



بررسی و ارزیابی روش‌های مختلف انتخاب شاخص مناسب خشکسالی

محمد قبائی سوق

دانشجوی دکترای گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان.

ابوالفضل مساعدی

دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد.

حمید زارع ایبانه

دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان.

*پست الکترونیکی: Ghabaei.m63@gmail.com

چکیده

یکی از چالش‌های اصلی در پایش خشکسالی، تعیین شاخصی است که بر اساس هدف پایش، از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشد. این تحقیق با مرور روش‌های مختلف ارائه شده جهت انتخاب شاخص مناسب، اشکالات آن‌ها را بررسی و دو روش انتخاب شاخص مناسب بر اساس کمینه مقدار بارش و توزیع نرمال را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. بدین منظور از آمار بارش ۵ ایستگاه سینوپتیک مشهد، تهران، تبریز، کرمانشاه و شیراز طی یک دوره ۵۰ ساله استفاده و مقادیر ۸ شاخص خشکسالی شامل معیار بارندگی سالانه (SIAP)، دهک‌ها (DI)، درصد نرمال (PN)، ناهنجاری بارش (RAI)، بارش استاندارد شده (SPI)، Z چینی (CZI)، نمره Z (ZSI) و RDI در مقیاس سالانه طی دوره مورد بررسی محاسبه شدند. سپس شاخص مناسب در هر ایستگاه به دو روش مذکور تعیین گردید. نتایج حاصل از ارزیابی روش کمینه مقدار بارش برای انتخاب شاخص مناسب نشان داد که اکثر شاخص‌های خشکسالی در سال وقوع کمینه مقدار بارش، یکی از دو وضعیت خشکسالی شدید یا بسیار شدید را نشان می‌دهند و در بیشتر موارد نمی‌تواند منجر به تعیین شاخصی یکتا گردد. بر اساس نتایج توزیع نرمال، در ایستگاه‌های مشهد، تهران، تبریز، کرمانشاه و شیراز، به ترتیب شاخص‌های RDI، SPI، RDI، SPI و RDI با مجموع اختلاف‌هایی برابر ۱۴/۴۵، ۱۲/۲۷، ۸/۵۴، ۱۳/۸۴ و ۸/۵۴ درصد در مجموع طبقات به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب شدند.

کلید واژه‌ها: شاخص‌های خشکسالی، کمینه مقدار بارش، توزیع نرمال، ایران.

۱- مقدمه

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 پدیده خشکسالی را به علت تأثیر زیاد آن، در رده نخست فهرست پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی به‌شمار آوردند [۹]. بریانت [۸] در تحقیقی پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی مانند خشکسالی، سیل‌های ناحیه‌ای، زلزله، آتشفشان و گردبادهای گرمسیری^۱ را بر اساس مجموعه‌ای از ویژگی‌ها شامل: درجه‌ی شدت، مدت زمان

^۱ Tropical Cyclones

وقوع، گستره‌ی مکانی تحت پوشش، مجموع تلفات جانی و تعداد بی‌خانمان‌ها، اثرات اجتماعی، مجموع زیان‌های اقتصادی، طول دوره‌ی تداوم اثرات زینبار، 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 گردبادهای گرمسیری، 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^۱ (PDSI) و بارش استاندارد شده^۲ (SPI) به دلیل جامعیت، مقبولیت بیشتر و مزایایی که دارند، استفاده شده است. شاخص PSDI قدیمی‌ترین و شناخته‌شده‌ترین شاخص برای پایش خشکسالی است، SPI پرکاربردترین شاخص برای تعیین شدت و مدت خشکسالی است و اکثر برنامه‌ریزان منابع آب تمایل به استفاده از شاخص SWSI دارند. بنا براین 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 [۳].

تاکنون تلاش‌های مختلفی برای انتخاب شاخص مناسب خشکسالی صورت گرفته است که تحقیقات خلیلی و بذرافشان [۲]، کوئیرینگ و پاپاکریاکو [۱۱]، استینمن [۱۲]، انصافی‌مقدم [۱]، مرعشی [۶]، مرید و همکاران [۱۰] و قبائی سوق و مساعدی [۴] از آن جمله‌اند.

خلیلی و بذرافشان [۲] کارایی ۷ شاخص خشکسالی SIAP، DI، SPI، PN، BMDI، EDI و RAI را در ۹ ایستگاه سینوپتیک ایران بر مبنای دو فرضیه‌ی زیر برای اهداف هواشناسی مورد آزمون قرار دادند. ۱- کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره‌ی بلندمدت نشان دهنده‌ی خشکسالی شدید یا بسیار شدیدی است که در منطقه‌ی تحت بررسی اتفاق افتاده است. ۲- هرچه 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 SIAP و DI 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.

کوئیرینگ و پاپاکریاکو [۱۱] به ارزیابی ۴ شاخص خشکسالی کشاورزی PDSI، Z (مشتق شده از شاخص پالمر)، SPI و NOAA جهت تعیین مناسب‌ترین آن‌ها به منظور پیش‌بینی محصول گندم بهاره در غرب کانادا پرداختند. آن‌ها با استفاده از آمار سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۶۰، مجموعه‌ای از روابط رگرسیونی خطی بین مقدار محصول تولیدی گندم و مقادیر شاخص‌های مختلف در هر منطقه ایجاد نمودند. سپس دقت هر مدل در پیش‌بینی مقادیر گندم تولیدی طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۹ را با استفاده از معیارهای آماری خطا، ارزیابی و مناسب‌ترین شاخص را انتخاب نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها مناسب‌ترین شاخص خشکسالی کشاورزی در این منطقه، شاخص Z می‌باشد.

هدایتی دزفولی و صداقت کردار [۷] شدت، فراوانی و تداوم خشکسالی‌ها برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳ و ۱۲ ماهه را در ۸ ایستگاه سینوپتیک کشور بر اساس شاخص‌های SPI، CZI و Z-Score استخراج نمودند. آن‌گاه روابط همبستگی دو شاخص CZI و Z-Score با SPI را محاسبه نمودند. بر پایه‌ی نتایج مقایسه‌ی تطبیقی شاخص‌های مورد بررسی، مقادیر

¹ Palmer Drought Severity Index

² Standardized Precipitation Index



ضرایب همبستگی شاخص‌های CZI و Z-Score با SPI از سطح معنی‌داری قابل قبولی برخوردارند و رابطه‌ی همبستگی خطی قوی تری 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.

انصافی‌مقدم [۱] کارایی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI، ZSI، PN و DI در ۳۴ ایستگاه حوضه‌ی دریاچه نمک طی یک دوره‌ی ۴۴ ساله با استفاده از فرضیه اول خلیلی و بذرافشان [۱] بررسی نمود. بر اساس نتایج وی در مقیاس سالانه شاخص‌های SPI و DI 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 SPI و DI در جایگاه نخست، شاخص ZSI در جایگاه دوم و شاخص PN در جایگاه سوم قرار دارند.

مرعشی [۶] به بررسی سیستم 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 [۱۲]، از میان ۵ شاخص SPI، DI، CZI، ZSI و PN، شاخص SPI را به‌عنوان شاخص مناسب برای پایش خشکسالی در هر دو منطقه معرفی نمود.

مرید و همکاران [۱۰] به مقایسه‌ی ۷ شاخص خشکسالی SPI، DI، CZI، MCZI، PN، ZSI و EDI در استان تهران بر مبنای نمونه‌های خشکسالی شناسایی‌شده در ۳۲ سال گذشته به‌ویژه خشکسالی‌های سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ پرداختند. بر مبنای نتایج آن‌ها شاخص‌های SPI و EDI قادر به شناسایی 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 [۴] بر پایه‌ی یک روش چندمعرفه 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 را برای هر ایستگاه تعیین نمودند. سپس با معیار قرار دادن آن‌ها به‌عنوان 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^* (Select)، ایستگاه تبریز شاخص‌های SPI^* ، CZI و ZSI و در کرمانشاه شاخص CZI به‌عنوان 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 ۸ شاخص خشکسالی به ارزیابی دو روش انتخاب شاخص مناسب بر اساس کمینه مقدار بارش و توزیع نرمال در ۵ ایستگاه سینوپتیک مشهد، تهران، تبریز، کرمانشاه و شیراز در گستره ایران پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی و داده‌های مورد استفاده

کشور ایران بین عرض‌های شمالی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول‌های شرقی ۴۴ تا ۶۴ درجه و در کمربند آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی روش‌های انتخاب شاخص مناسب از آمار بارش ۵ ایستگاه



سینوپتیک مشهد، تهران، تبریز، کرمانشاه و شیراز استفاده گردید. در جدول (۱) مشخصات برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی آورده شده است. بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه ایستگاه‌های مورد بررسی در اقلیم‌های خشک سرد و نیمه خشک سرد قرار دارند. سهم بارش فصل تابستان از مجموع بارش سالانه ناچیز می‌باشد به طوری که این مقدار از ۰/۴۴ درصد (ایستگاه شیراز) تا ۵/۵۵ درصد (ایستگاه تبریز) در نوسان است. از این رو در این تحقیق سال آبی از ابتدای ماه اکتبر تا پایان ماه ژوئن معادل فصل‌های پائیز، زمستان و بهار در نظر گرفته شد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)	متوسط بارش تابستان به بارش سالانه (درصد)	اقلیم (آمبرژه)
مشهد	۳۶° ۱۶'	۵۹° ۳۸'	۹۹۹/۲	۲۴۸/۱	۲/۷۱	خشک سرد
تهران	۳۵° ۴۱'	۵۱° ۱۹'	۱۱۹۰/۸	۲۲۹/۶	۱/۸۸	خشک سرد
تبریز	۳۸° ۰۵'	۴۶° ۱۷'	۱۳۶۱	۲۷۱/۱	۵/۵۵	خشک سرد
کرمانشاه	۳۴° ۱۷'	۴۷° ۰۷'	۱۳۲۲	۴۵۰/۹	۰/۵۷	نیمه خشک سرد
شیراز	۲۹° ۳۲'	۵۲° ۳۶'	۱۴۸۴	۳۲۴/۸	۰/۴۴	خشک سرد

۲-۲- شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی

در این تحقیق از ۸ شاخص مختلف خشکسالی هواشناسی شامل: معیار بارندگی سالانه^۱ (SIAP)، دهک‌ها^۲ (DI)، درصد نرمال^۳ (PN)، ناهنجاری بارش^۴ (RAI)، SPI، Z چینی^۵ (CZI)، نمره Z^۶ (ZSI) و RDI^۷ استفاده شده است. به منظور انتخاب شاخص مناسب بازه‌های رطوبتی تمامی شاخص‌های انتخابی در ۷ وضعیت مشترک (ترسالی بسیار شدید، ترسالی شدید، ترسالی متوسط، نرمال، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی بسیار شدید) مطابق جدول (۱) انتخاب گردید. طبقات مختلف خشکسالی در شاخص‌های CZI، SZI، RDI و مشابه با طبقات خشکسالی در شاخص SPI می‌باشند.

جدول ۱- طبقات مختلف شدت‌های خشکسالی و ترسالی در شاخص‌های مورد بررسی

طبقات خشکسالی	SIAP	DI	PN	RAI	SPI
ترسالی بسیار شدید	بیشتر از ۱/۲۸	بیشتر از ۹۰ درصد	بیشتر از ۱۶۰ درصد	بیشتر از ۳	۲ یا بیشتر
ترسالی شدید	۰/۸۴ تا ۱/۲۸	۸۰ تا ۹۰ درصد	۱۴۵ تا ۱۶۰ درصد	۲/۱ تا ۳	۱/۵۰ تا ۱/۹۹

¹ Standardized Index annual precipitation

² Deciles

³ Percent of Normal

⁴ Rainfall Anomaly Index

⁵ China Z Index

⁶ Z-Score Index

⁷ Reconnaissance Drought Index



۱ تا ۱/۴۹	۱/۲ تا ۲/۱	۱۳۰ تا ۱۴۵ درصد	۷۰ تا ۸۰ درصد	۰/۵۲ تا ۰/۸۴	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا ۰/۹۹	۱/۲ تا ۱/۲	۷۰ تا ۱۳۰ درصد	۳۰ تا ۷۰ درصد	۰/۵۲ تا ۰/۵۲	نرمال
۱ تا ۱/۴۹	۲/۱ تا ۱/۲	۵۵ تا ۷۰ درصد	۲۰ تا ۳۰ درصد	۰/۸۴ تا ۰/۵۲	خشکسالی متوسط
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	۳ تا ۲/۱	۴۰ تا ۵۵ درصد	۱۰ تا ۲۰ درصد	۱/۲۸ تا ۰/۸۴	خشکسالی شدید
۲ یا کمتر	کمتر از ۳	کمتر از ۴۰ درصد	کمتر از ۱۰ درصد	کمتر از ۱/۲۸	خشکسالی بسیار شدید

منابع جدول فوق شامل: خلیلی و بذرافشان [۲] (شاخص‌های SIAP، RAI)، اسماختین و هوگوس [۱۳] (شاخص‌های DI، PN و SPI)، ویو و همکاران [۱۵] (شاخص‌های CZI و ZSI) و ساکرینس و همکاران [۱۴] (شاخص RDI) می‌باشند.

۳-۲- انتخاب شاخص مناسب خشکسالی

بررسی سوابق تحقیق مرتبط با انتخاب شاخص مناسب خشکسالی نشان می‌دهد برخلاف 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، به‌عنوان مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق یا بار معلق رسوبی در منطقه یا رودخانه‌ی مورد بررسی انتخاب نمود. برای پدیده‌ی خشکسالی با توجه به آن که 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 [۱]، کوئیرینگ و پاپاکریاکو [۱۱]، استینمن [۱۲]، انصافی‌مقدم [۱] و مرعی [۶] 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 ۵ ایستگاه مشهد، تهران، تبریز، کرمانشاه و شیراز پرداخته می‌شود.

۴-۲- انتخاب شاخص مناسب بر اساس کمیته مقدار بارش

در این روش برای بررسی کارایی شاخص‌های مختلف بر اساس فرضیه‌ی اول خلیلی و بذرافشان [۲]، 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.

۵-۲- انتخاب شاخص مناسب بر اساس توزیع نرمال

استینمن [۱۲] بیان می‌دارد که رخدادهای شدت خشکسالی از توزیع نرمال پیروی می‌نمایند. بنابراین نتایج حاصل از سایر شاخص‌های خشکسالی در صورت نزدیکی با توزیع نرمال از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردارند. در این روش به‌منظور انتخاب شاخص مناسب درصد فراوانی هر یک از وضعیت‌های رطوبتی در شاخص‌های مختلف انتخاب شده محاسبه می‌گردد، سپس اختلاف درصد فراوانی هر وضعیت رطوبتی با وضعیت رطوبتی مشابه در توزیع نرمال (جدول ۳) در هر

ایستگاه محاسبه و شاخصی که دارای کمترین مجموع اختلاف در تمامی وضعیت‌ها باشد به‌عنوان بهترین شاخص انتخاب می‌گردد.

جدول ۳- درصد احتمال فراوانی طبقه‌های مختلف خشکسالی در توزیع نرمال

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

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج انتخاب شاخص مناسب بر اساس روش کمیته مقدار بارش

نتایج حاصل از انتخاب شاخص مناسب بر اساس فرضیه‌ی اول روش خلیلی و بذرافشان [۲] در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس نتایج آن در ایستگاه‌های مشهد و شیراز مقارن با سال وقوع کمیته مقدار بارش تمامی شاخص‌های مورد بررسی طبقه‌ی خشکسالی بسیار شدید را نشان می‌دهند. در ایستگاه‌های تهران، تبریز و کرمانشاه در سال وقوع کمیته مقدار بارش، برخی از شاخص‌ها طبقه‌ی خشکسالی شدید و برخی بسیار شدید را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از ارزیابی فرضیه‌ی وقوع خشکسالی شدید یا بسیار شدید در سال وقوع کمیته مقدار بارش جهت انتخاب شاخص مناسب نشان داد که در بیشتر شاخص‌های خشکسالی سال وقوع کمیته 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 می‌نماید.

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

ایستگاه	مقدار کمیته بارش	سال وقوع	RAI	SIAP	DI	PN	SPI	ZSI	CZI	RDI
مشهد	۱۰۵/۳	۱۹۹۹-۲۰۰۰	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED
تهران	۹۲/۵	۱۹۹۶-۹۷	ED	ED	ED	SD	ED	ED	ED	ED
تبریز	۱۲۹/۷	۱۹۸۸-۸۹	ED	ED	ED	SD	ED	ED	SD	ED
کرمانشاه	۲۴۰/۸	۱۹۹۸-۹۹	ED	ED	ED	SD	ED	ED	SD	ED
شیراز	۸۲/۹	۱۹۶۵-۶۶	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED

نمادهای SD و ED به ترتیب نشان‌دهنده‌ی طبقه‌های خشکسالی شدید و خشکسالی بسیار شدید می‌باشند.

۳-۲- 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 به‌عنوان نمونه برای ایستگاه تبریز در جدول (۵) ارائه شده است. مطابق نتایج این



جدول در ایستگاه تبریز، شاخص SPI با مجموع اختلافی برابر ۸/۵۴ درصد در مجموع طبقات به عنوان مناسب ترین شاخص خشکسالی انتخاب گردید. در ایستگاه‌های مشهد، تهران و شیراز شاخص RDI به ترتیب با مجموع اختلافی برابر با ۱۴/۴۵، ۱۲/۲۷ و ۸/۵۴۴ درصد در مجموع طبقات مناسب ترین شاخص خشکسالی انتخاب گردید. شاخص SPI در ایستگاه کرمانشاه با مجموع اختلاف برابر با ۱۳/۸۴ درصد در مجموع طبقات به عنوان مناسب ترین شاخص انتخاب گردید.

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

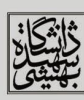
RDI	CZI	ZSI	SPI	PN	DI	SIAP	RAI	وضعیت خشکسالی
۱	۲	۲	۲	۲	۵	۴	۴	ترسالی بسیار شدید
۳	۲	۲	۲	۲	۵	۳	۱	ترسالی شدید
۴	۳	۲	۳	۲	۵	۷	۵	ترسالی متوسط
۳۳	۳۵	۳۶	۳۵	۳۶	۲۰	۲۱	۲۱	نرمال
۶	۵	۵	۵	۶	۵	۵	۹	خشکسالی متوسط
۲	۱	۳	۲	۲	۵	۷	۷	خشکسالی شدید
۱	۲	۰	۱	۰	۵	۳	۳	خشکسالی بسیار شدید
۸/۸۱۸	۱۱/۹۹۴	۱۵/۷۳۲	۸/۵۴۴	۱۶/۵۴۴	۵۶/۵۳۶	۵۲/۵۳۶	۵۷/۳۴۸	جمع اختلاف همه وضعیت‌ها
۲/۸۱۵	۳/۱۸۵	۵/۱۸۵	۳/۱۸۵	۵/۱۸۵	۲۸/۲۶۸	۲۶/۲۶۸	۲۶/۲۶۸	ماکزیمم اختلاف
۳/۰۵۴	۵/۳۱۶	۷/۳۱۶	۵/۳۱۶	۷/۳۱۶	۱۴/۱۳۴	۱۲/۱۳۴	۸/۹۴۶	جمع اختلاف وضعیت مرطوب
۲/۲۶۸	۱/۷۳۲	۳/۷۳۲	۱/۷۳۲	۳/۷۳۲	۲۸/۲۶۸	۲۶/۲۶۸	۲۶/۲۶۸	جمع اختلاف وضعیت نرمال
۳/۴۹۶	۴/۹۴۶	۴/۶۸۴	۱/۴۹۶	۵/۴۹۶	۱۴/۱۳۴	۱۴/۱۳۴	۲۲/۱۳۴	جمع اختلاف وضعیت خشک

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در پدیده‌ی خشکسالی به علت آن که تعاریف مختلفی از دیدگاه‌های گوناگون برای آن بیان شده است و هم چنین مقادیر عددی از این پدیده مستقیماً قابل اندازه گیری نیست، مقایسه‌ی شاخص‌های مختلف و انتخاب شاخص برتر دشوار به نظر می‌رسد. کوئیرینگ و پاپاکریاکو [۱۱] 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 امکان پذیر نمی‌باشد و از طرفی به نظر می‌رسد در این روش تغییرات سطح کشت این محصول و هم چنین مکانیزاسیون و توسعه‌ی ادوات کشاورزی جهت بهره‌وری بیشتر نادیده گرفته شده است که هر کدام از عوامل ذکر شده می‌تواند سبب افزایش چشم گیری در میزان تولید این محصول شود که متاثر از سال‌های تر و خشک نمی‌باشند.

هم چنین استینمن [۱۲] شرط انتخاب شاخص مناسب را حداقل اختلاف در طبقه‌های مختلف خشکسالی با توزیع نرمال استاندارد منظور نمود. بر اساس روش وی در ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد، تهران، تبریز، کرمانشاه و شیراز، شاخص‌های RDI، SPI، RDI، SPI و RDI به ترتیب با مجموع اختلاف‌هایی برابر ۱۴/۴۵، ۱۲/۲۷، ۸/۵۴، ۱۳/۸۴ و ۸/۵۴ درصد در مجموع طبقات به عنوان مناسب ترین 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 نمی تواند کاملاً نرمال باشد. هم چنین 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 مقیاس های کوتاه-مدت با افزایش مقادیر صفر بیشتر نیز می گردد. بنابراین، این موضوع می تواند بر فرض نرمال بودن پدیده خشکسالی موثر باشد. از طرفی در مناطقی که خشکسالی بیشتر اتفاق می افتد فرض نرمال بودن نمی تواند چندان صحیح باشد، زیرا بر اساس توزیع نرمال فراوانی طبقه های خشکسالی در این مناطق با دیگر مناطق که خشکسالی های کمتری دارند برابر می شود.

هدایتی دزفولی و صداقت کردار [۷] برای ارزیابی شاخص های مختلف، از شاخص SPI به عنوان مبنا استفاده نمودند و با بررسی میزان مشابهت رفتاری و مقدار همبستگی سایر شاخص ها با آن، شاخص مناسب را انتخاب نمودند. ولی سوالی که در این زمینه مطرح می شود این است که اگر شاخص مناسب باید رفتار مشابهی با شاخص SPI در دوره های مورد بررسی داشته باشد، چه لزومی به معرفی شاخص مناسب می باشد در حالی که از پیش شاخص SPI به عنوان مبنا در نظر گرفته شد. خلیلی و بذرافشان [۲] و انصافی مقدم [۱] جهت انتخاب شاخص مناسب، وقوع خشکسالی شدید و بسیار شدید را مترادف با کمینه مقدار بارندگی در آن ایستگاه منظور نمودند که به نظر می رسد استفاده از یک متغیر هواشناسی جهت توصیف پدیده پیچیده 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 [۵] که بیان می دارند همیشه کم بارش ترین سال مصادف با شدیدترین خشکسالی نمی تواند باشد و نقش عوامل دیگر نیز در این میان موثر 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 محدوده کوتاهی از زمان سبب خشکسالی گردد. بنابراین انتخاب شاخص مناسب از روی داده های بارش و آن هم کمینه مقدار بارش می تواند در برخی از سالها سبب ایجاد نتایج غیرواقعی گردد.

مرید و همکاران [۱۰] با مبنا قرار دادن خشکسالی های سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ که در زمهره ی یکی از شدیدترین خشکسالی های بودند که بخش وسیعی از کشور را فرا گرفت به انتخاب شاخص مناسب اقدام نمودند. با توجه به این که انتخاب شاخص مناسب نمی تواند تنها بر مبنای چند واقعه محدود صورت گیرد لازم است رخدادهای خشکسالی و ترسالی مهم در طول دوره مورد بررسی استخراج و بر مبنای این رخدادهای شاخص مناسب انتخاب گردد. قبائی سوق و مساعدی [۴] با استفاده از ۵۰ متغیر هواشناسی در مدل چندمعرفه ی اسکالوگرام رخدادهای خشکسالی و ترسالی مهم را استخراج و شاخصی که بیشترین برآورد درست را بر مبنای آن ها داشته باشد به عنوان شاخص مناسب در هر ایستگاه معرفی نمودند. اگرچه فرآیند طراحی شده تا حدود زیادی منطقی به نظر می رسد اما امکان اجرای این فرآیند در ایستگاه های بارانسنجی و هیدرومتری با محدودیت مواجه است. بنابراین با انتخاب متغیرهای تاثیر گذار بر پدیده خشکسالی به کمک روش های داده کاوی و طراحی ساده تر مدل چندمعرفه امکان بکارگیری آن در سایر ایستگاه ها نیز فراهم می گردد.

تعیین هدف پایش یکی از مهم ترین فرآیندهای انتخاب شاخص مناسب خشکسالی است و در گام نخست باید این هدف مشخص گردد. یعنی این که به چه منظوری (هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی) پایش خشکسالی صورت می گیرد. به طور مثال اگر هدف از پایش، خشکسالی کشاورزی است، علاوه بر بارندگی می بایست نوع محصول مورد بررسی مشخص بوده و متناسب با نیاز آبی آن گیاه در مراحل مختلف رشد، وضعیت خشکسالی (بر اساس تامین نیاز آبی گیاه) مورد پایش قرار گیرد.

۵- مراجع

- [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.
- [۲] خلیلی، ع. و بذرافشان، ج. (۱۳۸۲). "ارزیابی کارایی 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 منظر 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 نیمه‌خشک ایران". نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶، شماره ۲، ص ۴۱۴-۴۲۶.
- [۵] کریمی‌نظر، 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 ۱۵۸-۱۴۵.
- [۶] مرعشی، م. (۱۳۸۷). "بررسی شاخص‌های خشکسالی در مناطق نیمه‌مرطوب و خشک (مطالعه موردی: گلستان-سیستان)". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، ۱۴۶ ص.
- [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 ۷۴-۶۱.

- [8] Bryant, E. A. (1991). "Natural Hazards" Cambridge, New York and Melbourne: Cambridge University Press, 294 pp.
- [9] Mishra, A. K. and Singh, V. P. (2010). "A review of drought concepts" Journal of Hydrology, 391, 202-216.
- [10] 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.
- [11] Quiring, S. M., and Papakryiakou, T. N. (2003). "An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies" Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 118, 1-2, 49-62.
- [12] Steinmann, A. (2003). "Drought indicators and triggers: A stochastic approach to evaluation" Journal of the American Water Resources 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, 741-758.