹/۲	۱۵/۶	۱۱/۸	۱۸/۷	۱۳۷۹-۸۰	۵/۱	۳/۱	۱۳۷۹-۸۰	۵/۱

چانگ خشکسالی بسیار شدید (سطح ۰/۹۵) و EDI شرایط غیرخشک را اعلام کرده است. در روز هشتم آبان ۱۳۷۸ سطح خشکسالی معرف‌های دبی (سیرا و رودک)، سطح آب دریاچه (سد لار، لتیان، کرج)، دما (کرج، مهرآباد، همند، آبعلی) و بارندگی (باقرآباد، فشند، مرا، سیرا، مهرآباد و امامه) به ترتیب برابر است با: ۹۵، ۹۵، ۸۰ و صفر درصد. ارقام این سطوح به خوبی علت این اختلاف را نشان می‌دهد. بارندگی برای این روز از وضعیت مناسبی برخوردار بوده و از این‌رو چانگ سطح صفر یا عدم خشکسالی را به کار می‌برد و از طرف دیگر نیز شاخص EDI که تنها اتکا به بارندگی دارد، براساس همین بارندگی شرایط نرمال را اعلام می‌دارد. اما واقعیت این روز،

۱۸/۹ و ۶۱/۶ درصد ایام را این گونه پایش می‌کند. نکته قابل توجه دیگر که در شکل ۴ نیز مشهود بود، شدیدتر شدن وضعیت خشکسالی در سال آبی ۱۳۷۹-۸۰ بر اساس روش چانگ است. ارقام سالیانه معرف‌ها برای این سه سال نشان می‌دهد (جدول ۳) که در این سال بارندگی از بهبود نسبی برخوردار گشته، اما به دلیل شرایط رطوبتی خاک در حوزه رواناب افزایش نیافته و متعاقباً از ذخائر سدها کاسته شده و این امر باعث اعلام چنین شرایطی می‌شود. تفاوت به خصوص در فراوانی طبقه "خشکسالی شدید" بسیار آشکار است. علت اختلاف این دو روش برای یک روز خاص مانند روز هشتم آبان ۱۳۷۸ به طور دقیق‌تر بیان می‌گردد. در این روز

سفره از بالادست، وضعیت سدها و یا آورد رودخانه که آن هم مرتبط با منابع آب بالادست است) می باشد که تنها اطلاعات بارندگی آن نمی تواند گویای وضعیت خشکسالی آن باشد. شاخص های هیدرولوژیکی با دخالت مجموعه ای از معرف ها این نقیصه را تا حد زیادی رفع می کنند.

۳- تلفیق این دو روش می تواند ابزاری جهت تفکیک خشکسالی در اثر کمبود ریزش های جوی با کمبود منابع آبی بواسطه مصرف بالا یا عدم بهره برداری بهینه منابع آبی باشد.

۴- به طور نسبی EDI شروع خشکسالی را زودتر و چانگ ختم آن را دیرتر اعلام می دارد که شناخت این ویژگی ها در سامانه پایش بسیار پر اهمیت هستند.

۵- نتایج این مقاله، لزوم توجه بیشتر به کار و تحقیق روی روش های پایش چند معرفه را آشکار می سازد، در حالی که عمده تحقیقات جاری کار با شاخص های صرفا متکی به بارش است.

سپاسگزاری

این تحقیق 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 می گردد. هم چنین از نظرات مفید داوران محترم این مقاله کمال قدردانی را به عمل می آورد.

حکایت از وضعیت نامناسب دبی و ذخایر آبی در آن را دارد و این مجموعه است که چنین اختلافاتی را سبب می گردد.

نتیجه گیری

در این تحقیق سعی شد تا نقش استفاده از یک معرف (روش EDI) و چند معرف (روش چانگ) در پایش خشکسالی مورد ارزیابی قرار گیرد و در این خصوص دوره خشکسالی ۷۸-۱۳۷۷ لغایت ۸۰-۱۳۷۹ که از شاخصترین آن طی چند دهه اخیر برای استان تهران بوده، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج زیر از این تحقیق قابل ارائه است:

۱- مقایسه دو روش نشان داد که روش چانگ نسبت به کمبودها دارای عکس العمل شدیدتری است و حتی در شرایطی که مجموع بارندگی سالیانه رو به افزایش بوده است، روش چانگ درصد بالایی از ایام سال را در خشکسالی بسیار شدید اعلام می دارد.

۲- پایش خشکسالی توسط شاخص های هواشناسی براساس اطلاعات نقطه ای صورت می گیرد. به عنوان مثال در دشت تهران که منطقه وسیع کشاورزی وجود دارد، خشکسالی تنها بر مبنای آمار ایستگاه های باران سنجی موجود در آن ارزیابی می گردد و این در حالی است که این منطقه به شدت تحت تأثیر منابع آب بالادست خود (مانند تغذیه

منابع مورد استفاده

۱. مرید، س.، م. مقدسی، ش. پایمزد و ه. قائمی. ۱۳۸۴. طرح تحقیقاتی سیستم پایش خشکسالی استان تهران، دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی، معاونت امور آب، وزارت نیرو، تهران.
۲. مقدسی، م. ۱۳۸۱. ارزیابی و پایش روزانه خشکسالی استان تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
3. Agnew, C. T. 2000. Using the SPI to Identify Drought. Issue of Drought Network News [on-line]. 12. Available on the WWW: URL: <http://enso.unl.edu/ndmc>.
4. Byun, H. R. and Wilhite, D. A. 1999. Objective quantification of drought severity and duration, J. Climate. 12: 2747-2756.
5. Chang, T. J. 1989. Characteristics of stream flow drought, new directions for surface water modeling. IAHS Pub. 181:333-341.
6. Chang, T. J. 1990. Effect of drought on streamflow Characteristics. J. Irrig. and Drain. Eng. 116: 332-341.
7. Chang, T. J. and X. Kleopa. 1991. A proposed method for drought monitoring. Water Resour. Res. 2: 275-281.
8. Dracup, J. A., K. S. Lee and E. G. Paulson. 1980a. On the definition of droughts. Water Resour. Res. 16: 289-301.

9. Dracup, J. A., K. S. Lee and E. G. Paulson. 1980b. On the definition of droughts. *Water Resour. Res.* 16:294-302.
10. Doesken, N. J., T.B. McKee and J. Kleist. 1991. Developments of a surface supply index for the Western United States. Colorado Climate Center Department of Atmospheric Science. Colorado State University.
11. Doesken, N. J. and T. B. McKee. 1991. Drought monitoring in the western United States Using a surface water supply index. 7th Conference on Applied Climatology.
12. Gupta, V. K. and L. Duckstein. 1975. A stochastic analysis of extreme droughts. *Water Resour. Res.* 11: 221-228.
13. Hong WU., M. J. Hayes, A. Welss and Q. Hu. 2001 An evaluation the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. *Inter. J. Climatol.* 21: 745-758.
14. Morid, S., V. Smakhtin and M. Moghaddasi. 2006. Comparision of Seven Meteorological Indices for Drought Monitorig in Iran. *Inter. J. Climatol.* 26:971-985.
15. Palmer, W. C. 1965. Meteorological drought. U. S. Weather Bureau, Washington D.C., Research Paper 45.
16. Stainman, A. C. and L. N. Cavalcanti. 2006. Developing Multiple Indicator and Triggers for Drought Plane. *J. Water Resour. Plan. and Manag.* 3:164-174
17. Yevjevich, V. M. 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrologic Paper 23, Colorado State University, Colins, Colorado.