

واسنجی روش‌های مختلف انتخاب شاخص مناسب خشکسالی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدید جیرفت و کهنوج

منور سیدی^۱، صادق دلفاردی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا

۲- مربی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت

(دریافت: ۹۵/۰۷/۱۴، پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۰)

چکیده

یکی از چالش‌های پایش خشکسالی، تعیین شاخصی با قابلیت اطمینان بالا می‌باشد. این تحقیق دو روش کمینه مقدار بارش و توزیع نرمال را ارزیابی می‌کند. داده‌های ایستگاه‌های جیرفت و کهنوج استفاده و مقادیر ۶ شاخص، معیار بارندگی سالانه، دهک‌ها، درصد نرمال، ناهنجاری بارش، بارش استاندارد شده و RDI محاسبه شدند. شاخص مناسب به دو روش تعیین گردید. نتایج روش اول نشان داد که اکثر شاخص‌ها، یکی از دو وضعیت خشکسالی شدید یا بسیار شدید را نشان می‌دهند و اغلب منجر به تعیین شاخصی یکتا نمی‌گردد. بر اساس توزیع نرمال، به ترتیب شاخص‌های SPI و RAI با مجموع اختلاف برابر ۱۱/۶۴ و ۸/۴۳ درصد انتخاب شدند.

کلمات کلیدی: شاخص‌های خشکسالی، کمینه مقدار بارش، توزیع نرمال، جنوب استان کرمان.

مقدمه

قبول تری ارائه می‌دهد. بریانت (۱۹۹۱) در تحقیقی پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی مانند خشکسالی، سیل‌های ناحیه‌ای، زلزله، آتشفشان و توفان‌های حاره‌ای را بر اساس مجموع‌های از ویژگی‌ها شامل: درجه‌ی شدت، مدت زمان وقوع، گستره‌ی مکانی تحت پوشش، مجموع تلفات جانی و تعداد بی‌خانمان‌ها، اثرات اجتماعی، مجموع زیان‌های اقتصادی، طول دوره‌ی تداوم اثرات زیانبار، درجه‌ی ناگهانی وقوع و میزان ارتباط با دیگر پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی، با هم مقایسه نمود. بر اساس نتایج وی خشکسالی، مخاطره‌آمیزترین پدیده‌ی طبیعی است و توفان‌های حاره‌ای، سیل‌های منطقه‌ای، زلزله و آتشفشان در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

بررسی سوابق تحقیق مرتبط با انتخاب شاخص مناسب برای پایش خشکسالی نشان می‌دهد که در اکثر تحقیقات انجام شده از شاخص‌های شدت خشکسالی پالمر (PDSI) و بارش استاندارد شده (SPI) به دلیل جامعیت، مقبولیت بیشتر و مزایایی که دارند، استفاده شده است، شاخص PDSI قدیمی‌ترین و شناخته شده‌ترین شاخص برای پایش خشکسالی است، SPI پر

زندگی بشر در طول تاریخ همواره در معرض انواع مخاطرات طبیعی قرار داشته که برخی از آن‌ها ناشی از فرآیندهای آب و هوایی می‌باشند. محققان زیادی پدیده‌ی خشکسالی را به علت تأثیر زیاد آن، در رده‌ی نخست فهرست پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی به شمار آوردند. خشکسالی به عنوان یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی بوده که با وقوع تدریجی آرام و خزنده‌اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تأثیر می‌گذارد. این بلا به عنوان یک پدیده ناگوار اقلیمی که بطور مستقیم جوامع را از طریق محدودیت در دسترسی به منابع آب تحت تأثیر قرار می‌دهد، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را به همراه دارد. ساکریس و همکاران (۲۰۰۷) شاخص RDI را همراه با شاخص‌های SPI و دهک‌ها به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که اگر چه شاخص RDI عملکرد مشابهی نسبت به شاخص SPI و عملکرد کمتری نسبت به شاخص دهک‌ها دارد اما نسبت به این ۲ شاخص از حساسیت بیشتری برخوردار است و در محیط‌های با شرایط متغیر جواب قابل

کاربردترین شاخص برای تعیین شدت و مدت خشکسالی است و اکثر برنامه‌ریزان منابع آب تمایل به استفاده از شاخص SWSI دارند. بنابراین یکی از چالش‌های اصلی در پایش خشکسالی تعیین شاخصی است که متناسب با هدف مورد بررسی نتایج قابل اطمینانی را برای منطقه‌ی مورد بررسی به همراه داشته باشد تاکنون تلاش‌های مختلفی برای انتخاب شاخص مناسب خشکسالی صورت گرفته است که تحقیقات خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲)، استینمن (۲۰۰۳)، انصافی مقدم (۱۳۸۶)، مرعشی (۱۳۸۷)، مرید و همکاران (۲۰۰۶) و قبائی سوق و مساعدی (۱۳۹۱) از آن جمله‌اند. بررسی سوابق تحقیق مرتبط با انتخاب شاخص مناسب برای پایش خشکسالی نشان می‌دهد که در اکثر تحقیقات انجام شده از شاخص‌های شدت خشکسالی پالم (PDSI) و بارش استاندارد شده (SPI) به دلیل جامعیت، مقبولیت بیشتر و مزایایی که دارند، استفاده شده است:

شاخص PSDI قدیمی‌ترین و شناخته شده‌ترین شاخص برای پایش خشکسالی است، SPI پر کاربردترین شاخص برای تعیین شدت و مدت خشکسالی است و اکثر برنامه‌ریزان منابع آب تمایل به استفاده از شاخص SWSI دارند. بنابراین یکی از چالش‌های اصلی در پایش خشکسالی تعیین شاخصی است که متناسب با هدف مورد بررسی نتایج قابل اطمینانی را برای منطقه‌ی مورد بررسی به همراه داشته باشد. مهمترین مزیت شاخص SPI قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف است که باعث می‌شود این شاخص بتواند اثرات دوره‌های کوتاه مدت ذخایر آب (از جمله رطوبت خاک که در تولیدات کشاورزی نقش مهمی دارد) و اثرات دوره‌های طولانی مدت منابع آب (از جمله ذخایر آب زیرزمینی، سطح آب مخازن و جریان رودخانه‌ای) را پایش نماید. کمبود بارش در مقیاس زمانی کوتاه مدت، سبب ایجاد نوسان در رطوبت خاک و دوره‌های طولانی‌تر باعث تغییرات در منابع آب زیر زمینی و سطح آب مخازن می‌شود.

خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) کارایی ۷ شاخص خشکسالی RAI، EDI، BMDI، PN، SPI، DI و SIAP را در ۹ ایستگاه

سینوپتیک ایران بر مبنای دو فرضیه‌ی زیر را برای اهداف هواشناسی مورد آزمون قرار دادند:

۱- کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره‌ی بلند مدت نشان دهنده‌ی خشکسالی شدید یا بسیار شدیدی است که در منطقه‌ی تحت بررسی اتفاق افتاده است.

۲- هر چه میزان همبستگی بین نمایه‌های کیفی خشکسالی و ناهنجاری بارش طی دوره‌ی آماری بیشتر باشد، کارایی آنها برای اهداف هواشناسی بیشتر است. نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌ها در سرجمع ایستگاه‌ها نشان داد که شاخص‌های DI و SIAP مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی رخداد خشکسالی بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی نشان دادند. همچنین بررسی میانگین و انحراف معیار ضریب همبستگی رتبه‌ای شاخص‌ها با نوسانات بارندگی سالانه در سرجمع ایستگاه‌ها نشان داد که شاخص SIAP از میانگین بالاتر و انحراف معیار کمتری نسبت به سایر شاخص‌ها برخوردار است. آنها بر اساس دو فرضیه‌ی فوق شاخص SIAP را به عنوان شاخص مناسب برای پایش خشکسالی معرفی نمودند. هدایتی دزفولی و صداقت کردار (۱۳۸۶) شدت، فراوانی و تداوم خشکسالی‌ها برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۱۲ ماهه را در ۸ ایستگاه همدیدی کشور بر اساس شاخص‌ها Z-Score، CZI و SPI استخراج نمودند. آنگاه روابط همبستگی دو شاخص Z-Score و CZI با SPI را محاسبه نمودند. بر پایه‌ی نتایج مقایسه‌ی تطبیقی شاخص‌های مورد بررسی، مقادیر و ضرایب همبستگی شاخص‌های CZI و Z-Score با SPI از سطح معنی‌داری قابل قبولی برخوردارند و رابطه‌ی همبستگی خطی قویتری بین شاخص‌های Z-Score با SPI در بازه‌های طولانی‌تر وجود دارد. بر اساس نتایج آنها شاخص CZI در مقایسه با دو شاخص دیگر به هنگام کمبود بارش در شرایط حدی، خشکسالی را شدیدتر نشان می‌دهد. انصافی مقدم (۱۳۸۶) کارایی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی DI، PN، ZSI و SPI در ۳۴ ایستگاه حوضه‌ی دریاچه نمک طی یک دوره‌ی ۴۴ ساله با استفاده از فرضیه‌ی اول خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲)

را برای هر ایستگاه تعیین نمودند. سپس با معیار قرار دادن آن‌ها به عنوان خشکسالی‌ها و ترسالی‌های مهم به انتخاب شاخص مناسب از میان ۸ شاخص خشکسالی با استفاده از یک معیار آماری اقدام نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها در ایستگاه‌های مشهد، تهران و شیراز شاخص RDI، در ایستگاه تبریز شاخص‌های ZSI، CZI و SPI و در کرمانشاه شاخص CZI به عنوان شاخص‌های مناسب برگزیده شدند. دقت و صحت عملکرد شاخص‌های پایش خشکسالی متناسب با شرایط خاص مناطق و حوضه‌های مختلف قابل تردید است. به همین دلیل، یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح، انتخاب شاخص متناسب با شرایط منطقه به منظور دستیابی به نتایج قابل اعتماد است. در این تحقیق روش‌های مختلف انتخاب شاخص مناسب مورد بررسی قرار می‌گیرد و با انتخاب ۶ شاخص خشکسالی به ارزیابی دو روش انتخاب شاخص مناسب بر اساس کمینه مقدار بارش و توزیع نرمال در ۲ ایستگاه سینوپتیک جیرفت و کهنوج در گستره استان کرمان پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی و داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق به منظور ارزیابی روش‌های انتخاب شاخص مناسب از آمار بارش ۲ ایستگاه سینوپتیک جیرفت و کهنوج استفاده گردید.

در جدول شماره ۱ برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی و در شکل شماره ۱ موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه آورده شده است. بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه ایستگاه‌های مورد بررسی هر دو در اقلیم‌های خشک گرم قرار دارند. سهم بارش فصل تابستان از مجموع بارش سالانه ناچیز می‌باشد. به همین دلیل در این تحقیق سال آبی از ابتدای ماه اکتبر تا پایان ماه ژوئن معادل فصل‌های پائیز، زمستان و بهار در نظر گرفته شد.

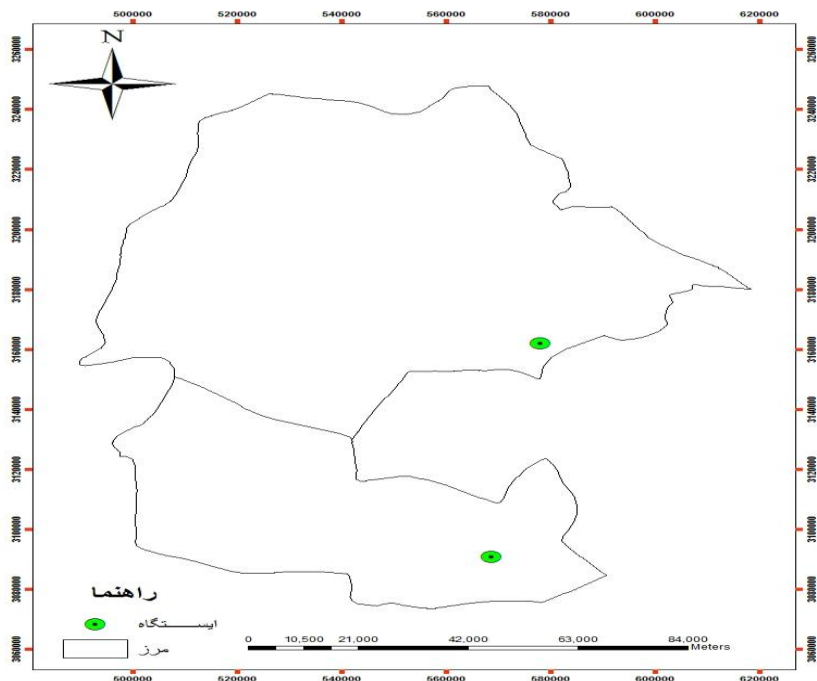
بررسی نمود. بر اساس نتایج وی در مقیاس سالانه شاخص‌های DI و SPI مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی نشان دادند. شاخص PN در ۲۴ ایستگاه با رخداد خشکسالی بسیار شدید در طی سال‌های وقوع کمینه بارندگی انطباق داشته و در ۱۰ ایستگاه دیگر فاقد تطابق است. وی در پایان بیان داشت جهت تحلیل وضعیت خشکسالی، شاخص‌های DI و SPI در جایگاه نخست، شاخص ZSI در جایگاه دوم و شاخص PN در جایگاه سوم قرار دارند.

مرعشی (۱۳۸۷) به بررسی سامانه پایش خشکسالی در استان گلستان (مرطوب) و منطقه‌ی سیستان (خشک) پرداخت. وی با بررسی ایستگاه‌های موجود، تعداد ۲۶ ایستگاه در گلستان و ۷ ایستگاه در سیستان با طول دوره آماری ۳۰ ساله را مورد استفاده قرار داد. وی با مقایسه و انجام تحلیل آماری بر مبنای توزیع نرمال بر اساس روش استینمن (۲۰۰۳)، از میان ۵ شاخص PN، ZSI، CZI، DI و SPI شاخص SPI را به عنوان شاخص مناسب برای پایش خشکسالی در هر دو منطقه معرفی نمود.

مرید و همکاران (۲۰۰۶) به مقایسه‌ی ۷ شاخص خشکسالی، PN، MCZI، CZI، DI، SPI و EDI در استان تهران بر مبنای نمونه‌های خشکسالی شناسائی شده در ۳۲ سال گذشته به ویژه خشکسالی‌های سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ پرداختند. بر مبنای نتایج آنها شاخص‌های SPI و EDI قادر به شناسائی زمان شروع خشکسالی‌ها می‌باشند و می‌توانند برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی نیز بکار روند هرچند شاخص EDI از کارایی بهتری برخوردار می‌باشد. قبائی سوق و مساعدی (۱۳۹۱) بر پایه‌ی یک روش چند معرفه مبتنی بر مدل اسکالوگرام، شاخص یا شاخص‌های مناسب را در ۵ ایستگاه سینوپتیک کشور تعیین نمودند. آن‌ها با تعیین ۵۰ متغیر مرتبط با بارش، تبخیر و تعرق و روزهای بارانی در مدل اسکالوگرام، رخدادهای خشکسالی و ترسالی با طبقه‌ی شدید و بسیار شدید

جدول ۱- خصوصیات اقلیمی و جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع به متر	متوسط بارش سالانه به میلی‌متر	متوسط بارش تابستان به بارش سالانه به درصد	اقلیم آمبرژه
جیرفت	۵۷۸۲۳۱/۷۶	۳۱۶۲۰۸۵/۲۶	۶۰۱	۱۶۴/۰۸	۰/۲۳	خشک و گرم
کهنوج	۶۱۸۲۸۳/۸۲	۴۷۵۶۲۸۲/۳۴	۴۶۹/۷	۱۷۴/۹۷	۰/۳۷	خشک و گرم



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌ها در شهرستان‌های جیرفت و کهنوج

شاخص مناسب بازه‌های رطوبتی تمامی شاخص‌های انتخابی در 7 وضعیت مشترک تر سالی بسیار شدید، تر سالی شدید، تر سالی متوسط، نرمال، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی بسیار شدید مطابق جدول شماره ۲ انتخاب گردید.

شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی

در این تحقیق از ۶ شاخص مختلف خشکسالی هواشناسی شامل: معیار بارندگی سالانه^۱ (SIAP)، دهک‌ها^۲ (DI)، درصد نرمال^۳ (PN)، ناهنجاری بارش^۴ (RAI)، شاخص بارش استاندارد^۵ (SPI) و RDI^۶ استفاده شده است. به منظور انتخاب

- 1- Standard Index of Annual Precipitation (SIAP)
- 2- Deciles Index (DI)
- 3- Percent of Normal (PN)
- 4- Rainfall Anomaly Index (RAI)
- 5- Standardized Precipitation Index (SPI)
- 6- Reconnaissance Drought Index (RDI)

جدول ۲- طبقات مختلف شدت‌های خشکسالی و ترسالی در شاخص‌های مورد بررسی

طبقات خشکسالی	SPI	DI	PN	RAI	SIAP
ترسالی بسیار شدید	2 یا بیشتر	بیشتر از ۹۰ درصد	بیشتر از 160 درصد	بیشتر از 3	بیشتر از 1/28
ترسالی شدید	1/99 تا 1/50	۸۰ تا ۹۰ درصد	۱۴۵ تا ۱۶۰ درصد	۲/۱ تا ۳	۱/28 تا ۰/۸۴
ترسالی متوسط	۱ تا 1/49	۷۰ تا ۸۰ درصد	۱۳۰ تا ۱۴۵ درصد	۱/۲ تا ۲/۱	۰/۸۴ تا ۰/۵۲
ترسالی نرمال	۰/۹۹ تا ۰/۹۹	۷۰ تا ۳۰ درصد	۷۰ تا ۱۳۰ درصد	۱/۲ تا ۱/۲	۰/۵۲ تا ۰/۵۲
خشکسالی متوسط	۱/49 تا ۱-	۲۰ تا ۳۰ درصد	۵۵ تا ۷۰ درصد	۲/۱ تا ۱/۲	۰/۵۲ تا ۰/۸۴
خشکسالی شدید	۱/99 تا ۱/50-	۱۰ تا ۲۰ درصد	۴۰ تا ۵۵ درصد	۳- تا ۲/۱-	۰/۸۴ تا ۱/28-
خشکسالی بسیار شدید	۲- یا کمتر	کمتر از ۱۰ درصد	کمتر از ۴۰ درصد	کمتر از ۳-	کمتر از ۱/28-

انتخاب شاخص مناسب خشکسالی

بررسی سوابق تحقیق مرتبط با انتخاب شاخص مناسب خشکسالی نشان می‌دهد بر خلاف سایر پدیده‌ها، تاکنون روش آماری مشخصی جهت انتخاب شاخص مناسب ارائه نشده است. به طور مثال برای انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در یک منطقه یا بهترین روش تعیین مقدار بار معلق رسوبی در رودخانه‌های یک حوضه، می‌توان به شرح زیر عمل نمود:

ابتدا با استفاده از روش‌های مختلف مقادیر تبخیر و تعرق یا بار معلق رسوبی را برآورد نمود. سپس مقادیر برآورد شده از معادلات مختلف را با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده، بر اساس معیارهای آماری خطا مقایسه و روشی را که کمترین مقدار خطای برآورد را داشته باشد، به عنوان مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق یا بار معلق رسوبی در منطقه یا رودخانه‌ی مورد بررسی انتخاب نمود. برای پدیده‌ی خشکسالی با توجه به آنکه مقادیر خشکسالی نمی‌توانند به صورت مستقیم و در سال‌های مختلف اندازه‌گیری شوند، چنین امری امکان‌پذیر

نمی‌باشد. در زمینه‌ی انتخاب شاخص مناسب تاکنون تلاش‌هایی صورت گرفته است و همان‌طور که در مقدمه اشاره گردید تحقیقات خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲)، استینمن (۲۰۰۳)، انصافی مقدم (۱۳۸۶) و مرعشی (۱۳۸۷) از آن جمله‌اند. در ادامه به ارزیابی دو روش انتخاب شاخص مناسب بر اساس کمیته بارش و توزیع نرمال با استفاده از آمار بارندگی در ۲ ایستگاه جیرفت و کهنوج پرداخته می‌شود.

انتخاب شاخص مناسب بر اساس کمیته مقدار بارش

در این روش برای بررسی کارایی شاخص‌های مختلف بر اساس فرضیه‌ی اول خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲)، کمیته مقدار بارندگی در طول دوره‌ی زمانی مورد بررسی استخراج و سپس مقادیر شاخص‌های خشکسالی محاسبه می‌شود. در این روش شاخص مناسب خشکسالی باید در سال وقوع کمیته مقدار بارندگی، دارای بیشترین شدت خشکسالی در ایستگاه مورد بررسی باشد.

انتخاب شاخص مناسب بر اساس توزیع نرمال

استینمن (۲۰۰۳) بیان می دارد که رخدادهای شدت خشکسالی از توزیع نرمال پیروی می نمایند. بنابراین نتایج حاصل از سایر شاخص های خشکسالی در صورت نزدیکی با توزیع نرمال از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردارند. در این روش به منظور انتخاب شاخص مناسب درصد فراوانی هر یک از وضعیت های رطوبتی در شاخص های مختلف انتخاب شده محاسبه می گردد، سپس اختلاف درصد فراوانی هر وضعیت رطوبتی با وضعیت رطوبتی مشابه در توزیع نرمال در هر ایستگاه محاسبه و شاخصی که دارای کمترین مجموع اختلاف در تمامی وضعیت ها باشد به عنوان بهترین شاخص انتخاب گردید (جدول شماره ۳).

نتایج و بحث

انتخاب شاخص مناسب بر اساس روش کمینه بارش

نتایج حاصل از انتخاب شاخص مناسب بر اساس فرضیه ی اول روش خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) در جدول شماره ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج آن در ایستگاه جیرفت مقارن با سال وقوع کمینه مقدار بارش تمامی شاخص های مورد بررسی طبقه ی خشکسالی شدید را نشان می دهند و در ایستگاه کهنوج در سال وقوع کمینه مقدار بارش، برخی از شاخص ها طبقه ی خشکسالی شدید و برخی بسیار شدید را نشان می دهند. نتایج حاصل از ارزیابی فرضیه ی وقوع خشکسالی شدید یا بسیار شدید در سال وقوع کمینه مقدار بارش جهت انتخاب شاخص مناسب نشان داد که در بیشتر شاخص های خشکسالی سال وقوع کمینه مقدار بارش مقارن با خشکسالی شدید یا بسیار شدیدی است که اتفاق افتاده است و از این رو انتخاب شاخص مناسب با استفاده از این روش تا حد زیادی ناممکن می نماید.

جدول ۳- درصد احتمال فراوانی طبقه های مختلف خشکسالی در توزیع نرمال

احتمال (%)	طبقات شدت خشکسالی
۲/۲۷۵	(EW) ترسالی بسیار شدید
۴/۶۰۴	(SW) ترسالی شدید
۹/۱۸۵	(MW) ترسالی متوسط
۶۸/۲۶۸	(N) نرمال
۹/۱۸۵	(MD) خشکسالی متوسط
۴/۴۰۶	(SD) خشکسالی شدید
۲/۲۷۵	(ED) خشکسالی بسیار شدید

جدول ۴- نتایج انتخاب بهترین شاخص بر اساس روش کمیته مقدار بارش

RAI	SIAP	DI	PN	SPI	RDI	سال وقوع	مقدار کمیته بارش	ایستگاه
ED	ED	ED	ED	ED	ED	۱۳۸۷	۳۹/۵	جیرفت
ED	ED	ED	ED	ED	ED	۱۳۷۲	۵۳/۵	کهنوج
SD	ED	ED	ED	SD	SD	۱۳۶۲	۶۳/۲	جیرفت

مطابق نتایج این جدول در ایستگاه جیرفت، شاخص SPI با مجموع اختلافی حدود ۸ درصد در مجموع طبقات به عنوان مناسب‌ترین شاخص خشکسالی انتخاب گردید. در ایستگاه کهنوج نیز شاخص SPI در مجموع طبقات مناسب‌ترین شاخص خشکسالی انتخاب گردید.

نتایج انتخاب شاخص مناسب بر اساس روش توزیع نرمال
بر اساس این روش درصد اختلاف هر یک از شاخص‌های خشکسالی با درصد توزیع نرمال در وضعیت‌های ۷ گانه محاسبه گردید و سپس مجموع اختلاف، حداکثر اختلاف و مجموع اختلاف در هر یک از وضعیت‌های مرطوب، نرمال و خشک در هر ایستگاه محاسبه گردید که نتایج آن به عنوان نمونه برای ایستگاه جیرفت در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج ارزیابی شاخص‌های مختلف خشکسالی بر اساس مطابقت با توزیع نرمال ایستگاه جیرفت

SIAP	RDI	PN	DI	SPI	RAI	وضعیت خشکسالی
۱	۰	۰	۰	۰	۰	ترسالی بسیار شدید
۱	۲	۱	۱	۰	۲	ترسالی شدید
۵	۴	۱	۱	۳	۳	ترسالی متوسط
۱۳	۱۸	۱۸	۱۷	۱۴	۱۵	نرمال
۲	۳	۵	۳	۶	۵	خشکسالی متوسط
۵	۲	۳	۳	۳	۲	خشکسالی شدید
۳	۱	۲	۵	۴	۳	خشکسالی بسیار شدید
۵۱/۴۶۱	۹/۷۲۱	۱۶/۵۷۷	۴۷/۴۷۱	۷/۴۹۷	۵۳/۲۴۱	جمع اختلاف همه وضعیت‌ها
۲۶/۱۷۱	۱/۹۸۱	۴/۱۴۳	۲۶/۲۷۹	۲/۱۹۷	۲۲/۲۳۷	ماکزیمم اختلاف
۱۲/۱۱۳	۳/۰۳۲	۶/۲۹۷	۱۳/۲۷۵	۶/۳۴۷	۸/۱۹۶	جمع اختلاف وضعیت مرطوب
۳۷/۲۴۱	۲/۳۵۱	۴/۸۷۱	۲۹/۲۳۵	۲/۶۹۴	۲۳/۲۴۳	جمع اختلاف وضعیت نرمال
۱۴/۱۷۱	۳/۳۲۱	۴/۶۴۱	۱۴/۱۳۵	۱/۵۴۱	۲۸/۱۷۵	جمع اختلاف وضعیت خشک

نتیجه‌گیری

در پدیده‌ی خشکسالی به علت آنکه تعاریف مختلفی از دیدگاه‌های گوناگون برای آن بیان شده است و همچنین مقادیر عددی از این پدیده مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیست، مقایسه‌ی شاخص‌های مختلف و انتخاب شاخص برتر دشوار به نظر می‌رسد. کوئیرینگ و پاپاکریاکو (۲۰۰۳) با بررسی مقدار نوسانات تولید گندم طی سال‌های مختلف به ارزیابی انتخاب شاخص مناسب خشکسالی کشاورزی پرداخت. متأسفانه در کشور، دسترسی به اطلاعات دقیق میزان تولید محصولات کشاورزی از قبیل گندم در طی یک دوره طولانی مدت مثلاً ۳۰ تا ۵۰ ساله برای مناطق مختلف امکان‌پذیر نمی‌باشد و از طرفی به نظر می‌رسد در این روش تغییرات سطح کشت این محصول و همچنین مکانیزاسیون و توسعه‌ی ادوات کشاورزی جهت بهره‌وری بیشتر نادیده گرفته شده است که هر کدام از عوامل ذکر شده می‌تواند سبب افزایش چشمگیری در میزان تولید این محصول شود که متأثر از سال‌های تر و خشک نمی‌باشند. همچنین استینمن (۲۰۰۳) شرط انتخاب شاخص مناسب را حداقل اختلاف در طبقه‌های مختلف خشکسالی با توزیع نرمال استاندارد منظور نمود بر اساس روش وی در ایستگاه‌های سینوپتیک جیرفت و کهنوج، شاخص‌های RDI و SPI، RAI، به ترتیب با مجموع اختلافی برابر ۳ درصد در ۱۱/۶۴ و ۸/۴۳ مجموع طبقات به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های خشکسالی در هر ایستگاه انتخاب می‌شوند. این روش خشکسالی را یک پدیده‌ی نرمال قلمداد می‌کند و تا حدودی مبتنی بر یکسری آماره‌های خطا می‌باشد که می‌تواند با مقایسه‌ی این آماره‌ها در شاخص‌های مختلف، شاخص مناسب را انتخاب نماید. از نظر آماری توزیع مقادیر بارندگی به علت کراندار بودن از پائین نمی‌تواند کاملاً نرمال باشد. همچنین در سری مقادیر بارندگی روزهای زیادی و یا حتی بعضی از ماه‌ها دارای بارندگی صفر هستند. بنابراین دارای چولگی مثبت هستند و این چولگی در مقیاس‌های کوتاه مدت با افزایش مقادیر صفر بیشتر نیز می‌گردد بنابراین، این موضوع می‌تواند بر فرض

نرمال بودن پدیده‌ی خشکسالی مؤثر باشد. از طرفی در مناطقی که خشکسالی بیشتر اتفاق می‌افتد فرض نرمال بودن نمی‌تواند چندان صحیح باشد، زیرا بر اساس توزیع نرمال فراوانی طبقه‌های خشکسالی در این مناطق با دیگر مناطق که خشکسالی‌های کمتری دارند برابر می‌شود. هدایتی دزفولی و صداقت کردار (۱۳۸۶) برای ارزیابی شاخص‌های مختلف، از شاخص SPI به عنوان مبنا استفاده نمودند و با بررسی میزان مشابهت رفتاری و مقدار همبستگی سایر شاخص‌ها با آن، شاخص مناسب را انتخاب نمودند. ولی سوالی که در این زمینه مطرح می‌شود این است که اگر شاخص مناسب باید رفتار مشابهی با شاخص SPI در دوره‌های مورد بررسی داشته باشد چه لزومی به معرفی شاخص مناسب می‌باشد در حالی که از پیش شاخص SPI به عنوان مبنا در نظر گرفته شد. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) و انصافی مقدم (۱۳۸۶) جهت انتخاب شاخص مناسب، وقوع خشکسالی شدید و بسیار شدید را مترادف با کمینه مقدار بارندگی در آن ایستگاه منظور نمودند که به نظر می‌رسد استفاده از یک متغیر هواشناسی جهت توصیف پدیده‌ی پیچیده‌ی خشکسالی به تنهایی کافی نباشد. به طور کلی انتخاب شاخص مناسب استفاده از یک متغیر هواشناسی کمینه مقدار بارش با نتایج کریمی نظر و همکاران (۱۳۸۹) که بیان می‌دارند همیشه کم بارش‌ترین سال مصادف با شدیدترین خشکسالی نمی‌تواند باشد و نقش عوامل دیگر نیز در این میان مؤثر خواهد بود در تناقض است. علاوه بر این، ممکن است سالی با مقدار بارندگی کمینه اما با توزیع یکنواخت در طول سال سبب ایجاد خشکسالی نگردد و سالی با مقدار بارش زیاد ولی تمرکز در محدوده‌ی کوتاهی از زمان سبب خشکسالی گردد. بنابراین انتخاب شاخص مناسب از روی داده‌های بارش و آن هم کمینه مقدار بارش می‌تواند در برخی از سال‌ها سبب ایجاد نتایجی غیر واقعی گردد.

مرید و همکاران (۲۰۰۶) با مبنا قرار دادن خشکسالی‌های سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ که در زمره‌ی یکی از شدیدترین خشکسالی‌هایی بودند که بخش وسیعی از کشور را فرا گرفت

۲- خلیلی، ع. و بذرافشان، ج. (۱۳۸۲). "ارزیابی کارائی چند نمایه‌ی خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران". مجله علمی و فنی نیوار، شماره ۴۸ و ۴۹، بهار و تابستان، ص ۹۳-۷۹.

۳- سهرابی، ر. ا.، سهرابی، ح. و عرب، د. ر. (۱۳۸۷). "بررسی شاخص‌های پایش خشکسالی از مناظر تحول، ماهیت و عملکرد و پیشنهاد فرآیند انتخاب شاخص متناسب با شرایط مناطق". مجموعه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران تبریز، ایران.

۴- قبائی سوق، م. و مساعدی، ا. (۱۳۹۱). "طراحی فرآیند انتخاب شاخص مناسب بر مبنای ارزیابی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در محدوده تعدادی از ایستگاه‌های ناحیه‌ی خشک و نیمه خشک ایران". نشریه آب و خاک علوم و صنایع کشاورزی، جلد ۲۶، شماره ۲، ص ۴۲۶-۴۱۴.

۵- کریمی نظر، م.، مقدم‌نیا، ع. ر. و مساعدی، ا. (۱۳۸۹). "بررسی عوامل اقلیمی مؤثر بر وقوع خشکسالی مطالعه موردی زابل". مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۷، شماره ۱، ص ۱۵.

۶- مرعشی، م. (۱۳۸۷). بررسی شاخص‌های خشکسالی در مناطق نیمه مرطوب و خشک مطالعه موردی: گلستان - سیستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، ص ۱۴۶.

۷- هدایتی دزفولی، ا. و صداقت کردار، ع. (۱۳۸۶). "مقایسه تطبیقی سه شاخص خشکسالی در اقلیم‌های مختلف ایران" مجله علمی و فنی نیوار، پائیز و زمستان، ص ۶۱-۷۴.

8- Bryant, E. A. (1991). "Natural Hazards" Cambridge, New York and Melbourne: Cambridge University Press, 294 pp.

9- Goddard, S., S. Harms, S. Reichenbach, T. Tadesse and W.J. Waltman, 2003, Geospatial decision support for drought risk management. Communication of the ACM 46, No. 1, pp. 35-37.

به انتخاب شاخص مناسب اقدام نمودند. با توجه به این که انتخاب شاخص مناسب نمی‌تواند تنها بر مبنای چند واقعه‌ی محدود صورت گیرد لازم است رخدادهای خشکسالی و ترسالی مهم در طول دوره‌ی مورد بررسی استخراج و بر مبنای این رخدادهای شاخص مناسب انتخاب گردد.

قبائی سوق و مساعدی (۱۳۹۱) با استفاده از ۵۰ متغیر هواشناسی در مدل چندمعرفه‌ی اسکالوگرام رخدادهای خشکسالی و ترسالی مهم را استخراج و شاخصی که بیشترین برآورد درست را بر مبنای آن‌ها داشته باشد به عنوان شاخص مناسب در هر ایستگاه معرفی نمودند. اگرچه فرآیند طراحی شده تا حدود زیادی منطقی به نظر می‌رسد اما امکان اجرای این فرآیند در ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری با محدودیت مواجه است. بنابراین با انتخاب متغیرهای تأثیرگذار بر پدیده‌ی خشکسالی به کمک روش‌های داده کاوی و طراحی ساده‌تر مدل چند معرفه امکان بکارگیری آن در سایر ایستگاه‌ها نیز فراهم می‌گردد. تعیین هدف پایش یکی از مهمترین فرآیندهای انتخاب شاخص مناسب خشکسالی است و در گام نخست باید این هدف مشخص گردد. یعنی اینکه به چه منظوری هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی پایش خشکسالی صورت می‌گیرد. به طور مثال اگر هدف از پایش، خشکسالی کشاورزی است، علاوه بر بارندگی می‌بایست نوع محصول مورد بررسی مشخص بوده و متناسب با نیاز آبی آن گیاه در مراحل مختلف رشد، وضعیت خشکسالی بر اساس تأمین نیاز آبی گیاه مورد پایش قرار گیرد.

منابع

۱- انصافی مقدم، ت. (۱۳۸۶). "ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک" فصلنامه‌ی علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۴، شماره ۲، ص ۲۸۸-۲۷۱.

- 13- Steinmann, A. (2003). "Drought indicators and triggers: A stochastic approach to evaluation" *Journal of the Water Resource Association (JAWRA)*. 39, 5, 1217-1233.
- 14- Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. (2007). "Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)" *Water Resource Manage*, 21, 821-833.
- 15- Wu, H., and Hayes, M. J. (2001). "An evaluation of the standardized precipitation index, the china index and statistical Z- Score" *International journal of climatology*, 21, 741-75.
- 10- Mishra, A. K. and Singh, V. P. (2010). "A review of drought concepts" *Journal of Hydrology*, 391,202-216.
- 11- Morid, S., Smakhtin, V. and Moghadasi, M. (2006). "Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran" *International journal of climatology*, 26, 971-985.
- 12- Quiring, S. M., and Papakryiakou, T. N. (2003). "An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies" *Journal Agricultural and Forest Meteorology*, 118, 1-2, 49-62.