

بررسی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی؛ مطالعه موردی حوضه آبریز دز

آرش ادیب^۱، علی گرجی زاده^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۵

چکیده

خشکسالی یک پدیده آب و هوایی است که احتمال وقوع این پدیده در همه نقاط کره زمین و با هر شرایط اقلیمی وجود دارد. طراحی و توسعه سیستم‌های منابع آب، توزیع و انتقال آب و بخش‌های مختلف کشاورزی تا حد زیادی با نحوه مدیریت خشکسالی و تعیین راه‌های مقابله با این پدیده ارتباط دارد. در این تحقیق به منظور بررسی خشکسالی در حوضه آبریز دز از داده‌های بارندگی سالانه ایستگاه‌های تنگ‌پنج و تله زنگ سد دز طی یک دوره آماری مشترک ۱۷ ساله (۱۳۷۳-۱۳۸۹) استفاده گردید. وضعیت خشکسالی براساس داده‌های مذکور با استفاده شاخص‌های درصد نرمال (PNI)، دهک (DI)، استاندارد بارش (SPI)، Z چینی (CZI)، Z چینی اصلاح شده (MCZI)، نمره Z (ZSI) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین وقوع خشکسالی شدید براساس شاخص‌های PNI، MCZI، ZSI مربوط به ایستگاه تله زنگ (۱ مورد که سالهای آن به ترتیب عبارتند از: ۱۳۸۶-۱۳۸۷، ۱۳۷۴-۱۳۷۵ و ۱۳۸۶-۱۳۸۷) و براساس شاخص DI یک مورد مربوط به ایستگاه تله زنگ (۱۳۸۶-۱۳۸۷) و براساس شاخص SPI یک مورد مربوط به ایستگاه تنگ پنج (۱۳۷۸-۱۳۷۹) می‌باشد. همچنین بر اساس شاخص CZI هر دو ایستگاه مشکلی ندارند. بر اساس شاخص RAI سه مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه تنگ پنج (۱۳۷۸، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰) و چهار مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه تله‌زنگ (۱۳۷۳، ۱۳۷۸، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰) مشاهده شده است. براساس شاخص‌های متعدد فراگیرترین سال‌های خشکسالی مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ بوده است.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی، حوضه آبریز دز، شاخص‌های خشکسالی، شاخص RAI.

۱ دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، تلفن ۰۹۱۲۲۱۵۳۹۶۹،

Email: arashadib@yahoo.com (مسئول مکاتبه)

۲ کارشناس ارشد هیدرولوژی و منابع آب، دانشجوی دکترا هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران

اهواز، شرکت مهندسی مشاور آب- خاک- انرژی جنوب، اهواز، ایران، تلفن ۰۹۱۶۳۴۵۲۳۹۷، Email: aligorzade@gmail.com

مقدمه

پدیده خشکسالی مخرب‌ترین پدیده اقلیمی است که در تمام نواحی اقلیمی اعم از مناطق خشک، نیمه خشک و مناطق نیمه مرطوب پدید می‌آید. در حالی که خشکی یک پدیده دائمی است که از کاهش غیر منتظره رطوبت به وجود می‌آید. لذا شناسایی، پایش و پیش آگاهی خشکسالی در کشور ایران که جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. پدیده خشکسالی بنا به ماهیت آثار مختلفی دارد که به انواع کشاورزی، هیدرولوژیک، اقلیم شناسی و خشکسالی اقتصادی- اجتماعی تقسیم می‌شود. برای یک تحلیل کمی خشکسالی وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است، که در این خصوص می‌توان شاخص‌هایی نظیر دهک Deciles Index (DI)، بارندگی استاندارد شده Standardized Precipitation Index (SPI)، درصد نرمال Percent of Normal Index (PNI)، شاخص نمره Z-Score Index (ZSI) و شاخص خشکسالی مؤثر Effective Drought Index (EDI) اشاره نمود. تنوع کلروفیل در محاسبه شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده NDVI) Normalized Difference Vegetation Index در زمینه‌ی پایش خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور یک روش اعتبارسنجی برای محاسبه مقادیر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال- شده برای ملاحظات مربوط به سلامتی پوشش گیاهی از مشاهدات زمینی پیشنهاد شد. درصد پوشش گیاهی و مقدار کلروفیل به عنوان متغیرهای سلامتی پوشش گیاهی انتخاب شده و تنوع آنها در داخل و بین پیکسل‌های مختلف بررسی شد. این مقادیر یکبار به صورت جداگانه در مقایسه با مقادیر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده و یکبار هم به صورت ترکیب با مقادیر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال

شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترکیب متغیرها نشان دهنده‌ی یک روند مشابهی با مقادیر متوسط یا حداکثر مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده برای کل دوره مطالعاتی بوده و حضور ابرها مقادیر شاخص اختلاف پوشش- گیاهی نرمال شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج نشان داد که مقادیر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده می‌تواند بدون به خطر انداختن محتوای کلروفیل و پوشش گیاهی مورد استفاده قرار بگیرد (Tao et al., 2011). پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های عمودی خشکسالی در ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است. این کار با هدف یافتن، ارزیابی و پالایش روشی مناسب برای برآورد خشکسالی مناطق نیمه خشک، به عنوان مثال ایران، با استفاده از سنجش از راه دور انجام شد، اخیراً روش- های توسعه یافته، شاخص خشکسالی عمودی (PDI) Perpendicular Drought Index و شاخص خشکسالی عمودی اصلاح شده (MPDI) Modified perpendicular drought index، به عنوان شاخص‌های مبتنی بر خشکسالی‌های ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند. داده‌های ماهواره‌ای برای ۵ سال از سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ دریافت و پارامترهای شاخص خشکسالی عمودی و شاخص خشکسالی عمودی اصلاح شده محاسبه شده و سپس، این شاخص‌ها در برابر شاخص‌های خشکسالی هواشناسی از جمله نمره Z، شاخص Z چینی (China Z Index CZI) و شاخص Z اصلاح شده‌ی چینی (MCZI) Modified CZI Index برای بیش از ۱۸۰ ایستگاه هواشناسی مشاهده شده در ایران ارزیابی شد. نتایج نشان داد که رابطه معنی‌داری بین شاخص خشکسالی- عمودی و شاخص خشکسالی عمودی اصلاح شده و خشکی سطح منطقه‌ای و شرایط خشکسالی وجود دارد (Shahabfar et al., 2012). آنالیز پایش خشکسالی در چین با روش بهبود شاخص قطبی شدن

هندوستان انجام شد. این تحقیق نشان داد که نتایج این دو شاخص در یک دوره ۳۶ ساله شبیه یکدیگرند (Pathak & Dodamani, 2016). همچنین مقایسه ایی بین سه شاخص استاندارد SPI, SPEI و شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق واقعی استاندارد Standardized Precipitation Actual (SPAEI) و شاخص Evapotranspiration Index، برای نشان دادن روندهای خشکسالی در حوضه آبریز رودخانه چی در شمال تایلند انجام شد. این تحقیق نشان داد که توانایی SPAEI و SPEI به دلیل در نظر گرفتن پارامترهای بیشتر از شاخص SPI است، که تنها بارندگی را در نظر می گیرد (Homdee et al., 2016). پایش روزانه خشکسالی در استان تهران با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر برای سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۷۷ به طور نقطه‌ای و مکانی انجام شده است. نتایج نشان داد که طول دوره آماری بر روی شاخص منتخب تأثیری 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، بطوری که از فروردین ماه ۱۳۷۸ بخش‌های مرکزی استان با خشکسالی شدید مواجه شده و سپس این وضعیت در ماه‌های اردیبهشت و خرداد تشدید می‌شود (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۴). مقایسه روش‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشکسالی برای دوره خشکسالی ۱۳۷۸-۱۳۸۰ در استان تهران انجام شده است. طی این بررسی یکی از محدود روش‌های پایش هیدرولوژیکی خشکسالی یعنی روش چانگ که مقیاس روزانه دارد با اعمال تغییراتی برای ارزیابی چگونگی خشکسالی روزانه استان تهران مورد استفاده قرار گرفت و نتایج آن را با شاخص خشکسالی مؤثر که تنها شاخص هواشناسی با مقیاس روزانه است مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ضمن تأیید قابلیت روش چانگ و

میکروویو Microwave Polarization Index (MPI) انجام شده است. روش شاخص قطبی شدن میکروویو فراوانی‌های مختلف در قطبش عمودی برای ارزیابی رطوبت خاک از تصویرساز مایکروویو گرمسیری Tropical Microwave Imager (TMI) داده‌ها است که به طور عمده برای استفاده در خاک لخت مناسب است. اعتبار سنجی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی، نشان می‌دهد که بازبینی سطوح مختلف زمین میتواند دقت ارزیابی را بهبود بخشد (Mao et al., 2012). تجزیه و تحلیل ویژگی‌های سیر تکاملی خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد در حوضه رودخانه Huaihe با استفاده از داده‌های ۳۵ ساله بارش مورد بررسی قرار گرفت که نشان داد فراوانی خشکسالی در اوایل قرن ۲۱ در این حوضه کاهش و شدت خشکسالی افزایش یافته است (Li et al., 2012). مدلسازی آسیب‌پذیری ذرت به خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد با استفاده از برآورد بارش توسط ماهواره اسمیت در جنوب منطقه مالوای انجام شده است که شرایط خشکسالی در فوریه و اوایل مارس موجب بیشترین آسیب به عملکرد ذرت در این منطقه شده است (Jayanthi et al., 2013). از شاخص‌های SPI و شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد Standardized Precipitation (SPEI) و شاخص Evapotranspiration Index، برای پایش بینی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در مناطق فاقد اندازه‌گیری‌های هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی ماهانه استفاده شد. نتایج نشان داد که پیش‌بینی‌های کوتاه مدت یک ماهه دقیقتر از پیش‌بینی‌های درازمدت‌تر است (Zhu et al., 2016). مقایسه ایی برای تعیین دوره‌های خشکسالی و طول این دوره‌ها توسط شاخص‌های خشکسالی، شاخص خشکسالی جریان Stream flow Drought Index (SDI) و شاخص رواناب استاندارد شده Standardized (SRI) و شاخص Runoff Index، در حوضه آبریز رودخانه گاتاپرابها (یکی از زیر حوضه‌های رودخانه کریشنا) در کشور

و باران‌سنجی استان خراسان شمالی با دوره آماری ۲۲ ساله بهره‌گرفته شده است. شاخص دهک برای ماه-ها و سال‌هایی که داده‌های آن از توزیع نرمال پیروی می‌کردند محاسبه گردید. شاخص بارش استاندارد شده برای سری‌های ۱، ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای ایستگاه‌های مورد نظر محاسبه گردید. نتایج حاصل از این محاسبات نشان داد که شاخص دهک، شاخص بارش استاندارد شده مقارن با سال وقوع حداقل بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌های تحت مطالعه نشان داد. پردوام‌ترین خشکسالی مربوط به فاصله سالهای ۱۹۹۷-۱۹۹۴ می‌باشد که تأثیرات بسیار نامطلوبی بر منابع آب‌های زیرزمینی گذاشته است (هاشمی دوینی و آهنگرزاده، ۱۳۹۲).

در تحقیقات گذشته برای بررسی وقوع خشکسالی معمولاً از یک یا دو شاخص استفاده شده است و نتایج حاصل از شاخصهای مختلف مورد مقایسه قرار نگرفته اند. در این تحقیق از شاخصهای مختلف خشکسالی استفاده می‌گردد و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز دز بخشی از ارتفاعات زاگرس میانی است. این حوضه در محدوده عرض جغرافیایی بین ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی، در جنوب غربی ایران واقع شده است. حوضه دز از غرب به حوضه کرخه، از شمال به حوضه قره‌چای و زاینده‌رود و از شرق و جنوب به حوضه کارون محدود می‌شود. رودخانه دز از ارتفاعات جبال زاگرس سرچشمه می‌گیرد و از دو شاخه اصلی به نام‌های سزار و بختیاری تشکیل می‌شود. که از پس به هم پیوستن رودخانه دز را تشکیل می‌دهند. رودخانه دز با طول ۳۳۶ کیلومتر و آبدهی متوسط ۲۴۱ متر مکعب درنانه از استان لرستان سرچشمه

اهمیت دخالت معرف‌های هیدرواویژیکی در پایش خشکسالی، نشان داد که روش چانگ حساسیت بیشتری به کمبود منابع آبی در شرایط خشکسالی دارد (مرید و پایمزد، ۱۳۸۶). شاخص‌های معیار سالانه Standard Index of Annual (SIAP) Precipitation در صدمه‌نرمال، ناهنجاری بارندگی در بررسی خشکسالی‌های استان خوزستان با تأکید بر ایستگاه‌های آبادان و دزفول مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که فراوانی و توالی خشکسالی‌ها با درجات مختلف در ایستگاه آبادان بیشتر از دزفول بوده است. بر اساس دو شاخص معیار بارندگی سالانه و ناهنجاری بارندگی فراوانی خشکسالی‌های بسیار شدید در ایستگاه دزفول بیشتر از آبادان است و تنها در شاخص در صدمه‌نرمال فراوانی خشکسالی‌های بسیار شدید ایستگاه آبادان بیشتر از دزفول بوده است (Borna et al., 2010).

پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده (SEPI) Standardized Evaporations precipitation Index، توسعه یافته بر اساس منطق فازی در ایستگاه مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. که استفاده از این منطق امکان پایش دقیق‌تر و مناسب‌تر خشکسالی را فراهم کرده، همچنین برای پایش خشکسالی با ترکیب دو تابع عضویت فازی مربوط به شاخص بارندگی- استاندارد شده و یک شاخص فرضی تبخیر و تعرق استاندارد شده (SEI) Standardized Evaporations Index، شاخص جدیدی با نام شاخص تبخیر و تعرق و بارندگی استاندارد شده ارائه شد. نتایج حاصل از مدل نشان داد که شاخص تبخیر و تعرق و بارندگی استاندارد شده، کلیه مزایای شاخص بارش استاندارد شده از جمله امکان محاسبه در مقیاس‌های زمانی متفاوت را دارد. به علاوه تأثیر پارامتر درجه حرارت بر وقوع خشکسالی‌ها نیز در آن لحاظ شده است (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹). پایش خشکسالی هواشناسی استان خراسان شمالی در محیط GIS انجام شده است. برای این منظور از داده‌های آماری بارندگی ماهانه ۱۱۷ ایستگاه سینوپتیک

از انجام آزمون مربوط به همگنی داده‌ها (روش جرم مضاعف)، شاخص‌های مختلف خشکسالی محاسبه شدند. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی آنها آورده شده است. در این تحقیق نمایه‌های درصد نرمال بارندگی، دهک، بارش استاندارد شده، Z چینی، Z اصلاح شده چینی و نمره Z استفاده شد.

گرفته و با مساحت ۲۳۲۲۹ کیلومتر مربع با کدحوضه آبریز ۲۳۳ جزء حوضه بزرگ کارون می‌باشد که بعد از پیوستن رودخانه‌های کوچک و بزرگ بسیاری در استان لرستان و خوزستان حوزه آبریز دز را تشکیل می‌دهند. در این تحقیق داده‌های بارش سالیانه ایستگاه‌های تنگ‌پنج و تله زنگ با یک دوره مشترک آماري ۱۷ ساله (۱۳۸۹-۱۳۷۳)، انتخاب گردید. پس

جدول (۱): مشخصات ایستگاه تحت مطالعه

سال تاسیس	مساحت (کیلومترمربع)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	کد حوضه	کد ایستگاه	نام رودخانه	نام ایستگاه
۱۳۳۴	۶۳۹۰	۴۸° ۴۴' ۲۲"	۳۲° ۵۶' ۱۵"	۵۴۰	۲۳	۲۱۲۹۳	بختیاری	تنگ پنج
۱۳۳۴	۱۶۱۳۰	۴۸° ۴۶' ۱۵"	۳۲° ۴۹' ۲۵"	۴۸۰	۲۳	۲۱۲۹۵	دز	تله زنگ

شاخص‌های مورد بررسی

شاخص ناهنجاری بارش (RAI)

چنانچه $P \leq \bar{P}$ یا هنجاری، منفی باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$RAI = -3 \left(\frac{\frac{P}{x} - \bar{\frac{P}{x}}}{\frac{P}{x} - \bar{\frac{P}{x}}} \right) \quad (2)$$

در نهایت مقادیر محاسبه شده بر اساس جدول (۲) طبقه‌بندی می‌شوند.

شاخص ناهنجاری بارندگی توسط روی در سال ۱۹۶۵ ارائه شده است. اساس شاخص-ناهنجاری بارندگی، محاسبه‌ی انحراف معیار بارندگی از نرمال می‌باشد. مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر است

- ۱- محاسبه‌ی میانگین دراز مدت بارندگی در ایستگاه‌های مورد نظر (\bar{P})
- ۲- استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی (m)
- ۳- استخراج میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی (x)
- ۴- مقایسه داده‌های بارندگی (P) با میانگین دراز مدت بارندگی.

چنانچه $P \geq \bar{P}$ یا هنجاری، مثبت باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$RAI = 3 \left(\frac{\frac{P}{m} - \bar{\frac{P}{m}}}{\frac{P}{m} - \bar{\frac{P}{m}}} \right) \quad (1)$$

$$m_i = i(n+1)/10 \quad (۴)$$

که در آن m_i دهک i ام، i شماره دهک و n تعداد داده‌های بارندگی است.

۳- برآورد مقادیر بارندگی مربوط به هر دهک (حد انتهایی).

۴- تعیین سال‌های آماری که در دهک‌های مختلف قرار گرفته‌اند.

طبقات مختلف این شاخص در جدول (۴) آمده است.

شاخص SPI (شاخص بارش استاندارد شده)

شاخص بارش استاندارد شده یا SPI در سال ۱۹۹۳ توسط McKee و همکاران به منظور پیش خشکسالی اقلیمی ابداع گردید. این شاخص بر اساس ثبت بارش‌های طولانی مدت در پریودهای زمانی مختلف (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۶۰... ماهه) پایه‌گذاری شده است. در این شاخص ابتدا مقادیر بارندگی ایستگاه برای هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد نظر محاسبه می‌شود، سپس مقادیر بارندگی به توزیع احتمال گامای ناقص برآزش داده می‌شود (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴). تابع چگالی احتمال این توزیع به صورت زیر است.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{و } x > 0 \quad (۵)$$

در این رابطه x مقدار متغیر (در این تحقیق مقدار بارش) α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس توزیع و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است که رابطه آن به صورت رابطه (۶) می‌باشد. ضرایب α و β بهینه نیز از رابطه‌های (۷) و (۸) بدست می‌آیند.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (۶)$$

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (۷)$$

جدول (۲): طبقات مختلف شاخص RAI (برنا و همکاران (۱۳۹۰))

طبقات شدت خشکسالی	آستانه نسبت داده شده به RAI
نرمال	۰٫۳ تا ۰٫۳
خشکسالی ضعیف	۰٫۲ تا -۰٫۳
خشکسالی متوسط	-۰٫۱ تا -۱٫۲
خشکسالی شدید	-۳ تا -۲٫۱
خشکسالی بسیار شدید	≤ -۳

شاخص درصد بارندگی (PNI)

درصد نرمال بارندگی یکی از ساده‌ترین شاخص‌های خشکسالی است. این امر سبب شده است تا محققین زیادی، به خصوص محققین استرالیایی، از آن استفاده نمایند. این شاخص از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$PN = \frac{P_i}{\bar{P}} * 100 \quad (۳)$$

که در آن P_i بارندگی سال i و \bar{P} میانگین بارندگی در سال‌های آماری می‌باشد. این شاخص همواره مثبت بوده و از سمت پایین محدود به صفر و از قسمت بالا از نظر تئوری محدودیتی ندارد. طبقات مختلف این شاخص در جدول (۴) آمده است.

شاخص دهک‌های بارندگی (DI)

مرتب نمودن داده‌های بارندگی ماهانه در دهک‌ها، تکنیک دیگری برای پیش‌خشکسالی است. شاخص دهک‌ها اولین بار توسط Gibbs and Maher برای اجتناب از بعضی نقاط ضعف روش درصد نرمال بارندگی بکار گرفته شد. اصول کلی در محاسبه دهک‌ها به صورت زیر است:

۱- مرتب نمودن داده‌های بارندگی ماهانه به صورت صعودی.

۲- تعیین دامنه دهکی با استفاده از رابطه زیر:

هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی SPI تعیین میشود و مقادیر تجمعی SPI نیز، بزرگی و شدت خشکسالی را نشان می‌دهد (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴ و Bordi et al., 2001).

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (10)$$

چون تابع گاما برای X مساوی صفر (بارندگی صفر میلیمتر) تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، تابع احتمال تجمعی که در برگزیده صفر هم باشد از رابطه (۱۱) بدست می‌آید (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۴).

$$H(x) = q + (1-q) * F(x) \quad (11)$$

که در آن H(x) تابع تجمعی کل، q احتمال صفر بودن مقدار بارندگی می‌باشد. اگر m تعداد داده‌های بارندگی باشند که مقدار آنها در سری زمانی معادل صفر است آنگاه q از رابطه (۱۲) بدست می‌آید.

$$q = m/n \quad (12)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (8)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{\sum \ln(X)}{n} \quad (9)$$

در رابطه (۹)، n تعداد مشاهدات بارش می‌باشد. در این مرحله با استفاده از رابطه (۱۰) احتمال تجمعی گاما در مقیاس زمانی محاسبه می‌شود (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۴). مرحله بعدی در محاسبه SPI عبارت است از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از تابع توزیع گامای به دست آمده مساوی باشد بهترین حالت انتقال یک متغیر از یک توزیع آماری به توزیع آماری دیگر، انتقال هم احتمال می‌باشد که در آن احتمال‌های کمتر یا مساوی دو متغیر از دو توزیع برابر با هم فرض میشوند (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۴). طبقه‌بندی درجات خشکسالی و ترسالی با استفاده از این شاخص به صورت جدول (۳) ارائه میشود. با توجه به شاخص SPI که برای هر سری جداگانه محاسبه می‌گردد، در مورد وضعیت خشکسالی اظهار نظر می‌شود. طبق این روش، دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد، و

جدول (۳): مقادیر شاخص بارش استاندارد، رطوبت و خشکی متناظر آن (مرید و پایمزد، ۱۳۸۶)

وضعیت	مقدار SPI
فوق العاده مرطوب	بزرگتر یا مساوی ۲
بسیار مرطوب	۱/۹۹ تا ۱/۵
نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
نسبتاً خشک	-۱ تا -۱/۴۹
بسیار خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹
فوق العاده خشک	کوچکتر یا مساوی -۲

همچنین φ_{ij} متغیر استاندارد شده، X_{ij} بارندگی سال j برای دوره i ، σ_i و \bar{x}_i به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی می باشد. برای طبقه بندی این شاخص از همان طبقه بندی SPI استفاده می شود. برای محاسبه CZI به جای میانگین از میانه نیز استفاده شده است که آن را CZI اصلاح شده یا MCZI اطلاق می کنند.

شاخص Z-Score، (ZSI):

اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده های آماری است و معادله آن به صورت زیر می باشد.

$$ZSI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (16)$$

که در آن P_i بارندگی سال i و SD انحراف معیار بارش در طول دوره آماری، \bar{P} میانگین بارندگی بلند مدت می باشد. در جدول (۴) طبقات مختلف شاخص های مورد بررسی برای تمامی شاخص های خشکسالی آورده شده است.

شاخص Z چینی (CZI) و شاخص Z چینی

تعدیل یافته (MCZI)

شاخص CZI و MCZI براساس تبدیل ریشه سوم ویلسون - هیلفرتی برآورد گردید. با این فرض که داده ها از توزیع پیرسون نوع سوم تبعیت کند. CZI مطابق رابطه زیر برآورد می گردد.

$$z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{2} \varphi_{ij} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad (13)$$

که در آن z_{ij} شاخص CZI می باشد. i مقیاس زمانی مورد نظر که می تواند ۱، ۲، ۳، ۴ تا ۴۴ سال و j سال مورد نظر می باشد.

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=i}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n\sigma_i^3} \quad (14)$$

که در آن C_{si} ضریب چولگی و n تعداد کل سال های دوره آماری می باشد.

$$(15)$$

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i}$$

جدول (۴): طبقات مختلف شاخص های خشکسالی مورد بررسی

شاخص نمره Z ZSI	شاخص Z چینی اصلاح شده MCZI	شاخص Z ص دهک DI	شاخص Z چینی CZI	شاخص درصد نرمال PNI	طبقات شدت خشکسالی
۱- تا ۱+	۱- تا ۱+	۹-۱۰	۱- تا ۱+	بیشتر از ۸۰٪	نرمال
*	*	۷-۸	*	۷۰ تا ۸۰٪	ضعیف
۱٫۵- تا ۱-	۱٫۵- تا ۱-	۵-۶	۱٫۵- تا ۱-	۵۵ تا ۷۰٪	متوسط
۱٫۵- تا ۲-	۱٫۵- تا ۲-	۳-۴	۱٫۵- تا ۲-	۴۰ تا ۵۵٪	شدید
کمتر از ۲-	کمتر از ۲-	۱-۲	کمتر از ۲-	کمتر از ۴۰٪	بسیار شدید

*=تعریف نشده است.

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از محاسبه شاخص PNI نشان می‌دهد که در این دوره آماری یک مورد خشکسالی شدید در ایستگاه تله‌زنگ در سالهای ۱۳۸۷-۱۳۸۶ مشاهده شده است و بیشترین فراوانی در هر دو ایستگاه مربوط به حالت نرمال می‌باشد. براساس شاخص SPI، سالهای نزدیک نرمال دارای بیشترین فراوانی بوده و یک مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه تنگ‌پنج که مربوط به سالهای ۱۳۷۹-۱۳۷۸ می‌باشد مشاهده شده است. براساس شاخص ZSI، سالهای نزدیک نرمال دارای بیشترین فراوانی بوده است و یک مورد خشکسالی شدید در ایستگاه تله‌زنگ در سالهای ۱۳۸۷-۱۳۸۶ مشاهده شده است. براساس شاخص MCZI، سالهای نسبتاً مرطوب دارای

بیشترین فراوانی در ایستگاه تنگ‌پنج و در ایستگاه تله‌زنگ سالهای نزدیک نرمال بیشترین فراوانی را دارند و یک مورد خشکسالی شدید در ایستگاه تله‌زنگ در سالهای ۱۳۷۵-۱۳۷۴ مشاهده شده است. براساس شاخص CZI، سالهای نزدیک نرمال دارای بیشترین فراوانی بوده است. مقادیر RAI محاسبه شده و سپس با استفاده از مقیاس آن وقایع ترسالی، خشکسالی و سالهای نرمال برای ایستگاه‌های مورد مطالعه تعیین گردید. جدول (۷) فراوانی خشکسالی براساس شاخص RAI را نشان می‌دهد. براساس این شاخص ۳ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه تنگ‌پنج مربوط به سالهای ۱۳۹۰، ۱۳۸۷، ۱۳۷۸ و چهار مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه تله‌زنگ مربوط به سالهای ۱۳۷۳، ۱۳۹۰، ۱۳۸۷، ۱۳۷۸ مشاهده شده است.

جدول (۵): فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص DI

نام ایستگاه	ز رمال	کمی بالای نرمال	کمی زیر نرمال	بالای نرمال	خیلی بالای نرمال	خیلی زیر نرمال	ز پر نرمال	خیلی زیاد زیر نرمال	خیلی زیاد بالای نرمال
تنگ پنج	۴	۳	۱	۵	۲	۰	۱	۰	۱
تله زنگ	۲	۲	۱	۲	۲	۳	۰	۲	۲

جدول (۶): فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص‌های

خشکسالی مورد بررسی

شاخص	عملکرد	نرمال	نزدیک نرمال	خشکسا لی ناچیز	خشکسا لی متوسط	خشکسا لی شدید	خشکسالی بسیار شدید	نسبتاً مرطوب	خیلی مرطوب
ZSI	تنگ		۱۵		۰	۰		۱	۱
	پنج								
MCZI	تله زنگ		۱۱		۳	۱		۱	۱
	تنگ					۰		۱۷	
CZI	پنج		۰						
	تله زنگ		۱۶			۱		۰	۱
SPI	تنگ		۱۵		۰			۱	۱
	پنج								
SPI	تله زنگ		۱۱		۳	۱		۱	۱
	تنگ							۰	۱
PNI	پنج		۱۱		۳	۱		۱	۱
	تله زنگ								
	تنگ		۱۵		۱	۰			
	پنج								
	تله زنگ		۱۲		۳	۱			

جدول (۷): فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص RAI

نام ایستگاه	نرمال	خشکسالی ضعیف	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
تنگ پنج	۱	۲	۱	۱	۳
تله زنگ	۰	۲	۲	۰	۴

نتیجه‌گیری

در ایستگاه تله‌زنگ مشاهده شده است. براساس شاخص‌های متعدد، فراگیرترین سال‌های خشکسالی مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ بوده است. به طور کلی در ایستگاه تله زنگ سال‌های وقوع خشکسالی بیشتر می‌باشد و دلیل این امر این است که این ایستگاه در پایین دست ایستگاه تنگ پنج قرار دارد و ارتفاع آن کمتر می‌باشد. بنابراین میزان بارندگی در این ایستگاه کمتر و دما بیشتر است. این امر احتمال وقوع خشکسالی را افزایش می‌دهد.

نتایج نشان داد که بیشترین وقوع خشکسالی شدید براساس شاخص‌های ZSI, MCZI, PNI مربوط به ایستگاه تله‌زنگ (یک مورد) و براساس شاخص DI یک خشکسالی بسیار شدید مربوط به ایستگاه تله‌زنگ و براساس شاخص SPI یک خشکسالی بسیار شدید مربوط به ایستگاه تنگ پنج می‌باشد. و براساس شاخص CZI هر دو ایستگاه مشکلی ندارند. براساس شاخص RAI، سه مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه تنگ پنج و چهار مورد خشکسالی بسیار شدید

منابع:

- انصاری، ح.، ک. داوری، و س.ح. ثنائی نژاد. ۱۳۸۹. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده (SEPI)، توسعه یافته بر اساس منطق فازی. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۱، ص ۵۲-۳۸.
- کارآموز، م.، و ش. عراقی نژاد. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. چاپ دوم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، انتشارات پلی تکنیک، ۴۶۴ صفحه.
- مرید، س.، و ش. پایمزد. ۱۳۸۶. مقایسه روشهای هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشکسالی: مطالعه موردی دوره خشکسالی ۱۳۷۸ لغایت ۱۳۸۰ استان تهران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال یازدهم، شماره ۴۲، ص ۳۳۳-۳۲۵.
- مقدسی، م.، س. مرید، ه. قائمی، و ج.م. سامانی. ۱۳۸۴. پایش روزانه خشکسالی در استان تهران. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۶، شماره ۱، ص ۶۲-۵۱.
- هاشمی دوین، م.، و ز. آهنگرزاده. ۱۳۹۲. پایش خشکسالی هواشناسی استان خراسان شمالی در محیط GIS. نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان.
- Bordi, I., S. Frigio, P. Parenti, A. Speranza, and A. Sutura. 2001. The analysis of the standardized precipitation index in the Mediterranean area: regional patterns. *Annali Di Geofisica*, 44(5/6): 979-993.
- Borna, R., F. Azimi, and N. Saeedi Dahaki. 2010. Comparison of SIAP, PN and RAI index for surveying of droughts in Khuzestan province emphasizing the Abadan and Dezful stations. *Quarterly Journal of Physical Geography*, 3(9): 77-88.
- Homdee, T., K. Pongput, and S. Kanae. 2016. A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi River basin, Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 50(3): 211-219.
- Jayanthi, H., G.J. Husak, C. Funk, T. Magadzire, A. Chavula, and J.P. Verdin. 2013. Modeling rain-fed maize vulnerability to droughts using the Standardized precipitation index from satellite estimated rainfall—Southern Malawi case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 4: 71-78.
- Li, Y.J., X.D. Zheng, F. Lu, and J. Ma. 2012. Analysis of Drought Evolvement Characteristics Based on Standardized Precipitation Index in the Huaihe River Basin. *Procedia Engineering*, 28: 434 – 437.
- Mao, K. B., Y. Ma, L. Xia, H.J. Tang, and L.J. Han. 2012. The Monitoring Analysis for the Drought in China by Using an Improved MPI Method. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(6): 1048-1058.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim, California, 179-184.
- Pathak, A.A., and C.B.M. Dodamani. 2016. Comparison of two hydrological drought indices. *Perspectives in Science*, 8: 626-628.
- Shahabfar, A., A. Ghulam, and J. Eitzinger. 2012. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18: 119-127.
- Tao, J., Z. Zhongfa, and C. Shui. 2011. Drought Monitoring and Analysing on Typical Karst Ecological Fragile Area Based on GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10 (Part C): 2091-2096.

Zhu, Y., W. Wang, V.P. Singh, and Y. Liu. 2016. Combined use of meteorological drought indices at multi-time scales for improving hydrological drought detection. *Science of The Total Environment*, 571: 1058-1068.

Evaluation and Monitoring of drought using of drought Indexes ;Case study the Dez watershed

Arash Adib¹, Ali gorgizadeh²

Abstract

Drought is a hydrologic and climatic phenomenon, this phenomenon can occur in different watersheds and climatic conditions. Water resources management, design of water transmission and distribution systems and determination of agriculture water demands depend to applied methods for management and controlling of drought considerably. In this study for distinguishing of occurred droughts in upstream of the Dez Dam, annual precipitation data of Tangpanj and Telezang stations have been applied in a 17 years period (1994-2010). Occurred droughts have been determined using of these data and drought indexes as Percent of Normal (PN), Deciles Index (DI), Standard of Precipitation Index (SPI), Chinese Z Index (CZI), Modified Chinese Z Index (MCZI) and Z-Score index (ZSI). Results illustrated that most of severe droughts were observed in Telezang station. PNI, MCZI, ZSI indexes showed them (these indexes showed one drought in 2007-2008, 1995-1996 and 2007-2008 respectively). Also DI and SPI indexes illustrated an occurred severe drought in Telezang (2007-2008) and Tangpanj stations (1999-2000) respectively. But CZI index did not show occurrence any drought in these stations. RAI index distinguished that three (1999, 2008 & 2011) and four (1994, 1999, 2008 & 2011) severe droughts occurred in the Tangpanj and Telezang stations respectively. These indexes showed that most of droughts have occurred from 2007 till 2009.

Keywords: Drought monitoring, the Dez watershed, Drought Indexes, RAI Index

¹ Associate Professor, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

Email: arashadib@yahoo.com

² PhD Candidate, Hydrology and Water Resources Department, Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran Email: aligorgizade@gmail.com