



ارزیابی خشکسالی در دوره‌ی سی ساله (1988 تا 2017) در استان لرستان با استفاده از نمایه‌ی (شاخص) درصد نرمال بارش

امین نویدطلب^{1*}، قاسم عسکری²، فرحناز احمدپور³، مریم طهماسبی⁴

1- استادیار و رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

2- استادیار و مهندسی سنجش از دور، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

3- دانش آموخته و ژئومورفولوژی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

4- دکتری و زراعت، جهاد کشاورزی دامغان، دامغان، ایران

تاریخ پذیرش: 1399/09/18

تاریخ دریافت: 1399/04/08

چکیده

مسأله‌ی آب یکی از اساسی‌ترین مسایل امروزی جوامع انسانی است، اما در سایه‌ی خشکسالی، به یک چالش جدی برای تصمیم‌سازان جامعه تبدیل شده و تمامی ابعاد توسعه‌ی جامعه را متأثر می‌کند. در استان لرستان، در سال‌های اخیر تعداد قابل توجهی از رودخانه‌ها و چشمه‌ها خشکیده است که اغلب، آن را به خشکسالی جوی (کمبود بارش) نسبت می‌دهند. در این پژوهش با استفاده از نمایه‌ی درصد نرمال بارش به ارزیابی این نوع خشکسالی در بازه‌ی زمانی 1988 تا 2017 پرداخته شد. محاسبه درصد نرمال بارش نشان می‌دهد که فقط درصد کمی (بین 30 تا 6/6 درصد) از دوره‌ی سی‌ساله‌ی مورد بررسی دارای خشکسالی، آن هم از نوع ضعیف (کمی خشک) بوده‌اند. این بدان معنی است که خشکسالی به صورت قابل توجه در این دوره رخ نداده است. بنابراین بروز عوارض خشکسالی متوسط تا شدید که به صورت خشک شدن بسیاری از چشمه‌ها، رودخانه‌ها، و آبشارها نمایان شده است، نمی‌تواند به‌تنهایی ناشی از خشکسالی جوی باشد. این مساله می‌تواند ریشه در برداشت بی‌رویه‌ی آب‌های زیرزمینی داشته باشد که موجب افت ناگهانی و شدید سطح سفره و بروز علائم خشکسالی شدید شده است. واکاوی دوره‌ی بازگشت خشکسالی نیز تایید می‌کند که خشکسالی شدید در اغلب ایستگاه‌ها دارای دوره‌ی بازگشت بسیار طولانی و غیرقابل محاسبه است. خشکسالی متوسط نیز دوره‌ی بازگشتی بیشتر از هزار سال دارد. تنها خشکسالی ضعیف دارای دوره‌ی بازگشت 100 تا 200 سال است، اما این نوع خشکسالی نمی‌تواند مسئول بروز عوارض خشکسالی شدید باشد، پس باید به دنبال عوامل انسانی مانند مدیریت منابع بود که مرتبط با خشکسالی اجتماعی-اقتصادی است. بر پایه‌ی میزان داده‌های بازسازی شده، ضریب اطمینان نتایج به‌دست آمده برای ایستگاه‌های خرم‌آباد، الیگودرز و بروجرد 100٪، برای ازنا، دورود و نورآباد 56/7٪، پلدختر 63/4٪ و برای کوه‌دشت و الشتر 66/7٪ می‌باشد.

کلمات کلیدی: خشکسالی جوی، دوره‌ی بازگشت، خشکسالی اجتماعی-اقتصادی، شهرستان لرستان

1- مقدمه

در بحث مدیریت منابع آب، خشکسالی چالشی جدی برای مدیران و تصمیم‌سازان جامعه است و تقریباً در تمامی اقلیم‌ها رخ می‌دهد (رحیمی و همکاران، 1388؛ جهانگیر و همکاران، 1394؛ ساری‌صراف و همکاران، 1394: 1؛ ولی و مهربابی، 1398: 1؛ دای¹، 2011: 3). خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین مخاطرات محیطی آب و هوایی است که مردم را بیش از هر پدیده دیگری تحت تاثیر قرار می‌دهد و سبب خسارات اقتصادی زیادی می‌شود (ویل‌هایت²، 2000؛ هاگمن³، 1984: 4).

براساس داده‌های منتشرشده در گزارش‌های درصد مساحت تحت تاثیر خشکسالی 120 ماهه با نمایه‌ی SPEI منتهی به بهمن ماه 1398 در استان لرستان، 22٪ از استان دچار خشکسالی ضعیف، 3/9٪ دچار خشکسالی متوسط، و تنها 4/1٪ مساحت استان دچار خشکسالی شدید است. همچنین، 6/33٪ از جمعیت استان، خشکسالی ضعیف را تجربه کرده‌اند، 6/18٪ خشکسالی متوسط، و 4/7٪ نیز خشکسالی شدید را تجربه کرده‌اند (سازمان هواشناسی کشور، 1398). اما خبرگزاری‌های رسمی، خبرهای قابل توجهی از خشکسالی شدید در استان لرستان گزارش کرده‌اند (خبرگزاری ایسنا با کد خبر: 96102412553، صدا و سیما: ۲۲۲۵۷۴۸، مهر: 4229943، برنا: 818230، تسنیم: <https://tn.ai/1703330>). برای مثال، خبرگزاری تسنیم خبری منتشر کرده است (<https://tn.ai/1846872>) مبنی بر این که "۸۰ درصد چشمه‌ها و رودخانه‌های لرستان خشک شد". بر اساس تحلیل این خبرگزاری و بسیاری از خبرگزاری‌های دیگر، هرچند که عوامل مختلفی سبب خشکسالی می‌شوند، اما در اصل، کاهش بارش (خشکسالی جوی) عامل کلیدی خشکسالی و خشک شدن چشمه‌ها و آب‌های سطحی بوده است. اما، بررسی‌های بلند مدت نشان داده‌اند که در استان لرستان، نه تنها خشکسالی طولانی و قابل توجه رخ نداده است، بلکه بر میزان ترسالی افزوده شده و از میزان خشکسالی نیز کاسته شده است (پروانه و همکاران، 1394). از این‌رو، در پژوهش حاضر سعی شده است تا با استفاده از نمایه‌ی "درصد نرمال بارش" (PNI⁴) که خشکسالی جوی را ارزیابی می‌کند (هایس⁵، 2006؛ زرگر⁶ و همکاران، 2011)، به بررسی این نوع خشکسالی در استان لرستان پرداخته شود. پدیده‌ی خشکسالی توسط نمایه‌های گوناگونی ارزیابی می‌شود که در هر منطقه قابلیت‌های متفاوتی دارند و در نشان دادن ویژگی‌های خشکسالی یکسان عمل نمی‌کنند (مرید⁷ و همکاران، 2006؛ شهاب‌فر و آیتسینگر⁸، 2013؛ صالح‌نیا⁹ و همکاران، 2017). از این نمایه‌ها، می‌توان به نمایه‌ی بارش استاندارد شده (SPI)، نمایه‌ی

1- Dai
2- Wilhite
3- Hagman
4- Percent of Normal Precipitation Index
5- Hayes
6- Zargar
7- Morid
8- Shahabfar & Eitzinger
9- Salehnia

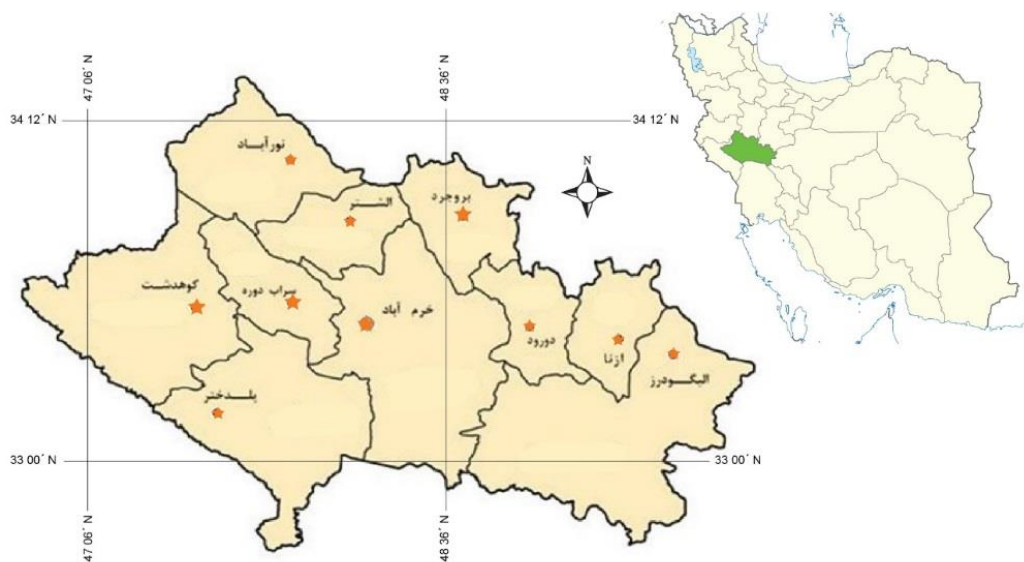
درصد نرمال بارش (PNI)، نمایه‌ی دهکی (DI)، نمایه‌ی خشکسالی موثر (EDI)، نمایه‌ی China-Z (CZI) و اصلاح شده‌ی آن (MCZI)، نمایه‌ی آنومالی بارش (RAI)، نمایه‌ی Z-Score (ZSI)، و نمایه‌ی شدت خشکسالی پالم (PDSI) اشاره کرد (ویله که^۱ و همکاران، 1994؛ بیون و ویله‌ایت^۲، 1999؛ هایس، 2006؛ صالح‌نیا و همکاران، 2017).

نمایه‌ی درصد نرمال بارش (PNI) بر پایه‌ی اندازه‌گیری میزان بارش محاسبه می‌گردد. خطا در درک نتایج این روش و درک شرایط متفاوت از آن محتمل است چون به محل و فصل مورد مطالعه بستگی دارد (هایس، 2006؛ هایس و همکاران، 2017). یکی از نقاط ضعف این روش، ناشی از تفاوت بین میانگین و میانه داده‌های بارش بلندمدت است، زیرا بارش فصلی یا ماهانه دارای توزیع نرمال نیست (هایس، 2006). در بررسی خشکسالی شهرستان اندیمشک، نمایه‌ی PNI یک خشکسالی شدید بین 2007 تا 2008 را نشان داده است که نمایه‌های SPI و DI نیز این خشکسالی را تایید کرده‌اند (ادیب و گرجی‌زاده، ۱۳۹۵). مقایسه‌ی بین نمایه خشکسالی در میانه‌ی حوضه‌ی رود فرات و در پاکستان نشان داده است که نمایه‌های RAI، DI، و PNI در مقایسه با سایر نمایه‌ها، بیشترین تعداد خشکسالی و ترسالی را نشان می‌دهند، اما PNI حساسیت کمتری نسبت به DI دارد (ادنان^۳ و همکاران، 2017؛ الوان^۴ و همکاران، 2018). در مقایسه‌ی بین PNI، SPI و EDI در کامبوج، دو نمایه‌ی PNI و SPI در شناسایی و ارزیابی شدت و مدت خشکسالی، کارکرد بسیار خوبی داشته‌اند (سوک^۵ و همکاران، 2019). در پونتلند سومالی، نمایه‌های DDI و SPI هفت رویداد متوسط تا شدید خشکسالی را شناسایی کردند که نمایه‌ی PNI درست همان رویدادها را به اضافه دو رویداد بیشتر شناسایی کرد (سعید^۶ و همکاران، 2019). در حوضه‌ی کشف‌رود در شمال خاوری ایران نمایه‌های PNI، SPI، CZI، MCZI، RAI، SZI، DI و EDI با داده‌های ایستگاهی و داده‌های AgMERRA مورد بررسی قرار گرفتند. جدا از این که کدام داده مورد استفاده قرار گیرد، نمایه‌های PNI، SPI و DI در هر صورت همبستگی بسیار بالایی ($R^2=0/99$) در نتایج نشان می‌دهند (صالح‌نیا و همکاران، 2017).

بنابراین، علیرغم سادگی نمایه‌ی PNI، با توجه به تأیید کارایی آن توسط پژوهش‌های گوناگون (هایس، 2006؛ هایس و همکاران، 2007) و همچنین قابلیت بالا و برتری این روش در شناسایی خشکسالی‌های مناطق نیمه‌خشک و خشک مانند ایران (ادیب و گرجی‌زاده، ۱۳۹۵؛ صالح‌نیا و همکاران، 2017) در قیاس با نمایه‌های دیگر (الوان و همکاران، 2018؛ سوک و همکاران، 2019؛ سعید و همکاران، 2019)، در پژوهش

1- Willeke
2- Byun & Wilhite
3- Adnan
4- Alwan
5- Sok
6- Said

حاضر نیز این نمایه مورد استفاده قرار خواهد گرفت. از دیگر دلایل انتخاب این روش، استفاده‌ی گسترده از آن در رسانه‌ها و درک آسان آن برای مردم عادی جامعه، و همچنین، قابلیت کاربرد آن برای یک محدوده‌ی جغرافیایی کوچک مانند یک استان و شهرستان و یا یک بازه‌ی زمانی کوتاه مانند فصل است که نتایج بسیار مفیدی را ارائه می‌کند و بسیاری از نمایه‌های دیگر خشکسالی این مزیت‌ها را ندارند (هایس و همکاران، 2007).



شکل (1): نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی استان لرستان و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک اصلی و فرعی.

Fig (1): Geographical location of Lurestan province and the location of the main and secondary synoptic stations

2- منطقه‌ی مورد پژوهش

استان لرستان با وسعتی حدود 29.308 کیلومتر مربع، بین عرض‌های $32^{\circ} 38' 37''$ و $34^{\circ} 24' 17''$ شمالی و بین طول‌های $46^{\circ} 52' 14''$ و $50^{\circ} 1' 59''$ شرقی قرار گرفته است (شکل 1). لرستان از دیدگاه اقلیمی یک استان چهار فصل است که توسط بادهای باران‌آور غربی، سامانه‌های مدیترانه‌ای، و سودانی تامین می‌شود. به همین‌رو، دومین منطقه‌ی پربارش پس از شمال کشور می‌باشد و میانگین سالانه‌ی بارشی نزدیک به 500 میلیمتر را داراست. این عامل به همراه گسترش سازندهای پرشمار کربناته و کربناته‌ی تخریبی (آقناباتی، 1385) که شرایط را برای توسعه‌ی کارست‌های کربناته فراهم کرده، سبب پیدایش رودخانه‌های دائمی فراوان شده است. تفاوت پارامترهای اقلیمی در این استان سبب پیدایش سه نوع اقلیم بارز شده است: (1) آب‌وهوای

سرد و کوهستانی در بخش‌های شمالی و خاوری؛ (2) آب‌وهوای معتدل در بخش‌های مرکزی؛ و (3) آب‌وهوای گرم در جنوب و جنوب خاوری (اداره کل هواشناسی استان لرستان، 1398).

3- داده‌ها و روش پژوهش

3-1- نمایه‌ی درصد نرمال بارش¹

برای محاسبه‌ی نمایه‌ی درصد نرمال بارش از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$PNI = \frac{P}{\bar{P}} * 100 \quad (1)$$

که در آن PNI نمایه‌ی درصد نرمال بارش، P بارش سالانه (میلی‌متر)، و \bar{P} میانگین بارش دوره‌ی زمانی سی ساله است. دسته‌بندی شدت خشکسالی بر پایه‌ی این نمایه، بدین شرح است: چنانچه PNI بیش از 110٪ باشد، منطقه - ی مورد نظر (کمی تا بسیار زیاد) مرطوب و بدون خشکسالی خواهد بود. اگر بین 80 تا 110٪ باشد، وضعیت منطقه‌ی نرمال، در صورتی که نمایه بین 80 تا 55٪ باشد وضعیت کمی خشک (خشکسالی ضعیف)، اگر بین 55 تا 40٪ باشد وضعیت بسیار خشک (خشکسالی متوسط)، و چنانچه کمتر از 40٪ باشد وضعیت به شدت خشک (خشکسالی شدید) خواهد بود (مرید و همکاران، 2006؛ تادیچ² و همکاران، 2015). پژوهش پیش‌رو بر پایه‌ی روش کار زیر انجام خواهد شد: (1) جمع‌آوری داده‌های بارش و دما از ایستگاه‌های سینوپتیک اصلی و فرعی استان لرستان؛ (2) انطباق داده‌ها از نظر زمانی با یکدیگر و بازسازی داده‌های بارش در ایستگاه‌هایی که از نظر دوره‌ی آماری با ایستگاه پایه منطبق نیستند؛ (3) محاسبه‌ی نمایه‌های آماری ایستگاه‌های سینوپتیک مورد پژوهش؛ (4) محاسبه‌ی نمایه‌ی درصد نرمال بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد پژوهش و تعیین شدت خشکسالی در هر ایستگاه؛ و (5) بررسی احتمال رخداد خشکسالی.

3-2- داده‌ها

برای بررسی خشکسالی‌ها از داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک استان در طی دوره‌ی 30 ساله (1988-2017) استفاده شده است. ایستگاه‌های سینوپتیک اصلی استان لرستان شامل ایستگاه فرودگاهی خرم‌آباد، بروجرد، الیگودرز، الشتر، نورآباد، و پلدختر می‌باشد. ایستگاه‌های سینوپتیک فرعی عبارتند از کوه‌دشت، ازنا، دورود، رومشگان، سپید دشت، ایمان آباد، شول‌آباد، و ریمله. ویژگی‌های ایستگاه‌های منتخب، در جدول شماره‌ی (1) آمده است. دوره‌ی آماری ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک استان لرستان بین 17 سال در ایستگاه‌های ازنا، دورود، و نورآباد تا 67 سال در ایستگاه خرم‌آباد در تغییر است. از این رو، با توجه به لزوم

1- Percent of Normal Precipitation Index

2- Tadić

وجود داده برای دوره‌ی سی ساله، ایستگاه‌هایی که دوره‌ی آماری آن‌ها کمتر از سی سال است را با استفاده از روش نسبت‌ها تکمیل می‌کنیم. این ایستگاه‌ها عبارتند از ازنا، دورود، الشتر، نورآباد، کوه‌دشت، و پلدختر.

3-3- بررسی شباهت الگوها و میزان بارش

از آنجایی که الگوی زمانی و میزان تمرکز بارش‌ها نقش بسزایی در راندمان آب دارد، بررسی آن پیش از بازسازی داده‌ها در ایستگاه‌های ناقص از نظر آماری، ضروری به نظر می‌رسد. بارش‌های فصل گرم دارای راندمان آب پایین‌تری نسبت به بارش‌های فصل سرد هستند؛ بنابراین، بارش در فصل گرم می‌تواند به ایجاد و تشدید خشکسالی دامن بزند (تراوارتا¹، 1954). به منظور ارزیابی و درک چگونگی الگو و تمرکز زمانی بارش در بین ایستگاه‌های انتخاب شده، نمودارهای میله‌ای (هیستوگرام) میزان بارش به زمان (شکل 2) تهیه شد. از آنجایی که سال‌های دارای داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های مختلف یکسان نیست، برای حذف این اثر در تعیین الگوهای بارش، مقدار بارش به درصد محاسبه شد تا مقایسه‌ی آن‌ها آسان‌تر گردد (ستون سمت چپ شکل 2). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، الگوی بارش در تمامی ایستگاه‌های انتخابی یکسان بوده و در ماه‌های سرد-خنک سال رخ می‌دهد که مشابه الگوی بارش مدیترانه‌ای در نیمکره‌ی شمالی است (نویدطلب و مقامی‌مقیم²، 2020). از نظر الگوی زمانی بارش، ایستگاه‌های انتخابی، دارای شباهت بسیار زیادی هستند و با توجه به بیشینه‌ی بارش در ماه‌های سرد-خنک، تفاوت در الگوی بارش یا راندمان کم آب ناشی از بارش در ماه‌های گرم نمی‌تواند زمینه‌ساز خشکسالی در این استان باشد (تراوارتا، 1954). بررسی الگوی تمرکز و مقدار بارندگی ایستگاه‌های انتخابی بیانگر وجود همانندی بسیار زیادی در بین ایستگاه‌هاست (شکل 2). بنابراین می‌توان از داده‌های ایستگاه‌های کامل برای بازسازی داده‌های ایستگاه‌های ناقص استفاده کرد.

3-4- تطابق زمانی و بازسازی نبوده‌های آماری دوره‌ی زمانی

با در نظر گرفتن دوره‌ی داده‌برداری 67 ساله در ایستگاه خرم‌آباد، 32 ساله در الیگودرز، و 30 ساله در بروجرد، این ایستگاه‌ها به عنوان ایستگاه‌های پایه با دوره‌ی کامل داده‌برداری در نظر گرفته می‌شوند (جدول 1). برای انتخاب ایستگاه پایه که به منظور بازسازی داده‌های یک ایستگاه ناقص انتخاب می‌شود، شباهت‌های اقلیمی یا هیدرولوژیکی در نظر گرفته می‌شود. به این منظور، از ضریب خشکی دمارتن³ (رابطه‌ی 2) استفاده می‌گردد (دمارتن⁴، 1926) که نتایج آن در جدول (2) ارائه شده است:

$$I_{DM} = \frac{P}{T_a + 10} \quad (2)$$

1- Trewartha

2- Navidtalab & Maghami Moghim

3- De Martonne aridity index

4- De Martonne

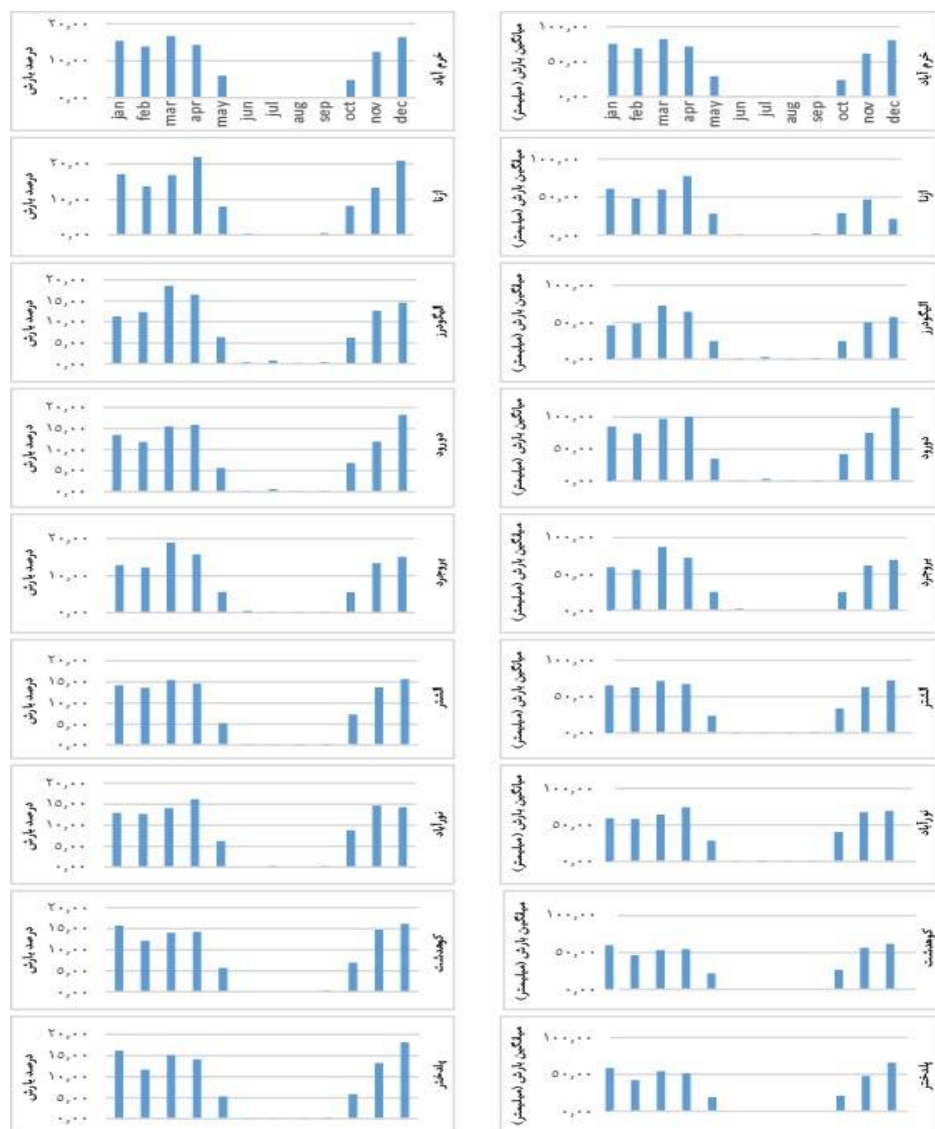
که در آن I_{DM} ضریب خشکی دمارتن، P مقدار بارش سالانه، و T_a میانگین سالانه‌ی دمای هوا به درجه‌ی سانتی‌گراد است.

جدول (1): ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک استان لرستان (اداره کل هواشناسی استان لرستان، 1398)
Table (1): Selected synoptic stations in Lorestan province (Meteorological Department of Lorestan province, 1398)

ایستگاه سینوپتیک	طول و عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	میانگین بارش سالانه	میانگین تبخیر آماری سالانه (سال)	دوره‌ی آماری	نوع اقلیم (طبقه‌بندی دکتر کریمی)
خرم‌آباد	48° 17' 33° 26'	1155	17/2	499	1835/9	67	نیمه‌مرطوب با تابستان گرم و زمستان نسبتاً سرد
الیگودرز	49° 42' 33° 24'	2022	12/4	387/7	2048/2	32	نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد
ازنا	49° 25' 33° 27'	1871/85	12/4	409/6	1676	17	نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد
دورود	49° 00' 33° 31'	1522	16/2	627/1	2101/9	17	نیمه‌مرطوب با تابستان گرم و زمستان سرد
بروجرد	48° 45' 33° 55'	1629	14/8	456/2	1929	30	نیمه‌مرطوب با تابستان گرم و زمستان نسبتاً سرد
الشتر	48° 15' 33° 49'	1567/15	12/9	444/1	1428/9	20	نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان سرد
نورآباد	48° 00' 34° 03'	1859/5	11/9	465/8	1821/3	17	نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد
کوهدشت	47° 39' 33° 31'	1197/85	16	365/8	1891/4	20	نیمه‌مرطوب با تابستان گرم و زمستان سرد
پلدختر	47° 43' 33° 09'	713/45	22/8	358/8	3109	19	نیمه‌خشک با تابستان بسیار گرم و زمستان کمی سرد

از آنجایی که ضریب خشکی دمارتن تنها دو عامل بارش و اقلیم را در نظر می‌گیرد، ممکن است بازه‌های گسترده‌ای از شرایط اقلیمی را در یک گروه قرار دهد و از قدرت کافی برای تفکیک گروه‌های اقلیمی برخوردار نباشد. از این‌رو، افزون بر این ضریب، از تقسیم‌بندی اقلیمی دکتر کریمی برای ایستگاه‌های لرستان (جدول 1؛ سازمان هواشناسی استان لرستان، 1398) به همراه پارامترهایی چون موقعیت جغرافیایی و همجواری، میانگین دمای سالانه، میانگین بارش سالانه، و میانگین تبخیر سالانه نیز برای تعیین ایستگاه‌های پایه برای بازسازی نبوده‌های داده بهره گرفته شد. بر این اساس، الیگودرز به عنوان ایستگاه پایه برای ایستگاه ازنا، بروجرد برای نورآباد و الشتر، و خرم‌آباد برای دورود، کوهدشت و پلدختر استفاده شد. اختلاف پلدختر با سایر ایستگاه‌ها

قابل چشم‌پوشی نیست، اما با توجه به نبود ایستگاه مجاور دیگری که بتوان از آن استفاده کرد، از ایستگاه خرم‌آباد به عنوان ایستگاه پایه برای بازسازی داده‌ای این ایستگاه بهره گرفته شد. در تحلیل‌ها این نکته مورد توجه قرار خواهد گرفت.



شکل (2): نمودارهای هیستوگرام (میلله‌ای) نشان‌دهنده‌ی الگوی زمانی بارندگی بر اساس درصد بارش (ستون سمت چپ) و مقدار بارندگی به میلی‌متر (ستون سمت راست).

Fig (3): Histograms showing temporal rainfall patterns on percent (left column) and millimeter scales (right column)

جدول (2): مقدار ضریب خشکی دمارتن در ایستگاه‌های انتخابی.

Table (2): The amount of De Martonne Aridity Index in selected stations

نام ایستگاه	خرم‌آباد	ازنا	الیگودرز	دورود	بروجرد	الشر	نورآباد	کوهدشت	پلدختر
I_{DM}	21/3	17/8	18/4	7/55	18/4	18/6	19/5	14/8	10/9
تقسیم‌بندی	نیمه خشک	نیمه خشک	نیمه خشک	خشک	نیمه خشک	نیمه خشک	نیمه خشک	نیمه خشک	خشک
دمارتن	خشک	خشک			خشک	خشک	خشک	تا خشک	

پس از تعیین ایستگاه‌های پایه، با استفاده از رابطه‌ی (3)، کمبود داده‌ها در ایستگاه‌های ناقص بازسازی گردید (علیزاده، 1374). محاسبات در نسخه‌ی اکسل تکمیلی آورده شده است (داده‌های تکمیلی 1).

$$x_1 = \frac{\bar{P}_a}{\bar{P}_b} * P_i \quad (3)$$

که در آن، x_1 بارش در سال فاقد آمار، \bar{P}_a میانگین بارش در ایستگاه ناقص، \bar{P}_b میانگین بارش در ایستگاه کامل، و P_i مجموع بارش در سال مورد نظر ایستگاه کامل.

3-5- تابع توزیع چگالی گاما

برای بررسی میزان احتمال وقوع شدت‌های خشکسالی محاسبه شده، از تابع توزیع چگالی گاما استفاده شد. مطالعات نشان می‌دهد که فراوانی پارامترهای مرتبط با شدت خشکسالی بر پایه‌ی نمایه‌ی درصد نرمال بارش (PNI) در یک بازه‌ی درازمدت از یک تابع توزیع گاما با پارامترهای شکل (α) و مقیاس (β) تبعیت می‌کنند، آنگاه تابع توزیع چگالی گاما برای هر ایستگاه می‌تواند به صورت زیر در نظر گرفته شود (گائو¹ و همکاران، 2008):

$$p(F_i | \alpha_j, \beta_j) = \frac{1}{\Gamma(\alpha_j)} \beta_j^{-\alpha_j} F_i^{\alpha_j-1} \exp\left(-\frac{F_i}{\beta_j}\right) \quad (4)$$

در رابطه‌ی 4، P احتمال وقوع، F_i درصد نرمال بارش (PNI) در سال‌های مختلف در یک ایستگاه مفروض (j)، α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس، Γ شماره ایستگاه، و Γ تابع گاما می‌باشد.

سپس بر اساس کدنویسی متلب (MATLAB، ارایه شده در داده‌های تکمیلی)، تابع توزیع چگالی گاما به فراوانی شدت خشکسالی بر اساس PNI در ایستگاه‌های مختلف برازش گردید تا تابع توزیع احتمال خشکسالی در هر ایستگاه و دوره‌ی بازگشت رخدادهای خشکسالی برای هر ایستگاه به دست آید. حاصل این برازش، به صورت یک نمودار زنگوله‌ای نشان داده می‌شود. دوره‌ی بازگشت وضعیت اقلیمی به شدت تا کمی مرطوب، نرمال، کمی خشک (خشکسالی ضعیف)، بسیار خشک (خشکسالی متوسط) و به شدت خشک (خشکسالی شدید) در ایستگاه‌های مختلف، بر پایه‌ی تابع برازش یافته گزارش می‌شود. برای محاسبه‌ی دوره‌ی بازگشت،

باید عدد یک بر مقدار احتمال هر وضعیت اقلیمی تقسیم شود. برای به دست آوردن مقدار احتمال هر وضعیت اقلیمی، کفایت تا حد ابتدا و انتهای همان وضعیت (محور x) را به نمودار زنگوله‌ای عمود کرده، آنگاه از محل برخورد، به مقدار احتمال بر روی محور y عمود کرده، سپس میانگین اعداد حد بالا و پایین گرفته شود. از تقسیم یک به عدد حاصل، دوره‌ی بازگشت بدست می‌آید.

4- یافته‌ها و تفسیرها

4-1- نمایه‌های آماری ایستگاه‌های مورد پژوهش

نمایه‌ی درصد ضریب تغییرات در تمام ایستگاه‌های مورد پژوهش کم‌تر از 28٪ درصد است (داده‌های تکمیلی 1). چنانچه این ویژگی بارش از 40٪ بیشتر باشد، بیانگر این است که بارش در یک منطقه دارای بی‌نظمی زیادی است که نشانگر چیرگی شرایط اقلیمی خشک می‌باشد (آرنون¹، 1992)؛ در حالی که این پارامتر کمتر از 40٪ باشد، نشان می‌دهد که بارش‌ها منظم و شرایط اقلیمی مایل به مرطوب می‌باشد (آرنون، 1992؛ رامشت، 1375؛ رحیمی و همکاران، 1388). با این تفاسیر، بارش‌ها در ایستگاه‌های مورد پژوهش در استان لرستان مایل به بسیار منظم و با تغییرات اندک هستند (بین 28 در خرم‌آباد تا 19 در دورود) که بیانگر شرایط اقلیمی نیمه مرطوب و رخداد خشکسالی‌های اندک و با شدت کم است. این وضعیت اقلیمی تا اندازه‌ای توسط ضریب خشکی دمارتن که برای اغلب ایستگاه‌ها شرایط اقلیمی نیمه‌خشک است (جدول 2)، نشان داده می‌شود (د مارتن، 1926). همچنین، وضعیت اقلیمی تعیین شده توسط دکتر کریمی برای استان لرستان بیانگر شرایط نیمه‌مرطوب است که با نمایه‌ی درصد ضریب تغییرات همخوانی بسیار خوبی دارد (سازمان هواشناسی کشور، 1398).

4-2- نمایه‌ی PNI و تعیین شدت خشکسالی در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد پژوهش

مطابق دسته‌بندی ارایه شده برپایه‌ی نمایه‌ی درصد نرمال بارش برای تعیین شدت خشکسالی (مرید و همکاران، 2006)، در هر ایستگاه نتایج به دست آمده (داده‌های تکمیلی)، گروه‌بندی شدند (جدول 3). همان‌گونه دیده می‌شود، هیچ‌کدام از ایستگاه‌های منتخب دارای سال یا سال‌های "به شدت خشک" نبوده و درصد این گروه، صفر است. در گروه "بسیار خشک" نیز، سه ایستگاه بروجرد، الشتر، و نورآباد بدون سال یا سال‌های "بسیار خشک" هستند؛ و سایر ایستگاه‌ها هم بین 3/3 تا 6/6 درصد از دوره‌ی سی‌ساله‌ی مورد بررسی آن‌ها "بسیار خشک" بوده است که درصد بسیار اندکی است. از سوی دیگر، بین 6/6 تا 30 درصد دوره‌ی سی‌ساله در ایستگاه‌های مورد بررسی شرایط "کمی خشک" را نشان می‌دهند که بیشترین آن مربوط به خرم‌آباد است و رخداد بارش‌های سنگین در این ایستگاه ثبت شده است که نشان دهنده‌ی رخداد بارش‌های سنگین و تعداد کمتر است (رحیمی و همکاران، 1388). این بی‌نظمی‌ها بیشتر در مناطقی رخ می‌دهند که شرایط

اقلیمی آن‌ها به مناطق خشک همانندتر باشد (آرنون، 1992). حدود 36/6 تا 66/3 درصد از دوره‌ی سی ساله‌ی مورد بررسی در همه‌ی ایستگاه‌ها، شرایط "عادی یا نرمال" و بین 20 تا 36/6 درصد از این دوره نیز شرایط "به‌شدت تا کمی مرطوب" را نشان می‌دهند (جدول 3، شکل 3). همان‌گونه که بررسی داده‌های بارش در استان لرستان نشان می‌دهند، خشکسالی به صورت قابل توجه در استان لرستان از سال 1987 تا 2017 رخ نداده است (جدول 3)، و بنابراین، عوارض خشکسالی بسیار شدید به صورت خشک شدن بسیاری از چشمه‌ها، رودخانه‌ها، و آبشارها گزارش شده است، نمی‌تواند به‌تنهایی ناشی از کمبود بارش باشد. این مساله ریشه در برداشت بی‌رویه‌ی آب‌های زیرزمینی دارد که موجب افت ناگهانی و شدید سطح سفره و بروز علایم خشکسالی شدید مانند خشک شدن چشمه‌ها، رودخانه‌ها، فرونشست زمین، بیابان‌زایی، و فرسایش خاک شده است (مدنی¹ و همکاران، 2016). بنابر آمار منتشر شده از سوی شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان، تعداد کل چاه‌های مجاز در این استان تا پایان سال 94 در حدود 3757 حلقه چاه با میزان تخلیه‌ی 563/03 میلیون مترمکعب بوده که در آغاز سال 1399 این آمار به 6748 حلقه با تخلیه‌ی 719/39 میلیون متر مکعب رسیده است. این آمار نشانگر رشدی معادل 88 درصد در تعداد چاه و 28 درصد در میزان برداشت آب در ظرف 4 سال است (<http://www.lsrw.ir/SC.php?type=static&id=53>). بنابراین، پدیدار شدن علایم خشکسالی شدید لرستان، بیشتر از آن‌که ناشی از خشکسالی جوی باشند، می‌توانند ناشی از خشکسالی اجتماعی-اقتصادی باشند. در این حالت تقاضای آب بیشتر از تامین طبیعی آن صورت گرفته است (ویلهاйт، 2000؛ مدنی و همکاران، 2016).

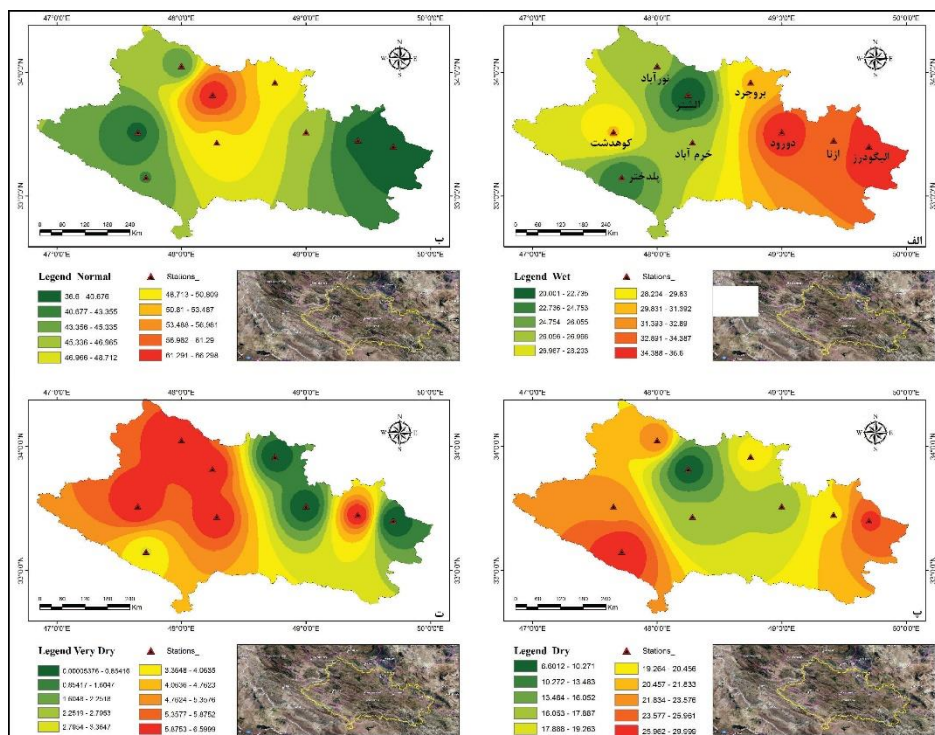
جدول (3): فراوانی نسبی گروه‌های شدت خشکسالی بر پایه‌ی نمایه‌ی درصد نرمال بارش (PNI) در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد پژوهش در استان لرستان

Table (3): Relative frequency of drought intensity groups based on percentage of normal precipitation index (PNI) in the studied synoptic stations in Lorestan province

ایستگاه	به‌شدت تا کمی مرطوب (≥ 110)	نرمال (80 – 110)	کمی خشک (55 – 80)	بسیار خشک (40 – 55)	به‌شدت خشک (≤ 40)
خرم‌آباد	23/3	43/3	30	3/3	0
ازنا	30	40	23	6/6	0
الیگودرز	26/6	43/3	23/3	6/6	0
دورود	20	66/3	6/6	6/6	0
بروجرد	30	50	20	0	0
الشتر	36/6	46/6	16/6	0	0
نورآباد	36/6	36/6	26/6	0	0
کوه‌دشت	33/3	40	20	6/6	0
پلدختر	26/6	50	16/6	6/6	0

3-4- بررسی احتمال رخداد و دوره‌ی بازگشت خشکسالی

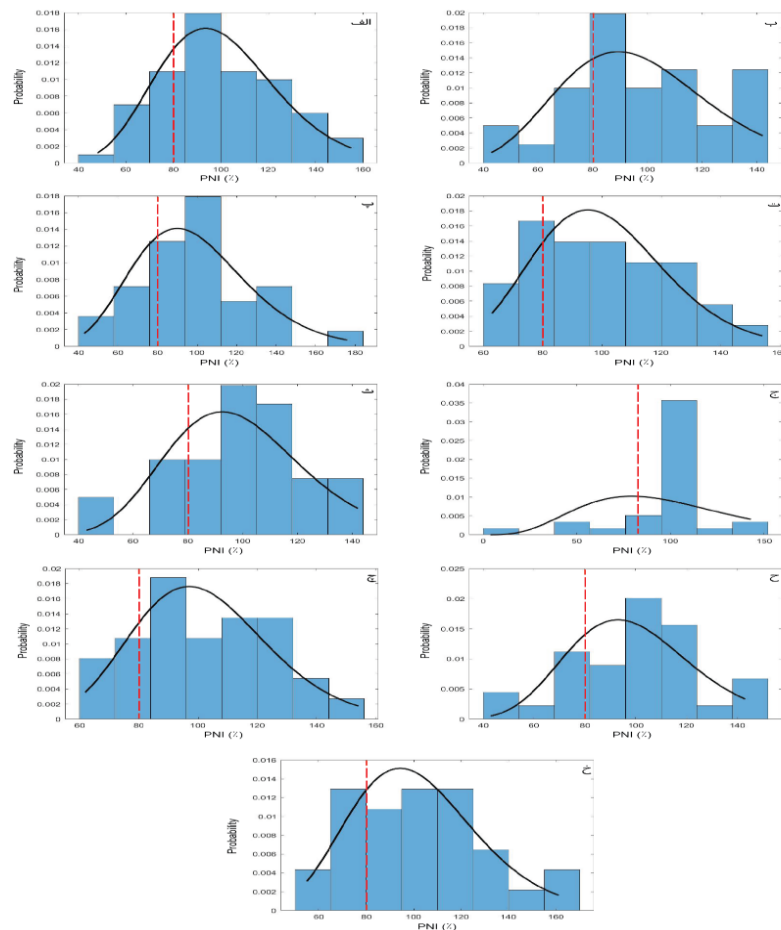
برای درک تابع توزیع احتمال خشکسالی در هر ایستگاه و دوره‌ی بازگشت رخدادهای خشکسالی برای هر ایستگاه، تابع توزیع چگالی گاما به فراوانی شدت خشکسالی بر اساس PNI در ایستگاه‌های مختلف برازش گردید (شکل 4). بر اساس آستانه خشکسالی (80 درصد)، همه‌ی ایستگاه‌ها در وضعیت نرمال (110 - 80 درصد) یا ترسالی (بیش از 110 درصد) با احتمال کم خشکسالی ($80 \leq$ درصد) هستند. این یافته، با تقسیم‌بندی ارایه شده توسط سازمان هواشناسی کشور برای لرستان نیز همخوانی بسیار خوبی دارد که در این تقسیم‌بندی، اغلب ایستگاه‌های مورد بررسی (8 ایستگاه از 9 ایستگاه مورد مطالعه) را نیمه‌مرطوب معرفی کرده است (جدول 1). افزون بر این، مگر ایستگاه دورود، نمودارهای زنگوله‌ای در شکل 4 نیز، همین وضعیت را بازتاب می‌دهند، به طوری که بخش بیشتر این نمودار در سمت بیشتر از حد آستانه (بیشتر از 80 درصد) قرار می‌گیرد. خشکسالی شدید، میزان رخدادی نزدیک به صفر دارد. بیشترین فراوانی در بین خشکسالی‌ها، مربوط به خشکسالی خفیف است که آن هم در مقایسه با سال‌های مرطوب از فراوانی بسیار کمی برخوردار است (جدول 3 و 4، شکل 4). آن‌گونه که در جدول (4) نیز نشان داده شده است، به‌جز ایستگاه دورود، سایر ایستگاه‌ها از نظر دوره‌ی بازگشت خشکسالی شدید، دوره‌ای بسیار طولانی داشته به طوری که قابل محاسبه نمی‌باشند. اما، این دوره برای ایستگاه دورود، نزدیک به هزار سال است. با این حال، می‌توان گفت که خشکسالی شدید جوی در ایستگاه‌های مورد پژوهش به ندرت رخ خواهد داد.



شکل (3): نقشه‌ی پراکنش شرایط ترسالی، نرمال، خشکسالی ضعیف، و خشکسالی متوسط. الف-ترسالی که 20 تا 36/6 درصد، ب-شرایط نرمال که 36/6 تا 66/3 درصد، پ-خشکسالی ضعیف که 6/6 تا 30 درصد، و ت- خشکسالی متوسط که 0 تا 6/6 درصد از بازه‌ی زمانی مورد بررسی را شامل می‌شود

Fig (3): Distribution map of wet, normal, dry, and very dry conditions. A) Wet condition that includes 20-36.6%, B) Normal condition that includes 36.6-66.3%, C) Dry condition that includes 6.6-30%, D) Very dry condition that includes 0-6.6% of the the thirty-year studied period in the selected stations

از سوی دیگر، دوره‌ی بازگشت خشکسالی متوسط نیز در سه ایستگاه بروجرد، نورآباد و الشتر نیز بسیار طولانی است به طوری که قابل محاسبه نمی‌باشند. ایستگاه‌های خرم‌آباد، الیگودرز، کوهدشت، و پلدختر دارای دوره‌ی بازگشت هزار ساله هستند، اما دوره‌ی بازگشت این خشکسالی در ازنا و دورود کمتر از 300 سال است. به این صورت، خشکسالی متوسط نیز در همه ایستگاه‌ها، مگر ایستگاه‌های ازنا و دورود، دارای دوره‌ی بازگشت بسیار طولانی است و این خشکسالی فقط باید در دو ایستگاه یاد شده محل توجه باشد. از سوی دیگر، خشکسالی ضعیف در همه‌ی ایستگاه‌ها دارای دوره‌ی بازگشت 100 تا 200 ساله است. بنابراین رخداد این-گونه خشکسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی محتمل‌تر است. اما، با توجه به یافته‌های بالا می‌توان به این جمع-بندی رسید که خشک شدن بیشتر چشمه‌ها و رودخانه‌های لرستان مطابق آنچه در خبرگزاری‌ها بارها به آن اشاره شده است، نمی‌تواند تنها ناشی از خشکسالی جوی باشد.



شکل (4): تابع‌های توزیع برای ایستگاه‌های خرم‌آباد (الف)، ازنا (ب)، الیگودرز (پ)، بروجرд (د)، پلدختر (ه)، دورود (و)، الشتر (ز)، کوهدشت (ح)، نورآباد (خ). محور عمودی بیانگر احتمال (probability) رخداد، محور افقی بیانگر درصد نرمال بارش و خط چین قرمز، حد آستانه‌ی خشکسالی است.

Fig (4): Distribution functions for Khorramabad (a), Azna (b), Aligudarz (c), Boroujerd (d), Poldakhtar (e), Dorud (f), Alashatr (g), Kuhdasht (h), and Noorabad (i) stations. The vertical axis indicates the probability of the event and the horizontal axis indicates the percent of normal precipitation. The red line indicates the threshold of drought

بررسی داده‌های اقلیمی در استان لرستان که منجر به پیش‌بینی خشکسالی در لرستان برای بازه‌ی زمانی 2011 تا 2030 شده است، نشان می‌دهد که خشکسالی در این استان نه تنها افزایش نخواهد یافت، بلکه در آینده از میزان آن کاسته خواهد شد و بر میزان ترسالی افزوده می‌شود (پروانه و همکاران، 1394).

جدول (4): دوره‌ی بازگشت شدت‌های مختلف خشکسالی. دوره‌ی بازگشت یکسال در عدد سال به‌دست آمده، خوانده می‌شود برای مثال: یک در 500 سال. واحد اعداد بدست آمده در جدول، سال می‌باشد

Table (4): The return period of different drought intensities. Note that the return period is one-year in the years obtained. For example: one in 500 years. The unit of numbers obtained in the table is year

ایستگاه	به شدت تا کمی مرطوب ≥ 110	نرمال 80 - 110	کمی خشک 55 - 80	بسیار خشک 40 - 55	به شدت خشک ≤ 40
خرم‌آباد	142	62	166	1000	-
ازنا	125	71	125	333	-
الیگودرز	250	71	111	1000	-
دورود	125	100	100	142	1000
بروجرد	166	55	166	-	-
الشتر	166	55	200	-	-
نورآباد	181	66	125	-	-
کوهدشت	125	63	111	1000	-
پلدختر	125	63	111	1000	-

5- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که پژوهش‌های فراوان پیشین نیز قابلیت بالای نمایه‌ی درصد نرمال بارش (PNI) در شناسایی خشک‌سالی‌های مناطق نیمه‌خشک و خشک در مقایسه با سایر نمایه‌های دیگر را نشان داده‌اند، استفاده از این نمایه در این پژوهش نیز به خوبی رویدادهای خشکسالی در استان لرستان را شناسایی کرده است. یافته‌های به‌دست آمده از این نمایه در استان لرستان، همخوانی بسیار خوبی با نتایج بررسی وضعیت خشکسالی استان لرستان بین 2011 تا 2030 که از بکارگیری ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو شامل INCM، HADCM، IPCM و NCCCPM توسط مدل آماری LARS-WG حاصل شده است (پروانه و همکاران، 1394)، نشان می‌دهند. افزون بر این، یافته‌های نمایه‌ی PNI در این پژوهش با یافته‌های نمایه‌ی SPI در استان لرستان در سازگاری کامل است به طوری که شاخص SPI نیز در این استان بیانگر کاهش خشکسالی و افزایش ترسالی است (پروانه و همکاران، 1394). همچنین، علاوه بر این پژوهش‌ها، گزارش‌های درصد مساحت تحت تاثیر خشکسالی (جوی) 10 ساله (بین سال‌های 1389 تا 1398) با نمایه‌ی SPEI استان لرستان نیز به شکل بسیار خوبی یافته‌های این مقاله را تایید می‌کند و نشان می‌دهد که تنها درصد بسیار کمی از استان دچار خشکسالی متوسط (9/3٪) و شدید (1/4٪) است (سازمان هواشناسی کشور، 1398). بنابراین می‌توان دریافت که بازسازی داده‌ها و همچنین استفاده از شاخص PNI در لرستان تا اندازه‌ی زیادی قابل اطمینان هستند و می‌توان به نتایج آن‌ها اطمینان کرد (ادیب و گرجی‌زاده، 1395؛ صالح‌نیا و همکاران، 2017). با این تفاسیر، بروز عوارض خشکسالی شدید شامل خشک شدن چشمه‌ها و رودخانه‌ها در سه سال اخیر نمی‌تواند به تنهایی از عوارض خشکسالی جوی باشد که تنها درصد بسیار کمی از مساحت استان را تحت تاثیر قرار داده است. با توجه به این‌که در اینجا برای محاسبه‌ی PNI، یک بازه‌ی زمانی سی‌ساله در نظر گرفته شده است (1988-2017)، همه‌ی ایستگاه‌ها دارای داده‌های کامل نبودند. بنابراین، به منظور

جبران این نبوده‌های داده‌ای، اقدام به تولید داده برای بازه‌های زمانی ناقص بر پایه‌ی روش نسبت‌ها شد که این امر موجب ایجاد خطا می‌شود، زیرا ایستگاه‌های مورد بررسی از نظر اقلیمی به طور کامل مشابه هم نیستند. بنابراین، درصد ضریب اطمینان برای یافته‌ها در آن ایستگاه‌ها تعیین شد. به این منظور، تعداد سال‌های دارای داده، تقسیم بر سی (دوره‌ی کامل مورد بررسی) ضربدر 100 شد تا درصد ضریب اطمینان برای ایستگاه‌هایی که نقص آمارای آن‌ها توسط رابطه نسبت‌ها بازسازی شده بود به دست آید. بر این اساس، از میان ایستگاه‌های انتخابی، سه ایستگاه خرم‌آباد، الیگودرز و بروجرد دارای داده‌های کامل بودند و بنابراین نتایج بدست آمده برای آن‌ها می‌تواند به طور 100٪ قابل استناد باشد. از بین شش ایستگاه دیگر، بر پایه‌ی تعداد سال‌های بازسازی شده، ضریب اطمینان برای نتایج بدست آمده در ایستگاه‌های ازنا، دورود و نورآباد 56/7٪، پلدختر 63/4٪ و برای کوه‌دشت و الشتر 66/7٪ می‌باشد. به جای بازسازی داده‌ها از روش نسبت‌ها، می‌توان از داده‌های ECMWF، AgMERRA و یا NCEP/NCAR نیز استفاده کرد که با یافته‌های این پژوهش قابل مقایسه خواهد بود.

5- منابع

- Adib, A., Gorgizadeh, A. (2017). Evaluation and monitoring of drought using of drought indexes; case study the Dez watershed. *Journal of irrigation & water engineering* 6, (26):173-185.
- Aghanabati, A. (2006). *Geology of Iran, Tehran*: Geological Survey of Iran.
- Alizadeh, A. (1995). *Principles of Applied Hydrology*, Mashhad: Astan Quds Razavi.
- Adnan, S., Ullah, K., Shuanglin, L., Gao, S., Khan, A. H., Mahmood, R. (2018). Comparison of various drought indices to monitor drought status in Pakistan. *Climate Dynamics* 51: 1885–1899. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3987-0>
- Alwan, I., Ziboon, A.R.T. and Khalaf, A.G. (2018). Comparison of nine meteorological drought indices over middle Euphrates region during period from 1988 to 2017. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.20): 602-607.
- Arnon, I. (1992). Agriculture in dry lands principles and practice. *Developments in agricultural and managed-forest ecology*: 26, 3-917.
- Byun H R, Wilhite D A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12(9): 2747–2756.
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *WIREs Climate Change*, 2: 45-65. doi:10.1002/wcc.81
- De Martonne, E. (1926). Aerisme, et indices d'aridite. *Comptesrendus de L'Academie des Sciences*, 182: 1395-1398.
- Gao, G., Zhao, L., Zhang, J., Zhou, D., & Huang, J. (2008). A segmentation algorithm for SAR images based on the anisotropic heat diffusion equation. *Pattern Recognition*, 41(10): 3035-3043.
- Hagman, G. (1984). *Prevention Better than Cure: Report on Human and Natural Disasters in the Third World*, Stockholm: Swedish Red Cross.
- Hayes, M.J. (2006). Drought indices. What Is Drought? Lincoln, Nebraska: *National Drought Mitigation Center*. Available at: <http://drought.unl.edu/whatis/indices.htm>.
- Hayes, M.J., Alford, C., Lowrey, J. (2007). Drought indices. Feature Article From Intermountain West Climate Summary. Western Water Assessment. Available at: the *National Drought Mitigation Center* (NDMC) webpage, <http://drought.unl.edu/index.htm>.
- Madani, K., AghaKouchak, A., Mirchi, A. (2016). Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation, *Iranian Studies*, 49 (6): 997-1016
- Morid, S, Smakhtin V, Moghaddasi M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 26 (7): 971–985.

- Navidtalab, A., Maghami Moghim, G. (2020). Climate, lithology, and tectonics interaction in shaping a hazardous salt karst: A case from the middle-late Miocene (?) evaporite succession of NE Iran. *Geomorphology* 356: 107067. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107067>
- Parvaneh, B., Shiravand, H., Dargahian, F. (2015). Prediction of drought situation in Lorestan province during the period 2030-2011 using the micro-scale of the output of 4 models of general atmospheric circulation. *Territorial Geography* 12 (45): 1-13.
- Palmer, W. (1965). "Meteorological Drought". Research paper no.45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, February (58 pgs). Available online by the NOAA *National Climatic Data Center* at <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf>.
- Rahimi, D., Movahedi, S., Barqi, H. (2010). Investigation of drought intensity with normal precipitation index (case study of Sistan and Baluchestan province). *Geography and Environmental Planning. Journal of Humanities Research* 20 (4): 43-56.
- Ramasht, M. H. (1995). *Application of Geomorphology in Planning*, University of Isfahan.
- Sari Saraf, B., Mahmudi, S., Zangane, S. (2015). Monitoring and Predicting the Wet and Drought Periods in Tabriz Using CLIMGEN Models and SPI, *Hydrogeomorphology*, 1(2): 61-78.
- Said, A. A., Cetin, M., Yurtal, R. (2019). Drought Assessment and Monitoring Using Some Drought Indicators in the Semi-Arid Puntland State of Somalia. *Fresenius Environmental Bulletin* (FEB 28 (11A): 8765-8772.
- Salehnia, N., Alizadeh, A., Sanaeinejad, H., Bannayan, M., Zarrin, A., & Hoogenboom, G. (2017). Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of Arid Land*, 9 (6): 797-809.
- Shahabfar, A., Eitzinger, J. (2013). Spatio-temporal analysis of droughts in semi-arid regions by using meteorological drought indices. *Atmosphere*, 4 (2): 94-112.
- Sok K., Visessri S., Heng S. (2019). A Comparative Assessment of Meteorological Drought Indices for the Baribo Basin (Cambodia). In: Chaminé H., Barbieri M., Kisi O., Chen M., Merkel B. (eds) *Advances in Sustainable and Environmental Hydrology, Hydrogeology, Hydrochemistry and Water Resources. CAJG 2018. Advances in Science, Technology & Innovation* (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01572-5_2
- Tadić, L., Dadić, T., Bosak, M. (2015). Comparison of different drought assessment methods in continental Croatia. *GRAĐEVINAR* 67 (1): 11-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.14256/JCE.1088.2014>
- Trewartha, G.T. (1954). *An Introduction to Climate*. McGraw-Hill Book Company, INC., New York.

- Vali, A., Mehrabi, A. (2019). The Frequency Analysis of the Hydrological Drought in Doroodzan Dam Basin Based on Stream Flow Drought Index. *Hydrogeomorphology*, 5(19): 143-125.
- Wilhite, Donald A. (2000). *"Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions"*. Drought Mitigation Center Faculty Publications. 69.
- Willeke G, Hosking J R M, Wallis J R. (1994). *The national drought atlas*. In: *Institute for Water Resources Report 94-NDS-4*. U.S Army Corp of Engineers, CD-ROM. Norfolk, VA.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19(NA): 333-349.