

کاربرد روش های آماری و نمایه های خشکسالی در تحلیل نوسانات بارش مطالعه موردی: ایستگاه کرمان

زهرا حجازی زاده، استاد اقلیم شناسی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
محمد حسین ناصر زاده*، استادیار اقلیم شناسی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
داریوش حاتمی زرنه، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
محمد رضایی، دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در پژوهش حاضر با استفاده از داده های بارش فصلی ایستگاه سینوپتیک کرمان در یک دوره ی بلند مدت ۵۰ ساله از سال ۱۹۵۶ - ۲۰۰۵ میلادی نوسانات بارش ایستگاه مذکور، محاسبه و روند تغییرات بارش بررسی شد. در ادامه از روش آماره ناپارامتریک من-کندال برای آزمون معنی داری روند تغییرات و نوسانات بارش فصلی استفاده شد. همچنین با استفاده از شاخص های مختلف تعیین خشکسالی، دوره های خشک، نرمال و مرطوب فصلی مشخص شد. نتایج آزمون بیانگر معنی دار بودن روند بارش بهاره ی ایستگاه کرمان بود. نتایج مدل های مختلف خشکسالی نشانگر تغییرات معنی دار در روند بلندمدت بارش فصلی بوده که حاکی از وقوع دوره های پدیده ی خشکسالی در ایستگاه مورد مطالعه است. تمامی مدل های مورد استفاده در پژوهش حاضر هر یک به نحوی بازگو کننده ی نوسانات فصلی بارش ایستگاه کرمان بودند. در بین فصول مختلف، روند فصل بهار به سوی دوره های خشک در حال تغییر است. نتایج پژوهش می تواند در بخش های مختلف از جمله مدیریت بلند مدت منابع آب در کرمان و ایستگاه های مشابه به کار گرفته شود.

واژگان کلیدی

بارش فصلی، دوره های مرطوب و خشک، من کندال، کرمان

مقدمه و تعاریف

بارش، پر نوسان ترین عنصر اقلیمی از نظر مکانی و زمانی می باشد. تغییرات شدید این عنصر اقلیمی منجر به تغییرات الگوهای جهانی جوی شده که ایران هم از این قضیه مبرا نبوده و نخواهد بود. به همین دلیل بررسی روند بارش در مقیاس های مختلف زمانی و مکانی از مهم ترین موضوعات اقلیم شناسی محسوب می شود. زمانی که نوسانات بارش شدید باشد شاهد بحران هایی از قبیل خشکسالی یا سیلاب های ناگهانی و شدید خواهیم بود که در ایران مخصوصا خشکسالی به عنوان یکی از شاخه های اقلیمی منطقه شناخته می شود (امیری، ۱۳۸۶). بنا به نقل از وبسایت خبری صنعت غذا و کشاورزی (۱۳۸۹/۶/۱۵) نوسانات بارش امنیت غذایی جهان را به خطر می اندازد. به گزارش موج به نقل از الجزیره کارشناسان موسسه بین المللی مدیریت منابع آب پیش بینی کردند که قاره های آفریقا و آسیا بیش از دیگر قاره ها از نوسانات بارش آسیب می بینند. در این گزارش از قانون گزاران و کشاورزان، به خصوص در کشورهای در حال توسعه خواسته است تا تلاش های خود را برای افزایش منابع آب بیشتر کنند (www.agrofoodnews.com). در سال های اخیر مطالعات بسیاری در ارتباط با نوسانات بارش به روش آماری در سطوح جهانی و از جمله ایران انجام گرفته است.

در مطالعه ای با استفاده از آزمون من کندال به بررسی نوسانات و روند بارش سالانه در سه ناحیه اقلیمی crivenica, zagreb, Osijek در کشور کرواسی پرداخته شد. نتایج نشان داد که نوسانات بارش به صورت دوره ای در تمامی ایستگاه ها وجود دارد. اما روند معنی دار کاهشی تنها در ناحیه اقلیمی osigek دیده شد (M.gajic -capka, 1993; 215). در پژوهشی دیگر تحلیل فضایی-زمانی بارش در مناطق (Canal command areas) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در این منطقه بارش منطقه ای تصویر بهتری را نسبت به بارش نقطه ای ارائه می دهد (Assim, et al, 2000). همچنین در این زمینه در مطالعه ای به تجزیه و تحلیل آماری بارش آنکارا (ترکیه) پرداخته شد. نتایج بدست آمده نشان داد که توزیع بارش در ایستگاه آنکارا نرمال نیست و از سالی به سال دیگر تفاوت دارد، از طرفی روند بارش ماه های مارس، سپتامبر و دسامبر نزولی و معنی دار و در ماه های آوریل، آگوست و اکتبر، صعودی و معنی دار می باشد (cicek, 2003; 15). بررسی و تجزیه و تحلیل آماری روندهای بارش در ناحیه ای پاتاگونی جنوبی آمریکای جنوبی عنوان پژوهشی دیگر در این زمینه می باشد. نتایج نشان داد که در نواحی شمالی و جنوبی این منطقه روند بارش مثبت است، در حالیکه روند بارش در نواحی غربی و مرکز این منطقه در حال کاهش می باشد (M.castaneda., et al., 2008: 303). در مطالعه ای دیگری در منطقه کاتالونیا به بازبینی تحلیل های آماری بارندگی های ماهانه و روزانه پرداخته شد. محققان دریافتند که بارش در این منطقه رفتار پیچیده ای دارد و میزان بارش در فصول بهار و پاییز وابسته به سیکلون زایی در مدیترانه است. نتایج تحلیل های آنها حاکی از تداوم نتایج مطالعات قبل در مورد بارش این منطقه می باشد (x-lena, et al, 2009). همچنین روند و تغییر پذیری بارش محلی در منطقه ای پارک ملی kibale در کشور اوگاندا مورد بررسی قرار گرفت. پژوهشگران برای ارزیابی تغییر پذیری بارش فصلی و سالانه این منطقه از آزمون من کندال و شاخص برآوردگر سن استفاده کردند. نتایج کار آنها نشان داد بارش سالانه فاقد روند معنی دار می باشد، اما روند بارش های کوتاه فصلی در ایستگاه های غربی منطقه، کاهشی معنی دار و در قسمت های شمالی افزایشی معنی دار بوده است (Mary D. stampone, et al) 2011; 14. همچنین R.stella maragathan در پژوهش خود روند بارش ۱۴۷۶ ایستگاه باران سنجی در کشور

هند را در یک دوره ۱۰۰ ساله، با استفاده از روش‌های مختلف تحلیل روند مورد بررسی قرار داد. وی به این نتیجه رسید که روش حداقل مربعات نسبت به روش‌های دیگر نتایج بهتری را ارائه می‌دهد (2012;2111). R.stell.maragathan. در نهایت در این زمینه می‌توان به پژوهش Arun Mondal با عنوان تحلیل روند بارش با آزمون من کندال: مطالعه موردی قسمت شمال شرقی بخش Orissa، cuttack در هند اشاره کرد. ایشان با استفاده از آزمون من کندال و برآوردگر سن به تحلیل بارش ماهانه در حوزه رودخانه‌ی Orissa در هند پرداخت. نتایج وی نشان می‌دهد که علی‌رغم روند صعودی و نزولی بارش در ماه‌های مختلف در هیچ ماهی روند معنی‌دار مشاهده نشد (Arun Mondal, et al, 2012; 2081).

در ایران نیز مطالعاتی در ارتباط با تحلیل نوسانات بارش و تعیین دوره‌های خشک و مرطوب به عمل آمده است. مطالعه‌ای با عنوان بررسی نوسانات بارش، پیش‌بینی و تعیین فصول مرطوب و خشک زمستانه‌ی آذربایجان شرقی با روش تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی انجام شد. نتایج حاکی از نوسانات شدید بارش توام با شدت و ضعف در همه‌ی ایستگاه‌ها می‌باشد (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۸۳؛ ۲۵). در پژوهشی تعیین آستانه خشکسالی و محاسبه‌ی میزان بارش قابل اعتماد ایستگاه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داد که وقوع پدیده‌ی خشکسالی در کل ایستگاه‌ها با شدت و ضعف‌هایی همراه است (قویدل و همکاران، ۱۳۸۶). در تحقیقی به بررسی نمایه‌های مختلف خشکسالی (SPI, ZSIP, Nitzche, PNPI) در استان مازندران پرداخته شد. نتایج نشان داد که از نظر تفکیک سال‌های مرطوب و خشک در منطقه‌ی مورد مطالعه اغلب بارش نرمال بوده و سال‌های خشک و مرطوب نیز به صورت دوره‌ای قابل مشاهده می‌باشند که سال‌های دارای بارش نرمال از فراوانی و استمرار بیشتری نسبت به سال‌های مرطوب و خشک برخوردارند (خلیقی سیگارودی و همکاران، ۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات بارش در زابل عنوان مطالعه‌ی دیگر در همین زمینه می‌باشد. محققان با بررسی روند بارش ایستگاه زابل در طی ۴۰ نتیجه گرفتند که در طول این دوره، مقدار بارش دارای نوسان بوده و روند صعودی و نزولی مشخص نداشته است، اما ضریب تغییرپذیری آن طی سال‌های اخیر نسبت به دوره‌های قبل افزایش داشته است (گندمکار و همکاران، ۱۳۸۸). در مطالعه‌ی دیگر بررسی کاربرد الگوهای کلان مقیاس جوی-اقیانوسی در تحلیل نوسانات بارش، مطالعه موردی: ایستگاه اهر و همچنین روند تغییرات آن در یک بازه ۴۷ ساله مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل‌های آماری رابطه‌ی بارش‌های فصلی ایستگاه مورد مطالعه را با الگوهای پیوند از دور مورد تایید قرار داد. همچنین پس از آزمون مدل‌های مختلف خشکسالی این واقعیت مهم به دست آمد که در ایستگاه مورد مطالعه گاه به گاه خشکسالی رخ می‌دهد (خورشید دوست و قویدل رحیمی ۱۳۸۹: ۹۵). در پژوهشی روند بارش برف در جلگه‌ی مرکزی گیلان و پیامدهای ناشی از آن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آن نشان داد که ریزش برف در استان گیلان یک ویژگی طبیعی بوده که هر چند سال یکبار با حجم زیاد نزول می‌کند و با خسارت‌های مالی و گاه جانی همراه است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۷).

با توجه به اینکه نوسانات بارش در نواحی جنوبی کشور ما به ویژه در استان کرمان مرسوم بوده و هر ساله شاهد وقوع آن هستیم و همچنین از آنجایی که بارش و نوسانات آن بر روی تولیدات کشاورزی بیش از سایر پارامترهای اقلیمی موثر است لذا ضرورت دارد که روند نوسانات آن جهت مدیریت و برنامه ریزی ناحیه‌ای در کرمان بررسی شود. که تحقیق حاضر این امر را مورد بررسی قرار داده است.

داده ها و روش ها

در پژوهش حاضر داده های بارش سالانه و فصلی ایستگاه کرمان در یک دوره ۵۰ ساله (۱۹۵۶-۲۰۰۵) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. جهت آگاهی از معنی دار بودن روند فصلی بارش کرمان از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شد. از نکات قوت روش من-کندال می توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی کنند اشاره نمود. فرض صفر بودن این آزمون، بر تصادفی بودن داده ها و عدم وجود روند در سری داده ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک، دال بر وجود روند در سری داده هاست. مراحل محاسبه ی آماره ی این آزمون به شرح زیر است:

الف: محاسبه ی اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتری به

شرح رابطه ی ۱:

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

در رابطه ی ۱ پارامتر n بیانگر تعداد مشاهدات سری و X_j و X_k به ترتیب داده های J ام و k ام سری می باشد. تابع علامت (sgn) نیز به شرط رابطه ۲ قابل محاسبه است.

$$(2) \quad \text{sgn}(n) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

اگر $n > 10$ باشد، از رابطه ی ۳ برای محاسبه ی واریانس $\text{var}(s)$ استفاده می شود:

$$(3) \quad \text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18}$$

در رابطه ی ۳، n تعداد داده های مشاهداتی و m معرف تعداد سری هایی است که در آنها حداقل یک داده ی تکراری وجود دارد، پارامتر t نیز بیانگر فراوانی داده های با ارزش یکسان می باشد که از رابطه ی ۴ بدست می آید:

$$(4) \quad z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

بنابراین، در یک آزمون دودامنه جهت روندیابی سری داده ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می شود که رابطه ی ۵ برقرار باشد.

$$(5) \quad |Z| \leq Z_{\alpha/\tau}$$

در رابطه ی ۵ پارامتر a تعیین کننده ی سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته می شود، و $Z_{\alpha/\tau}$ آماره ی توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری a می باشد. که با توجه به دودامنه ای بودن آزمون، از α/τ استفاده شده است. در این آزمون سطح معنی داری ۹۵ و ۹۹ درصد مورد استفاده قرار می گیرد. در صورتی که

آماري Z مثبت باشد، روند داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی خواهد بود (رسولی و جوان به نقل از حجام و همکاران: ۱۳۹۱، ۱۱۷).

برای تعیین و طبقه‌بندی دوره‌های خشک و مرطوب فصلی ایستگاه کرمان از مدل‌های نیچه (Nitzche)، بارش قابل اعتماد (DRI)، نمایه ی بارش استاندارد شده (ZSIP)، و در نهایت درصد بارش نرمال (PNPI) استفاده شد.

مدل نیچه

Nitzche (۲۰۰۲)، با استفاده از داده‌های بارش سالانه، معادلات زیر را برای ترسالی‌ها، خشکسالی‌ها و سال‌های نرمال به کار گرفت:

$$P_i \geq (\bar{P} + Sd) \quad (۶) \text{ ترسالی}$$

$$(\bar{P} - Sd) \leq P_i \leq (\bar{P} + Sd) \quad (۷) \text{ بارش نرمال}$$

$$P_i \leq (\bar{P} - Sd) \quad (۸) \text{ خشکسالی}$$

در معادلات بالا، P_i بارش در سال i ام، Sd انحراف معیار داده‌های بارش در طول دوره‌ی آماری، و \bar{P} میانگین بارش بلندمدت ایستگاه می‌باشد (خلیقی سیگارودی و همکاران، ۱۳۸۸، بنقل از نیچه).

مدل DR

به منظور محاسبه‌ی میزان بارش قابل اعتماد (DR) و تعیین سال‌های مرطوب و خشک از این نمایه به شرح زیر استفاده شده است.

$$DR = \sqrt[N]{P_1 \times P_2 \times P_3 \dots P_N} \times 0.8 \quad (۹)$$

مقیاس ارائه شده برای طبقه‌بندی شدت و تعیین کیفیت بارش از طریق نمایه‌ی DR به شرح زیر می‌باشد:

$$NP = DR \leq P \leq GM \quad (۱۰)$$

$$D = P < DR \quad (۱۱)$$

$$w = P > GM \quad (۱۲)$$

در معادلات فوق واحد میلی‌متر مورد محاسبه قرار می‌گیرد:

DR: نمایه‌ی بارش قابل اعتماد، ۰.۸: ضریب ثابت معادله، P: بارش سال مفروض، N: تعداد مشاهدات بارش سالانه، GM: میانگین هندسی، NP: محدوده‌ی نرمال، D: آستانه‌ی خشکسالی و w: آستانه‌ی ترسالی می‌باشد. DR جزء شاخص‌های هیدرواقلمی بوده و مزیت آن در تعدیل اثرات مقادیر انتهایی (مقادیر حداقل و حداکثر) بارش است که میانگین بلندمدت را به شدت متاثر کرده و موجب گمراهی در نتایج به دست آمده می‌شود (قویدل رحیمی، ۱۳۸۴، ۵۲۰). با توجه به اینکه در برخی از سال‌ها فصول بهار، تابستان و پاییز فاقد بارش بوده‌اند، و با توجه به ضریب بودن رادیکال، نمی‌توان از این مدل برای این فصول استفاده کرد. در این مطالعه جهت حل این مشکل عدد ۱ جایگزین فصول بدون بارش شده است.

مدل ZSIP

به منظور تعیین فصول مرطوب و خشک از نمایه ی ZSIP یا نمرات استاندارد شده ی بارش به شرح زیر استفاده شد:

$$(۱۳) \quad ZSIP = \left(\frac{P_i - \bar{P}}{P_{std}} \right)$$

در معادلات فوق، P_i : بارش سال مفروض، \bar{P} : میانگین بلندمدت بارش، و P_{std} : انحراف معیار بارش بلندمدت (واحد میلی متر) ایستگاه ها می باشند (قویدل بنقل از خلیلی و بذرافشان). به منظور کدبندی و سپس طبقه بندی بارش ایستگاه کرمان از جدول ۱ استفاده شده است.

جدول (۱) طبقه بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص نمرات استاندارد شده بارش ZSIP (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲، ص ۸۹)

کد	طبقه	ارزش
4	ترسالی حاد	بیشتر از ۱.۲۸
3	ترسالی شدید	۱.۲۸ تا ۰.۸۴
2	ترسالی متوسط	۰.۸۴ تا ۰.۵۲
1	ترسالی ضعیف	۰.۵۲ تا ۰.۲۵
0	نرمال	-۰.۲۵ تا ۰.۲۵
5	خشکسالی ضعیف	-۰.۵۲ تا -۰.۲۵
6	خشکسالی متوسط	-۰.۸۴ تا -۰.۵۲
7	خشکسالی شدید	-۱.۲۸ تا -۰.۸۴
8	خشکسالی حاد	کمتر از -۱.۲۸

مدل درصد بارش نرمال (PNPI)

این نمایه با استفاده از بارش نرمال و از تقسیم بارش واقعی به بارش نرمال، ضرب در ۱۰۰ محاسبه می شود. این نمایه یکی از ساده ترین روش های تعیین وضعیت منطقه از نظر بارش می باشد:

$$(۱۴) \quad PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100$$

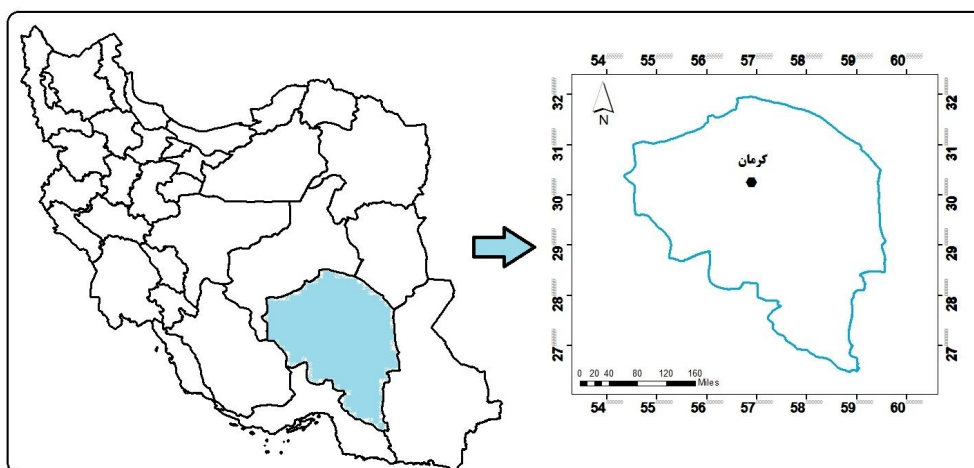
که P_i بارش در سال i ام و \bar{P} میانگین بارش بلندمدت ایستگاه می باشد. مقادیر نمایه ی درصد نرمال بارندگی در جدول ۲ آمده است.

جدول (۲) طبقه بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص درصد نرمال بارندگی (خلیقی سیگارودی و همکاران، ۱۳۸۸، ص ۴۷)

کد	طبقه	درصد PNPI
۱	خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۴۰
۲	خشکسالی شدید	۴۰ تا ۵۵

کد	طبقه	درصد PNPI
۳	خشکسالی متوسط	۷۰ تا ۵۵
۴	خشکسالی ضعیف	۸۰ تا ۷۰
۵	نرمال	۱۲۰ تا ۸۰
۶	نیمه مرطوب	۱۳۰ تا ۱۲۰
۷	مرطوب	۱۴۵ تا ۱۳۰
۸	نسبتاً مرطوب	۱۶۰ تا ۱۴۵
۹	بسیار مرطوب	بیشتر از ۱۶۰

ایستگاه کرمان در شمال استان کرمان و در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا برابر با ۱۷۵۳ متر، و متوسط بلند مدت بارش سالانه‌ی آن ۱۵۵ میلیمتر می‌باشد.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه کرمان

نتایج و یافته‌ها

به منظور آگاهی از خصوصیات کمی و کیفی و بررسی فصلی داده‌های بارش کرمان، ابتدا به پردازش داده‌های خام بارش از نظر آمار توصیفی پرداخته و فراسنج‌های آماری آنها محاسبه شده و در جدول ۳ درج گردید:

جدول (۳) فراسنج‌های آمار توصیفی بارش‌های فصلی ایستگاه کرمان در بازه زمانی (۱۹۵۶-۲۰۰۵)

فراسنج	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
حداقل	۲۶,۸	۰	۰	۰
حداکثر	۱۸۵,۹	۱۲۰,۹	۱۸	۱۱۰,۴
دامنه	۱۵۹,۱	۱۲۰,۹	۱۸	۱۱۰,۴
میانگین	۸۹,۰۸۴	۳۰,۱۹	۱,۸۵	۲۹,۲۹
انحراف معیار	۳۴,۲۴	۲۷,۷۸	۳,۳۱	۲۷,۶۲

پاییز	تابستان	بهار	زمستان	فراسنج
۱۹,۳	۰,۲	۲۴,۸۵	۸۷,۱۵	میانه
-	-	-	۸۲,۰۹	میانگین هندسی
۱,۱۳	۳,۰۹	۱,۴۵	۰,۳۲	چولگی
۰,۷۶	۱۱,۷۵	۱,۸۵	-۰,۱۴	کشیدگی
۹۴,۳۱	۱۷۸,۲۴	۹۲	۳۸,۴۴	ضریب تغییرات

بر اساس جدول فوق نتایج زیر حاصل گردید:

۱- رژیم بارش ایستگاه کرمان زمستانه می باشد.

۲- تابستان کم بارش ترین یا خشک ترین فصل بارش کرمان است.

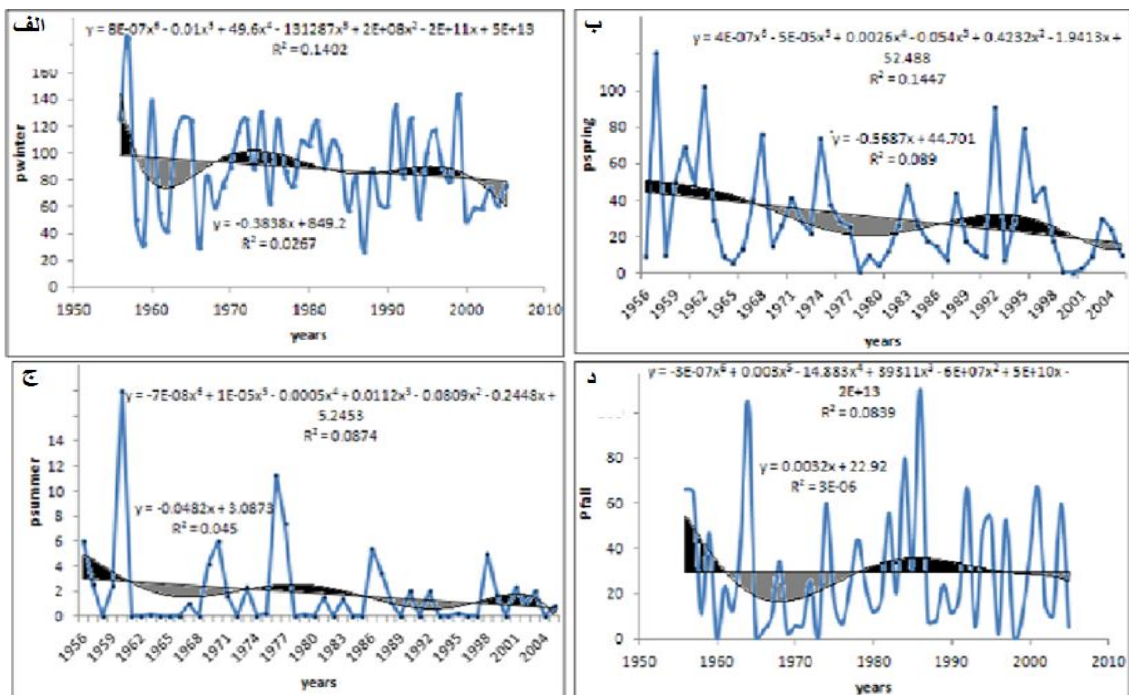
۳- با توجه به فراسنج های انحراف معیار، چولگی و کشیدگی و بویژه ضریب تغییرات، مشخص شد که در بین فصول چهارگانه قابل اعتمادترین بارندگی ها در زمستان و اتفاقی ترین بارش ها در فصل تابستان رخ می دهند.

۴- بارش و ضریب تغییرات فصول بهار و پاییز تقریباً یکسان می باشد.

جهت شناخت توزیع احتمال وقوع بارش های فصلی، با استفاده از ۱۷ نوع توزیع آماری در نرم افزار minitab، اقدام به ترسیم و شناخت بهترین برازش و توزیع احتمالاتی به مقادیر بارش فصلی گردید. در نتیجه بهترین توزیع بارش برای زمستان توزیع ویبول، برای فصول بهار و پاییز توزیع نرمال انتقال جانسون و برای فصل تابستان توزیع لاجستیک (پس از گذراندن از تابع انتقال جانسون) انتخاب گردید. جهت نمایش مراحل افزایش یا کاهش مقادیر بارش، نمودار روند بلندمدت خطی و پلی نومیال ترسیم شد (شکل ۳). با دقت در نمودارهای نوسانی نقاط یا ادوار زمانی که روندهای خطی و پلی نومیال یکدیگر را قطع کرده اند، می توان مراحل چندگانه افزایش (رنگ تیره) یا کاهش (رنگ خاکستری) بارش را مشاهده نمود. به منظور آگاهی از معنی دار بودن روند تغییرات بارش فصلی ایستگاه کرمان از آزمون ناپارامتری من کندال استفاده شد. نکات مهم نتایج این آزمون به شرح زیر می باشد.

۱- از بین فصول ۴ گانه روند تغییرات معنی داری بارش را فقط در بارش بهار می توان مشاهده کرد. به عبارت دیگر بارش بهار روندی رو به تغییر و نزولی از خود نشان می دهد که این نکته می تواند بیانگر حدوث تغییر اقلیم ایستگاه کرمان باشد.

۲- علیرغم اینکه در سایر فصول روند بارش ها معنی دار نبوده، اما تغییرات شدیدی در میانگین بارش های فصلی قابل مشاهده بوده و نقاط فرین بسیاری در سری بارش های فصلی قابل تشخیص است.



شکل (۳): روند خطی و پلی نومیال درجه ۶ بارش (الف: زمستان، ب: بهار، ج: تابستان، د: پاییز) و محدوده های اضافه و کمبود بارش

بررسی فصلی دوره‌های مرطوب و خشک

مدل نیچه

ابتدا برای تجزیه و تحلیل ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها از شاخص نیچه استفاده شد. با توجه به نتایج شاخص نیچه آستانه‌ای فصلی بارش برای شروع دوره‌های مرطوب، عادی و خشک انجام گرفته است. مقادیر آستانه‌های مذکور مورد محاسبه قرار گرفته که در (جدول ۴) درج شده است.

جدول (۴) مقادیر آستانه‌ای بارش برای تفکیک فصول مرطوب، نرمال و خشک ایستگاه کرمان بر اساس شاخص نیچه

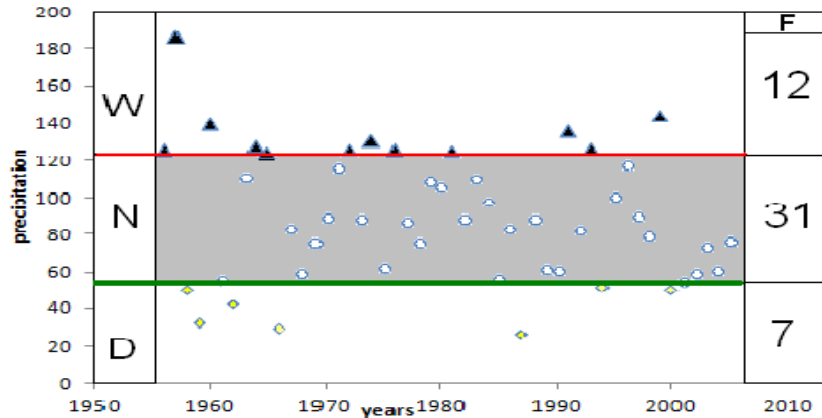
فصل	آستانه مرطوبی	وضعیت نرمال	آستانه خشکی
زمستان	۱۲۳,۳	۱۲۳,۳ تا ۵۶,۶۸	۵۶,۶۸
بهار	۵۷,۹۷	۵۷,۹۷ تا ۲,۴۱	۲,۴۱
تابستان	۵,۱	۵,۱ تا -۱,۴	-۱,۴
پاییز	۵۶,۹	۵۶,۹ تا ۱,۶	۱,۶

با استفاده از آستانه‌های (مرطوب، نرمال و خشک) شاخص نیچه اقدام به طبقه‌بندی بارش‌های فصلی ایستگاه کرمان گردید که نتایج حاصله در (جدول ۵) درج شده است.

جدول (۵) فراوانی وقوع فصول مرطوب، نرمال و خشک ایستگاه کرمان بر اساس شاخص نیچه

وضعیت	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
مرطوب	۱۲	۷	۶	۸
نرمال	۳۱	۴۰	۴۴	۳۸
خشک	۷	۳	-	۴

در ادامه از نمودارهای تعیین و طبقه بندی دوره های مرطوب، نرمال و خشک به منظور شناخت بهتر از وضعیت بارش فصول مختلف و طبقه بندی کیفی آنها استفاده شده که برای نمونه نمودار بارش زمستانه در (شکل ۴) درج شده است.



شکل (۴): تعیین و طبقه بندی دوره های مرطوب، نرمال و خشک زمستانه ای ایستگاه کرمان

نتایج حاصل از شاخص نیچه برای فصل تابستان، هیچ دوره ی خشکی را نشان نمی دهد. در سایر فصول نیز، زمستان و پاییز هر یک به ترتیب با ۷ و ۴ بار وقوع دوره ی خشک دارای بیشترین تعداد وقوع خشکسالی و فصل بهار با ۳ دوره خشک دارای کمترین تعداد وقوع خشکسالی می باشد. همچنین فصول زمستان و پاییز هر یک به ترتیب با ۱۲ و ۸ بار وقوع دوره ی مرطوب دارای بیشترین تعداد دوره های ترسالی و فصول تابستان و بهار به ترتیب با ۷ و ۶ بار وقوع ترسالی دارای کمترین تعداد فصول مرطوب در طول دوره ی آماری ۵۰ ساله بوده اند.

مدل بارش قابل اعتماد (DR)

در این شاخص آستانه های شروع خشکسالی، سال نرمال و ترسالی با استفاده از شاخص بارش قابل اعتماد مورد محاسبه قرار گرفته و از طریق کمیت های به دست آمده فصول مرطوب، نرمال و خشک ایستگاه کرمان شناسایی و تفکیک شدند. مقادیر عددی آستانه های بارش فصلی در (جدول ۶) درج گردیده است.

جدول (۶) مقادیر آستانه ی بارش برای تفکیک فصول مرطوب، نرمال و خشک بر اساس شاخص بارش قابل اعتماد

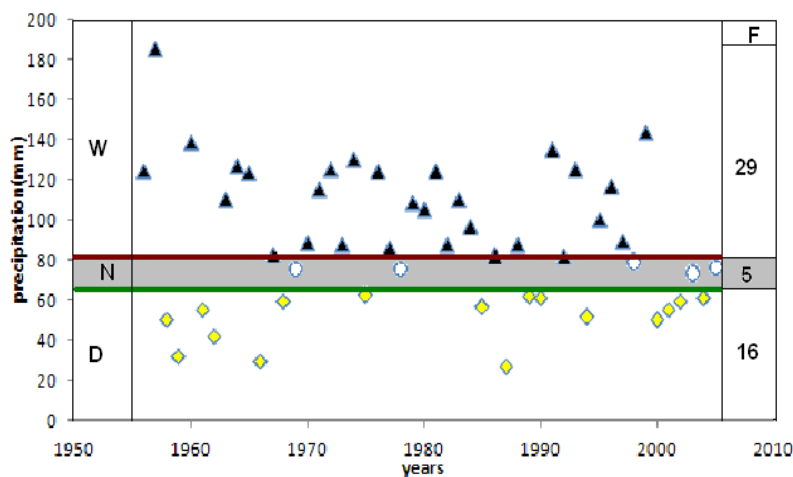
فصل	بارش قابل اعتماد	وضعیت نرمال	میانگین بلند مدت
زمستان	۶۵٫۵	۶۵٫۵ تا ۸۱٫۹	۸۱٫۹
بهار	۱۴٫۳	۱۴٫۳ تا ۱۷٫۹	۱۷٫۹
تابستان	۱۰٫۱	۱۰٫۱ تا ۱۰٫۳	۱۰٫۳
پاییز	۱۳٫۱	۱۳٫۱ تا ۱۶٫۳	۱۶٫۳

با استفاده از مقادیر آستانه‌ی فوق بارش فصول مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۷ فراوانی وقوع هر دوره، ملاحظه می‌شود.

جدول (۷) فراوانی وقوع فصول مرطوب، نرمال و خشک کرمان بر مبنای شاخص بارش قابل اعتماد

وضعیت	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
مرطوب	۲۹	۲۸	۲۰	۲۷
نرمال	۵	۴	۱	۲
خشک	۱۶	۱۸	۲۹	۲۱

نتایج حاصل از شاخص بارش قابل اعتماد برای فصول چهارگانه نشان داد که فصول تابستان و پاییز هر یک به ترتیب با ۲۹ و ۲۱ بار وقوع دوره‌ی خشک دارای بیشترین تعداد وقوع خشکسالی و فصول زمستان و بهار به ترتیب با ۱۶ و ۱۸ بار وقوع خشکسالی دارای کمترین تعداد فصول خشک هستند. همچنین فصول زمستان و بهار هر یک به ترتیب با ۲۹ و ۲۸ بار وقوع دوره‌ی مرطوب دارای بیشترین دوره‌های وقوع ترسالی و فصول تابستان و پاییز با ۲۰ و ۲۷ بار وقوع ترسالی از دوره‌های ترسالی کمتری در طول دوره‌ی آماری ۵۰ ساله برخوردار می‌باشند. برای درک بهتر محدوده‌های بارش و آستانه‌های تفکیک کننده‌ی فصول مرطوب، نرمال و خشک بر مبنای شاخص بارش قابل اعتماد، از مدل‌های گرافیکی طبقه‌بندی و تفکیک استفاده شده و مدل بارش زمستانی در (شکل ۵) به تصویر کشیده شده است.



شکل (۵): مدل بارش قابل اعتماد برای تعیین و طبقه‌بندی فصول خشک، نرمال و مرطوب زمستانه

مدل استاندارد شده بارش (ZSIP)

از آنجایی که نمایه استاندارد شده‌ی بارش، نوسانات دوره‌های مرطوب و خشک را در جزئیات بیشتری نمایش می‌دهد (خورشید دوست و همکاران: ۱۳۸۹). تفکیک و طبقه‌بندی فصول مرطوب و خشک با استفاده از مدل گرافیکی طبقه‌بندی بارش به روش نرمات استاندارد شده بارش انجام یافته است. مدل‌های مذکور برای هر فصل (الف: زمستان، ب: بهار، ج: تابستان، د: پاییز) در (شکل ۶) نشان داده شده است. در این مدل پس از

تبدیل داده های خام بارش به داده های استاندارد شده ی بارش با استفاده از طبقه بندی دوره های مرطوب و خشک بر اساس نمایه (مدل) استاندارد شده ی بارش (جدول ۱)، ویژگی های زمانی بارش های فصلی ایستگاه کرمان استخراج شد. نمرات استاندارد شده ی بارش در (جدول ۱) رمزگذاری و از نظر شدت فصول مرطوب و خشک طبقه بندی شد.

جدول (۸) فراوانی وقوع ترسالی ها، خشکسالی ها و بارش های نرمال فصلی در ایستگاه کرمان به روش ZSIP

وضعیت	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
خشکسالی حاد	۴	۰	۰	۰
خشکسالی شدید	۸	۶	۰	۱۱
خشکسالی متوسط	۴	۱۴	۲۴	۱۱
خشکسالی ضعیف	۵	۴	۵	۴
نرمال	۱۰	۱۰	۱۲	۷
ترسالی ضعیف	۲	۵	۱	۲
ترسالی متوسط	۵	۴	۱	۳
ترسالی شدید	۸	۰	۴	۵
ترسالی حاد	۴	۷	۳	۷

نتایج حاصل از جدول بالا را به این شرح می توان بیان نمود:

۱- بیشترین فراوانی دوره های خشک مربوط به فصل تابستان و کمترین آن مربوط به فصل زمستان می باشد.

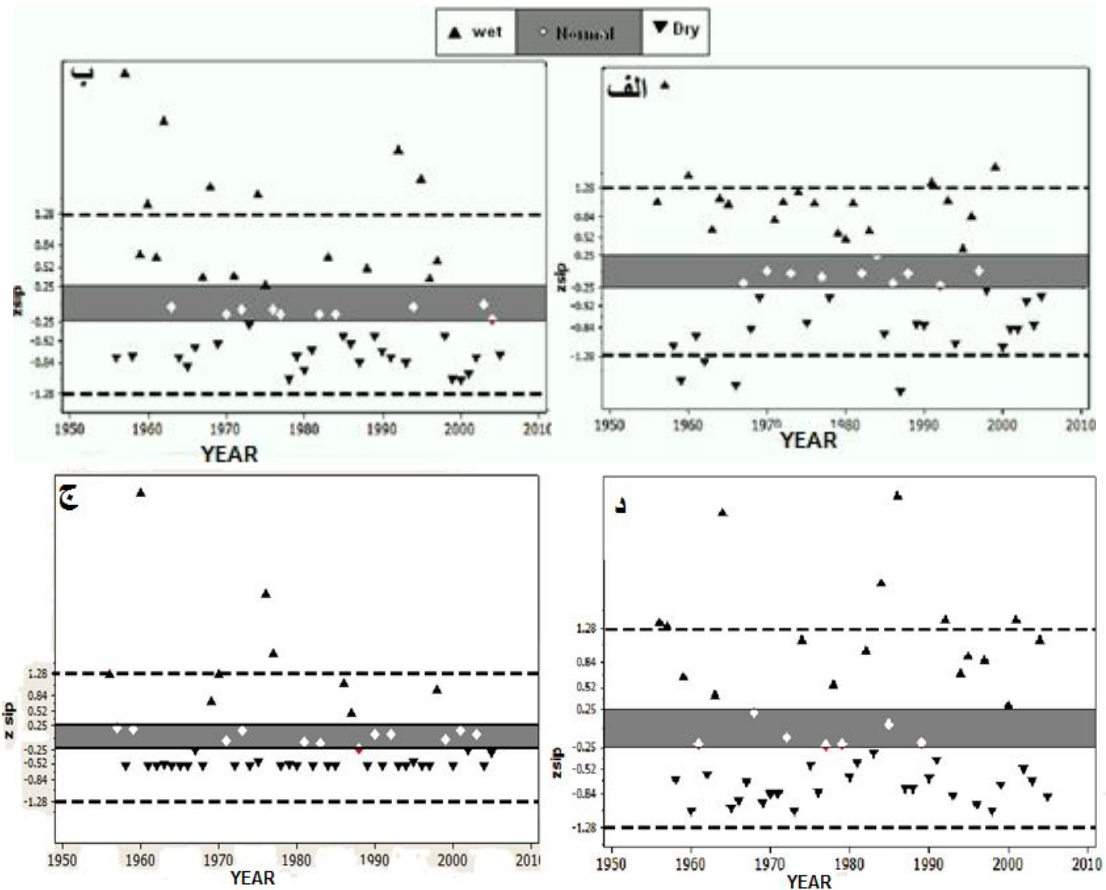
۲- علی رغم اینکه فصل زمستان نسبت به سایر فصول دوره های خشک کمتری داشته است اما بیشترین فراوانی خشکسالی های حاد با ۴ رخداد مربوط به این فصل می باشد. در سایر فصول خشکسالی حاد مشاهده نشد.

۳- بیشترین فراوانی دوره های نرمال مربوط به فصل تابستان و کمترین آن در فصل زمستان دیده شد.

۴- بیشترین فراوانی دوره های مرطوب متعلق به فصل زمستان و کمترین آن در فصل تابستان مشاهده شد.

۵- بیشترین فراوانی ترسالی های حاد متعلق به فصول بهار و پاییز و کمترین آن در فصل تابستان می باشد.

۶- شدیدترین خشکسالی فصلی با نمره ی استاندارد شده بارشی برابر با ۱.۸۱- در زمستان ۱۹۸۷ و مرطوب ترین فصل ایستگاه با نمره استاندارد شده بارشی برابر با ۴.۸۷ در تابستان ۱۹۶۰ به وقوع پیوسته است.



شکل (۶): مدل های تعیین و طبقه بندی بارش های فصلی ایستگاه کرمان به روش ZSPI

شاخص درصد بارش نرمال (PNPI)

با استفاده از معادله ۱۴ داده های خام بارش فصلی به ارقام PNPI تبدیل شد و سپس با استفاده از مقیاس طبقه بندی ترسالی ها و خشکسالی ها (جدول ۲)، اقدام به طبقه بندی بارش در ایستگاه کرمان گردید. در جدول ۹ فراوانی وقوع ترسالی ها، خشکسالی ها و دوره های مرطوب کرمان ملاحظه می شود.

جدول (۹): فراوانی وقوع ترسالی ها، خشکسالی ها و بارش های نرمال فصلی در ایستگاه کرمان به روش PNPI

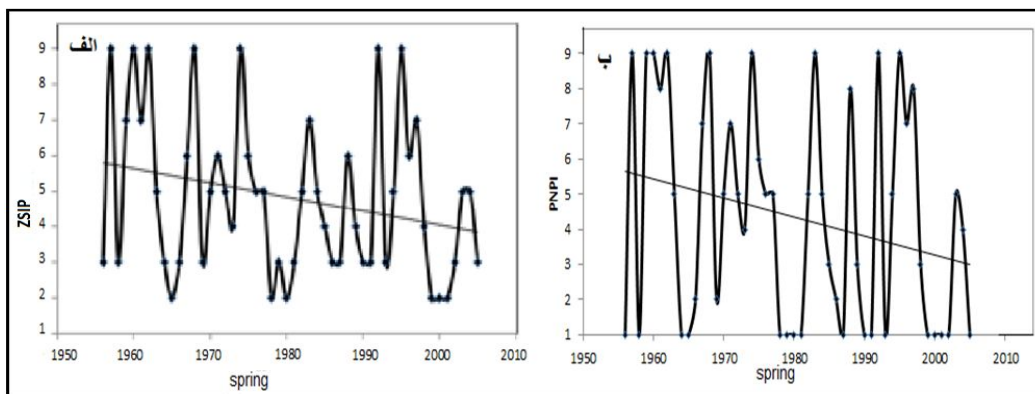
کد	طبقه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
۱	خشکسالی بسیار شدید	۳	۱۷	۲۶	۱۹
۲	خشکسالی شدید	۱	۳	۳	۳
۳	خشکسالی متوسط	۱۲	۳	۱	۴
۴	خشکسالی ضعیف	۰	۲	۱	۲
۵	نرمال	۱۷	۹	۶	۵
۶	نیمه مرطوب	۳	۱	۳	۱
۷	مرطوب	۹	۳	۱	۱
۸	نسبتاً مرطوب	۳	۳	۰	۱
۹	بسیار مرطوب	۲	۹	۹	۱۴

نتایج مهم جدول فوق را می توان به شرح زیر بیان نمود:

- ۱- بیشترین فراوانی دوره های خشک مربوط به فصل تابستان و کمترین فراوانی دوره های خشک در فصل زمستان رخ داده است.
- ۲- بیشترین فراوانی خشکسالی های بسیار شدید در فصل تابستان با ۲۶ دوره و کمترین آن متعلق به فصل زمستان می باشد که تنها در سه دوره، خشکسالی بسیار شدید داشته است.
- ۳- فصل زمستان دارای بیشترین دوره های نرمال و پاییز دارای کمترین تعداد دوره های نرمال است.
- ۴- بیشترین فراوانی دوره های مرطوب متعلق به فصول زمستان و پاییز و کمترین آن مربوط به فصل تابستان می باشد.
- ۵- بیشترین فراوانی دوره های بسیار مرطوب در فصل پاییز با ۱۴ دوره و کمترین آن در فصل زمستان با ۲ دوره می باشد.

روند دوره های مرطوب و خشک فصلی

پس از تعیین دوره های خشک، نرمال و مرطوب فصلی ایستگاه کرمان بر اساس نمایه های مختلف خشکسالی، روند دوره های مرطوب، عادی و خشک بر اساس کدهای مربوط به شاخص های ZSIP و درصد بارش نرمال (PNPI) برای فصول مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج روند هر دو شاخص نشان داد که در بین فصول مختلف روند فصل بهار به سمت دوره های خشک (تقلیل بارش) می باشد. در شکل ۷ روند خطی دوره های مرطوب، نرمال و خشک فصل بهار کرمان دیده می شود.



شکل (۷): روند خطی دوره های مرطوب، خشک و نرمال بهاره ایستگاه کرمان بر اساس الف) شاخص ZSIP ب) شاخص PNPI

نتیجه گیری

یافته های حاصل از تمامی نمایه های به کار گرفته شده در پژوهش حاضر نشان دهنده این واقعیت است که بارش ایستگاه کرمان در بازه های زمانی فصلی به شدت دستخوش نوسان است. آزمون ناپارامتری من-کندال برای بررسی معنی دار بودن تغییرات بارش بلند مدت در قالب روند سری زمانی بارش در بازه های فصلی نشان داد که روند تغییرات بارش فصل بهار ایستگاه کرمان تغییرات معنی داری را از خود نشان می دهد. به عبارتی دیگر بارش فصل بهار روندی معنی دار، رو به تغییر و نزولی از خود نشان می دهد. اما این امر (روند معنی داری) برای بارش سایر فصول ایستگاه کرمان در بستر زمانی ۵۰ ساله ظاهر نشده و فقط در چند دوره میانگین بلند

مدت آن جهش داشته است. تمامی مدل‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر هر یک به نحوی بازگو کننده‌ی نوسانات فصلی بارش ایستگاه کرمان بودند. مدل نیچه علی رغم اینکه نوسانات بارش را تا حدودی نشان می‌دهد، اما در نشان دادن دوره‌های مرطوب و خشک فصلی چندان مناسب نبود، زیرا این شاخص تعداد سال‌های نرمال را فراتر از حد معمول نشان می‌دهد و همچنین برای فصل تابستان دوره‌های خشک را نشان نداد. نمایه DR بیانگر مقدار بارش قابل اطمینان می‌باشد. بنابراین با توجه کمی نزول بارش و همچنین بالابودن ضریب تغییرات بارش در ایستگاه کرمان، شاخص مذکور مقدار بارش قابل اعتماد ایستگاه را مشخص نمود. براساس نمایه‌ی بارش قابل اعتماد، در مجموع فصول چهارگانه فراوانی دوره‌های مرطوب بیش از دوره‌های خشک است. از نتایج این شاخص نسبت به شاخص نیچه نتایج معقول‌تری حاصل شد بگونه‌ای که دوره‌های نرمال را کمتر و دوره‌های مرطوب را بیشتر نشان داد. مدل‌های ZSIP و PNPI در مقایسه با شاخص‌های فوق‌الذکر نسبت به نوسانات بارش حساسیت بیشتری نشان دادند و دوره‌های خشک و مرطوب را به صورت دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر طبقه‌بندی نمودند. نتایج این شاخص‌ها بر خلاف شاخص بارش قابل اعتماد (در مجموع فصول چهارگانه)، فراوانی دوره‌های خشک را بیش از دوره‌های مرطوب نشان می‌دهند. نکته جالب توجه اینکه در مجموع فصول چهارگانه فراوانی دوره‌های خشک در هر دو شاخص برابر بود، اما شاخص ZSIP دوره‌های مرطوب بیشتری را نشان می‌دهد. در نتیجه از آنجایی که نوسانات بارش از ویژگی‌های ذاتی و لاینفک مناطق خشک بوده و همچنین با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش، چنانچه روند کاهش بارش بهاره ایستگاه کرمان تداوم داشته باشد می‌تواند به نحوی بیانگر حدوث تغییر اقلیم در منطقه مذکور باشد که لازم است این امر در برنامه‌ریزی‌های آینده جهت مدیریت منابع آب و همچنین در پروژه‌های عمرانی و زیربنایی و بویژه طرح‌های کشاورزی مورد توجه مسئولان مربوطه قرار گیرد.

فهرست منابع

- ۱- امیری، رضوان (۱۳۸۶)، تحلیل و پیش بینی نوسانات بارش در شهرستان خرم آباد با استفاده از مدل زنجیره ی مارکوف، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران
- ۲- خلیقی سیگارودی، شهرام و همکاران (۱۳۸۸)، بررسی نمایه های ارزیابی پدیده های ترسالی و خشک سالی، مطالعه ی موردی استان مازندران، فصلنامه ی علمی و پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۶ شماره ۱، ۱۳۸۸
- ۳- خلیلی، علی و جواد بذرافشان (۱۳۸۲)، ارزیابی کارایی چند نمایه ی خشکسالی هواشناسی در نمونه های اقلیمی مختلف ایران، نیوار، بهار و تابستان ۸۲، صص ۹۳-۷۹.
- ۴- خورشید دوست، علی محمد. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۳)، مطالعه نوسانات بارش، پیش بینی و تعیین فصول مرطوب و خشک زمستانه استان آذربایجان شرقی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، بهار ۱۳۸۳، شماره ۷۲، صص ۲۵-۳۶
- ۵- خورشید دوست، علی محمد و همکاران (۱۳۸۹)، کاربرد الگوهای کلان مقیاس جوی-اقیانوسی در تحلیل نوسانات بارش مطالعه موردی ایستگاه اهر، مجله ی فضای جغرافیایی، سال ۱۰ شماره ۲۹، بهار ۱۳۸۹، صص ۹۵-۱۲۸
- ۶- رسولی، علی اکبر، جوان، خدیجه (۱۳۹۱)، تحلیل روند وقوع توفان های رعد و برقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون های ناپارامتری، فصلنامه ی فضای جغرافیایی، تابستان ۹۱
- ۷- رضایی، پرویز و همکاران (۱۳۸۹)، روند بارش برف در جلگه مرکزی گیلان و پیامدهای ناشی از آن، مجله ی چشم انداز جغرافیایی، سال پنجم، شماره ۱۲، پاییز ۱۳۸۹، صص ۴۷-۶۱
- ۸- زاهدی قره آغاچ، مجید. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶)، تعیین آستانه خشکسالی و محاسبه ی میزان بارش قابل اعتماد ایستگاه های حوضه ی آبریز دریاچه ی ارومیه، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۹، بهار ۱۳۸۶
- ۹- گندمکار، امیر. خادم الحسینی، احمد (۱۳۸۸)، بررسی روند تغییرات بارش در زابل، فصلنامه آمایش محیط، شماره ۶، پاییز ۸۸
- 10 - Arun M, Sananda K, Anirban M (2012). **Rainfall Trend Analisis by mann-kendall Test: A Case Study of North-Eastren Part of cuttack district, Orissa.** *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences* ISSN: 2277-2081
- 11-Asim R .Saim A (2000). "**spatio temporal Analisis of rainfall in the canal command areas of the Indus plains**" *August 2000.international water management institute.*
- 12-castanedam.gonzalez m (2008).**statistical analysis of the precipitation trend in the Patagonia region in southern south america.***atmosfera .21(3),303-317*
- 13-cicek,i (2003).**the statistical Analaysis of precipitation in Ankara, turkey.** *Journal of Weather & Climate of the Western Mediterranean ,Tethys, 6, 15-29, 2009*
- 14-Lana x , A Burgueño2, M. D. Mart'inez3 and C. Serra(2009). **A review of statistical analyses on monthly and daily rainfall in Catalonia**
- 15 - R. Stella Maragatham(2012). **Trend Analisis of Rainfall Data -A Comparative Study of Existing Methods.** *International Journal of Physics and Mathematical Sciences* ISSN: 2277-2111
- 16- Mary D. Stampone, Joel H artter, Colin A. Chapman and Sadie J. Ryan(2011). **Trends and Variability in Localized Precipitation Around Kibale National Park, Uganda, Africa.** *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3(1): 14-23

-
- 17-M.gajic-capka(1993). *Fluctuations and trends of precipitation in different climatic regions o Croatia annual .Theoretical and Applied climatology, Volume 47, Issue 4, pp 215-221*
18 - www.irimo.ir
19 - www.agrofoodnews.com