بررسی اثر اقلیم، رژیم بارش و طول دوره آماری بر شاخص خشکسالی بالم و مولی در ایران

سپیده پورحسین و سعید سلطانی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۷)

چکیده

یکی از شاخص‌های رایج جهت بررسی خشکسالی، شاخص بالم و مولی است. با توجه به اینکه شاخص‌های خشکسالی می‌توانند حساسیت‌های متفاوتی نسبت به شرایط منطقه و طول دوره آماری داشته باشند، به این منظور جهت بررسی قابلیت‌های این شاخص در ایران، ۶۲ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی در مناطق همگن اقلیمی انتخاب و اثر اقلیم، رژیم بارش و طول دوره آماری بر شاخص خشکسالی بالم و مولی، بررسی شد. نتایج نشان داد این شاخص، بهترین نتیجه را در اقلیم‌های مرطوب داشته است، همچنین این شاخص در رژیم‌های بارش شبه‌مدیترانه‌ای در تمامی مقیاس‌های زمانی، نتیجه مناسبی داشت اما در رژیم‌های بارش مدیترانه‌ای، بهترین نتیجه را در دوره‌های ارزیابی منطبق بر بارش نشان داد. از نظر بررسی طول دوره آماری نیز، مناسب‌ترین و بهترین نتیجه از دوره ۳۱ ساله ابتدای دوره مشترک به‌دست آمد که بیشترین تطابق را با نتایج دوره آماری مشترک ۳۶ ساله داشته است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص خشکسالی بالم و مولی، ایران، اقلیم، رژیم بارش و طول دوره

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی:ssoltani@cc.iut.ac.ir

مقدمه

خشکسالی به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی شناخته شده که توجه زیادی را از طرف هیدرولوژیست‌ها، هواشناسان، زمین‌شناسان و کشاورزان به خود جلب کرده است. خشکسالی در تمام اقلیم‌ها اتفاق افتاده و در اقلیم‌هایی با بارندگی زیاد همانند مناطقی با بارندگی کم نیز دیده شده و زمانی‌که میزان بارندگی در فصل و زمان خاصی کاهش یابد، این پدیده بیشتر نمود پیدا می‌کند. درجه حرارت زیاد، توفان‌های شدید، رطوبت نسبی پایین، مدت زمان بارندگی و سایر فاکتورهای بارندگی همانند توزیع بارندگی در طول دوره رشد گیاه، شدت و مدت بارندگی، آغاز و پایان بارش از جمله عوامل مهمی هستند که در ایجاد خشکسالی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (۱۸). ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره‌ی زمین همواره با مشکل کم‌آبی مواجه است، به‌ویژه آنکه رشد فزایندهٔ جمعیت و نیاز به محصولات کشاورزی و دامی و محدودیت منابع آب و خاک به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی، مسئله کم‌آبی را به‌گونه‌ای بسیار جدی فرا روی کشور قرار داده است (۲ و ۱۱). تاکنون خشکسالی به اندازه سایر بلایای طبیعی مورد توجه قرار نگرفته است چون بیشتر بلایای طبیعی طی دوره‌ای کوتاه، خسارات سنگین مالی وجانی به جامعه وارد کرده اما خسارات سنگین ناشی از خشکسالی به‌صورت تدریجی و در مدتی طولانی بروز می‌کند (۸ و ۱۲). خشکسالی یکی از پدیده‌های خزنده محیطی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر نمود داشته و به‌ندرت ممکن است در ایران بحثی پیرامون شرایط حاکم بر اوضاع اکولوژیک و محیط طبیعی مطرح شود ولی حرفی از خشکسالی به میان نیاید (۳). در رابطه با اثر عوامل مختلف مانند اقلیم، رژیم بارش و ... بر شاخص‌های خشکسالی مطالعات مختلفی انجام شده است. بالم ومولی (۱۴) به‌منظور بررسی خشکسالی و سیلاب‌های بزرگ مقیاس طی فصل مونسون هند، شاخص جدیدی را معرفی کردند. در این مطالعه پس از محاسبه شاخص مونسون طی دوره آماری ۱۹۷۵-۱۸۹۱ و متوسط‌گیری آن برای ایستگاه‌های تحت مطالعه، دو شاخص دیگر تحت عنوان شاخص سطح خشکسالی و شاخص سطح سیل معرفی شده است. شاخص سطح خشکسالی، درصدی از مساحت کشور هند است که میانگین شاخص مونسون کمتر یا مساوی ۲- است. شاخص سطح سیل نیز درصدی از مساحت هند است که تحت تأثیر میانگین شاخص مونسون بیشتر یا مساوی ۲+ بوده و همچنین سالی که مقدار شاخص سطح خشکسالی از سیل بزرگ‌تر از ۲۵ درصد است، سال خشکسالی/ سیل بزرگ مقیاس معرفی شد.

اولادیپو (۲۰) تحلیل مقایسه‌ای را بین سه شاخص خشکسالی بالم و مولی، شاخص ناهنجاری بارش و شاخص خشکسالی پالمر برای ۴۰۷ ایستگاه در منطقه گریت پلنیز شمالی انجام داد و درنهایت به این نتیجه رسید که از بین سه شاخص فوق، شاخص خشکسالی بالم و مولی به سه دلیل سادگی و دخالت فاکتورهای اندک، قابلیت سازگاری با هر شرایط اقلیمی و کمی فاکتورهای مورد استفاده، بهتر ومناسب‌تر است. این شاخص توانایی ارزیابی خشکسالی‌ها از نظر بزرگی و مقدار را داشته و برای پیش‌بینی خشکسالی منطقه‌ای بهتر است. لارید و همکاران (۱۷) به‌منظور بررسی خشکسالی‌های اتفاق افتاده در منطقه شرق داکوتا از فسیل‌های موجود در رودخانه مون لیک استفاده کردند و نتایج آن را با نتایج بررسی خشکسالی حاصل از شاخص بالم و مولی مقایسه کردند. فیلیپس و همکاران (۲۳) به بررسی و ارزیابی شاخص‌های خشکسالی و پهنه‌بندی آن در جنوب غربی انگلستان پرداختند و نتیجه گرفتند که هرچه طول دوره آماری بیشتر است، پیش‌بینی‌ها به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. بوگاردی و همکاران (۱۵) به‌منظور بررسی خشکسالی‌های منطقه شرق ایالت نبراسکا از یک مدل هیدروکلیماتولوژی و شاخص بالم و مولی استفاده کردند و نتایج آنها نشان داد که مقادیر شاخص شدیداً به طبقات بارندگی و ماهانه و الگوی گردش جوی وابسته است. نتال و گان (۱۹) شاخص‌های خشکسالی بارش استانداردشده (SPI)، بالم و مولی (BMDI) و پالمر (PDSI) را در شرق آفریقا مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که

شاخص SPI در این منطقه نتایج بهتری دارد. وو و همکاران (۲۴ و ۲۵)، نتیجه گرفتند که برای مناطق خشک مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت شاخص بارش استاندارد شده بهتر عمل می‌کند چون در این اقلیم‌ها، طول دوره خشکسالی بیش از شدت آن اهمیت دارد. آرمو و اولاتندو (۱۳)، شدت‌های خشکسالی نیجریه را در یک دوره ۷۰ ساله با استفاده از شاخص بالم و مولی مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که شدت‌های کمتر، فراوانی بیشتری داشته و خشکسالی‌های شدیدتر به مناطق ساحلی محدود می‌شود. اولاتندو و آرمو (۲۱ و ۲۲)، دوره بازگشت خشکسالی در شدت‌های مختلف ناحیه ساحلی نیجریه را با استفاده از شاخص بالم و مولی مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که دوره بازگشت شدت‌های مختلف رو به کاهش است و شدت‌های کمتر با فراوانی بیشتری در حال وقوع هستند. بذرافشان (۴) طی مطالعه تطبیقی برخی از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران طی سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۶۱ به این نتیجه رسید که آستانه‌های شاخص خشکسالی بالم ومولی به‌شدت به طول دوره آماری وابسته است. چنانچه طول دوره تغییر کند، معادله خط برازش‌یافته بر کمترین مقادیر شاخص رطوبتی تغییر کرده و ضرایب شاخص خشکسالی بالم ومولی نیز تغییر می‌کند. خوش‌اخلاق و همکاران (۷)، به تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک خوی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استمرار و توالی خشکسالی و نیز وقوع خشکسالی‌های شدید در دوره ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۱ در این ایستگاه وجود داشته و همچنین احتمال وقوع خشکسالی در فصل بهار کمتر از پاییز است. شایق و سلطانی (۹) طی مطالعه‌ای تحت‌عنوان تحلیل گستره خشکسالی در استان یزد با استفاده از پنج شاخص خشکسالی مهم (DPI, RAI, BMDI, SPI و PNPI) و همچنین با استفاده از تحلیل‌های آماری به این نتیجه رسیدند که شاخص خشکسالی بالم و مولی در طی دوره‌های ارزیابی ۷ و ۹ ماهه که محدود به دوران بارش است، قابلیت خوبی در مقایسه سال‌های آماری از نظر شدت خشکسالی در یک ماه معین دارد. در تمامی این مطالعات به سادگی شاخص، سهولت در استفاده و حداقل بودن فاکتورهای مورد استفاده و قابلیت استفاده در تمامی اقلیم‌ها، تأکید شده است. بنابراین مطالعه خشکسالی در بخش کشاورزی و منابع طبیعی به‌طور چشمگیری انجام شده و ادامه دارد اما در مورد ویژگی‌های خشکسالی در بخش‌های مختلف و اثر عوامل مختلف بر شاخص‌های خشکسالی تحقیق کمی صورت گرفته است. لذا در این تحقیق شاخص مورد استفاده در بررسی خشکسالی، ویژگی‌ها و تأثیرات عوامل اقلیمی بر شاخص مورد مطالعه قرار می‌گیرد که اهداف در هنگام انجام این مطالعه به‌صورت زیر است:

شاخص خشکسالی بالم و مولی علاوه‌بر رژیم‌های مونسونی، قابلیت استفاده در سایر اقلیم‌ها را نیز دارد (بررسی اثر رژیم بارش بر شاخص خشکسالی بالم و مولی)

هرچه طول دوره ارزیابی این شاخص بر دوره وقوع بارش در یک سال منطبق‌تر باشد، شاخص بهتر و مؤثرتر عمل می‌کند.

انتخاب طول دوره‌ی ارزیابی در اقلیم‌های مختلف، متفاوت بوده و بر مبنای رژیم بارش منطقه است.

طول دورهٔ آماری بر دقت شاخص تأثیرگذار است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با مساحتی بالغ بر ۱۶۴ میلیون هکتار بین عرض ۴۰-۲۵ درجه شمالی و طول ۶۳-۴۴ درجه شرقی قرار گرفته است. از نظر ژئومرفولوژی بخش اعظم ایران را فلاتی فراگرفته که از آناتولی تا پامیر گسترش دارد که محصور شدن این فلات درحصارهای کوهستانی نسبتاً مرتفع و قرار گرفتن آن در محدودهٔ کمربند بیابانی دنیا، سبب شده که پدیده خشکی به‌عنوان ویژگی بارز بیش از دو سوم مساحت ایران به‌شمار آید و حدود ۶۷ درصد مساحت ایران را اقلیم خشک و فراخشک تشکیل می‌دهد (۱). معیارهای انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه به شرح زیر است:

با توجه به آسیب‌پذیری بخش‌های مختلف کشور از پدیده خشکسالی، پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در سراسر کشور مدنظر قرار گرفت و سعی شد ایستگاه‌ها پراکنش مناسبی در اقلیم‌های مختلف داشته باشند.

به‌دلیل حساسیت بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به پدیده خشکسالی، سعی شد تعداد بیشتری از ایستگاه‌های از مناطق خشک و نیمه‌خشک انتخاب شود.

ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی با طول دوره آماری منتهی به سال ۲۰۱۱ برای بررسی و مقایسه شاخص‌ها با یکدیگر انتخاب شد. مشخصات ایستگاه‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

شاخص خشکسالی بالم و مولی

این شاخص برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط بالم و مولی برای رژیم‌های مونسونی در هندوستان استفاده شد. شاخص مذکور بیشترین همبستگی را با دوره‌های ترسالی از خود نشان می‌دهد (۱۴). مقیاس زمانی محاسبه این شاخص ماهانه و سالانه است که در این تحقیق هر دو مقیاس ماهانه و سالانه مدنظر قرار گرفت (۱۶). شیوه محاسبه شاخص خشکسالی بالم و مولی شبیه به شاخص شدت خشکسالی پالمر بوده و شاخص به‌صورت بازگشتی عمل می‌کند، یعنی در محاسبه خشکسالی یک ماه معین، ضریبی از شدت خشکسالی ماه قبل نیز دخالت داده می‌شود (۲۰). مراحل محاسبه این شاخص به شرح زیر است:

مرحله ۱- محاسبه میانگین درازمدت داده‌های بارش ($\bar{X}$)، انحراف از معیار داده‌های بارش (δ) و براورد شاخص رطوبت ماهانه (MI)

$$MI = (X - \overline{X} / \sigma) \times ۱۰۰ \qquad [۱]$$

مرحله ۲- تعیین کمترین مقدار MI در دوره مورد بررسی و محاسبه مقادیر تجمعی و برازش خط رگرسیونی بر مقادیر شاخص رطوبت تجمعی ماهانه با استفاده از اصل کمترین مربعات که معادله کلی آن به‌صورت رابطه(۲) است:

$$\sum_{i=۱}^{K} MI_k = a + bk \qquad [۲]$$

در این رابطه MIK: شاخص رطوبتی تجمعی در ماه؛ k ، K: شماره ماه و a و b: ضرایب ثابت معادله است.

مرحله ۳- استخراج معادلات خطوط برازش‌یافته بر چهار طبقه خشکسالی به‌طوری‌که مقادیر شدت خشکسالی واگذار شده به این خطوط را بتوان تعیین کرد. معادله کلی خطوط به‌صورت رابطه(۳) است:

$$I_K = \sum_{t=۱}^{k} \frac{MI_t}{[۰/۲۵(|a|+|b|k)]} \qquad [۳]$$

در این رابطه I_K شدت خشکسالی ماه Kام است. با استفاده از رابطه (۳) سهم شاخص رطوبتی MI در شدت خشکسالی را برای هر ماه می‌توان با قرار دادن K=۱ در آن تعیین کرد. بنابراین:

$$I_۱ = \sum_{۱}^{۱} \frac{MI_۱}{[۰/۲۵(|a|+|b|)]} \qquad [۴]$$

مرحله ۴- در ماه‌های متوالی به یک مقدار منفی از شاخص رطوبتی نیاز است تا دوره خشک با شدت خشکسالی معین حفظ شود. میزانی که شاخص رطوبتی باید افزایش یابد تا مقدار I ثابت بماند، به‌مقدار I حفظ شده، بستگی دارد. بنابراین برای همه ماه‌هایی که در پی ماه خشک اولیه قرار می‌گیرند، لحاظ کردن یک عبارت اضافی در معادله (۳) ضروری بوده تا این معادله به‌صورت رابطه(۵) بیان شود:

$$\Delta I_K = (MI_K / d) + CI_K - ۱ \qquad [۵]$$

در این رابطه d و c: ضرایب ثابت معادله هستند $d=۰/۲۵|a+b|$ $c=۰/۲۵(b/d)$

مرحله ۵- نهایتاً فرم کلی شاخص خشکسالی بالم و مولی برای هر ماه و برای کل دوره بهصورت روابط ۶ و ۷ نوشته می‌شود:

$$I_K = (\frac{M_K}{d}) + (۱ + C) I_{K-۱} \qquad [۶]$$

$$BMDI = \sum_{i=۱}^{K} I_K \Big/ K \qquad [۷]$$

طبقات شاخص خشکسالی بالم و مولی در جدول (۲) ارائه شده است.

در تحقیق حاضر، دوره‌های ارزیابی براساس میانگین بارش‌های اتفاق افتاده در منطقه تعیین شد. دوره‌های ارزیابی مورد استفاده شامل دوره‌های ۵ ماهه (دی تا اردیبهشت)،

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	اقلیم دومارتن اصلاح شده		ارتفاع از سطح دریا (m)	نرمال بارش سالیانه (mm)
					نماد اقلیمی	اشکوب اقلیمی		
۱	آبادان	سینوپتیک	۳۰° ۲۲′	۴۸°۱۵′	$A_{11}m_4$	خشک بیابانی گرم	۶/۶	۱۵۶
۲	اهواز	کلیماتولوژی	۳۱° ۲۲′	۴۸°۵۳′	$A_{11}m_4$	خشک بیابانی گرم	۵۰	۲۷۷/۳
۳	اراک	سینوپتیک	۳۴° ۶′	۴۹°۴۶′	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۷۰۸	۳۳۹/۶
۴	اردبیل	کلیماتولوژی	۳۸° ۱۵′	۴۸°۱۷′	A_3m_2	مدیترانه‌ای معتدل	۱۳۵۰	۳۴۹/۸
۵	آستارا	کلیماتولوژی	۳۸°۲۶′	۴۸°۵۲′	A_6m_3	خیلی مرطوب	۲۵	۱۳۰۸/۲
۶	بابلسر	سینوپتیک	۳۶° ۴۳′	۵۲°۳۹′	A_5m_3	مرطوب معتدل	-۲۱	۸۹۴/۴
۷	بم	سینوپتیک	۲۹° ۶′	۵۸°۲۱′	$A_{11}m_3$	خشک بیابانی معتدل	۱۰۶۶/۹	۶۱/۹
۸	بندرعباس	سینوپتیک	۲۷° ۱۳′	۵۶°۲۲′	$A_{11}m_4$	خشک بیابانی گرم	۹/۸	۱۸۵/۵
۹	بندرانزلی	سینوپتیک	۳۷° ۲۸′	۴۹°۲۸′	A_7m_3	خیلی مرطوب	-۲۶/۲	۱۸۴۲/۱
۱۰	بهبهان	کلیماتولوژی	۳۶° ۳۰′	۵۰°۱۴′	$A_{11}m_4$	خشک بیابانی گرم	۵۰۰	۳۴۲
۱۱	بیرجند	سینوپتیک	۳۲° ۵۲′	۵۹°۱۲′	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی سرد	۱۴۹۱	۱۷۱/۴
۱۲	برازجان	کلیماتولوژی	۲۹° ۲۰′	۵۱°۱۷′	$A_{11}m_4$	خشک بیابانی گرم	۱۱۰	۲۵۴/۸
۱۳	بوشهر	سینوپتیک	۲۸°۵۹′	۵۰°۵۰′	$A_{12}m_4$	فراخشک بیابانی گرم	۱۹/۶	۲۷۹/۲
۱۴	چابهار	سینوپتیک	۲۵° ۱۷′	۶۰° ۳۷′	$A_{11}m_4$	خشک بیابانی گرم	۸	۱۳۶/۸
۱۵	دامغان	کلیماتولوژی	۳۶° ۱۳′	۵۴° ۱۹′	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی سرد	۱۱۷۰	۱۱۳/۹
۱۶	دزفول	سینوپتیک	۳۲° ۲۴′	۴۸° ۲۳′	$A_{11}m_4$	خشک بیابانی گرم	۱۴۳	۴۰۶/۱
۱۷	ژئوفیزیک	کلیماتولوژی	۳۵° ۴۴′	۵۱° ۲۳′	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی سرد	۱۳۶۰	۲۷۸/۸
۱۸	قائمشهر	کلیماتولوژی	۳۶° ۲۹′	۵۲° ۵۳′	A_4m_3	نیمه‌مرطوب معتدل	۵۰	۴۹۸/۶
۱۹	قزوین	سینوپتیک	۳۶° ۱۵′	۵۰° ۳′	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۲۹۷/۲	۳۰۶
۲۰	قم	کلیماتولوژی	۳۴° ۳۸′	۵۰° ۵۳′	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی سرد	۹۲۸	۱۵۴/۳
۲۱	قوچان	کلیماتولوژی	۳۷° ۱۰′	۵۸° ۳۰′	A_2m_2	مدیترانه‌ای معتدل	۱۳۲۰	۲۹۲/۲
۲۲	گنبد	کلیماتولوژی	۳۷°۱۵′	۵۵° ۱۰′	A_2m_3	نیمه‌خشک معتدل	۱۵۰	۷۶۱/۲
۲۳	گرگان	سینوپتیک	۳۶° ۵۱′	۵۴° ۱۶′	A_3m_3	مدیترانه‌ای معتدل	۱۳/۳	۶۰۲/۶
۲۴	همدان	سینوپتیک	۳۵° ۱۲′	۴۸° ۴۳′	A_2m_1	نیمه‌خشک فراسرد	۱۶۷۹/۷	۳۳۴/۷
۲۵	ایلام	کلیماتولوژی	۳۳° ۳۸′	۴۶° ۲۶′	A_3m_2	مدیترانه‌ای سرد	۱۳۱۹	۶۸۵/۵
۲۶	اصفهان	سینوپتیک	۳۲° ۳۷′	۵۱° ۴۰′	$A_{14}m_2$	فراخشک سرد	۱۵۵۰/۴	۱۲۳/۵
۲۷	جلفا	کلیماتولوژی	۳۸° ۵۶′	۴۵° ۳۸′	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی سرد	۷۰۴	۲۳۶/۸
۲۸	کاشمر	کلیماتولوژی	۳۵° ۱۲′	۵۸° ۲۸′	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی سرد	۱۰۶۰	۲۳۳/۵
۲۹	کرمان	سینوپتیک	۳۰°۱۵′	۵۶° ۵۸′	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی سرد	۱۷۵۳/۸	۱۵۳/۵
۳۰	کرمانشاه	سینوپتیک	۳۴°۲۱′	۴۷° ۹′	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۳۱۸/۶	۴۵۲
۳۱	خرم‌آباد	سینوپتیک	۳۳°۲۶′	۴۸° ۱۷′	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۱۴۷/۸	۵۰۹/۱
۳۲	تنکابن	کلیماتولوژی	۳۶°۴۶′	۵۰° ۵۴′	A_6m_3	خیلی مرطوب	۵۰	۱۲۷۸/۱
۳۳	خوی	سینوپتیک	۳۸°۳۳′	۴۴° ۵۸′	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۱۰۳	۲۹۳/۱

ادامه جدول ۱.

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	اقلیم دومارتن اصلاح شده		ارتفاع از سطح دریا (m)	نرمال بارش سالیانه (mm)
					نماد اقلیمی	اشکوب اقلیمی		
۳۴	لاهیجان	کلیماتولوژی	۳۷°۱۱ '	۵۰° ۰ '	A_7m_3	خیلی مرطوب	-۲	۱۴۳۶/۱
۳۵	مشهد	سینوپتیک	۳۶°۱۶ '	۵۹° ۳۸ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۹۹۹/۲	۲۵۵/۲
۳۶	مشیران	کلیماتولوژی	۳۸°۴۲ '	۴۷° ۳۱ '	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی	۶۵۳	۲۱۹/۱
۳۷	پارس‌آباد	کلیماتولوژی	۳۹°۳۹ '	۴۸° ۱ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۴۴	۳۰۳/۱
۳۸	ارومیه	سینوپتیک	۳۷°۳۲ '	۴۷°۵ '	A_3m_1	مدیترانه‌ای فراسرد	۱۳۱۵/۹	۳۱۱/۸
۳۹	پل زمان خان	کلیماتولوژی	۳۲°۲۹ '	۵۰° ۵۴ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۸۱۰	۳۲۹/۲
۴۰	رفسنجان	کلیماتولوژی	۳۵°۲۴ '	۵۶° ۱ '	$A_{11}m_2$	خشک بیابانی سرد	۱۴۶۹	۹۷/۴
۴۱	رامسر	سینوپتیک	۳۶°۵۴ '	۵۰° ۴۰'	A_6m_3	خیلی مرطوب	-۲۰	۱۱۲۶/۸
۴۲	رشت	سینوپتیک	۳۷°۱۵ '	۴۹° ۳۶'	A_6m_3	خیلی مرطوب	-۶/۹	۱۳۶۰/۲
۴۳	سقز	سینوپتیک	۳۶°۱۵ '	۴۶° ۱۶'	A_3m_1	مدیترانه‌ای فراسرد	۱۵۲۲/۸	۵۵۰/۷
۴۴	سنندج	سینوپتیک	۳۵°۲۰ '	۴۷ ۰ '	A_3m_2	مدیترانه‌ای سرد	۱۳۷۳/۴	۴۵۷/۱
۴۵	سرخس	کلیماتولوژی	۳۶°۳۲ '	۶۱° ۱۰'	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی	۲۲۵	۱۹۱/۷
۴۶	ساوه	کلیماتولوژی	۳۵°۱ '	۵۰°۲۱ '	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی	۱۱۶۷	۲۰۲/۱
۴۷	سمنان	سینوپتیک	۳۵°۳۵ '	۵۳° ۳۳ '	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی	۱۱۳۰/۸	۱۴۰/۸
۴۸	شبانکاره	کلیماتولوژی	۲۹°۲۰ '	۵۱° ۶ '	$A_{11}m_4$	خشک بیابانی گرم	۱۲۰	۲۶۰/۱
۴۹	شهرکرد	سینوپتیک	۳۲°۱۷ '	۵۰°۵۰ '	A_3m_2	مدیترانه‌ای سرد	۲۰۴۸/۹	۵۹۶/۲
۵۰	شاهرود	کلیماتولوژی	۳۶°۲۵ '	۵۴° ۵۷ '	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی	۱۳۴۵/۳	۱۵۴/۳
۵۱	شیراز	سینوپتیک	۲۹°۳۲ '	۵۲° ۳۶ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۴۸۴	۳۴۶/۳
۵۲	شوشتر	کلیماتولوژی	۳۲°۳ '	۴۸° ۵۰'	$A_{11}m_4$	خشک بیابانی گرم	۱۵۰	۳۴۵/۲
۵۳	طبس	سینوپتیک	۳۳°۳۶ '	۵۶° ۵۵ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۷۱۱	۹۲/۲
۵۴	تبریز	سینوپتیک	۳۸° ۵ '	۴۶° ۱۷ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۳۶۱	۲۸۸/۹
۵۵	تفرش	کلیماتولوژی	۳۴ ۴۱ '	۵۰° ۲ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۹۳۰	۳۰۷/۷
۵۶	تاکستان	کلیماتولوژی	۳۶° ۳ '	۴۹°۳۹ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۳۲۵	۲۴۹/۵
۵۷	مهرآباد	سینوپتیک	۳۵° ۴۱'	۵۱°۱۹ '	$A_{12}m_2$	فراخشک بیابانی	۱۱۹۰/۸	۲۳۰/۵
۵۸	تربت حیدریه	سینوپتیک	۳۵° ۱۶'	۵۹°۱۳ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۴۵۰/۸	۲۷۴/۲
۵۹	یزد	سینوپتیک	۳۱° ۵۴'	۵۴°۱۷ '	$A_{14}m_2$	فراخشک سرد	۱۲۳۷/۲	۶۲/۳
۶۰	زابل	سینوپتیک	۳۱° ۲'	۶۱°۲۹ '	$A_{11}m_3$	خشک بیابانی معتدل	۴۸۹/۲	۶۱/۳
۶۱	زنجان	سینوپتیک	۳۶° ۴۱ '	۴۸°۲۹ '	A_2m_2	نیمه‌خشک سرد	۱۶۶۳	۵۸۸/۲
۶۲	زاهدان	سینوپتیک	۲۹° ۲۸'	۶۰°۵۳ '	$A_{11}m_3$	خشک بیابانی معتدل	۱۳۷۰	۹۰/۵

جدول ۲. طبقات شاخص خشکسالی بالم و مولی

توصیف وضعیت	طبقات شاخص
نزدیک نرمال	۰/۹۹+ تا ۰/۹۹-
خشکسالی ضعیف	۱/۹۹- تا ۱-
خشکسالی متوسط	۲/۹۹- تا ۲-
خشکسالی شدید	۳- تا ۳/۹۹-
خشکسالی بسیار شدید	۴-<

۷ ماهه (آذر تا خرداد)، ۹ ماهه (آبان تا تیر) و ۱۲ ماهه (فروردین تا اسفند) است که براساس رژیم بارش انتخاب شد. بررسی اثر عوامل مختلف برروی شاخص‌های تحقیق حاضر در ادامه آورده شده است.

بررسی اثر اقلیم

برای بررسی اثر اقلیم بر شاخص خشکسالی بالم و مولی، ابتدا ایستگاه‌ها براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن اصلاح شده انتخاب شد تا ایستگاه‌هایی از تمامی پهنه‌های اقلیمی وجود داشته باشد (۶ و ۱۰). سپس محاسبات مربوط به شاخص خشکسالی بالم و مولی برای دوره‌های ارزیابی ۵، ۷، ۹ و ۱۲ ماهه انجام شده و منحنی تجمعی حداقل رطوبت ماهانه برای تمامی ایستگاه‌ها رسم شد.

بررسی اثر رژیم بارش

برای بررسی این اثر ابتدا باید تعریفی از رژیم بارش داشته باشیم. به تغییرات بارش نسبت به زمان رژیم بارش (نظام بارشی) گفته می‌شود. برای بررسی اثر رژیم بارش، تعداد ماه‌های خشک در هر ایستگاه براساس میانگین بارندگی و بارش مؤثر تعیین و براساس تقسیم‌بندی فوق، رژیم‌های بارشی موجود در ایران از نوع شبه‌مدیترانه‌ای (اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب) و مدیترانه‌ای (اقلیم خشک و نیمه‌خشک) تشخیص داده شدند. بنابراین شاخص خشکسالی بالم ومولی در این تحقیق برای رژیم‌های مدیترانه‌ای و شبه‌مدیترانه‌ای مورد استفاده قرار گرفته و محاسبات شاخص در دوره‌های ارزیابی برای تمامی ایستگاه‌ها انجام شد. این دوره‌ها شامل دوره‌های ۵ ماهه (دی تا اردیبهشت)، ۷ ماهه (آذر تا خرداد)، ۹ ماهه (آبان تا تیر) و ۱۲ ماهه (فروردین تا اسفند) است.

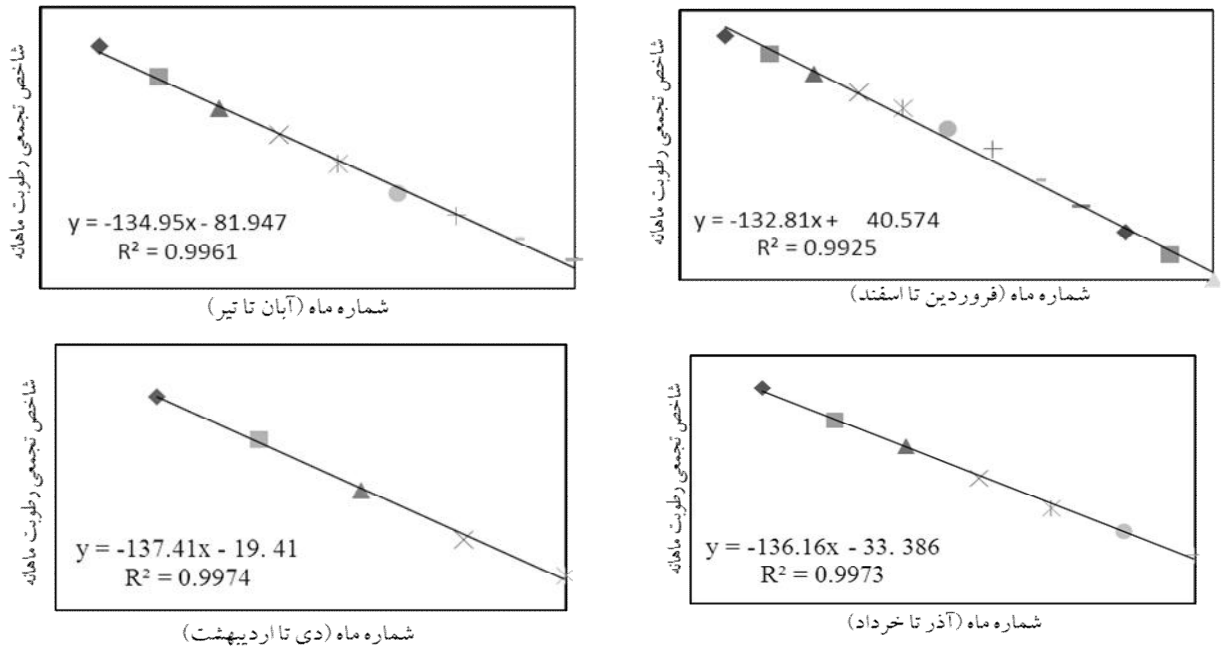
بررسی اثر طول دوره

برای بررسی اثر طول دوره، ابتدا پایه زمانی مشترک براساس نمودار میله‌ای دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۴۵ به‌دست آمد و سپس تأثیر یا عدم تأثیر طول دوره بر مقدار شاخص مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور مقیاس‌های زمانی متفاوت مورد مطالعه شامل دوره‌های ۱۶، ۲۶ و ۳۱ سال ابتدا و انتهای دوره و ۴۶ سال مشترک منتهی به اسفند (دوره ارزیابی ۱۲ ماهه) انتخاب و برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه شد. انتخاب دوره‌های آماری به‌صورت تصادفی بود تا تأثیر طول دوره مورد، ارزیابی شود.

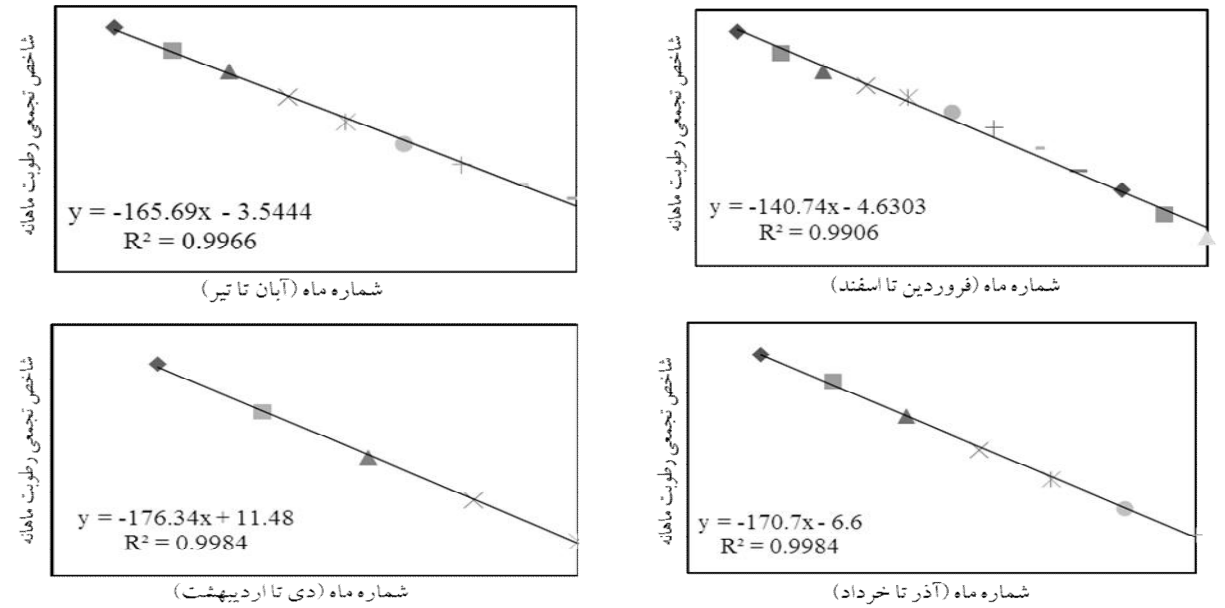
نتایج

اثر اقلیم

براساس نمودارهای رسم شده در شکل‌های (۴-۱)، هرچه میزان پراکندگی مقادیر تجمعی حداقل رطوبت ماهانه بیشتر است، نشان‌دهنده عدم انطباق منحنی تجمعی حداقل رطوبت ماهانه با خط برازش شاخص خشکسالی بالم و مولی و بالعکس است. در ایستگاه‌های مناطق خشک، میزان پراکندگی مقادیر تجمعی حداقل رطوبت ماهانه بیشتر و در نتیجه انطباق منحنی شاخص خشکسالی بالم و مولی با خط برازش شاخص در مقیاس ۱۲ ماهه

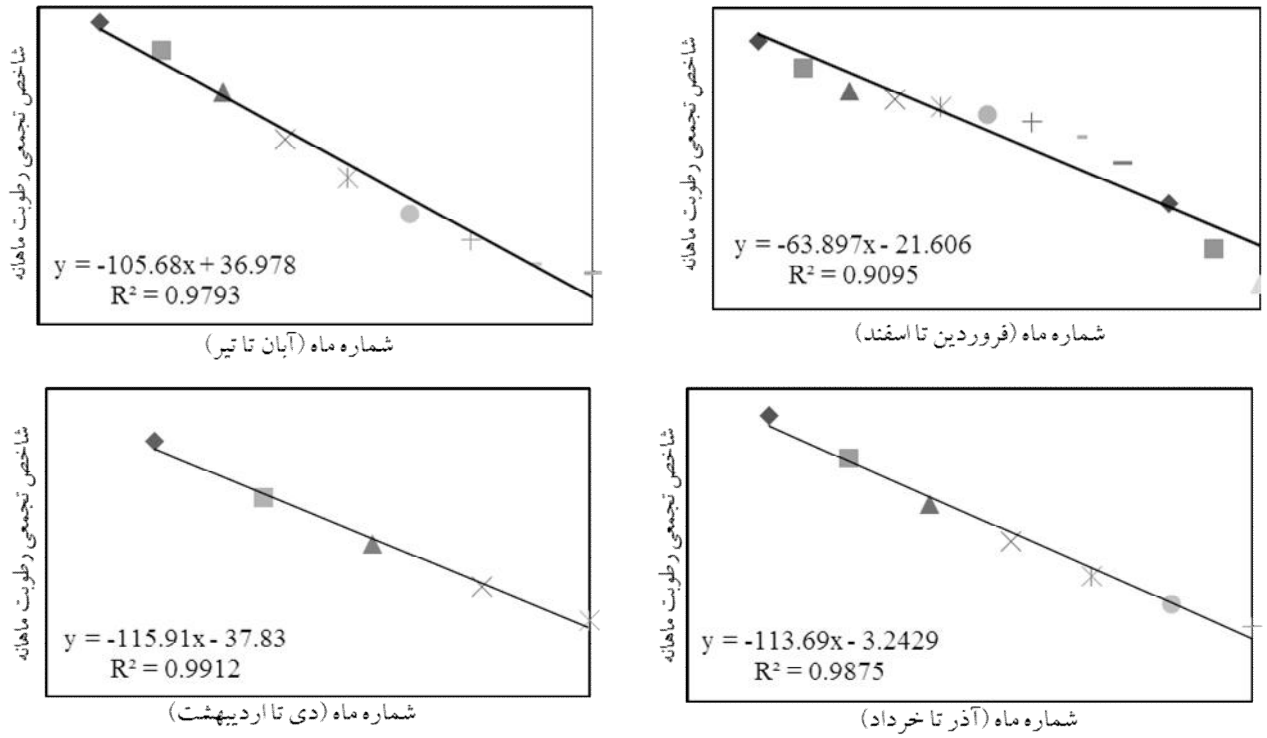


شکل ۱. نمودار شاخص رطوبت تجمعی ماهانه و خط برازش شاخص ایستگاه بندرانزلی با دوره‌های ارزیابی متفاوت (خیلی مرطوب معتدل۲)

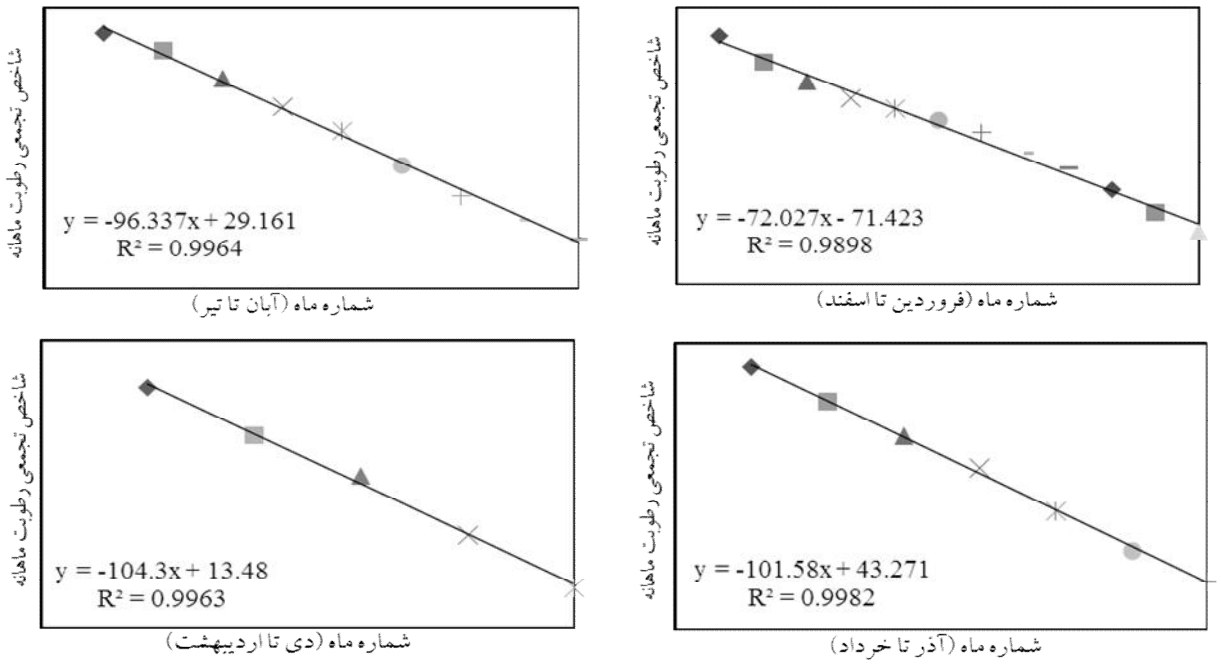


شکل ۲. نمودار شاخص رطوبت تجمعی ماهانه و خط برازش شاخص ایستگاه قائمشهر با دوره‌های ارزیابی متفاوت (نیمه مرطوب معتدل)

(فروردین تا اسفند) کمتر است همانند ایستگاه‌های زاهدان، اهواز و بوشهر، اما در مقیاس‌های ۹، ۷ و ۵ ماهه منتهی به ماه‌های تیر، خرداد و اردیبهشت میزان انطباق منحنی با خط برازش شاخص افزایش یافته و منحنی بیشتر با خط برازش منطبق می‌شود (همانند ایستگاه‌های اهواز و دامغان) و حداکثر میزان انطباق منحنی در مقیاس پنج ماهه منتهی به اردیبهشت با خط برازش شاخص خشکسالی بالم و مولی است. امّا در ایستگاه‌های مناطق مرطوب به‌دلیل توزیع یکنواخت بارش در تمام فصول، منحنی‌ها بیشترین انطباق را با خط برازش شاخص خشکسالی بالم و مولی در هر چهار مقیاس ارزیابی از خود نشان دادند همانند



شکل ۳. نمودار شاخص رطوبت تجمعی ماهانه و خط برازش شاخص ایستگاه اهواز با دوره‌های ارزیابی متفاوت (خشک بیابانی گرم)



شکل ۴. نمودار شاخص رطوبت تجمعی ماهانه و خط برازش شاخص ایستگاه دامغان با دوره‌های ارزیابی متفاوت (فراخشک بیابانی سرد)

ایستگاه‌های بندرانزلی و قائم‌شهر. از آنجا که شرایط خشکسالی و ترسالی براساس ماه‌های دارای بارش تعیین می‌شود، بنابراین در اقلیم‌های مرطوب، میزان انطباق منحنی تجمعی حداقل رطوبت ماهانه با خط برازش شاخص خشکسالی بالم و مولی بیشتر بوده

و هرچه به سمت اقلیم‌های خشک پیش می‌رویم، به‌دلیل کاهش دوره بارش سالانه میزان انطباق کاهش می‌یابد (۵)

اثر رژیم بارش

براساس محاسبات شاخص خشکسالی بالم و مولی، مقدار بیشینه و کمینه شاخص بر بیشینه و کمینه داده‌های بارندگی موجود منطبق نبوده، بنابراین کارایی شاخص در مناطق کم باران به‌دلیل وابستگی به بارش کاهش می‌یابد و از این‌رو نتایج شاخص نشان‌دهنده واقعیت محیطی نیست. باتوجه به نتایج، با حذف ماه‌های خشک در این ایستگاه، نتایج کمینه و بیشینه مقدار شاخص، بیشتر به واقعیت نزدیک شده است. بنابراین مقدار شاخص به داده‌های صفر (ماه‌های بدون بارش دوره ارزیابی) موجود در ایستگاه‌ها بسیار حساس بوده و با حذف این داده‌ها نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. از میان‌دوره‌های ارزیابی مورد مطالعه دوره پنج ماهه منتهی به اردیبهشت در رژیم‌های مدیترانه‌ای نتیجه مطلوبی را در بررسی خشکسالی ارائه کرده است. بدین معنی که با حذف ماه‌های فاقد بارش از دوره ارزیابی، نتایج شاخص بهتر می‌شود. از طرفی با توجه به جدول ۳ مشخص می‌شود کمترین مقدار ضریب همبستگی مربوط به دوره‌های ارزیابی ۱۲ ماهه منتهی به اسفند بوده و مقدار ضریب همبستگی به‌ترتیب از مقیاس ۱۲ماهه منتهی به اسفند به مقیاس ۵ ماهه منتهی به اردیبهشت افزایش می‌یابد.

مطالعه این اثر در اقلیم‌های مرطوب (رژیم شبه‌مدیترانه‌ای) کارایی شاخص را در هر چهار دوره ۵، ۷، ۹ و ۱۲ ماهه نشان داده و مقدار ضریب همبستگی افزایش یافته است. با توجه به مطالب گفته شده شاخص خشکسالی بالم و مولی در رژیم‌های بارشی شبه‌مدیترانه‌ای (اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب) در تمامی دوره‌های ارزیابی ۵، ۷، ۹ و ۱۲ ماهه نتایج مطلوبی را در بررسی خشکسالی ارائه می‌کند اما در رژیم‌های بارشی مدیترانه‌ای (اقلیم خشک و نیمه‌خشک) به‌دلیل اثرگذاری ماه‌های بدون بارش در مقدار شاخص، برای ارزیابی بهتر خشکسالی در سال‌های مختلف بهتر است از دوره‌هایی استفاده شود که ماه‌های بدون بارش در دوره‌های ارزیابی حذف شده و بدین ترتیب اثر مقادیر صفر به حداقل برسد و بهترین نتایج از دوره‌های ۹، ۷ و ۵ ماهه منطبق با دوره بارش به‌دست می‌آید (۵). با توجه به جدول (۳)، هرچه مقدار ضریب همبستگی به یک نزدیک شود، نشان‌دهنده افزایش میزان انطباق منحنی تجمعی حداقل رطوبت ماهانه با خط برازش شاخص مورد مطالعه است و هرچه مقدار ضریب همبستگی از یک کمتر شود، نشان‌دهنده کاهش میزان انطباق منحنی با خط برازش است.

اثر طول دوره

هرچه طول دوره انتخابی به سال‌های دارای بارش یا بارش نرمال منتهی شود، امکان تفسیر بهتر نتایج وجود دارد (۲۵ و ۲۶). طبق نتایج به‌دست آمده در جدول ۴ دوره‌هایی که از ابتدای دوره آماری مشترک (۱۶، ۲۶ و ۳۱ ساله) برای ارزیابی انتخاب شده بود، نتایج مطلوب‌تری را نسبت به انتهای دوره آماری مشترک (۱۶، ۲۶ و ۳۱ ساله) ارائه کرد. که علت این امر می‌تواند روندار بودن داده‌ها در طی این دوره باشد. برای بررسی این اثر حتی از روی مقایسه ضریب همبستگی مربوط به دوره‌های مشترک متفاوت ارزیابی، این نتیجه به‌صورت واضح به‌دست می‌آید که سال‌های ابتدایی کوتاه‌مدت دوره آماری مشترک، بیشترین تطابق را با مقدار ضریب همبستگی در دوره مشترک ۴۶ ساله داشته است. از طرفی دوره‌های ۱۶ ساله مشترک ابتدا و انتهای دوره آماری در بررسی طول دوره، نتایج قابل قبولی را ارائه نکرد زیرا بسیاری از سال‌ها و ماه‌های دارای بارش حذف شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

اثر اقلیم بر شاخص خشکسالی بالم و مولی

کشور ایران گستره‌ای از اقلیم‌های مرطوب تا خشک را در خود جای داده و نتایج تحقیق نشان داد که اثر اقلیم در مناطق خشک بیشتر از مناطق مرطوب بوده و در محاسبات شاخص مورد

جدول ۳. ضرایب همبستگی ایستگاه‌های مختلف با رژیم بارشی متفاوت در دوره‌های ارزیابی مورد بررسی

دوره ارزیابی / ایستگاه	۱۲ ماهه	۹ ماهه	۷ ماهه	۵ ماهه	دوره ارزیابی / ایستگاه	۱۲ ماهه	۹ ماهه	۷ ماهه	۵ ماهه
اردبیل	۰/۹۹۲۴	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۸۹	تربت‌حیدریه	۰/۹۶۶۹	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۹۴
آستارا	۰/۹۹۷۹	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۴	اراک	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۶۴
بابلسر	۰/۹۹۲۹	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۶۹	۰/۹۹۷۹	بم	۰/۹۷۶۷	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۹۴
تنکابن	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۸۴	بندرعباس	۰/۹۵۹۱	۰/۹۸۴۳	۰/۹۸۸۴	۰/۹۹۶۴
خوی	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۷۹	۰/۹۹۷۹	بیرجند	۰/۹۵۷۰	۰/۹۹۰۴	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۸۹
مشیران	۰/۹۹۱۴	۰/۹۹۷۹	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۶۹	برازجان	۰/۸۹۳۳	۰/۹۷۵۷	۰/۹۸۵۳	۰/۹۹۴۴
پارس‌آباد	۰/۹۹۶۴	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۷۹	دزفول	۰/۹۲۴۱	۰/۹۸۵۳	۰/۹۹۱۴	۰/۹۹۵۹
تبریز	۰/۹۸۵۹	۰/۹۹۶۴	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۸۴	ایلام	۰/۹۷۲۶	۰/۹۸۹۴	۰/۹۹۱۴	۰/۹۹۶۹
رشت	۰/۹۹۷۹	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۷۴	قم	۰/۹۸۶۴	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۹۴
گنبد	۰/۹۹۲۴	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۶۴	۰/۹۹۷۹	قوچان	۰/۹۸۴۸	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۶۹	۰/۹۹۶۹
جلفا	۰/۹۸۷۴	۰/۹۷۹۷	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۶۴	ساوه	۰/۹۷۵۷	۰/۹۹۵۴	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۹۴
چابهار	۰/۹۸۱۳	۰/۹۸۶۹	۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۸۹	شاهرود	/۹۹۱۹	۰/۹۹۷۹	۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۷۹
سقز	۰/۹۷۱۳	۰/۹۹۳۹	۰/۹۹۶۴	۰/۹۹۶۹	شیراز	۰/۹۴۸۱	۰/۹۸۸۹	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۸۹
ژئوفیزیک تهران	۰/۹۷۵۱	۰/۹۹۳۹	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۶۴	طبس	۰/۹۶۵۴	۰/۹۸۷۹	۰/۹۹۲۴	۰/۹۹۶۴
قزوین	۰/۹۹۳۴	۰/۹۹۶۹	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۹۴	کاشمر	۰/۹۸۲۸	۰/۹۹۴۴	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۸۹
تاکستان	۰/۹۸۷۴	۰/۹۹۶۴	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۴	کرمان	۰/۹۷۱۰	۰/۹۹۲۴	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۵۴
زنجان	۰/۹۸۴۸	/۹۹۶۹	۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۷۹	کرمانشاه	۰/۹۵۲۳	۰/۹۹۰۴	۰/۹۹۴۴	۰/۹۹۸۴
همدان	۰/۹۷۶۲	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۴	زابل	۰/۹۳۱۶	۰/۹۸۷۹	۰/۹۹۳۴	۰/۹۹۷۹

مطالعه تأثیر بیشتری دارد. بهترین نتیجه‌ای که می‌توان از اثر اقلیم بر شاخص خشکسالی بالم و مولی گرفت این است که در اقلیم خشک میزان پراکندگی مقادیر تجمعی حداقل رطوبت ماهانه نسبت به خط برازش شاخص مذکور افزایش پیدا کرده و در نتیجه انطباق کاهش می‌یابد که علت این پراکندگی، عدم توزیع یکنواخت بارش در مناطق خشک و عدم وجود بارش در برخی از ماه‌ها (به‌خصوص ماه‌های گرم سال) است. بذرافشان (۴) با مطالعه تطبیقی برخی از شاخص‌های خشکسالی در چند نمونه اقلیمی در ایران به نتیجه مشابهی با نتیجه تحقیق حاضر دست یافت که قابلیت شاخص را در مقایسه نواحی مختلف اقلیمی از نظر شدت خشکسالی آشکار می‌سازد. شایق و سلطانی (۹) طی مقایسهٔ شاخص‌های خشکسالی در استان یزد به این نتیجه رسیدند که وجود ماه‌های بدون بارش در دوره‌ی ارزیابی باعث کاهش میزان انطباق منحنی تجمعی حداقل رطوبت ماهانه با خط برازش شاخص خشکسالی بالم و مولی می‌شود که راه‌حل مشکل را در حذف ماه‌های بدون بارش و استفاده از دوره‌های ارزیابی منتهی به بارش دانست. نتایج وو و همکاران (۲۴ و ۲۵) نیز تأثیراقلیم بر وقوع شدت‌های مختلف خشکسالی و فراوانی آن را نشان داد. در ایستگاه‌های واقع در مناطق مرطوب به‌دلیل اینکه بارش در این مناطق یکنواخت‌تر بوده وتقریباً در بیشتر فصول سال هرچند مقداری اندک بارش صورت می‌گیرد، بنابراین مقادیر حداقل رطوبت ماهانه به یکدیگر نزدیک بوده و درنتیجه پراکنش مقادیر تجمعی حداقل رطوبت ماهانه از خط برازش شاخص خشکسالی بالم و مولی کاهش یافته و تطابق منحنی تجمعی حداقل رطوبت ماهانه با خط برازش شاخص خشکسالی بالم ومولی افزایش می‌یابد.

جدول۴. ضرایب همبستگی ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی با دوره آماری متفاوت

طول دوره / ایستگاه	سال‌های ابتدایی دوره آماری			سال‌های انتهایی دوره آماری		
	۳۶ سال	۳۱ سال	۲۶ سال	۱۶ سال	۲۶ سال	۱۶ سال
رامسر	۰/۹۹۷۹	۰/۹۹۷۹	۰/۹۹۷۹	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۵۹
بندر انزلی	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۶۴	۰/۹۹۶۹	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۳۴
لاهیجان	۰/۹۹۲۴	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۶۴	۰/۹۹۳۴	۰/۹۹۵۴
قائمشهر	۰/۹۹۴۴	۰/۹۹۳۹	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۴۹
گرگان	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۵۴	۰/۹۹۵۴	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۶۹
شهرکرد	۰/۹۶۵۴	۰/۹۶۷۹	۰/۹۶۱۷	۰/۹۶۸۵	۰/۹۶۷۴	۰/۹۷۱۰
مشهد	۰/۹۸۲۸	۰/۹۷۹۷	۰/۹۸۲۳	۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۳۸	۰/۹۸۷۹
خرم‌آباد	۰/۹۵۴۹	۰/۹۶۲۸	۰/۹۶۷۴	۰/۹۷۷۲	۰/۹۵۷۰	۰/۹۶۴۳
آبادان	۰/۹۵۳۴	۰/۹۵۱۸	۰/۹۵۹۱	۰/۹۴۹۷	۰/۹۴۸۱	۰/۹۵۱۳
اهواز	۰/۹۴۱۸	۰/۹۶۹۰	۰/۹۷۰۵	۰/۹۸۲۸	۰/۹۶۴۳	۰/۹۷۲۱
زاهدان	۰/۹۸۰۳	۰/۹۸۰۳	۰/۹۷۶۲	۰/۹۸۱۸	۰/۹۷۸۷	۰/۹۷۳۶
رفسنجان	۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۶۹	۰/۹۹۱۹	۰/۹۸۵۳	۰/۹۹۴۴	۰/۹۸۹۹
سمنان	۰/۹۸۸۴	۰/۹۸۷۹	۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۹۹	۰/۹۸۸۴	۰/۹۹۲۴
دامغان	۰/۹۹۴۴	۰/۹۹۴۴	۰/۹۹۳۴	۰/۹۹۵۴	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۴۹
بوشهر	۰/۹۳۲۷	۰/۹۸۷۹	۰/۹۴۷۱	۰/۹۲۱۹	۰/۸۹۴۲	۰/۹۴۷۶
اصفهان	۰/۹۷۲۱	۰/۹۷۲۶	۰/۹۷۱۵	۰/۹۷۲۶	۰/۶۹۷۳	۰/۹۷۶۲
یزد	۰/۹۵۲۳	۰/۹۵۵۵	۰/۹۵۴۴	۰/۹۱۱۰	۰/۲۹۶۱	۰/۹۷۳۱
ارومیه	۰/۹۹۱۴	۰/۹۹۰۴	۰/۹۹۱۹	۰/۹۹۲۹	۰/۹۸۵۳	۰/۹۸۵۳

با قیاس منحنی‌ها در مناطق مرطوب با مناطق خشک به این نتیجه می‌رسیم که هرچه از مناطق خشک به سمت مناطق مرطوب پیش می‌رویم، تعداد ماه‌های بدون بارش کاهش یافته و از آنجا که شرایط ترسالی و خشکسالی براساس ماه‌های دارای بارش تعیین می‌شود، میزان انطباق منحنی تجمعی حداقل رطوبت ماهانه با خط برازش شاخص خشکسالی بالم و مولی افزایش می‌یابد.

اثر رژیم بارش بر شاخص خشکسالی بالم و مولی

در بررسی اثر رژیم بارش بر شاخص، هرچه تعداد ماه‌های بدون بارش کم یا حذف شود نسبت به حالتی که دارای فصل بدون بارش است، شرایط به سمت حالت مرطوب‌تر پیش رفته یا اینکه ثابت باقی مانده است و تغییری نمی‌کند. به این منظور از مقیاس‌های ارزیابی ۵، ۷ و ۹ ماهه برای از بین بردن تأثیر ماه بدون بارش استفاده شد. در این میان ایستگاه‌های مناطق خشک به‌دلیل کثرت ماه‌های بدون بارش، با حذف این ماه‌ها به سمت شرایط مطلوب پیش می‌روند اما در ایستگاه‌های مناطق مرطوب، به‌دلیل عدم وجود ماه بدون بارش، باحذف این ماه‌ها شرایط ثابت باقی مانده و در برخی موارد به سمت شرایط خشک‌تر پیش می‌رود. گستره ایران دارای دو رژیم بارش مدیترانه‌ای و شبه‌مدیترانه‌ای است که شاخص خشکسالی بالم و مولی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل غالبیت رژیم مدیترانه‌ای در مقیاس ۱۲ ماهه منتهی به اسفند نتایج خوبی را ارائه نکرده و برای رفع مشکل حضور ماه‌های بدون بارش، اقدام به استفاده از مقیاس‌های ۹ ماهه منتهی به تیر، ۷ ماهه منتهی به خرداد و ۵ ماهه منتهی به اردیبهشت شد. نتیجه به‌دست آمده در اقلیم مناطق خشک و نیمه‌خشک این بود که ضرایب همبستگی در مقیاس ۱۲ ماهه ارزیابی، کمترین مقدار را داشته و با در نظر گرفتن ماه‌های دارای بارش و حذف ماه‌های بدون بارش در مقیاس ۵، ۷ و ۹ ماهه، مقدار ضریب همبستگی افزایش می‌یابد. عامل دیگر که بهبود نتایج بر اثر حذف ماه‌های بدون بارش را تأیید می‌کند، افزایش ضریب همبستگی در ایستگاه‌های مطالعاتی که نشان‌دهنده

تمایل منحنی از حالت کمینه به حالت خط راست، است. شایق و سلطانی (۹) نیز درمطالعه خود به چنین نتیجه‌ای رسیدند که در رژیم‌های شبه‌مدیترانه‌ای یا اقلیم‌های مرطوب یا نیمه‌مرطوب، به‌دلیل اینکه توزیع بارش در تمام فصول وجود دارد، شاخص خشکسالی بالم ومولی در هر چهار مقیاس ارزیابی ۵، ۷، ۹ و ۱۲ ماهه نتایج قابل قبولی خواهد داشت، به‌گونه‌ای‌که در هر چهار مقیاس ارزیابی مقدار ضریب همبستگی بالا و نزدیک به‌هم خواهد بود. با توجه به یافته‌های فوق می‌توان به وجود رابطه‌ای بین رژیم بارش و اقلیم پی برد به‌گونه‌ای‌که رژیم مدیترانه‌ای بیشترین انطباق را با اقلیم‌های خشک داشته و رژیم شبه‌مدیترانه‌ای نیز بیشترین انطباق را با اقلیم‌های مرطوب دارد و نتایج شاخص در ایستگاه‌های با رژیم بارشی شبه‌مدیترانه‌ای قابل قبول‌تر بوده اما برای ایستگاه‌هایی با رژیم بارشی مدیترانه‌ای درصورتی نتایج قابل قبول خواهد بود که از دوره‌های ارزیابی منتهی به بارش استفاده شود و در این دوره، ماه‌های بدون بارش از محاسبات حذف شده باشند. پس در رژیم‌های بارش مدیترانه‌ای با توجه به اینکه مجموع بارش سالیانه مربوط به دوره‌های بارشی است، برای ارزیابی بهتر خشکسالی با این شاخص بهتر است دوره ارزیابی، منطبق بر دوره بارشی باشد. بذرافشان (۴) در مورد اثر رژیم بارش مدیترانه‌ای انطباق دوره ارزیابی را با دوره بارش مورد تأکید قرار داده است. بوگاردی و همکاران (۱۵) نیز در منطقه شرق نبراسکا به این نتیجه رسیدند که مقادیر شاخص شدیداً به طبقات بارندگی ماهانه و الگوی گردش جوی وابسته است.

اثرات طول دوره بر شاخص خشکسالی بالم و مولی

یکی از مهم‌ترین عواملی که برروی شاخص‌ها تأثیرگذار بوده، طول دوره مطالعاتی است. براساس نتایج به‌دست آمده هرچه طول دوره انتخابی با سال‌های دارای بارش منطبق شود، امکان تفسیر بهتر نتایج وجود دارد. علاوه بر طول دوره، انتخاب ابتدا یا انتهای دوره آماری مشترک و اثر آن روی شاخص بررسی شد. بنابراین دوره‌هایی که ابتدای دوره آماری مشترک برای ارزیابی انتخاب شده بود، نتایج مطلوب‌تری را نسبت به انتهای دوره ارائه کرد. از طرف دیگر براساس ضرایب همبستگی میزان انطباق دوره ۴۶ ساله مشترک ارزیابی با دوره آماری کوتاه‌مدت ابتدای دوره مشترک، بیشتر از دوره آماری کوتاه‌مدت انتهایی دوره مشترک است. البته در بررسی اثر طول دوره، حضور سال‌های ترسالی و خشکسالی در بررسی‌ها حائز اهمیت است، از این‌رو اگر دوره ارزیابی دارای سال‌های ترسالی باشد، نسبت به دوره دارای سال‌های خشکسالی نتایج بهتری را ارائه خواهد کرد. پس به این نتیجه می‌رسیم که هرچه طول دوره آماری بیشتر است، وضعیت تغییرات بارش جهت ارزیابی خشکسالی مشخص‌تر می‌شود و به‌همین دلیل طول دوره آماری ۳۱ ساله نتایج مطلوب‌تری نسبت به دوره‌های آماری کوتاه‌تر نشان داد. بذرافشان (۴) و شایق و سلطانی(۹) نیز در مورد اثر طول دوره آماری بر شاخص بالم و مولی نیز به نتایج مشابهی رسیدند. همچنین آرمو و اولاتندو (۱۳)، و فیلیپس و همکاران (۲۳) تاثیر طول دوره آماری بر نتایج حاصل از این شاخص به‌ویژه در خشکسالی‌های با دوره بازگشت زیاد را مورد تأکید قرار دادند.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ح. ۱۳۸۶. *ژئومورفولوژی کاربردی*، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم.

۲. آرنون، آ. ۱۳۷۴. *اصول زراعت در مناطق خشک*، جلد اول، ترجمه عوض کوچکی و امین علیزاده، انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد.

۳. ایمانی، م.ع.، س. راوندی و م. میرجلالیه شیرازی. ۱۳۷۹. خشکی چیست و معیار آن کدام است؟ اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی وخشکسالی، کرمان.

۴. بذرافشان، ج. ۱۳۸۱. مطالعه تطبیقی برخی از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی در ایران. پایان‌نامه

کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۵. پورحسین، س. ۱۳۹۰. بررسی اثر اقلیم، رژیم بارش و طول دوره بر شاخص خشکسالی بالم و مولی در ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶. ثابتی، ح. ۱۳۴۸. *بررسی اقالیم حیاتی ایران*. انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۲۳۱. تهران.

۷. خوش اخلاق، ف.، ع. حنفی و س. احمدی. ۱۳۸۹. تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک خوی. *فصل‌نامه سپهر* ۷۴: ۲۹-۲۴.

۸. سلامت، ع. ۱۳۷۹. راهکارهای مقابله با پدیده خشکسالی. اولین کنفرانس مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، کرمان.

۹. شایق، ا. و س. سلطانی. ۱۳۹۰. مقایسه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در استان یزد. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک* ۵۷: ۲۴۹-۲۳۱.

۱۰. علیزاده، ا.، ک. غلامعلی، ف. موسوی و م. موسوی بایگی. ۱۳۸۵. *هوا و اقلیم‌شناسی*. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

۱۱. فرج‌زاده، م. ۱۳۷۵. خشکسالی و روش‌های مطالعه آن. *فصل‌نامه جنگل و مرتع* ۳۲: ۲۸-۲۲.

۱۲. کاظمی، آ.، ع. سبزی‌پرور، ص. معروفی، ج. بذرافشان و م. غفوری. ۱۳۸۷. مقایسه تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی به روش تحلیل خوشه‌ای تحت شرایط اقلیمی نیمه‌خشک سرد. سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران (تهران) ۳۶۶-۳۶۳.

13. Aremu, J. K. and A. F. Olatunde. 2012. Drought intensities in the sudano-sahelian region of Nigeria. *Journal of Sustainable Society* 1(4): 88-95.
14. Bahlme, H. N. and D. A. Mooley. 1980. Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review* 108: 1197-1211.
15. Bogardi, I., I. Matyasovsky, A. Bardossy and K. Duckstein. 1999. A hydrological model of areal drought. *Journal of Hydrology* 153: 245-264.
16. Henriques, A. G. and M. J. Santos. 1998. Regional drought distribution model. *Physics and Chemistry of the Earth* 24(1-2): 19-22.
17. Larid, K. R., SH. C. Fritz and B. F. Cumming. 1997. A Diatom based reconstruction of drought dencity, duration and frequency from Moon Lake. North Dakota: A sub-decedal record of the last 2300 years. *Journal of Paleolimnology* 19: 161-179.
18. Mishara, A. K. and V. P. Singh. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391: 202-216.
19. Ntale, H. and T. Y Gan. 2003. Drought indices and their application to East Africa. *International Journal of Climatology* 23: 1335-1357.
20. Oladipo, E. O. 1985. A comparative performance analysis of there meterological drought indices. *International Journal of Climatology* 5: 655-664.
21. Olatunde, A. F. and J. K. Aremu. 2013(a). Return periods of drought intensities in some statios in northern Nigeria. *Journal of Environment and Earth Science* 3(11): 156-162.
22. Olatunde, A. F. and J. K. Aremu. 2013(b). Temprol analysis of drought intensities occurrence within recent decades in some statios in northern Nigeria. *Journal of Sustainable Development Studies* 2(1): 91-108.
23. Philips, I. D. and G. R. McGregor. 1998. The utility of a drought index for assessing the drought hazard in Devon and Cornwall, South West England. Meteorological Applications 5: 359-372.
24. Wu, H., J. M. Hayes, D. A. Wilhite and M. D. Svoboda. 2005. The effect of the length of record on the Standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology* 25: 505-520.
25. Wu, H., M. D. Svoboda, M. J. Hayes, D. A. Wilhite and F. Wen. 2007. Appropriate application of the standardized precipitation index in arid location and dry season. *International Journal of Climatology* 27: 65-79.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 2, Summer 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Climate, Precipitation Regime and Data Record Length on the Bhalme & Mooley Drought Index in Iran

S. Pourhossein and S. Soltani[1*]

(Received: June 11-2014 ; Accepted: September 18-2017)

Abstract

Bhalme & Mooley Drought index is one of common indices used in drought studies. Due to the fact that drought indices can have different sensitivities to different region conditions and the length of data recorded, 62 synoptic and climatological stations were selected within a homogonous region to study this index advantages and to assess the effect of climate, precipitation regime, and data record on the index. The best results were found for the humid climate. Also, this index had acceptable results for semi- mediterranean regimes regarding all different time scales,; however the situation was different for Mediterranean regimes, showing the best results for the time scales simultaneous with the precipitation period. From the data record point of view, the best results were estimated during the first 31- years of the common period which has correspondence with the results of the 36-year period.

Keywords: Drought, Bhalme & Mooley Drought Index, Iran, Climate, Precipitation regime and Data record length

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: ssoltani@cc.iut.ac.ir