

بررسی و پایش خشکسالی شهرستان نهاوند با استفاده از شاخصهای خشکسالی

اباذر سلگی^۱، فریدون رادمنش^۲، بهداد فلامرزی^۳

چکیده

خشکسالی یکی از بزرگترین بلاهای طبیعی محسوب می‌شود که تأثیر آن بر جوامع بشری بیشتر از دیگر چنین آسیب‌هاست. در این تحقیق، به منظور بررسی خشکسالی در شهرستان نهاوند واقع در استان همدان، از داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه‌ی ایستگاههای وراینه و وسج طی یک دوره‌ی آماری مشترک ۴۱ ساله (۱۳۴۸-۱۳۸۸) استفاده گردید. وضعیت خشکسالی بر اساس داده‌های مذکور با استفاده از شاخصهای ناهنجاری بارندگی (RAI)، معیار بارش سالانه (SLAP)، درصد بهنجار (PNI)، دهک (DI)، بارش معیار (SPI)، Z چینی (CZI)، Z چینی اصلاح شده (MCZI)، نمره‌ی Z (ZSI)، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که بیشترین وقوع خشکسالی بسیار شدید بر اساس شاخصهای PNI، SPI، CZI، DI و ZSI در هر دو ایستگاه وسج و وراینه در سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ مشاهده شد. بر پایه‌ی شاخص MCZI، یک مورد خشکسالی بسیار شدید در هر دو ایستگاه وسج و وراینه در سال آبی ۱۳۵۰-۱۳۴۹ رخ داده است. بر اساس شاخص SLAP، پنج مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وراینه، و هفت مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وسج دیده شد. بر پایه‌ی شاخص RAI پنج مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وراینه، و چهار مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وسج، مشاهده شده‌اند. همچنین، بر اساس شاخصهای پرشمار، فراگیرترین سالهای خشکسالی در شهرستان نهاوند، مربوط به سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ بوده است.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی، شاخصهای خشکسالی، شاخصهای SLAP و RAI، شهرستان نهاوند.

^۱ - دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲ - دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

*- نویسنده مسوول مقاله: Aboozar_solgi@yahoo.com

مقدمه

به خطر انداختن محتوای سبزینه و پوشش گیاهی، مورد استفاده قرار گیرد (تو و همکاران، ۲۰۱۱). پایش خشکسالی با استفاده از شاخصهای عمودی خشکسالی در ایران برای ۱۸۰ ایستگاه هواشناسی در یک دوره ۶ ساله (۲۰۰۶-۲۰۰۰) مورد ارزیابی قرار گرفته است. این کار با هدف یافتن، ارزیابی و پالایش روشی مناسب برای برآورد خشکسالی مناطق نیمه خشک، با استفاده از سنجش از راه دور انجام شد، اخیراً روشهای توسعه یافته، شاخص خشکسالی عمودی (PDI)^۷ و شاخص خشکسالی عمودی اصلاح شده (MPDI)^۸، به عنوان شاخصهای مبتنی بر خشکسالیهای ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند نتایج نشان دادند که رابطه‌ی معنی‌داری بین شاخص خشکسالی عمودی و شاخص خشکسالی عمودی - اصلاح شده با خشکی سطح منطقه‌ای و شرایط خشکسالی وجود دارد. نتایج تأکید دارند که شاخص خشکسالی - عمودی فراسنج خوبی برای برنامه‌های کاربردی خاک لخت، و یا مراحل اولیه‌ی رشد پوشش گیاهی، می‌باشد درحالی که شاخص خشکسالی عمودی اصلاح شده بیشتر برای سطوح گیاهی مناسب است تا خاکهای لخت (شهاب‌فرو همکاران، ۲۰۱۲).

تحلیل پایش خشکسالی در چین با کاربرد بهبود شاخص قطبی شدن ریزموج (MPI)^۹ انجام شده است. روش شاخص قطبی شدن ریزموج فراوانیهای مختلف در قطبی شدن عمودی برای ارزیابی رطوبت خاک از تصویرساز ریزموج گرمسیری (TMI)^{۱۰} داده‌ها است که بطور عمده برای استفاده در خاک لخت مناسب است. اعتبار سنجی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی زمینی، نشان می‌دهد که بازبینی سطوح مختلف زمین می‌تواند دقت بازیابی را بهبود بخشد. روش شاخص قطبی شدن ریزموج بهبود یافته‌ی و بارش، برای تجزیه و تحلیل خشکسالی در جنوب غربی چین، استفاده شد؛ نتایج نشان دادند که رطوبت بازیابی شده به وسیله‌ی روش شاخص قطبی شدن ریزموج می‌تواند برای پایش خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد (مائو و همکاران، ۲۰۱۲). تجزیه و تحلیل ویژگیهای سیر

سامانه‌های پایش از ابزارهای لازم برای مدیریت خشکسالی به شمار می‌روند. با این سامانه‌هاست که می‌توان از شدت و توسعه‌ی مکانی خشکسالی آگاهی یافت، که معمولاً با شاخصهای خشکسالی این مهم به انجام می‌رسد.

سامانه‌های پایش این قابلیت را دارند که بتوانند وضعیت خشکسالی را در سطح حوضه و در مقیاسهای متنوع زمانی و مکانی با استفاده از شاخصهای مناسب هواشناسی و آبشناسی پایش کنند.

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 (DI)^۱، بارندگی معیار شده (SPI)^۲، درصد بهنجار (PNI)^۳، نمره Z (ZSI)^۴ و شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)^۵ اشاره کرد.

در زیر به برخی مطالعات صورت پذیرفته در زمینه‌ی خشکسالی اشاره می‌گردد:

پیش‌بینی خشکسالی با ابزار شبکه‌های عصبی مصنوعی و سریهای زمانی، با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) و شاخص بارش معیار (SPI) برای استان تهران مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دادند که عملکرد EDI بهتر از SPI بوده است (مرید و همکاران، ۲۰۰۷). تنوع سبزینه در محاسبه‌ی شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده (NDVI)^۶ در زمینه‌ی پایش خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که ترکیب متغیرها نشان دهنده‌ی روند مشابهی با مقادیر متوسط یا حداکثر مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده برای کل دوره‌ی مطالعاتی بوده، و حضور ابرها مقادیر شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج نشان دادند که مقادیر شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده می‌تواند بدون

¹ - Deciles Index

² - Standardized Precipitation Index

³ - Percent of Normal Index

⁴ - Z-Score Index

⁵ - Effective Drought Index

⁶ - Normalized Difference Vegetation Index

⁷ - Perpendicular Drought Index

⁸ - Modified perpendicular drought index

⁹ - Microwave Polarization Index

¹⁰ - Tropical Microwave Imager

و اهمیت دخالت معرفه‌های آشناسی در پایش خشکسالی، نشان دادند که روش چانگ حساسیت بیشتری را به کمبود منابع آبی در شرایط خشکسالی دارد (مرید و پایمرد، ۱۳۸۶).

شاخصه‌های معیار بارندگی سالانه (SLAP)^۲، درصد بهنجاری، ناهنجاری بارندگی در بررسی خشکسالیهای استان خوزستان را با تأکید بر ایستگاههای آبادان و دزفول مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که فراوانی 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 درصد بهنجاری فراوانی خشکسالیهای بسیار شدید ایستگاه آبادان بیشتر از دزفول بوده است (برنا و همکاران، ۱۳۸۹).

پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق معیار شده (SEPI)^۳، بر اساس منطق فازی در ایستگاه مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. 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 معیار شده و یک شاخص فرضی تبخیر تعرق معیار شده (SEI)^۴، شاخص جدیدی با نام شاخص تبخیر تعرق و بارندگی معیار شده ارائه گردیده است. نتایج حاصل از شبیه نشان دادند که شاخص تبخیر تعرق و بارندگی معیار شده، کلیه-ی مزایای شاخص بارش معیار شده از جمله امکان محاسبه در مقیاسهای زمانی متفاوت را دارد، به علاوه تأثیر فراسنج دما بر وقوع خشکسالیها نیز در آن لحاظ شده است (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹).

بررسی تغییرات شدت و دوره‌ی بازگشت خشکسالی حوضه‌ی قره سو در دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم انجام شده است. بر اساس این پژوهش، حوضه در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی شاهد افزایش بارش، و به تبع آن کاهش خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود (گل

تکاملی خشکسالی بر اساس شاخص بارش معیار در حوضه‌ی رود هایله^۱ با استفاده از داده‌های ۳۵ ساله‌ی بارش مورد بررسی قرار گرفت، که نشان داد فراوانی خشکسالی در اوایل قرن ۲۱ در این حوضه کاهش و شدت خشکسالی افزایش یافته است، اما تعداد منطقه‌هایی که با خشکسالی روبرو شده اند کاستی پذیرفته است. نوع خشکسالی بیشتر خشکسالی خفیف و متوسط بوده، و خشکسالی شدید به ندرت رخ داده است (جان، ۲۰۱۲). شبیهسازی آسیب‌پذیری ذرت به خشکسالی با استفاده از شاخص بارش معیار با استفاده از برآورد بارش به وسیله‌ی ماهواره اسمیت در جنوب منطقه‌ی مالایو انجام شده است. شرایط خشکسالی در فوریه و اوایل مارس موجب وارد آمدن بیشترین آسیب به عملکرد ذرت در این منطقه بوده است. نتایج این تحقیق به ایجاد سازوکار نظارت اولیه برای ارزیابی اثرات خشکسالی کمک کرده، و زمان بیشتری را به تصمیم‌گیرندگان برای ارزیابی نتایج فصلی، و شناسایی خطرات بالقوه مربوط به غذا در مالایو خواهد داد (جابانتی، ۲۰۱۳).

پایش روزانه‌ی خشکسالی در استان تهران با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر برای سالهای ۱۳۷۷-۱۳۷۸ بطور نقطه‌ای و مکانی انجام شده است. نقشه‌های خشکسالی حاصل از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی نشان می‌دهند که از آبان ۱۳۷۷ خشکسالی در حد خفیف آغاز و توسعه یافته، بطوری که از فروردین ۱۳۷۸ بخشهای مرکزی استان با خشکسالی چشمگیری مواجه شده، سپس این وضعیت در اردیبهشت و خرداد تشدید می‌شود (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴).

مقایسه روشهای آشناسی و هواشناسی جهت پایش روزانه‌ی خشکسالی برای دوره‌ی خشکسالی ۱۳۷۸-۱۳۸۰ در استان تهران انجام شده است. طی این بررسی یکی از محدود روشهای پایش آشناسی 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 با شاخص خشکسالی مؤثر، که تنها شاخص هواشناسی با مقیاس روزانه است، مورد مقایسه واقع گردید. نتایج ضمن تأیید قابلیت روش چانگ،

^۲ - Standard Index of Annual Precipitation

^۳ - Standardized Evapotranspiration Index

^۴ - Standardized Evapotranspiration Index

^۱ - Huaihe

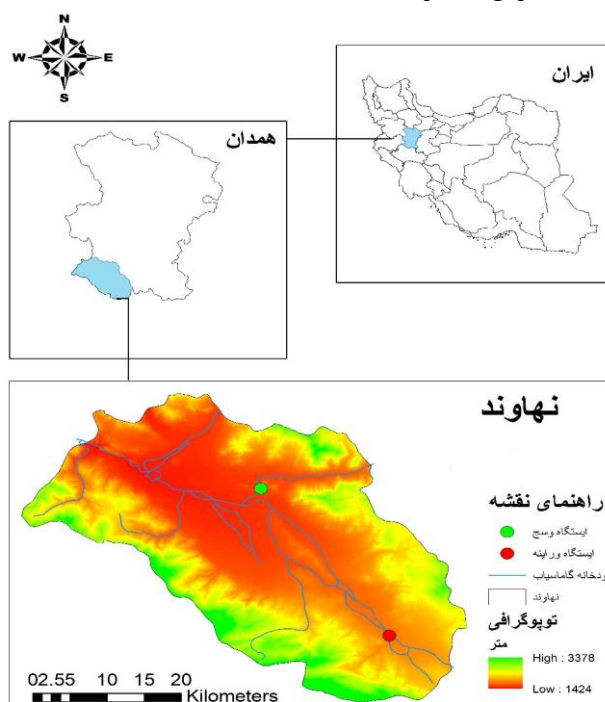
Z چینی، Z اصلاح گردیده چینی، و نمره‌ی Z بهره‌وری شد.

مواد و روشها

شهرستان نهاوند، استان همدان، با مرکزیت شهر نهاوند، در موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این شهرستان با مساحتی برابر با ۱۴۶۰ کیلومتر مربع ۹ درصد از مساحت استان همدان را شامل شده و دارای ارتفاعی برابر با ۱۶۶۷ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط دمای سالانه‌ی آن ۱۲ درجه‌ی سانتیگراد، و میانگین بارش سالانه‌ی دراز مدت آن ۵۲۱ میلی‌متر می‌باشد. در این شهرستان ۳ ایستگاه بارانسنجی به نامهای وراینه، وسج و سیاه‌دره وجود دارند، که به علت بسنده نبودن آمار ایستگاه سیاه‌دره از آمار مزبور استفاده نشد. در نتیجه، از داده‌های دو ایستگاه وراینه و وسج در یک دوره‌ی آماری ۴۱ ساله (۱۳۴۸-۱۳۸۸) بهره بردیم. در جدول (۱) مشخصات ایستگاههای مورد مطالعه، و موقعیت جغرافیایی آنها، آورده شده‌اند. موقعیت قرارگیری ایستگاهها در شهرستان نهاوند در شکل (۱) نمایش داده شده است.

محمدی و مساح بوانی، ۱۳۹۰). بررسی احتمالی وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی آبشناسی با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف در حوضه‌ی آبخیز کشف رود انجام شده است. بررسی بده‌های ماهانه در این حوضه نشان داد که احتمال وقوع دوره‌هایی با بده‌های خیلی خشک، خشک، نیمه خشک، متوسط، نیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب منطقه در افق دراز مدت به ترتیب برابر با ۰/۵، ۱۲/۴۷، ۴/۵۴، ۱/۷۸، ۰/۸۵، ۰/۶۳ و ۰/۶۹ درصد، و احتمال وقوع دوره‌های ترسالی ۲/۲۸ درصد است. همچنین احتمال وقوع خشکسالی در منطقه بسیار بالا و برابر با ۹۵/۵ درصد است (وفاخواه و بشری سه قلع، ۱۳۹۱).

با توجه به کاهش اندازه‌ی بارشها در سالهای اخیر، و وقوع خشکسالیهای متعدد در شهرستان نهاوند، لزوم پرداختن به مطالعات خشکسالی کاملاً احساس می‌گردد؛ لذا، در این تحقیق به بررسی و پایش خشکسالی در این شهرستان پرداخته شد تا شرایط وقوع خشکسالیهای اخیر مشخص گردیده و بتوان با داشتن بهترین فراسنج، وقوع خشکسالیهای آینده را نیز به وسیله‌ی روشهای مختلف، و با سامانه‌های پایش خشکسالی تشخیص داد. به همین دلیل، از نمایه‌های معیار بارندگی سالانه، ناهنجاری بارندگی، درصد بهنجار بارندگی، دهک، بارش معیارشده،



شکل ۱- موقعیت شهرستان نهاوند و ایستگاههای بارانسنجی در ایران و استان همدان

جدول ۱- مشخصات ایستگاههای باران سنجی

| نام ایستگاه | نوع ایستگاه | سال تأسیس | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا (متر) | کد ایستگاه |
|-------------|-------------|-----------|---------------|---------------|-----------------------------|------------|
| وراینه | باران سنجی | ۱۳۴۸ | ۴۸° ۲۴' ۱۵" | ۳۴° ۰۴' ۳۲" | ۱۷۹۵ | ۲۱-۵۳۴ |
| وسج | باران سنجی | ۱۳۴۷ | ۴۸° ۱۳' ۲۲" | ۳۴° ۱۹' ۲۳" | ۱۵۴۵ | ۲۱-۳۷۵ |

شاخصهای مورد بررسی

شاخص ناهنجاری بارش (RAI)

شاخص ناهنجاری بارندگی به وسیله‌ی روی در سال ۱۹۶۵ ارائه شده است. اساس شاخص ناهنجاری بارندگی، محاسبه‌ی انحراف معیار بارندگی از بهنجار می‌باشد. مراحل محاسبه‌ی 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 (\bar{m})

۳- استخراج میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی (\bar{x})

۴- مقایسه‌ی داده‌های بارندگی (P) با میانگین دراز مدت بارندگی. چنانچه $P \geq \bar{P}$ یا ناهنجاری، مثبت باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

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

چنانچه $P \leq \bar{P}$ یا ناهنجاری، منفی باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

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

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

جدول ۲- طبقات مختلف شاخص RAI [۲].

| طبقات شدت خشکسالی | آستانه‌ی نسبت داده شده به RAI |
|--------------------|----------------------------------|
| بهنجار | ۰/۳ تا -۰/۳ |
| خشکسالی ضعیف | -۰/۳ تا -۱/۲ |
| خشکسالی متوسط | -۱/۲ تا -۲/۱ |
| خشکسالی شدید | -۲/۱ تا -۳ |
| خشکسالی بسیار شدید | ≤ -۳ |

شاخص معیار بارش سالانه (SIAP)

در این شاخص ابتدا مجموع بارشها در یک سال را از میانگین بارش در یک دوره‌ی آماری کم کرده، و جواب حاصل در مرحله‌ی بعد بر انحراف معیار داده‌های دوره‌ی آماری مورد نظر تقسیم می‌شود، که معادله‌ی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$SLAP = \frac{(P_i - \bar{P})}{S_d} P_i \quad (3)$$

P_i بارندگی سال \bar{P} ، میانگین بارندگی در طول دوره‌ی آماری، S_d انحراف معیار گروه بارندگی است. طبقه بندی شاخص SLAP در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳- طبقات مختلف شاخص SLAP [۲].

| طبقات شدت خشکسالی | شاخص معیار بارندگی سالانه (SLAP) |
|--------------------|-------------------------------------|
| بهنجار | ۰/۲۵ تا -۰/۲۵ |
| خشکسالی ضعیف | -۰/۲۵ تا -۰/۵۲ |
| خشکسالی متوسط | -۰/۵۲ تا -۰/۸۴ |
| خشکسالی شدید | -۰/۸۴ تا -۱/۲۸ |
| خشکسالی بسیار شدید | کمتر از -۱/۲۸ |

شاخص بارش معیار شده (SPI)

شاخص بارش معیار شده یا SPI در سال ۱۹۹۳ به- وسیله‌ی مک کی و همکاران به منظور پایش خشکسالی اقلیمی ابداع گردید. این شاخص بر اساس ثبت بارشهای طولانی مدت در دوره‌های زمانی مختلف (۳،۶،۹،۱۲،۲۴،۴۸، و... ماهه) پایه‌گذاری شده است. جهت تعیین شاخص بارش معیار شده تنها از مقادیر بارندگی ماهانه ایستگاه در طول دوره‌ی آماری طولانی مدت استفاده می‌شود. در این شاخص ابتدا مقادیر بارندگی ایستگاه برای هر یک از مقیاسهای زمانی مورد نظر محاسبه گردیده، سپس مقادیر بارندگی به توزیع احتمال

طبقه‌بندی درجات خشکسالی و ترسالی با استفاده از این شاخص به صورت جدول (۴) ارائه می‌شود.

جدول ۴- مقادیر شاخص بارش معیار، رطوبت و خشکی متناظر آن [۵].

| وضعیت | مقدار SPI |
|--------------|--------------------|
| فرا مرطوب | بزرگتر یا مساوی ۲ |
| بسیار مرطوب | ۱/۵ تا ۱/۹۹ |
| نسبتاً مرطوب | ۱ تا ۱/۴۹ |
| نزدیک بهنجار | ۰/۹۹ تا -۰/۹۹ |
| نسبتاً خشک | -۱ تا -۱/۴۹ |
| بسیار خشک | -۱/۵ تا -۱/۹۹ |
| فراخشک | کوچکتر یا مساوی -۲ |

با توجه به شاخص SPI، که برای هر گروه جداگانه محاسبه می‌گردد، در مورد وضعیت خشکسالی اظهار نظر می‌شود. طبق این روش، دوره‌ی خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI بطور مستمر منفی و به مقدار -۱ یا کمتر برسد، و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه‌ی ارقام منفی SPI تعیین شده و مقادیر تجمعی SPI نیز، بزرگی و شدت خشکسالی را نشان می‌دهد (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴؛ بوردی و سوترا، ۲۰۰۴).

شاخص درصد بارندگی (PNI)

درصد بهنجار بارندگی یکی از ساده‌ترین شاخصهای خشکسالی می‌باشد. این امر سبب شده است تا محققین زیادی، به خصوص پژوهندگان استرالیایی، از آن استفاده کنند. این شاخص از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$PN = \frac{P_i}{\bar{p}} \times 100 \quad (12)$$

که در آن P_i بارندگی سال i و \bar{p} میانگین بارندگی در سالهای آماری می‌باشد. این شاخص همواره مثبت بوده، از سمت پایین محدود به صفر، و از قسمت بالا از جنبه‌ی نظری محدودیتی ندارد. طبقات مختلف این شاخص در جدول (۵) آمده‌اند.

گامای ناقص برازش داده می‌شود [۵]. تابع چگالی احتمال این توزیع به صورت زیر است:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{و } x > 0 \quad (4)$$

که در آن رابطه X مقدار متغیر (در این تحقیق مقدار بارش) α فراسنج شکل، β فراسنج مقیاس توزیع، و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است که رابطه‌ی آن به صورت رابطه‌ی (۵) می‌باشد. ضرائب α و β بهینه نیز از رابطه‌های (۶) و (۷) به دست می‌آیند.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} \cdot e^{-y} dy \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (7)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (8)$$

در رابطه‌ی (۸)، n تعداد مشاهدات بارش می‌باشد. در این مرحله با استفاده از رابطه‌ی (۹) احتمال تجمعی گاما در مقیاس زمانی محاسبه می‌شود. مرحله‌ی بعدی در محاسبه‌ی SPI عبارت است از متغیری از تابع توزیع بهنجار معیار، 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، ۱۳۸۹).

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (9)$$

چون تابع گاما برای X مساوی صفر (بارندگی صفر میلیمتر) تعریف نشده، و ممکن است توزیع بارندگی دارای مقادیر صفر باشد، تابع احتمال تجمعی که در برگزیده صفر هم باشد از رابطه‌ی (۱۰) به دست می‌آید (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۹).

$$H(x) = q + (1 - q) \cdot F(x) \quad (10)$$

که در آن $H(x)$ تابع تجمعی کل، q احتمال صفر بودن مقدار بارندگی می‌باشد. اگر m تعداد داده‌های بارندگی باشد که مقدار آنها در گروه زمانی معادل صفر است، آن گاه q از رابطه‌ی (۱۱) به دست می‌آید:

$$q = \frac{m}{n} \quad (11)$$

همچنین، Φ_{ij} متغییر معیار شده، x_{ij} بارندگی سال j برای دوره‌ی i ، σ_i و \bar{x}_i به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی می‌باشد. برای طبقه‌بندی این شاخص از همان طبقه بندی SPI استفاده می‌شود. برای محاسبه‌ی CZI، به جای میانگین از میانه نیز بهره‌وری شده است، که آن را CZI، اصلاح گردیده یا MCZI اطلاق می‌نامند. طبقات مختلف این شاخصها در جدول (۵) ارائه شده است.

شاخص نمره‌ی Z (ZSI)

اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است و معادله‌ی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$ZSI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (17)$$

که در آن P_i بارندگی سال i و SD انحراف معیار بارش در طول دوره‌ی آماری، \bar{P} میانگین بارندگی بلند مدت است. در جدول (۵) طبقات مختلف این شاخص ارائه شده اند.

شاخص دهکهای بارندگی (DI)

مرتب کردن داده‌های بارندگی ماهانه در دهکها، روش دیگری برای پایش خشکسالی است. شاخص دهکها اولین بار به وسیله‌ی گیبس و ماهر^۱ برای اجتناب از بعضی نقاط ضعف روش درصد بهنجار بارندگی به کار گرفته شد. اصول کلی در محاسبه دهکها به صورت زیر است:

۱- مرتب کردن داده‌های بارندگی ماهانه به صورت صعودی.

۲- تعیین دامنه‌ی دهکی با استفاده از رابطه‌ی زیر:

$$m_i = i \times \frac{n+1}{10} \quad (13)$$

که در آن m_i دهک i ام، i شماره‌ی 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 (۵) ارائه شده اند.

شاخص Z چینی (CZI) و شاخص Z چینی تعدیل یافته (MCZI)

شاخصی CZI و MCZI براساس تبدیل ریشه‌ی سوم ویلسون- هیلفرتی برآورد گردید. با این فرض که داده‌ها از توزیع پیرسون نوع سوم تبعیت کند. CZI مطابق رابطه‌ی زیر برآورد می‌شود.

$$z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{2} \Phi_{ij} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad (14)$$

که در آن z_{ij} شاخص CZI می‌باشد. i مقیاس زمانی مورد نظر است که می‌تواند ۱، ۲، تا ۴۴ سال، و j سال مورد نظر می‌باشد. همچنین:

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n \times \sigma_i^2} \quad (15)$$

که در آن C_{si} ضریب چولگی و n تعداد کل سالهای دوره آماری است:

$$\Phi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (16)$$

¹ - Gibbs and Maher

جدول ۵- طبقات مختلف شاخصهای خشکسالی مورد بررسی

| شاخص | شاخص | شاخص | شاخص | شاخص | طبقات شدت خشکسالی |
|------------|------------|------|------------|--------------|-------------------|
| ZSI | MCZI | DI | CZI | PNI | |
| ۱- تا +۱ | ۱- تا +۱ | ۹-۱۰ | ۱- تا +۱ | بیشتر از ۸۰٪ | بهنجار |
| * | * | ۷-۸ | * | ۷۰ تا ۸۰٪ | ضعیف |
| -۱ تا -۱.۵ | -۱ تا -۱.۵ | ۵-۶ | -۱ تا -۱.۵ | ۷۰ تا ۷۵٪ | 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

هر دو ایستگاه سالهای دارای خشکسالی متوسط دارای بیشترین فراوانی بوده و یک مورد خشکسالی بسیار شدید در هر دو ایستگاه در سال آبی ۱۳۵۰-۱۳۴۹ مشاهده شده است.

فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص ZSI در جدول (۹) ارائه شده است. بر این اساس، سالهای نزدیک بهنجار دارای بیشترین فراوانی بوده، و دو مورد خشکسالی شدید در ایستگاه وسج در سالهای آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ و ۱۳۵۹-۱۳۵۸ و دو مورد خشکسالی شدید در ایستگاه وراینه در سالهای آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ و ۱۳۷۰-۱۳۶۹ مشاهده شده-اند.

همچنین، بر اساس شاخص SPI، وقایع ترسالی، خشکسالی و سالهای بهنجار برای ایستگاههای مورد مطالعه در جدول (۱۰) ارائه شده است. بر این اساس، سالهای نزدیک بهنجار دارای بیشترین فراوانی بوده، و یک مورد خشکسالی بسیار شدید در هر دو ایستگاه وراینه و وسج که مربوط به سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ می باشد مشاهده شده است.

بر اساس شاخص DI، که در جدول (۱۱) ارائه شده است، در هر دو ایستگاه ۵ مورد خشکسالی خیلی زیاد زیر بهنجار وجود داشته است. این خشکسالیها در ایستگاه وراینه مربوط به سالهای آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹، ۱۳۷۳-۱۳۷۲، ۱۳۷۶-۱۳۷۵، ۱۳۷۸-۱۳۷۷ و ۱۳۷۹-۱۳۷۸ و در ایستگاه وسج در سالهای آبی ۱۳۵۹-۱۳۵۸، ۱۳۶۰-۱۳۵۹، ۱۳۶۳-۱۳۶۲، ۱۳۷۸-۱۳۷۷ و ۱۳۷۹-۱۳۷۸ مشاهده شده اند.

مقادیر SLAP محاسبه شده، سپس با استفاده از مقیاس آن وقایع ترسالی، خشکسالی و سالهای بهنجار برای ایستگاههای مورد مطالعه تعیین گردیدند. جدول (۶) فراوانی خشکسالی را براساس شاخص SLAP نشان می-دهد. بر این اساس، ۵ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وراینه مربوط به سالهای ۱۳۴۹، ۱۳۶۹، ۱۳۷۵، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۷، ۷ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وسج مربوط به سالهای ۱۳۵۷، ۱۳۵۹، ۱۳۶۲، ۱۳۶۴، ۱۳۷۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ مشاهده شده اند. بر اساس شاخص RAI، وقایع ترسالی، خشکسالی و سالهای بهنجار برای ایستگاههای مورد مطالعه تعیین گردیدند. جدول (۶) فراوانی خشکسالی را براساس شاخص RAI نشان می-دهد. بر این اساس، ۵ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وراینه مربوط به سالهای ۱۳۴۹، ۱۳۶۹، ۱۳۷۵، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۷، ۴ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وسج مربوط به سالهای ۱۳۵۷، ۱۳۵۹، ۱۳۷۵ و ۱۳۷۸ مشاهده شده اند.

نتایج حاصل از کاربرد شاخص PNI در جدول (۷) ارائه شده اند. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص نشان می دهد که در این دوره ی آماری یک مورد خشکسالی شدید در هر ۲ ایستگاه وسج و وراینه در سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ مشاهده شده است، و بیشترین فراوانی در هر دو ایستگاه مربوط به حالت بهنجار می باشد.

فراوانی خشکسالی برای ایستگاه وسج و وراینه با استفاده از شاخص MCZI مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی در جدول (۸) ارائه شده اند. بر این اساس، در

جدول ۶- فراوانی خشکسالی بر اساس شاخصهای RAI و SLAP.

| شاخص | نام ایستگاه | بهنجار | خشکسالی ضعیف | خشکسالی متوسط | خشکسالی شدید | خشکسالی بسیار شدید |
|------|-------------|--------|--------------|---------------|--------------|--------------------|
| SLAP | وراینه | ۳ | ۶ | ۷ | ۲ | ۵ |
| RAI | وراینه | ۴ | ۵ | ۶ | ۳ | ۴ |
| SLAP | وسج | ۵ | ۳ | ۵ | ۵ | ۵ |
| RAI | وسج | ۵ | ۳ | ۶ | ۱ | ۷ |

جدول ۷- فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص PNI

| نام ایستگاه | خشکسالی ناچیز | خشکسالی متوسط | خشکسالی شدید | بهنجار |
|-------------|---------------|---------------|--------------|--------|
| وراینه | ۴ | ۴ | ۱ | ۳۲ |
| وسج | ۳ | ۵ | ۱ | ۳۲ |

جدول ۸- فراوانی خشکسالی را بر اساس شاخص MCZI.

| نام ایستگاه | خشکسالی بسیار شدید | خشکسالی متوسط |
|-------------|--------------------|---------------|
| وراینه | ۱ | ۴۰ |
| وسج | ۱ | ۴۰ |

جدول ۹- فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص ZSI.

| نام ایستگاه | خشکسالی شدید | نزدیک بهنجار | خشکسالی متوسط | مرطوب متوسط | خیلی مرطوب | شدیدا مرطوب |
|-------------|--------------|--------------|---------------|-------------|------------|-------------|
| وراینه | ۲ | ۲۹ | ۵ | ۱ | ۳ | ۱ |
| وسج | ۲ | ۲۷ | ۶ | ۳ | ۲ | ۱ |

جدول ۱۰- فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص SPI.

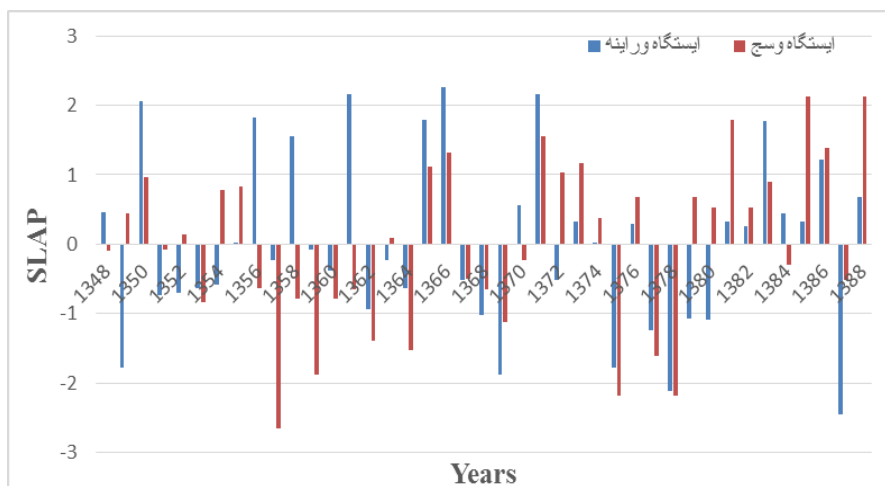
| نام ایستگاه | نزدیک بهنجار | مرطوب متوسط | خیلی مرطوب | شدیدا مرطوب | خشکسالی متوسط | خشکسالی شدید | خشکسالی بسیار شدید |
|-------------|--------------|-------------|------------|-------------|---------------|--------------|--------------------|
| وراینه | ۲۹ | ۲ | ۲ | ۱ | ۵ | ۱ | ۱ |
| وسج | ۲۷ | ۴ | ۱ | ۱ | ۳ | ۴ | ۱ |

جدول ۱۱- فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص DI.

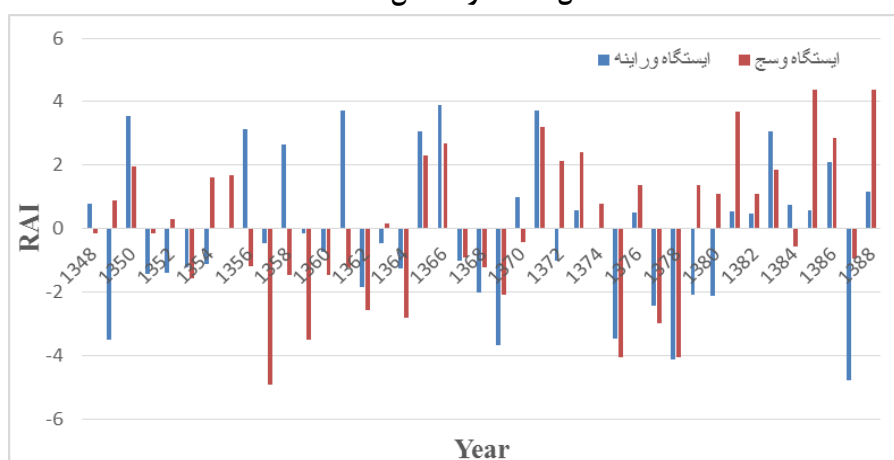
| نام ایستگاه | بهنجار | کمی بالای بهنجار | کمی زیر بهنجار | بالای بهنجار | خیلی بالای بهنجار | خیلی زیر بهنجار | زیر بهنجار | خیلی زیاد | خیلی زیاد بالای بهنجار |
|-------------|--------|------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------|------------|-----------|------------------------|
| وراینه | ۶ | ۶ | ۳ | ۶ | ۲ | ۴ | ۴ | ۵ | ۵ |
| وسج | ۱۱ | ۴ | ۱ | ۴ | ۵ | ۴ | ۴ | ۵ | ۳ |

شدیدترین خشکسالی مربوط به سال ۱۳۵۷ با مقدار SLAP، ۲/۶۴- می‌باشد. همچنین، بر اساس شکل (۳)، شدیدترین خشکسالی در ایستگاه وراینه مربوط به سال ۱۳۸۷ با مقدار RAI، ۴/۷۹- و در ایستگاه وسج با مقدار RAI، ۴/۹۳- می‌باشد.

مقادیر بررسی شده با کاربرد هر یک از شاخصهای خشکسالی در شکل‌های ۲ تا ۹ ارائه شده اند، که می‌توان با توجه به مقادیر بحرانی هر یک از نمودارها سالهایی را که خشکسالی رخ داده است مشخص کرد. با توجه به شکل (۲)، شدیدترین خشکسالی در ایستگاه وراینه مربوط به سال ۱۳۸۷ با مقدار SLAP، ۲/۴۵- و در ایستگاه وسج،



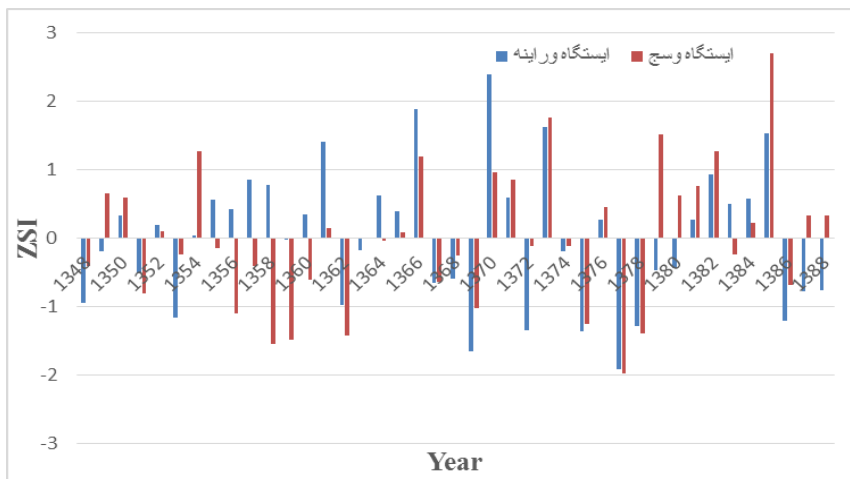
شکل ۲- مقدار شاخص SLAP.



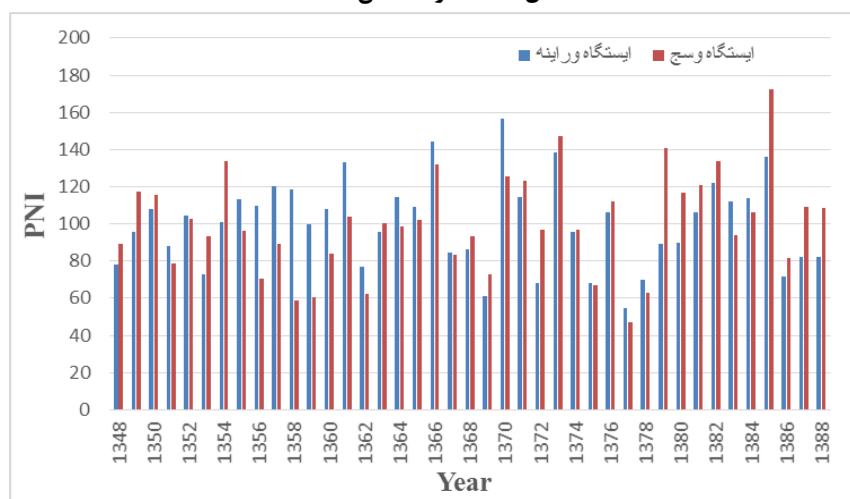
شکل ۳- مقدار شاخص RAI.

۲/۷۲- می‌باشد. بر اساس شکل (۷)، که شاخص DI را نشان می‌دهد، شدیدترین خشکسالی در هر دو ایستگاه با مقدار ۴- مشاهده شده است. براساس شکل (۸)، شدیدترین خشکسالی در سال ۱۳۷۷ در هر دو ایستگاه با مقادیر ۲/۰۴- و ۲/۱۵- به ثبت رسیده است. همچنین، براساس شاخص SPI، که در شکل (۹) ارائه شده است، شدیدترین خشکسالی مربوط به سال ۱۳۷۷ در هر دو ایستگاه وراینه و وسج به ترتیب با مقادیر ۲/۲۵- و ۲/۴۰- رخ داده است.

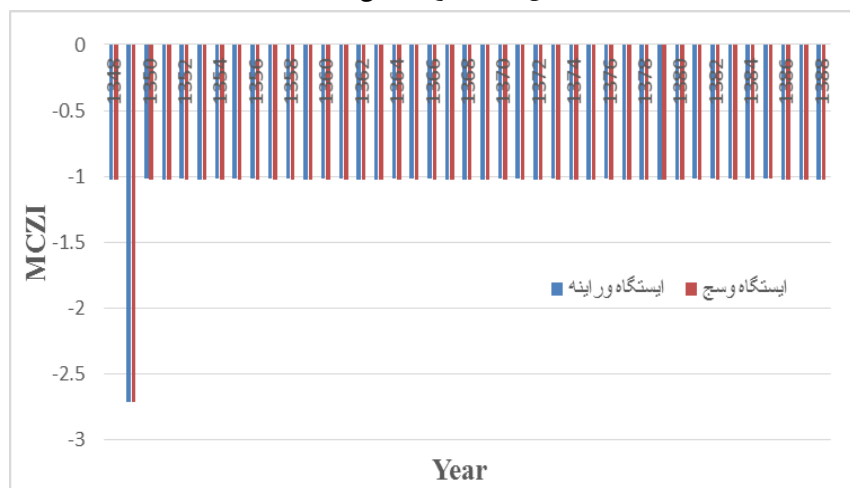
با توجه به شکل (۴)، شدیدترین خشکسالی در ایستگاه وراینه مربوط به سال ۱۳۷۷ با مقدار ZSI، ۱/۹۲- و در ایستگاه وسج شدیدترین خشکسالی مربوط به سال ۱۳۷۷ با مقدار ZSI، ۱/۹۸- می‌باشد. بر اساس شاخص PNI، که در شکل (۵) ارائه شده است، شدیدترین خشکسالی در ایستگاه وراینه مربوط به سال ۱۳۷۷ با مقدار ۵۴/۷۲، و در ایستگاه وسج با مقدار ۴۷/۰۶ می‌باشد. بر اساس شاخص MCZI که در شکل (۶) ارائه شده است، شدیدترین خشکسالی در هر دو ایستگاه در سال ۱۳۴۹ با مقدار،



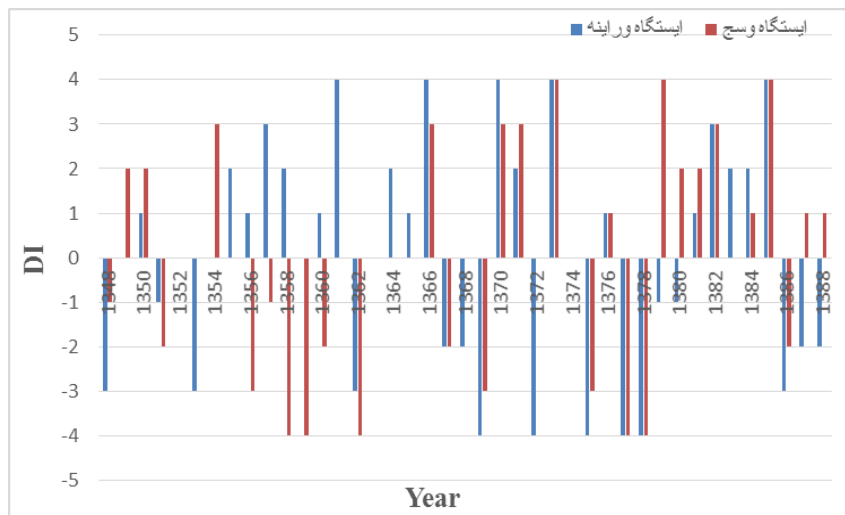
شکل ۴- مقدار شاخص ZSI.



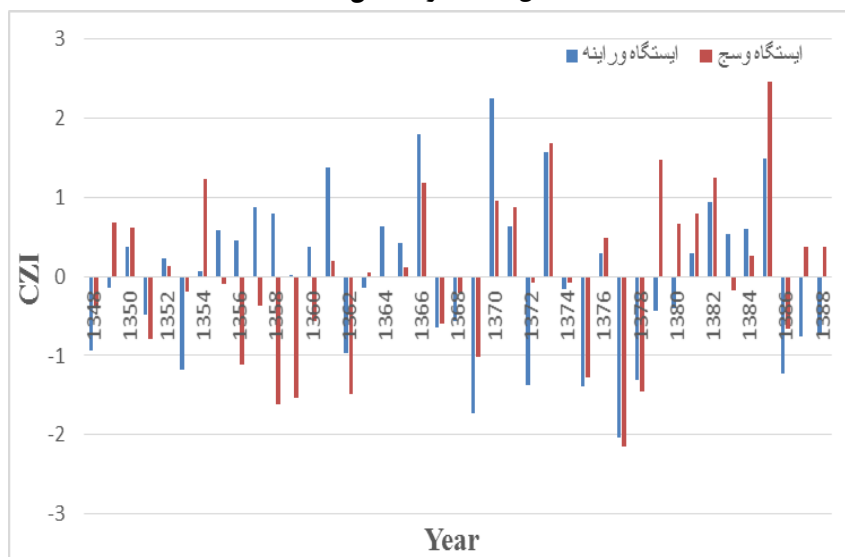
شکل ۵- مقدار شاخص PNI.



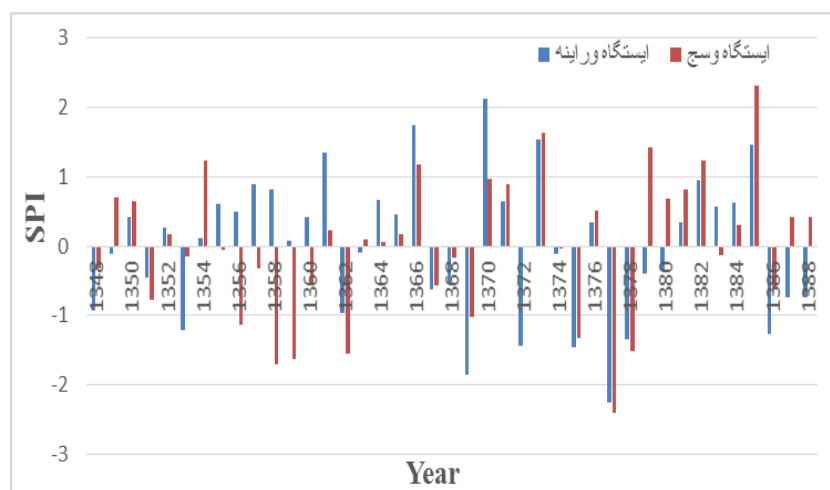
شکل ۶- مقدار شاخص MCZI.



شکل ۷- مقدار شاخص DI.



شکل ۸- مقدار شاخص CZI.

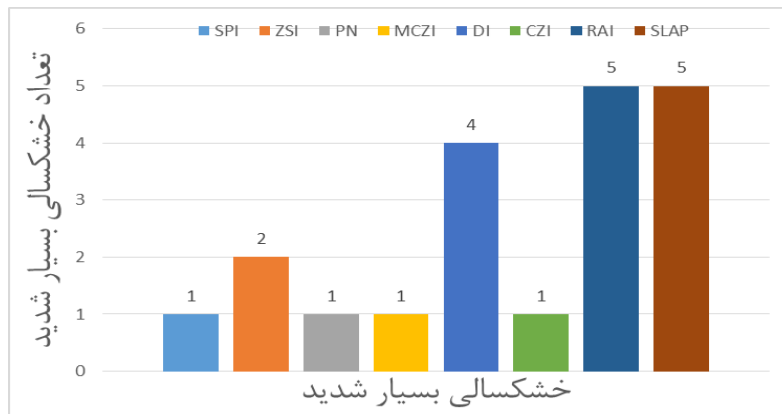


شکل ۹- مقدار شاخص SPI.

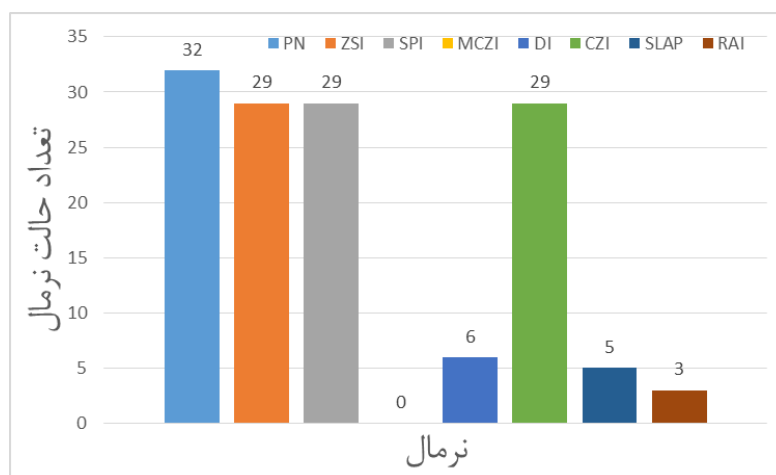
در جدول (۱۲) ارائه شده‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، زوج شاخص‌ها، ضریب همبستگی بسیار بالایی را دارند، به جز شاخص MZSI، که با تمام شاخص‌های دیگر رابطه همبستگی ضعیفی دارد.

در این تحقیق در مقایسه با دیگر تحقیقاتی که در زمینه‌ی پایش خشکسالی انجام شده‌اند، از شاخص‌های بیشتر و کاملتری از جمله RAI، SLAP، Z چینی و Z چینی اصلاح شده استفاده شده است.

در شکل (۱۰)، تعداد حالت‌های بهنجار برای ایستگاه وراینه با کاربرد تمامی شاخص‌ها ارائه گردیده، که با توجه به این شکل بیشترین حالت بهنجار به وسیله‌ی شاخص PN و کمترین به وسیله‌ی MZSI مشخص شده است. با توجه به شکل (۱۱)، که تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید را برای ایستگاه وراینه نشان می‌دهد، بیشترین شمار خشکسالی بسیار شدید به وسیله‌ی شاخص‌های SLAP، RAI و DI مشخص شده است. برای بررسی ارتباط بین زوج شاخص‌های خشکسالی از ضریب همبستگی استفاده گردید. نتایج ضرائب همبستگی آماری برای شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه وراینه، به عنوان نمونه،



شکل ۱۰- وضعیت خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وراینه



شکل ۱۱- وضعیت بهنجار در ایستگاه وراینه

جدول ۱۲- نتایج ضرائب تعیین (R^2) برای سنجشهای خشکسالی هواشناسی در ایستگاه وراینه.

| نمایه | CZI | DI | MZSI | SPI | PNI | ZSI |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CZI | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۹۷ | ۰/۰۰۲ | ۰/۹۶۰ | ۱/۰۰ |
| DI | ۰/۹۵۴ | ۰/۹۵۴ | ۰/۹۶۰ | ۰/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۹۶۰ |
| MZSI | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۱ | ۱/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰۲ |
| SPI | ۰/۹۹۱ | ۰/۹۹۱ | ۱/۰۰ | ۰/۰۰۱ | ۰/۹۶۰ | ۰/۹۹۷ |
| PNI | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۹۵۴ | ۰/۹۹۸ |
| ZSI | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۹۵۴ | ۰/۹۹۸ |

پایان سخن

نتایج نشان دادند که بیشترین وقوع خشکسالی بسیار شدید بر اساس شاخصهای CZI، SPI، PNI، DI و ZSI در هر دو ایستگاه وسج و وراینه در سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ مشاهده شده است. بر اساس شاخص MCZI، یک خشکسالی بسیار شدید در هر دو ایستگاه وسج و وراینه در سال آبی ۱۳۵۰-۱۳۴۹ مشاهده شده است. بر اساس شاخص RAI، ۵ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وراینه مربوط به سالهای ۱۳۴۹، ۱۳۶۹، ۱۳۷۵، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۷ و ۴ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وسج مربوط به سالهای ۱۳۵۷، ۱۳۵۹، ۱۳۷۵ و ۱۳۷۸ مشاهده شده است. بر اساس شاخص SLAP، ۵ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وراینه مربوط به سالهای ۱۳۴۹، ۱۳۶۹، ۱۳۷۵، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۷ و ۷ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وسج مربوط به سالهای ۱۳۵۷، ۱۳۵۹، ۱۳۶۲، ۱۳۶۴، ۱۳۷۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ مشاهده شده اند. بر اساس شاخصهای پرشمار، فراگیرترین سالهای خشکسالی مربوط به سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ بوده است. با داشتن فراسنجهای مربوط به خشکسالی می توان از روشهای مختلف، مانند شبکه‌های عصبی و سامانه‌های فازی استفاده کرده، و خشکسالی سالهای آینده را به کمک همین شاخصهای ارزیابی، که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند، برای شهرستان نهاوند به دست آورد.

منابع

- انصاری، ح.، ک. داوری، س. ح. ثنائی‌نژاد. ۱۳۸۹. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق معیار شده (SEPI). توسعه یافته بر اساس منطق فازی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). (۱) ۲۳: ۵۲-۳۸.
- برنار، عظیمی ف، سعیدی دهکی ن. ۱۳۸۹. مقایسه شاخصهای SLAP، PN و RAI در بررسی خشکسالیهای استان خوزستان با تأکید بر ایستگاههای آبادان و دزفول. فصلنامه جغرافیای طبیعی. (۹) ۳: ۸۸-۷۷.
- گل محمدی، م.، ع. مساح بوانی. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵: ۳۲۶-۳۱۵.
- کارآموز، م.، ش. عراقی نژاد. ۱۳۸۹. هیدرولوژی پیشرفته. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.
- مرید، س.، ش. پایمرد. ۱۳۸۶. مقایسه روشهای آبشناسی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشکسالی (مطالعه موردی: دوره خشکسالی ۱۳۷۸ لغایت ۱۳۸۰ استان تهران). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱: ۳۲۵-۳۳۴.
- مقدسی، م.، س. مرید، ه. قائمی. ج. محمد ولی سامانی. ۱۳۸۴. پایش روزانه خشکسالی در استان تهران. مجله علوم کشاورزی ایران. (۱) ۳۶: ۶۲-۵۱.

11. Morid, S. V, Smakhtin. K. Bagherzadeh. 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices, *Inte. J Climat.* 27: 2103–2111.
12. Shahabfar, A, A, Ghulam. and J. Eitzinger, 2012. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *Int J Appl. Earth Obser and Geoinform.* 18: 119-127.
13. Tao, J. Z, Zhongfa, C. Shui. 2011. Drought monitoring and analysing on typical karst ecological fragile area based on GIS. *Procedia Environ. Sci.* 10(C): 2091-2096.
14. Bordi, I, and A. Sutera. 2004. Drought variability and its climatic implications. *Global and Planetary Change.* 40 :115-127.
15. Mackee, T.B, N.J, Doesken, and j. Kleist, 1993. The Relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conf. *Appl Climat. Am. Meteor. Soci.* 179-184.
۷. وفاخواه، م، م. بشری سه قلعه. ۱۳۹۱. بررسی احتمال خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از زنجیره مارکوف در حوضه آبخیز کشف رود. نشریه پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). ۹۴: ۱-۹.
8. Jayanthi H, GJ. Husak C, Funk, T, Magadzire, A, Chavula, and JP. Verdin 2013. Modeling rain-fed maize vulnerability to droughts using the standardized preci-pitation index from satellite estimated rainfall Southern Malawi casestudy. *Int. J Disaster Risk Reduc.* 4: 71-78.
9. Jun, LY. ZX, Dong, LU, Fan, and MA. Jing. 2012. Analysis of drought evolvment charac-teristics based on standardized Preci-pitation index in the Huaihe River Basin. *Procedia Eng.* 28: 434 – 437.
10. Mao, K.B, Y, Ma, L, Xia, HJ, Tang, and LJ. Han, 2012. The Monitoring analysis for the drought in China by Using an improved MPI method. *J Int Agric.* 11: 1048-1058.

