



علی محمدخورشیددوست<sup>۱</sup>  
یوسف قویدل رحیمی<sup>۲</sup>  
کریم عباس زاده<sup>۳</sup>

## کاربرد الگوهای کلان مقیاس جوی-اقیانوسی در تحلیل نوسانات بارش (مطالعه موردی: ایستگاه اهر)

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۰۷/۰۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰۵/۲۱

### چکیده

در این مقاله با استفاده از داده‌های بارش فصلی ایستگاه سینوپتیک اهر در یک بازه بلند مدت ۴۷ ساله از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۶ میلادی، نوسانات بارش ایستگاه مورد محاسبه قرار گرفته و روند تغییرات بارش بررسی شده است. با استفاده از آزمون من-کندال معنی دار بودن تغییرات و نوسانات بارش فصلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون حاکی از معنی داری بارش

E-mail: khorshid@tabrizu.ac.ir

۱- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.

۲- استادیار دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.

زمستانی ایستگاه اهر است. تحلیل‌های آماری رابطه بارش‌های فصلی ایستگاه اهر با الگوهای پیوند از دور را مورد تایید قرار داد که در این راستا رابطه بارش‌های پاییزی با الگوی جوی-اقیانوسی (شاخص نوسان جنوبی موسوم به انسو) در فاز گرم یا ال نینو موجب افزایش بارش و در فاز سرد یا لانینا موجب خشکسالی می‌شود. رابطه بارش‌های زمستانی با الگوهای پیوند از دور نوسانات اطلس شمالی و الگوی نوسانات اقیانوس منجمد شمالی (شمالگان) معنی‌دار بوده که در فاز منفی نوسانات اطلس شمالی کثرت سیکلون‌های وارد شده به منطقه، بارش اهر افزایش و در فاز مثبت به علت غلبه آنتی سیکلون یا پرفشار آזור بارش کاهش می‌یابد. آزمون مدل‌های مختلف ارزیابی خشکسالی نیز این واقعیت مهم را تایید می‌کند که خشکسالی گاه به گاه در ایستگاه اهر اجتناب‌ناپذیر بوده و شاخص‌های بکار گرفته شده هر یک بعدی از ابعاد خشکسالی و ترسالی‌های ماهانه و فصلی را نشان می‌دهند و استقلال دوره‌های خشک و مرطوب ماهانه و فصلی از همدیگر از دیگر نتایج این مطالعه می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** بارش فصلی، پیوند از دور، دوره‌های مرطوب و خشک، آزمون من-کندال، اهر.

#### مقدمه

درک علل و ماهیت تغییرات اقلیمی از اهم اهداف جمع‌آوری داده‌های هوا و اقلیم و پایش پدیده‌های اقلیمی است. در این رابطه نوسانات اقلیمی ناشی از الگوهای پیوند از دور اهمیت فراوانی یافته است. «والاس» و «گوتزلر» پیوند از دور را ارتباط همزمان بین نوسانات عناصر اقلیمی یک مکان با تغییرات الگوهای فشار و درجه حرارت سطح دریا در نقاط جغرافیایی دیگر تعریف کرده‌اند (Wallace and Gutzler, 1981, p786). الگوهای پیوند از دور با نوسان دادن بارش زمینه وقوع خشکسالی و ترسالی در مناطق مختلف جهان را پدید می‌آورند. با عنایت به اینکه پدیده خزنده و مخرب خشکسالی در طول ادوار تاریخی خسارات فراوانی در ایران به بار آورده است، مطالعات متعددی در خصوص اقلیم‌شناسی و هواشناسی خشکسالی-

ها و ترسالی‌ها صورت گرفته که به عنوان نمونه می‌توان به کارهای با ارزش: فرج زاده و همکاران (۱۳۷۴)، خوش اخلاق (۱۳۷۶)، قویدل رحیمی (۱۳۸۱)، زاهدی و قویدل رحیمی (۱۳۸۱)، خورشیددوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۳، ۱۳۸۴)، و دیگر مطالعات انجام گرفته اشاره نمود. نتایج ناشی از مطالعه «ماتیاسوزکی» در مجارستان نیز حاکی از تاثیر NAO بر بارش‌های زمستانی است. وی پدیده NAO را بر بارش و وقوع خشکسالی و ترسالی در مجارستان بسیار موثر دانسته است. در مطالعه یاد شده ارتباط غیر خطی موجود بین پدیده انسو و NAO مورد تاکید قرار گرفته است (Matyasovszky, 2003, p69). مطالعات نشان داده که فاز منفی الگوی NAO توام با افزایش بارش زمستانه و کاهش دما و فاز مثبت آن موجب کاهش بارش، افزایش دما و ظهور خشکسالی‌های زمستانی در سراسر ترکیه بوده است (Turkes and Erlat, 2005, p31). «نازرول» و «هایاشی» (۲۰۰۵) ارتباط بین بارش‌های مونسونی بنگلادش با پدیده «انسو» را با استفاده از روش سری زمانی «فوریه» مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه مهم رسیده‌اند که عامل اصلی تغییرات زمانی و مکانی بارش خصوصاً بارش‌های مونسونی در شبه قاره هند و به ویژه در بنگلادش پدیده انسو است (Nazrul and Hayashi, 2005, p26).

با توجه به کارایی مطالعات پیوند از دور در شناخت منشا بارش و نوسانات آن که موجب خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها می‌شوند، اخیراً تلاش‌هایی در جهت شناخت الگوهای پیوند از دور موثر بر بارش به انجام رسیده است. افزایش بارش سالانه استان آذربایجان شرقی با فاز منفی پدیده «نوسانات اطلس شمالی» که موجب انتقال رطوبت اقیانوس اطلس (و تقویت سیکلون‌های مدیترانه‌ای و دریای سیاه) به سوی شمال غرب ایران می‌شود و کاهش بارش و خشکسالی که نتیجه استیلای پرفشار آזור در فاز مثبت بر روی ایران است، همبستگی معنی داری دارد (صلاحی و همکاران، ۱۳۸۶، ص ۱۵۳). در مورد اثر پدیده جوی-اقیانوسی ال نینو-شاخص نوسان جنوبی یا انسو- بر بارش‌های ایران مطالعات متعددی انجام گرفته که از جمله آنها می‌توان به تحقیقاتی چون: مدرسی پور (۱۳۷۳)، خوش اخلاق (۱۳۷۷)، عزیزی (۱۳۸۳)، خورشیددوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۴)، قویدل رحیمی (۱۳۸۴) و غیره اشاره نمود.

این مقاله درصدد تحلیل و مدل سازی نوسانات بارش‌ها، آشکار سازی تغییرات آن، محاسبه دوره‌های فصلی مرطوب و خشک و تحلیل ویژگی‌های آماری آنها و رابطه بارش‌های اهر با الگوهای گردش جوی- اقیانوسی کلان مقیاس کره زمین می باشد.

### مواد و روش‌ها

در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه اهر به مختصات عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی در شمال غرب استان آذربایجان شرقی نشان داده شده است. ایستگاه اهر از سطح دریا ۱۳۹۰/۵ متر ارتفاع دارد و ایستگاهی نسبتاً مرتفع است. جامعه آماری این تحقیق کل آمار موجود بارش ایستگاه اهر که از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۶ میلادی به مدت ۴۷ سال است. در مقطع فصلی حجم نمونه ۱۸۸ است.

مهم ترین الگوهای پیوند از دوری که داده‌های آنها در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته عبارتند از: شاخص‌های انسو شامل: شاخص SOI یا شاخص نوسان جنوبی، شاخص‌های دمای سطح آب و شاخص MEI که معتبرترین شاخص پدیده انسو محسوب می گردد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک اهر در بین شبکه ایستگاه‌های سینوپتیک استان آذربایجان شرقی

مزیت این شاخص نسبت به دیگر شاخص‌های انسو را می‌توان در کثرت عناصر به کار گرفته شده در ساختار شاخص و در نتیجه دقیق‌تر بودن آن جستجو نمود.

این عوامل شش گانه که شاخص MEI انسو تابعی از آنها محسوب می‌گردد، عبارت از: ۱- فشار سطح دریا (P) ۲- مولفه باد مداری (U) ۳- مولفه نصف‌النهاری باد (V) ۴- دمای سطح دریا (S) ۵- دمای هوای سطحی (A) ۶- اصطکاک در میزان ابرناکی کلی آسمان (C) هستند. با توجه به مطالب فوق می‌توان معادله تابعی شاخص MEI را به صورت  $MEI = f(P, U + V + S + A + C)$  نوشت. به دلیل کثرت عناصر مورد استفاده در ساختار MEI، شاخص مذکور ماهیت به هم پیوسته و پیچیده سامانه جوی-اقیانوسی انسو را بهتر از دیگر شاخص‌ها نمایان می‌سازد.

### الگوی نوسانات اطلس شمالی

شاخص نوسانات اطلس شمالی بیانگر کمیت نرمال شده فشار سطح دریا در محدوده «پونتادلگادا» در اطراف «آزور» و «ریکیاویک» در ایسلند بوده که توسط «جیم هارل» تهیه شده و از «مرکز تشخیص اقلیمی در اداره ملی آب و هوا» در ناسا اخذ گردیده است. شاخص NAO بر پایه اختلاف فشار استاندارد شده سطح دریا (P) بین منطقه حاره (آزور A) و کم فشار جنب قطبی (ایسلند I) پایه گذاری شده است و معادله آن  $NAO = P(A) - P(I)$  است.

### الگوی AO یا نوسانات شمالگان

شاخص مورد استفاده در این پژوهش شاخص زمستانی مربوط به اولین مولفه اصلی ناهنجاری‌های سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی در ۲۰ تا ۹۰ درجه شمالی است. شاخص AO نمایانگر نحوه آرایش الگوهای فشار در اقیانوس منجمد شمالی می‌باشد که معمولاً در نزدیک قطب شمال متمرکز می‌شوند. در طول فاز مثبت، فشار در سطوح بالاتر اتمسفر کمتر از محیط اطراف است و بنابراین هوای سرد در امتداد قطب به اطراف پخش می‌گردد که این امر به نوبه خود می‌تواند موجب کاهش میزان سردی هوا در شمال کانادا شود. فاز منفی عکس فاز مثبت است. در فاز منفی الگوی فشار بالای استراتوسفر بیشتر از نواحی پیرامون است که این امر موجب تسهیل جریان قطبی که اصطلاحاً آن را نوسانات حلقوی شکل (دایره‌ای) می‌نامند،

می‌شود. فاز سرد AO همچنین در کاهش اثرات فاز منفی نوسانات اطلس شمالی بسیار موثر بوده و با ایجاد پدیده بلوکی‌نگ موجب بروز خشکسالی‌های زمستانی در اطراف مدیترانه می‌گردد.

سایر شاخص‌های مورد استفاده عبارتند از: شاخص نوسان شمالی (Northern Oscillation Index)، شاخص نینوی اقیانوسی (Oceanic Nino Index)، الگوی اطلس شرقی (East Atlantic Pattern) یا (EA)، الگوی آرام غربی (West Pacific Pattern) یا (WP)، الگوی آرام-آمریکای شمالی (Pacific/North American Pattern) یا (PNA)، الگوی اسکاندیناوی (Scandinavia Pattern) یا (SCA)، الگوی قطبی-روسی (Polar/Eurasia Pattern) یا (POL) و بالاخره الگوی انتقالی آرام Pacific Transition Pattern یا (PT). روش‌های مورد استفاده در این مطالعه عبارت از: روش‌های رگرسیون خطی (خطی ساده، چندگانه و پلی‌نومیل) و آماره من-کندال برای آزمون معنی‌داری روند تغییرات سری‌های دمایی، می‌باشند. به دلیل عمومیت روش‌های رگرسیون از توضیح روش‌های مذکور صرف نظر گردیده است.

برای محاسبه ناهنجاری‌های (آنومالی) عناصر اقلیمی (دما) از معادله ۱ به شرح زیر استفاده شده است:

$$A_e = C_i - \bar{C}_i \quad (1)$$

در معادله فوق:  $A_e$  ناهنجاری (آنومالی)،  $C_i$ : مشاهده عنصر اقلیمی (بارش) در بازه زمانی مفروض (ماهانه، فصلی، سالانه) و  $\bar{C}_i$ : میانگین بلند مدت عنصر اقلیمی (دما) در طول دوره آماری است.

از آماره ناپارامتری من-کندال جهت آزمون معنی‌داری روند و آشکارسازی جهش در سری‌های زمانی استفاده می‌شود. آماره من-کندال، آزمون نامحدودی است که برای شناسایی مسایل علمی در برهه‌ای از زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمون عمدتاً در علوم محیطی به کار می‌آید، زیرا آزمون‌های ساده و مستحکمی است که می‌تواند مقادیر پایین‌تر از

حد مشخص را کنترل کند. در این روش دو عامل  $U_i$  و  $U'_i$  محاسبه و برای بررسی روند در کنار همدیگر ترسیم شده و موقعیت آنها نسبت به هم معنی داری یا غیر معنی دار بودن روند را مشخص می کند. اگر مقادیر آنها از دو آستانه  $\pm 1/96$  تجاوز کند، روند معنی دار بوده و برعکس. اگر دو خط  $U_i$  و  $U'_i$  همدیگر را در یک نقطه قطع کنند، آن نقطه، نقطه جهش است. در صورتی که دو خط در داخل حریم و محدوده باشند، جهش معنی دار نبوده، اما چنانچه از حریم تجاوز کرده یا محدوده را کلاً یا موقتاً ترک کرده باشند، جهش معنی دار خواهد بود. همچنین اگر دو دنباله  $U_i$  و  $U'_i$  بر اساس  $i$  به صورت نموداری ترسیم شوند، در صورت معنی داری روند، دو نمودار در نقطه آغازین همدیگر را قطع خواهند کرد، در حالی که در صورت عدم وجود روند دو دنباله  $U_i$  و  $U'_i$  تقریباً به صورت موازی حرکت خواهند کرد و یا با چند بار برخورد به طوری که به تغییر جهت آنها منجر نشود، عمل می کنند.

مدلهایی نیز که برای ارزیابی دوره‌های مرطوب و خشک ایستگاه‌ها استفاده شده‌اند، عبارتند

از: مدل DR

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

$$DR = \sqrt[n]{p_1 \times p_2 \times p_3 \dots p_N} \times (0.8) \quad (2)$$

مقیاس ارایه شده برای طبقه بندی شدت و تعیین کیفیت بارش از طریق نمایه DR به شرح زیر می باشند:

$$NP = DR \leq P \leq GM \quad (3)$$

$$D = P < DR \quad (4)$$

$$W = P > GM \quad (5)$$

در معادلات فوق واحد میلی متر مورد محاسبه قرار می گیرد:

DR: نمایه بارش قابل اعتماد، 0.8: ضریب ثابت معادله، P: بارش سال مفروض، N: تعداد مشاهدات بارش سالانه (طول دوره آماری)، GM: میانگین هندسی، NP: محدوده نرمال، D:

آستانه خشکسالی و  $W$ : آستانه ترسالی می باشند. نمایه  $DR$  جزو شاخص‌های هیدرواقليمی بوده و مزیت آن در تعدیل اثرات مقادیر انتهایی (مقادیر حداقل و حداکثر) بارش که میانگین بلند مدت را به شدت متاثر کرده و موجب گمراهی در نتایج به دست آمده می شوند، است (قويدل رحيمي، ۱۳۸۴، ص ۵۲۰).

با توجه به اینکه برخی ماه‌ها و یا فصول ایستگاه اهر فاقد بارش بوده و در طول دوره ۴۷ ساله در یک یا چند ماه یا فصل بارشی دریافت نکرده اند و با توجه به داخل رادیکال ضربی مدل، نمی توان از مدل بارش قابل اعتماد برای آن ماه‌ها یا فصول استفاده نمود.

#### مدل ZSIP

عمده ترین روش مورد استفاده در این تحقیق برای تفکیک دوره‌های خشک و مرطوب ماهانه روش ZSIP یا نمرات استاندارد شده بارش است که معادله آن به شرح زیر می باشد:

$$ZSIAP = \left( \frac{P_i - \bar{P}}{P_{SD}} \right) \quad (6)$$

در معادلات فوق:  $P_i$ : بارش سال مفروض،  $\bar{P}$ : میانگین بلند مدت بارش و  $P_{SD}$ : انحراف معیار بارش بلند مدت (واحد میلی متر) ایستگاه‌ها می باشند (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲، ص ۸۶). به منظور کد بندی و سپس طبقه بندی بارش ایستگاه اهر از جدول (۱) استفاده شده است:

جدول ۱- طبقه بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص نمرات استاندارد بارش ZSIP

(خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲، ص ۸۹)

کد	طبقه	ارزش
۴	ترسالی حاد	بیشتر از ۱/۲۸
۳	ترسالی شدید	۱/۲۸ تا ۰/۸۴
۲	ترسالی متوسط	۰/۸۴ تا ۰/۵۲
۱	ترسالی ضعیف	۰/۵۲ تا ۰/۲۵
۰	نرمال	-۰/۲۵ تا ۰/۲۵
۵	خشکسالی ضعیف	-۰/۲۵ تا -۰/۵۲
۶	خشکسالی متوسط	-۰/۵۲ تا -۰/۸۴
۷	خشکسالی شدید	-۰/۸۴ تا -۱/۲۸
۸	خشکسالی حاد	کمتر از -۱/۲۸



مدل نیچه

نیچه از سه معادله آماری برای کمی کردن بارش و تعیین و طبقه‌بندی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و سال‌های توام با بارش عادی استفاده نموده که معادلات مذکور عبارتند از:

$$\text{سال نرمال} \quad (7)$$

$$(\bar{P} \cdot Sd) \leq P_i \leq (\bar{P} \cdot Sd) \quad (8)$$

سال مرطوب

$$P_i \geq (\bar{P} + Sd) \quad (9)$$

سال خشک

$$P_i \leq (\bar{P} - Sd)$$

در معادلات فوق:  $P_i$ : بارش سال مفروض (میلی متر)،  $Sd$ : انحراف معیار بارش در طول دوره آماری،  $\bar{P}$ : میانگین بارش بلند مدت ایستگاه (میلی متر)، هستند (قویدل رحیمی، ۱۳۸۴، ص ۵۲۰).

روش نیچه با توجه به معادلات فوق دارای یک محدوده برای بارش نرمال (معادله ۷) و دو عدد آستانه یکی برای شروع ترسالی (معادله ۸) و دیگری برای شروع خشکسالی (معادله ۹) می‌باشد.

نتایج و یافته‌ها

به منظور بررسی فصلی داده‌های بارش ایستگاه اهر و آگاهی از خصوصیات کمی و کیفی آن، ابتدا داده‌های خام بارش از نظر آمار توصیفی مورد پردازش قرار گرفته و فراسنج‌های آماری آنها محاسبه شده و در جدول ۲ درج گردید:

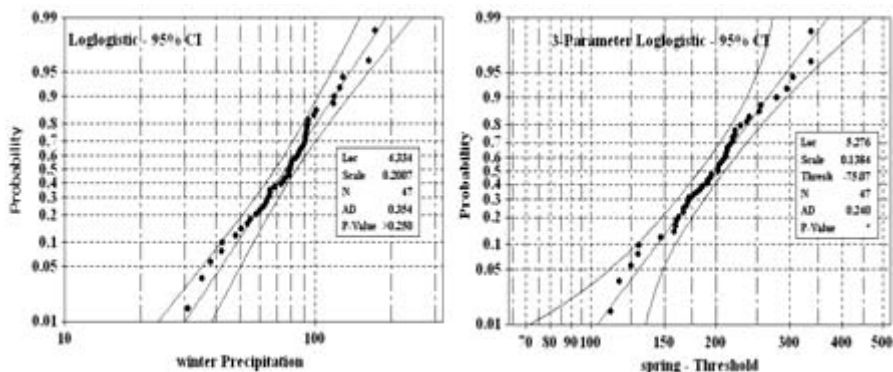
جدول ۲- فراسنج های آمار توصیفی بارش های فصلی ایستگاه اهر در بازه زمانی (۱۹۶۰-۲۰۰۶)

پاییز	تابستان	بهار	زمستان	فراسنج
۴۰٫۷	۰	۳۶٫۳	۳۰٫۹	حداقل
۱۱۷٫۶	۵۳	۲۶۱٫۷	۱۷۲٫۵	حداکثر
۲۱۲٫۹	۵۳	۲۲۵٫۴	۱۴۱٫۶	دامنه

۷۹٫۷۴	۲۳٫۸۸۱	۱۲۶٫۲۹	۸۰٫۲۶۶	میانگین
۴۵٫۰۳۴	۱۷٫۹۵۷	۵۱٫۲۸۸	۲۹٫۳۸۴	انحراف معیار
۷۳	۲۲٫۶	۱۲۶٫۴	۷۹٫۱	میانه
۶۴٫۵۸۵	—	۱۱۵٫۹۵	۷۵٫۳	میانگین هندسی
۰٫۷۲۱۲۹	۰٫۱۹۵۳	۰٫۷۵۰۱۱	۱٫۰۰۹۶	چولگی
۰٫۶۰۷۴۲	-۱٫۳۶۸۷	۰٫۶۶۷۳۱	۱٫۶۱۹۵	کشیدگی
۵۶٫۵۰٪	۷۵٫۲۰٪	۴۰٫۶۰٪	۳۶٫۶۰٪	ضریب تغییرات

با توجه به جدول ۲ مهم ترین ویژگی فراسنج‌های آماری عبارتند از:

- ۱- با توجه به متوسط بلند مدت بارش، رژیم بارش ایستگاه اهر بهاره و خصوصیت ثانویه آن تمرکز هم ارز بارش‌های زمستانه و پاییزی است.
  - ۲- کم بارش‌ترین یا خشک‌ترین فصل بارش اهر تابستان است و تابستان به مفهوم واقعی دوره خشکی ایستگاه اهر می باشد.
  - ۳- با توجه به فراسنج‌های انحراف معیار، چولگی و کشیدگی و بخصوص ضریب تغییرات، معلوم می شود که زمستان دارای منظم ترین و قابل اعتمادترین بارندگی‌ها و تابستان دارای تشنجه‌ترین و اتفاقی‌ترین بارندگی در بین فصول چهارگانه هستند.
  - ۵- بارش تابستانه به علت دارا بودن بارش صفر در برخی سال‌ها فاقد میانگین هندسی بارش می باشد که برای محاسبه شاخص بارش قابل اعتماد مورد نیاز است.
  - ۶- دامنه تغییرات بارش بهاره و پاییزه بسیار شدیدتر از سایر فصول است.
- برای شناخت توزیع احتمال وقوع بارش‌های فصلی، با استفاده از ۱۷ نوع توزیع آماری، اقدام به ترسیم و انتخاب بهترین برازش و توزیع احتمالاتی به مقادیر بارش فصلی ایستگاه اهر گردید. در نتیجه بهترین روش توزیع بارش برای فصل زمستان لاگ لاجستیک، برای بهار لاگ لاجستیک ۳ پارامتری (شکل ۲) و برای فصول تابستان و پاییز نرمال (پس از گذران از تابع انتقال جانسون) انتخاب گردید.



شکل ۲- توزیع احتمال بارش زمستانی و بهاری ایستگاه سینوپتیک اهر در بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۰۶

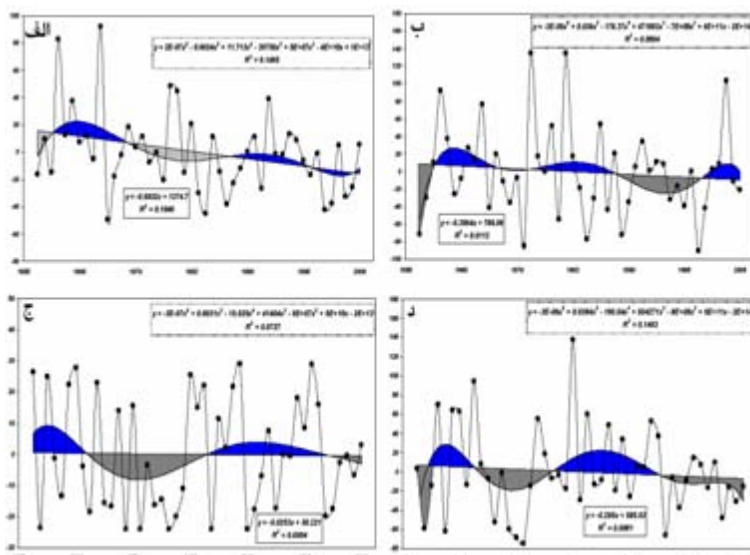
به منظور نمایش توزیع زمانی بارش‌های فصلی، آنومالی یا ناهنجاری‌های بارش مورد محاسبه قرار گرفت و سپس روند خطی و پلی‌نومیال درجه ۶ آنها برای ترسیم جزئیات تغییرات زمانی ناهنجاری‌های بارش ترسیم شد.

با توجه به روند بلند مدت خطی و پلی‌نومیال که تغییرات را در جزئیاتی بیشتر در ۶ جمله نشان می‌دهد، معلوم می‌گردد که بارش زمستانه از نوسانات بیشتری در طول ۴۷ سال دوره آماری برخوردار بوده است. با دقت در نمودارهای نوسانی نقاط یا ادوار زمانی که روندهای خطی و پلی‌نومیال همدیگر را قطع کرده‌اند، می‌توان مراحل چندگانه انباشت (رنگ تیره) یا تقلیل (رنگ خاکستری) بارش را مشاهده نمود (شکل ۳).

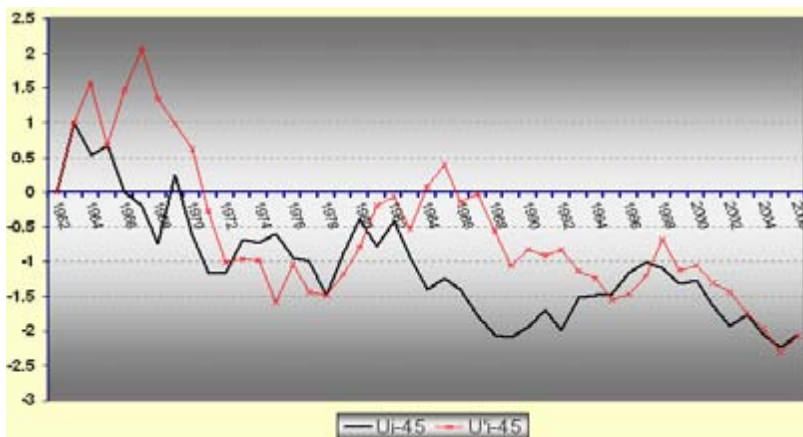
به منظور آگاهی از معنی دار بودن روند تغییرات بارش فصلی ایستگاه اهر و تعیین نقاط جهش سری بارش‌های فصلی، نمودار من-کندال بارش‌های فصول چهارگانه ایستگاه اهر ترسیم شد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون ناپارامتری من-کندال بارش‌های فصلی می‌توان نکات مهم آن را به شرح ذیل عنوان نمود:

۱- از بین فصول چهار گانه فقط بارش زمستانه روند تغییرات معنی دار از خود نشان می دهد. به عبارت دیگر بارش زمستانی روندی روبه تغییر و نزولی یا کاهش از خود نشان می دهد. این نکته می تواند یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم ایستگاه اهر باشد (شکل ۴).

۲- با اینکه در سایر فصول روند بارش‌ها معنی دار نیست، اما تغییرات شدیدی در میانگین بارش‌های فصلی قابل مشاهده بوده و نقاط جهش فراوانی در سری بارش‌های فصلی قابل شناسایی است.

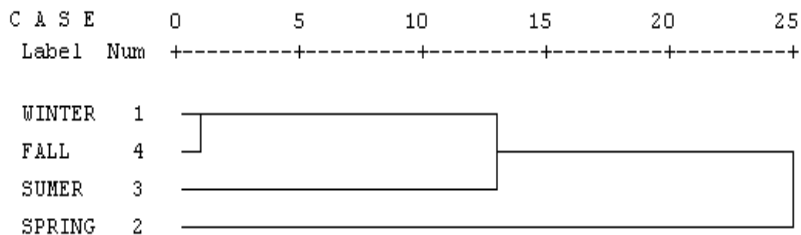


شکل ۳- روند خطی و پلی نومیال درجه ۶ بارش (الف: زمستان، ب: بهار، ج: تابستان، د: پاییز) و محدوده‌های اضافه و کمبود بارش



شکل ۴- نمودار من-کندال برای سری بارش زمستانی ایستگاه اهر در بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۰۶

تحلیل خوشه‌ای مقادیر بارش فصلی نیز به روش Ward انجام گرفته است. دندروگرام حاصل از اعمال روش وارد که از روش‌های ادغام بر حسب متوسط گروهی با مجذور فاصله اقلیدسی است، نشان داد که ۳ گروه یا خوشه بارش کاملاً مجزا در بازه زمانی فصلی برای ایستگاه اهر قابل شناسایی هستند. خوشه‌های مذکور شامل: خوشه اول: بارش زمستانی و پاییزی، خوشه دوم: بارش تابستانی و خوشه سوم: بارش بهاره می باشند (شکل ۵).



شکل ۵- درخت خوشه بندی بارش های فصلی ایستگاه سینوپتیک اهر

### بررسی فصلی دوره های مرطوب و خشک

ابتدا برای تجزیه و تحلیل ترسالی ها و خشکسالی ها از شاخص نیچه استفاده شد. نتایج شاخص نیچه با توجه به آستانه های فصلی بارش برای شروع دوره های مرطوب، عادی و خشک انجام گرفته است. مقادیر آستانه های یاد شده مورد محاسبه قرار گرفته و در جدول ۳ درج شده است:

جدول ۳- مقادیر آستانه بارش برای تفکیک فصول مرطوب، نرمال و خشک ایستگاه اهر بر اساس شاخص نیچه

فصل	آستانه مرطوبی	وضعیت نرمال	آستانه خشکی
زمستان	۱۰۹,۴	۱۰۹,۴ تا ۵۰,۶	۵۰,۶
بهار	۱۷۷,۵	۱۷۷,۵ تا ۷۵	۷۵
تابستان	۴۱,۷۵	۴۱,۷۵ تا ۵,۸۵	۵,۸۵
پاییز	۱۲۴,۷	۱۲۴,۷ تا ۳۴,۷	۳۴,۷

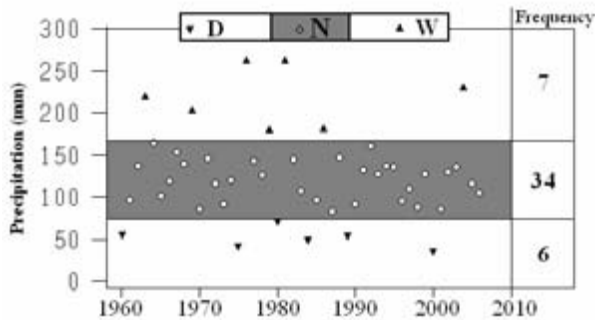
با استفاده از آستانه‌های مذکور اقدام به طبقه بندی بارش‌های فصلی ایستگاه اهر گردید که نتایج حاصله در جدول ۴ درج شده است.

جدول ۴- طبقه بندی فصول مرطوب، نرمال و خشک ایستگاه اهر بر اساس شاخص نیچه

سال	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
۱۹۶۰	N	D	W	N
۱۹۶۱	N	N	D	D
۱۹۶۲	N	N	W	N
۱۹۶۳	W	W	N	W
۱۹۶۴	N	N	N	D
۱۹۶۵	W	N	W	W
۱۹۶۶	N	N	W	W
۱۹۶۷	N	N	N	N
۱۹۶۸	N	N	D	W
۱۹۶۹	W	W	W	N
۱۹۷۰	D	N	N	N
۱۹۷۱	N	N	N	D

N	N	N	N	۱۹۷۲
D	D	N	N	۱۹۷۳
D	N	N	N	۱۹۷۴
D	D	D	N	۱۹۷۵
N	N	W	N	۱۹۷۶
W	N	N	N	۱۹۷۷
N	N	N	N	۱۹۷۸
N	D	W	W	۱۹۷۹
N	D	D	W	۱۹۸۰
N	N	W	N	۱۹۸۱
W	W	N	N	۱۹۸۲
N	N	N	D	۱۹۸۳
W	W	D	D	۱۹۸۴
N	D	N	N	۱۹۸۵
N	N	W	N	۱۹۸۶
W	N	N	D	۱۹۸۷
N	W	N	N	۱۹۸۸
N	W	D	N	۱۹۸۹
N	D	N	N	۱۹۹۰
N	N	N	N	۱۹۹۱
N	N	N	N	۱۹۹۲
W	N	N	W	۱۹۹۳
N	N	N	N	۱۹۹۴
D	N	N	N	۱۹۹۵
N	N	N	N	۱۹۹۶
N	W	N	N	۱۹۹۷
N	N	N	N	۱۹۹۸
N	W	N	N	۱۹۹۹
N	40	D	N	۲۰۰۰
N	D	N	D	۲۰۰۱
N	N	N	D	۲۰۰۲
D	N	N	N	۲۰۰۳
N	N	W	D	۲۰۰۴
N	N	N	N	۲۰۰۵
N	N	N	N	۲۰۰۶

به منظور شناخت بهتر از وضعیت بارش فصول مختلف و طبقه بندی کیفی آنها، از نمودارهای تعیین و طبقه بندی دوره‌های مرطوب، عادی و خشک استفاده شده که برای نمونه نمودار بارش بهاره در شکل ۵ درج شده است.



شکل ۵- تعیین و طبقه بندی دوره‌های مرطوب، عادی و خشک بهاری ایستگاه اهر

نتایج حاصل از شاخص نیچه برای هر یک از فصول چهارگانه نشان داد که فصول تابستان و پاییز هر یک به ترتیب با ۹ و ۸ بار وقوع دوره خشک دارای بیشترین تعداد وقوع خشکسالی و فصول بهار و زمستان به ترتیب با ۶ و ۷ بار وقوع خشکسالی دارای کمترین تعداد فصول خشک هستند. همچنین فصول تابستان و پاییز هر یک به ترتیب با ۱۱ و ۹ بار وقوع دوره مرطوب دارای بیشترین تعداد دوره‌های ترسالی و فصول بهار و زمستان به ترتیب با ۶ و ۷ بار وقوع ترسالی دارای کمترین تعداد فصول مرطوب در طول دوره آماری ۴۷ ساله بوده‌اند. شاخص بارش قابل اعتماد نیز برخی از واقعیت‌های نهان بارش ایستگاه اهر را نشان داد. آستانه‌های شروع خشکسالی، ترسالی و سال نرمال با استفاده از شاخص بارش قابل اعتماد مورد محاسبه قرار گرفته و از طریق کمیت‌های به دست آمده فصول مرطوب، نرمال و خشک ایستگاه اهر شناسایی و تفکیک شده‌اند. مقادیر عددی آستانه‌های بارش فصلی در جدول ۵ درج گردیده است.



جدول ۵- مقادیر آستانه بارش برای تفکیک فصول مرطوب، نرمال و خشک بر اساس شاخص بارش قابل اعتماد

فصل	بارش قابل اعتماد	وضعیت نرمال	میانگین بلند مدت
زمستان	۶۴	۶۴ تا ۸۰	۸۰
بهار	۹۸٫۶	۹۸٫۶ تا ۱۲۶٫۳	۱۲۶٫۳
تابستان	۱۸	۱۸ تا ۲۳٫۸	۲۳٫۸
پاییز	۵۴٫۸	۵۴٫۸ تا ۷۹٫۴	۷۹٫۴

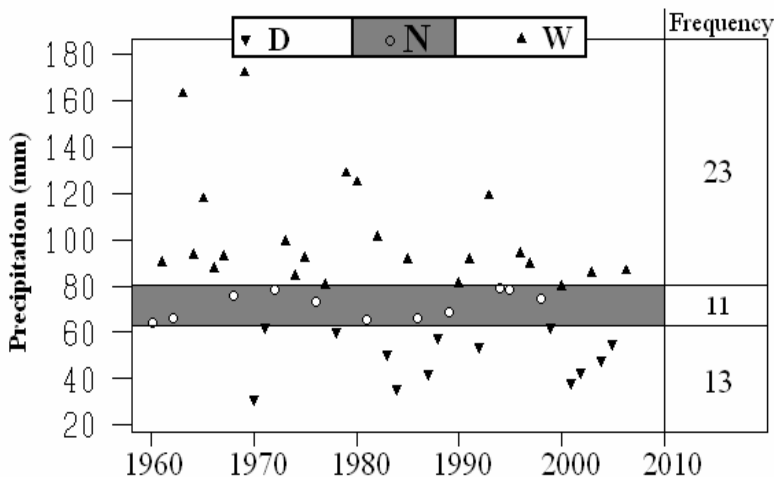
با استفاده از مقادیر آستانه فوق بارش فصول مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه در جدول ۶ ارایه شده است.

جدول ۶- طبقه بندی و تعیین فصول مرطوب، نرمال و خشک اهر بر مبنای شاخص بارش قابل اعتماد

سال	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
۱۹۶۰	N	D	W	W
۱۹۶۱	W	D	D	D
۱۹۶۲	N	W	W	W
۱۹۶۳	W	W	N	W
۱۹۶۴	W	W	D	D
۱۹۶۵	W	N	W	W
۱۹۶۶	W	N	W	W
۱۹۶۷	W	W	N	N
۱۹۶۸	N	W	D	W
۱۹۶۹	W	W	W	W
۱۹۷۰	D	D	D	N
۱۹۷۱	D	W	D	D
۱۹۷۲	N	N	W	N
۱۹۷۳	W	N	D	D
۱۹۷۴	W	N	W	D
۱۹۷۵	W	D	D	D
۱۹۷۶	N	W	N	N
۱۹۷۷	W	W	D	W
۱۹۷۸	D	W	D	W
۱۹۷۹	W	W	D	N

N	D	D	W	۱۹۸۰
N	D	W	N	۱۹۸۱
W	W	W	W	۱۹۸۲
D	W	N	D	۱۹۸۳
W	W	D	D	۱۹۸۴
N	D	D	W	۱۹۸۵
N	W	W	N	۱۹۸۶
W	W	D	D	۱۹۸۷
N	W	W	D	۱۹۸۸
W	W	D	N	۱۹۸۹
D	D	D	W	۱۹۹۰
W	D	W	W	۱۹۹۱
W	D	W	D	۱۹۹۲
W	W	W	W	۱۹۹۳
W	D	W	N	۱۹۹۴
D	W	W	N	۱۹۹۵
N	N	D	W	۱۹۹۶
D	W	N	W	۱۹۹۷
N	W	D	N	۱۹۹۸
W	W	W	D	۱۹۹۹
W	W	D	N	۲۰۰۰
N	D	D	D	۲۰۰۱
W	D	W	D	۲۰۰۲
D	N	W	W	۲۰۰۳
N	N	W	D	۲۰۰۴
D	D	N	D	۲۰۰۵
N	W	N	W	۲۰۰۶

بیشترین فراوانی دوره‌های خشک ۲۰ بار و کمترین آن ۱۲ بار است. بیشترین فراوانی وقوع دوره‌های مرطوب نیز ۲۴ بار و کمترین وقوع آن ۱۹ بار مورد محاسبه قرار گرفته است. برای درک بهتر و گرافیک محدوده‌های بارش و آستانه‌های تفکیک کننده فصول مرطوب، نرمال و خشک بر مبنای شاخص بارش قابل اعتماد، از مدل‌های گرافیکی طبقه بندی و تفکیک استفاده شده و مدل بارش زمستانی در شکل ۶ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۶- مدل بارش قابل اعتماد برای تعیین و طبقه بندی فصول خشک و مرطوب زمستانه

بهترین روش مورد استفاده برای تفکیک دوره‌های خشک و مرطوب در کل بازه‌های ماهانه، فصلی و سالانه روش ZSIP است. با استفاده از طبقه بندی دوره‌های مرطوب و خشک بر اساس نمایه نمرات استاندارد شده بارش ZSIP که در جدول ۱ توضیح داده شده و پس از تبدیل داده‌های خام بارش به داده‌های استاندارد شده بارش، کم و کیف و ویژگی‌های زمانی بارش‌های فصلی ایستگاه اهر استخراج گردید که نمرات استاندارد بارش در جدول ۷ کدبندی و از نظر شدت فصول مرطوب و خشک طبقه بندی شد. در جدول ۷ فراوانی طبقات مختلف فصول مرطوب و خشک بر اساس نمایه نمرات استاندارد شده بارش ارایه شده است. شدیدترین خشکسالی فصلی با نمره استاندارد شده بارشی برابر با  $-1/75$  در بهار سال ۲۰۰۰ و مرطوب‌ترین فصل ایستگاه با نمره استاندارد شده بارشی برابر با  $3/14$  در زمستان ۱۹۶۹ به وقوع پیوسته‌اند.

جدول ۷- کدگذاری و طبقه بندی شدت فصول مرطوب، خشک و نرمال ایستگاه اهر

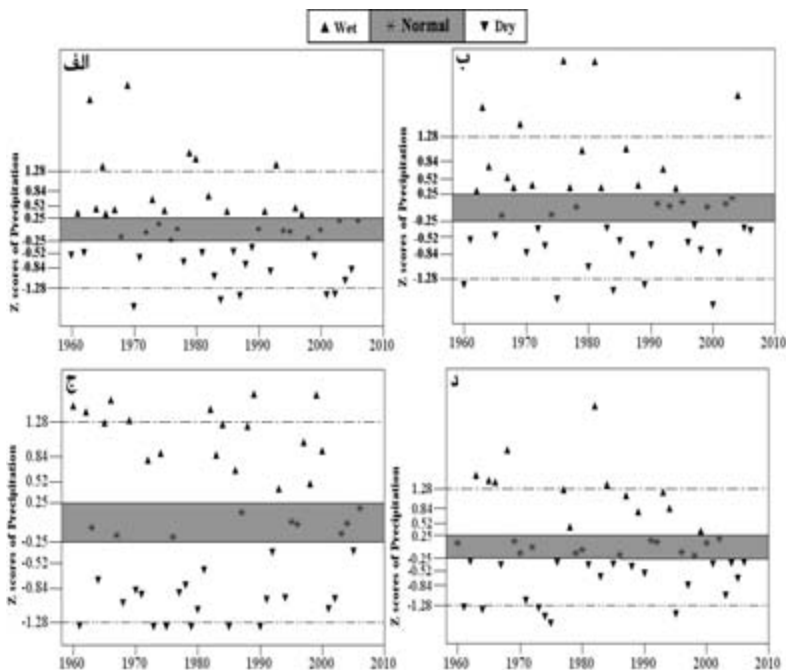
سال	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
۱۹۶۰	۶	۸	۴	۰
۱۹۶۱	۱	۶	۸	۸
۱۹۶۲	۵	۰	۴	۵
۱۹۶۳	۴	۴	۰	۴
۱۹۶۴	۱	۲	۶	۸
۱۹۶۵	۳	۵	۴	۴
۱۹۶۶	۰	۰	۴	۴
۱۹۶۷	۱	۲	۰	۵
۱۹۶۸	۰	۱	۷	۴
۱۹۶۹	۴	۴	۴	۰
۱۹۷۰	۸	۶	۷	۰
۱۹۷۱	۶	۱	۷	۷
۱۹۷۲	۰	۵	۲	۰
۱۹۷۳	۲	۶	۸	۸
۱۹۷۴	۰	۰	۳	۸
۱۹۷۵	۱	۸	۸	۸
۱۹۷۶	۵	۴	۰	۵
۱۹۷۷	۰	۱	۷	۴
۱۹۷۸	۶	۰	۶	۱
۱۹۷۹	۴	۳	۸	۰
۱۹۸۰	۴	۷	۷	۰
۱۹۸۱	۵	۴	۶	۵
۱۹۸۲	۲	۱	۴	۴
۱۹۸۳	۷	۵	۳	۶
۱۹۸۴	۸	۸	۳	۴
۱۹۸۵	۱	۶	۸	۵
۱۹۸۶	۵	۳	۲	۰
۱۹۸۷	۸	۷	۰	۳
۱۹۸۸	۶	۱	۳	۵
۱۹۸۹	۵	۸	۴	۲
۱۹۹۰	۰	۶	۸	۶
۱۹۹۱	۱	۰	۷	۰
۱۹۹۲	۷	۲	۵	۰
۱۹۹۳	۴	۰	۱	۳
۱۹۹۴	۰	۰	۷	۲

۸	۰	۰	۰	۱۹۹۵
۰	۰	۶	۱	۱۹۹۶
۶	۳	۵	۱	۱۹۹۷
۰	۱	۶	۵	۱۹۹۸
۱	۴	۰	۶	۱۹۹۹
۰	۳	۸	۰	۲۰۰۰
۵	۷	۷	۸	۲۰۰۱
۰	۷	۰	۸	۲۰۰۲
۷	۰	۰	۰	۲۰۰۳
۵	۰	۴	۷	۲۰۰۴
۶	۵	۵	۷	۲۰۰۵
۵	۰	۵	۰	۲۰۰۶

جدول ۸- فراوانی طبقات مختلف فصول مرطوب و خشک بر اساس نمایه نمرات استاندارد شده بارش

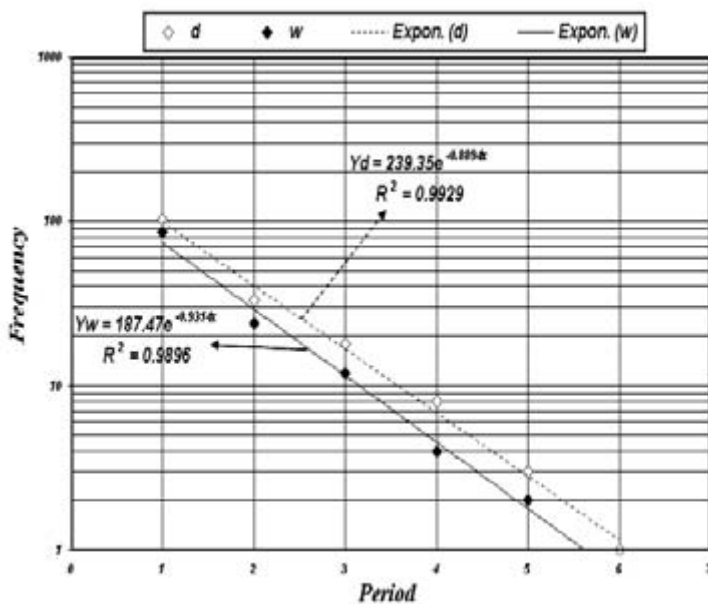
دوره متوالی	تعداد ماه خشک	تعداد ماه مرطوب
۱	۱۰۲	۸۶
۲	۳۳	۲۴
۳	۱۸	۱۲
۴	۸	۴
۵	۳	۲
۶	۱	-

همانطور که در جدول ۸ مشاهده می شود متوالی ترین دوره فصول خشک، یک دوره خشک با ۶ فصل متوالی و مستمرترین دوره مرطوب فصلی ۲ دوره با ۵ بار ترسالی یا دوره رطوبی پشت سر هم می باشند. از مجموع ۱۸۸ فصل (۴۷ سال در ۴ فصل برای هر سال) ۱۰۲ فصل آن خشک و ۸۶ فصل آن مرطوب بوده است. تفکیک و طبقه بندی فصول مرطوب و خشک با استفاده از مدل گرافیکی طبقه بندی بارش به روش نمرات استاندارد شده بارش انجام یافته است. مدل های مذکور برای هر فصل (الف: زمستان، ب: بهار، ج: تابستان، د: پاییز) در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- مدل‌های تعیین و طبقه‌بندی بارش‌های فصلی ایستگاه اهر به روش ZSIP

به منظور بررسی وجود ارتباط و همخوانی بین فراوانی و استمرار زمانی فصول مرطوب و خشک با یکدیگر، در کاغذ نیمه لگاریتمی توزیع فراوانی فصول مرطوب و خشک نسبت به استمرار و توالی زمانی فصول مرطوب و خشک ایستگاه اهر ترسیم گردید که در شکل ۷ قابل مشاهده است. با توجه به اینکه توزیع فصول مرطوب و خشک از رگرسیون نمایی کاملاً پیروی می‌نماید، لذا با افزایش طول دوره تداوم، فراوانی فصول مرطوب و خشک کاهش پیدا می‌کنند که این امر در خصوص دوره‌های مرطوب بسیار شدیدتر است. خطوط رگرسیون فصول متوالی مرطوب و خشک همدیگر را در هیچ نقطه‌ای قطع نکرده‌اند و بر این اساس می‌توان ادعا داشت که توزیع فراوانی فصول مرطوب و خشک با استمرار و تکرار زمانی فصول مرطوب و خشک ارتباطی ندارد و مستقل از همدیگر به وقوع می‌پیوندند.



شکل ۸- توزیع نمایی توالی و استمرار فصول مرطوب و خشک در ازای فراوانی وقوع آنها

اثر الگوهای پیوند از دور بر بارش‌های اهر

رابطه بین بارش‌های فصلی و الگوهای پیوند از دور مورد بررسی قرار گرفت که ضرایب همبستگی معنی دار برای هر فصل و هر الگوی پیوند از دور در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- رابطه همبستگی بین بارش زمستانه اهر و شاخص‌های پیوند از دور

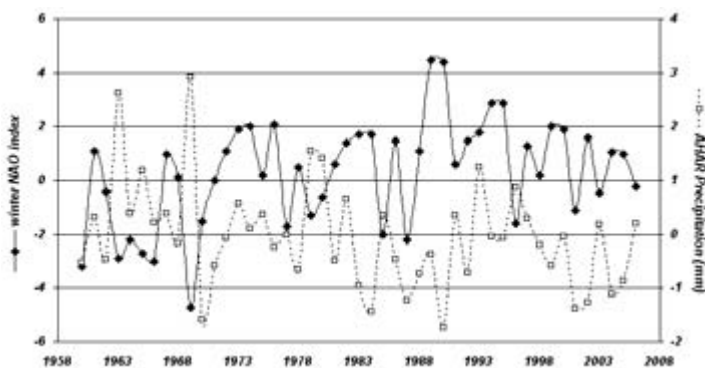
ردیف	شاخص	ضریب همبستگی	ردیف	شاخص	ضریب همبستگی
۱	AO	-۰.۲۳ **	۱۱	MEI	-
۲	Bivariate Enso	-	۱۲	Nino 3	۰.۱۴۵ *
۳	NAO	-۰.۴۳ **	۱۳	Nino 4	-
۴	EA	-	۱۴	Nino 3.4	-
۵	EP/NP	-	۱۵	NOI	-
۶	PNA	-	۱۶	SOI	-
۷	EA/WR	-	۱۷	TNI	-
۸	POL	-	۱۸	ONI	-
۹	N PI	۰.۳۱**	۱۹	SCA	۰.۳۱۲ **
۱۰	Nino 1+2	۰.۱۶۱ *	۲۰	QBI	۰.۰۰۲۵

در جدول ۹، ضرایب همبستگی معنی دار در سطح ۱ درصد با علامت \*\* و ضرایب همبستگی معنی دار در سطح ۵ درصد با مشخص \* شده‌اند. همانطور که در این جدول مشخص شده، بالاترین ضرایب همبستگی و ارتباط بین بارش زمستانه با الگوی نوسانات اطلس شمالی (NAO) و بعد از آن با نوسانات شمالگان یا اقیانوس منجمد شمالی (AO) به دست آمده است. بر همین مبنا می‌توان تایید کرد که رابطه بارش زمستانی ایستگاه اهر با نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان با توجه به منفی بودن ضرایب همبستگی، معکوس است. این بدان معنی است که در فاز منفی الگوهای پیوند از دور نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان به علت فراوانی سیکلون‌های مهاجر به سمت شمال غرب ایران و ایستگاه اهر رطوبت بارش‌های زمستانه اهر تامین و بارش‌ها افزایش می‌یابد. در وضعیت مخالف فرایند یاد شده یعنی فاز مثبت به دلیل حاکمیت پرفشار آזור و در کل حاکمیت آنتی سیکلون‌های مهاجر از سمت اقیانوس اطلس بارش اهر کم شده و احیانا خشکسالی حاکم می‌شود.

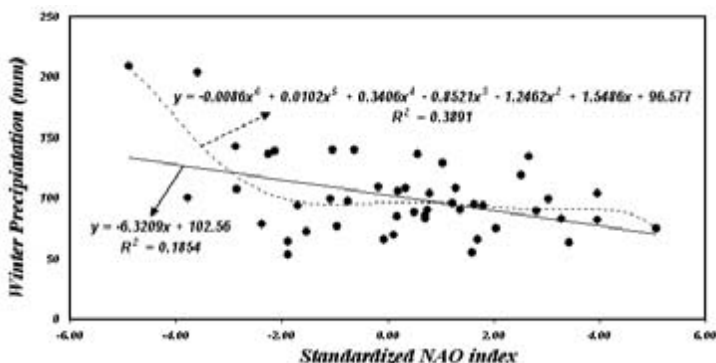
در شکل ۹ رابطه و هماهنگی بارش زمستانی ایستگاه اهر با فازهای منفی و مثبت NAO نشان داده شده است. در شکل ۱۰ نیز رابطه خطی و پلی نومیال درجه ۶ بارش زمستانه اهر با الگوی نوسانات اطلس شمالی (NAO) ترسیم و نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در حالت خطی ۱۸/۵ و در حالت پولی نومیال تا ۳۹ درصد تغییرات بارش زمستانی ایستگاه اهر بر اثر الگوی نوسانات اطلس شمالی (NAO) انجام می‌گیرد. رابطه بین بارش زمستانی اهر و الگوی کلان مقیاس جوی-اقیانوسی نوسانات شمالگان با ضریب همبستگی معادل ۰/۳۳- در سطح ۱ درصد معنی دار است و همانطور که در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود، در دستگاه خطی ۱۱/۲ درصد و در دستگاه نیمه خطی پلی نومیال درجه ۲۹/۵۶ درصد عامل تغییرات بارش زمستانی (دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس) ایستگاه اهر محسوب می‌شود. ضرایب همبستگی همزمان بین بارش‌های بهاری ایستگاه سینوپتیک اهر و الگوهای پیوند از دور که نتایج آن در جدول ۱۰ درج شده، در حد بالا مشاهده نشد و بارش بهاری اهر فقط با الگوهای پیوند از دور NAO، Nino 1+2، Nino 3 و POL یا Polar/ Eurasia Pattern (الگوی قطبی-روسی) همبستگی معنی داری نشان می‌دهد. بارش تابستانی در منطقه شمال غرب از نظر کمیت و



تاثیر در عمران شهری و روستایی اهمیت چندانی ندارد، اما از نظر هوا و اقلیم شناختی دارای اهمیت است. محاسبات مربوط به ضرایب همبستگی بارش تابستانه با الگوهای پیوند از دور نشان داد که بارش تابستانه ایستگاه اهر با شاخص اقیانوس آرام شمالی یا NPI تا ۰/۴ ضریب همبستگی نشان داده و ۱۶ درصد تغییرات بارشی ایستگاه اهر در تابستان متأثر از الگوی اقیانوس آرام شمالی است.

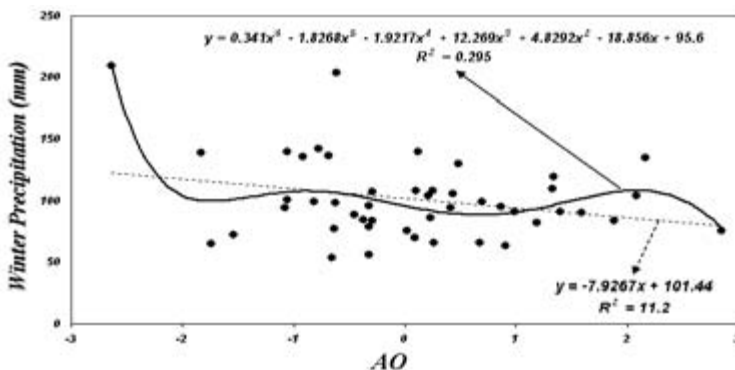


شکل ۹ - رابطه و هماهنگی بارش زمستانی ایستگاه اهر با فاز های منفی و مثبت NAO



شکل ۱۰ - رابطه خطی و پلی نومیال درجه ۶ بارش زمستانی ایستگاه اهر با پدیده NAO

دومین الگوی تاثیر گذار بر بارش‌های تابستانی ایستگاه اهر الگوی نوسانات شمالی موسوم به Northern Oscillation Index (NOI) یا ضریب همبستگی ۰/۲۳- و بعد از آن شاخص انتقالی نینو (Trans Nino Index) معروف به TNI با ضریب همبستگی ۰/۱۵ می باشند که ضریب همبستگی هر دو الگوی یاد شده در سطح آلفا مساوی ۱ درصد معنی دار هستند.



شکل ۱۰- روابط خطی و پلی نومیال درجه ۶ بارش زمستانی ایستگاه اهر با الگوی نوسانات شمالگان AO

جدول ۱۰- رابطه همبستگی بین بارش های بهاری ایستگاه اهر و الگوی های پیوند از دور

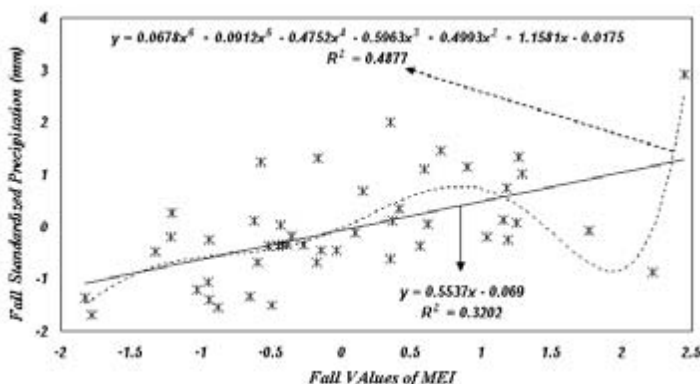
ردیف	شاخص	ضریب همبستگی	ردیف	شاخص	ضریب همبستگی
۱	AO	-	۱۱	MEI	-
۲	Bivariate Enso	-	۱۲	Nino 3	۰.۲۱۸ **
۳	NAO	۰.۱۴۵ *	۱۳	Nino 4	-
۴	EA	-	۱۴	Nino 3.4	-
۵	EP/NP	-	۱۵	NOI	-
۶	PNA	-	۱۶	SOI	-
۷	EA/WR	-	۱۷	TNI	-
۸	POL	۰.۲۱۸ **	۱۸	ONI	-
۹	N PI	-	۱۹	SCA	-
۱۰	Nino 1+2	۰.۲۴۵ **	۲۰	QBI	-

در جدول فوق، ضرایب همبستگی معنی دار در سطح ۱ درصد با علامت \*\* و ضرایب همبستگی معنی دار در سطح ۵ درصد با علامت \* مشخص شده‌اند. بارش‌های فصل پاییز ایستگاه اهر نیز در ارتباط با الگوهای بزرگ مقیاس جوی-اقیانوسی مورد تحلیل قرار گرفت و همان گونه که در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود با برخی از الگوهای پیوند از دور رابطه معنی داری نشان داده است.

جدول ۱۱- رابطه همبستگی بین بارش‌های پاییزی ایستگاه اهر و الگوی های پیوند از دور

ردیف	شاخص	ضریب همبستگی	ردیف	شاخص	ضریب همبستگی
۱	AO	-	۱۱	MEI	۰,۵۶۵ **
۲	Bivariate Enso	۰,۲۸ **	۱۲	Nino 3	۰,۲۲ **
۳	NAO	-	۱۳	Nino 4	۰,۲۹ **
۴	EA	-	۱۴	Nino 3.4	۰,۲۷ **
۵	EP/NP	-	۱۵	NOI	-۰,۲۴ **
۶	PNA	-	۱۶	SOI	-
۷	EA/WR	-	۱۷	TNI	-۰,۲۵ **
۸	POL	۰,۳۱ **	۱۸	ONI	-
۹	NPI	-	۱۹	SCA	-
۱۰	Nino 1+2	۰,۲۴۵ **	۲۰	QBI	-

در جدول ۱۱، ضرایب همبستگی معنی دار در سطح ۱ درصد با علامت \*\* مشخص شده‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود، بارش پاییزی ایستگاه اهر به شدت تحت تاثیر پدیده انسو است و با شاخص‌های مختلف آن بویژه شاخص چند متغیره انسو یا MEI ارتباطی قوی نشان می‌دهد. در اهمیت و میزان تاثیر الگوها یا شاخص‌های مربوط به انسو بر بارش پاییزی اهر کافی است تنها اثر الگوی MEI را در نظر گرفته شود که در دستگاه خطی ۳۲ درصد و در دستگاه نیمه خطی ۴۸/۸ درصد تغییرات بارش پاییزی را متاثر از پدیده جوی-اقیانوسی انسو نشان می‌دهد (شکل ۱۲ را ببینید).



شکل ۱۲- رابطه و تاثیرپذیری بارش پاییزی ایستگاه اهر از پدیده انسو با استفاده از شاخص MEI

ضرایب معنی دار همبستگی بین بارش‌های پاییزی ایستگاه اهر با شاخص‌های مختلف پدیده انسو نشان می‌دهد که در فاز گرم یا ال نینو (به معنی پسر مسیح) بارش‌ها افزایش می‌یابد و ترسالی به وجود می‌آید، اما در فاز سرد که به لانینا (به معنی دختر مسیح) معروفیت دارد، بارش‌ها به کلی قطع یا بسیار کاهش می‌یابد و خشکسالی به وجود می‌آید. بارش ایستگاه اهر در فازهای خنثی هیچ تاثیری از پدیده انسو نمی‌پذیرد.

در مجموع با توجه به نتیجه همبستگی بارش‌های پاییزی ایستگاه اهر با الگوهای پیوند از دور و بویژه با شاخص‌های انسو و نتیجه رگرسیون چندگانه، ۷۲/۳ درصد تغییرات بارش پاییزی ایستگاه اهر تحت نفوذ و تاثیر الگوهای پیوند از دور می‌باشد. با اینکه در سایر ماه‌ها و فصول روند بارش‌های ایستگاه اهر معنی دار نیست، اما تغییرات شدیدی در میانگین بارش‌های فصلی قابل مشاهده بوده و نقاط جهش فراوانی در سری بارش‌های فصلی قابل شناسایی است.

### نتیجه گیری

یافته‌ها و نتایج حاصل از روش‌های به کار گرفته شده در تحقیق حاضر، جملگی بر یک واقعیت مهم دلالت دارند و آن این است که بارش ایستگاه اهر در تمام بازه‌های زمانی ماهانه،

فصلی و سالانه به شدت دستخوش نوسان است. بررسی و تحلیل روند بارش‌ها نشان داد که در بعضی از ماه‌های سال و برخی فصول روند غالب بارش، نزولی بوده و تغییرات زمانی آن رو به کاهش است. به عبارت دیگر از میزان و مقدار بارش‌ها در طول زمان کاسته شده و روند نزولی و رو به کاهش یاد شده در سال‌های اخیر فزونی یافته و در حال تشدید است. آزمون ناپارامتری من-کندال برای بررسی معنی دار بودن تغییرات بارش بلند مدت در قالب روند سری زمانی بارش در بازه‌های زمانی مختلف نشان داد که روند تغییرات برای ماه‌ها (روند تغییرات بارش ماه جولای و اوت) و فصولی از سال کاملاً روی قاعده بوده و به سوی کاستی در حال پیشروی است.

از بین فصول چهار گانه فقط بارش زمستانی اهر روند تغییرات معنی داری از خود نشان می‌دهد. به عبارت دیگر بارش زمستانی اهر روندی روبه تغییر و نزولی یا کاهش از خود نشان می‌دهد. این نکته می‌تواند یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم ایستگاه اهر باشد. با اینکه بارش سالانه اهر با نوسانات بسیار زیادی در بستر زمانی ۴۷ ساله ظاهر شده، اما همانطور که نتایج آزمون ناپارامتری من-کندال نشان داد، روند تغییرات زمانی آن معنی دار نبوده و فقط میانگین بلند مدت آن در چندین نوبت جهش، کم یا زیادتر شده، تا در نهایت به رقم ۳۱۰ میلی متر رسیده است.

هر یک از مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق بعدی از ابعاد بارش را در ایستگاه اهر معلوم نموده‌اند. نمایه DR مقدار بارش قابل اطمینان ایستگاه اهر را که در برنامه‌ریزی‌ها بویژه کاربری اراضی حایز اهمیت فراوانی است، مورد محاسبه قرار گرفت. معمولاً در کشور ما در برآورد مقدار بارش قابل حصول برای برنامه‌ریزی منابع آب و کاربری اراضی از میانگین ریاضی استفاده می‌شود. با توجه به ماهیت نوسانی بارش کشور و ایستگاه اهر اغلب مقدار بارش مورد انتظار (میانگین) نمی‌بارد و مشکلات زیادی از این رهگذر متوجه طرح‌های عمران آب و کشاورزی و منابع طبیعی می‌گردد. نمایه DR این مشکل را برطرف می‌نماید و مقدار بارش قابل اعتماد ایستگاه اهر و در صورت لزوم دیگر را مشخص می‌کند. از بین سه روش یاد شده مدل ZSIP دارای معایب کمتر و مزایای بیشتری است. از مزایای مدل ZSIP

می‌توان به حساسیت بیشتر آن نسبت به نوسانات بارش، امکان مراقبت و پایش خشکسالی، مقیاس طبقه‌بندی دقیق‌تر، قابلیت محاسباتی در مقاطع زمانی مختلف اشاره نمود. اخیراً برای تطبیق همبستگی نوسانات بارش با نوسانات پدیده‌های بزرگ مقیاس اقلیمی چون انسو (ال نینو- شاخص نوسانات جنوبی) در مدل‌های سری زمانی از روش ZSIP استفاده می‌شود. چنین مدل‌هایی به صورت مستقیم ارتباط و اثر نوسانات پدیده‌های اقلیمی بزرگ مقیاس کره زمین (مثل پدیده جوی- اقیانوسی انسو) را بر وقوع دوره‌های مرطوب و خشک منعکس می‌کنند. بر همین مبنا در تحقیق حاضر از همبستگی هم‌زمان بارش به صورت ZSIP با شاخص‌های استاندارد استفاده شد تا خشکسالی و ترسالی ایستگاه بر اثر شاخص‌ها یا الگوهای پیوند از دور معلوم گردد. نکته جالب توجه در خصوص رابطه و تاثیر الگوهای پیوند از دور تاثیرات قابل توجه در فصل سرد سال یا فصول پاییز و زمستان است. در زمستان الگوی پیوند از دور غالب در نیمکره شمالی الگوی کلان مقیاس جوی- اقیانوسی اطلس شمالی است که بر بارش منطقه شمال غرب ایران و همانگونه که ذکر شد، بر بارش زمستانی ایستگاه اهر نیز تاثیرات قابل توجهی می‌گذارد.

اهتمام در به کارگیری روش‌های جدیدتر و پیشرفته نیز می‌تواند گام موثری در زمینه شناخت خشکسالی‌ها و عوامل به وجود آورنده آنها محسوب شود. بالاترین ضرایب همبستگی و ارتباط بین بارش زمستانه با الگوی نوسانات اطلس شمالی (NAO) و بعد از آن با نوسانات شمالگان یا اقیانوس منجمد شمالی (AO) مورد محاسبه قرار گرفته است. بر همین مبنا می‌توان مشاهده کرد که رابطه معکوس بارش زمستانی ایستگاه اهر با نوسانات اطلس شمالی و با نوسانات شمالگان با توجه به منفی بودن ضرایب همبستگی، معکوس است. این بدان معنی است که در فاز منفی الگوهای پیوند از دور نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان به علت فراوانی سیکلون‌های مهاجر به سمت شمال غرب ایران و ایستگاه اهر رطوبت بارش‌های زمستانه اهر تامین و بارش‌ها افزایش می‌یابد. در وضعیت مخالف فرایند یاد شده یعنی فاز مثبت به دلیل حاکمیت پرفشار آزور و در کل حاکمیت آنتی سیکلون‌های مهاجر از سمت اقیانوس اطلس بارش اهر کم شده و احیاناً خشکسالی حاکم می‌شود.

ضرایب معنی دار همبستگی بین بارش‌های پاییزی ایستگاه اهر با شاخص‌های مختلف پدیده انسو نشان می‌دهد که در فاز گرم یا ال نینو بارش‌ها افزایش می‌یابد و ترسالی به وجود می‌آید، اما در فاز سرد که به لائینا معروفیت دارد، بارش‌ها به کلی قطع یا بسیار کاهش می‌یابد و خشکسالی پدید می‌آید. بارش ایستگاه اهر در فازهای خشتی هیچ تاثیری از پدیده انسو نمی‌پذیرد.

این تحقیق با استفاده از علم آمار و تحلیل‌های آب و هواشناختی مشخص می‌کند که بارش ایستگاه اهر در بازه زمانی فصلی به شدت دستخوش نوسان می‌باشد. نحوه و نوع تغییرات و روند بلند مدت زمانی و معنی دار بودن تغییرات را مورد بررسی قرار گرفت، اما نتیجه اصلی و دستاورد این تحقیق که می‌توان در برنامه‌های عمرانی اهر مورد تاکید و استفاده قرار گیرد، این است که در ایستگاه اهر فراوانی و استمرار زمانی خشکسالی بر فراوانی و استمرار زمانی ترسالی یا دوره‌های مرطوب فصلی غلبه دارد و خشکسالی‌های مکرر حالت اقلیمی را به سوی شرایطی دائمی‌تر که همان خشکی اقلیم است، سوق می‌دهد. لذا خشکسالی حالتی عادی در ایستگاه اهر است و غالباً در هر چند سال تکرار می‌شود و بر این اساس بایستی یک برنامه دائمی برخورد با اثرات زیان بار خشکسالی و کاهش صدمات در دستور کار دستگاه‌های ذریبط قرار گیرد.

## منابع

- ۱- خوش اخلاق، ف (۱۳۷۶) «تحقیق در خشکسالی های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل های سینوپتیکی»، پایان نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.
- ۲- خوش اخلاق، ف (۱۳۷۷) «پدیده انسو و تاثیر آن بر رژیم بارش ایران»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۴۱-۱۳۰: ۵۱.
- ۳- خلیلی، ع و ج بذرافشان، (۱۳۸۲) «ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه های اقلیمی مختلف ایران»، نیوار، بهار و تابستان ۸۲، ۹۳-۷۹: ۴۹.
- ۴- خورشیددوست، ع. م. و ی. قویدل رحیمی (۱۳۸۳) «مطالعه نوسانات بارش و پیش بینی و تعیین فصول مرطوب و خشک زمستانه آذربایجان شرقی»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۶-۲۵: ۷۲(۱).
- ۵- خورشیددوست، ع. م. و ی. قویدل رحیمی (۱۳۸۵) «ارزیابی اثر پدیده انسو بر تغییرپذیری بارش های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چند متغیره انسو (MEI)»، پژوهش های جغرافیایی، دانشگاه تهران، ۲۶-۱۵: ۵۷.
- ۶- خورشیددوست، ع. م. و ی. قویدل رحیمی (۱۳۸۵) «شبیه سازی اثرات دو برابر شدن دی اکسید کربن جو بر تغییر اقلیم تبریز با استفاده از مدل گردش عمومی GFDL»، مجله محیط‌شناسی، دانشگاه تهران، ۱۰-۱: ۳۹.
- ۷- زاهدی. م. و ی. قویدل رحیمی (۱۳۸۴) «ارتباط پیوند ازدور بین نوسانات اطلس شمالی و بارش سالانه در استان آذربایجان شرقی»، مجله پژوهش های جغرافیایی، دانشگاه تهران.
- ۸- عزیزی، ق (۱۳۷۹) «ال نینو و دوره های خشکسالی و ترسالی در ایران»، پژوهش های جغرافیایی، دانشگاه تهران، ۵۴-۴۳: ۳۸.
- ۹- فرج زاده، م و ع موحد دانش و هـ قائمی (۱۳۷۴) «خشکسالی در ایران»، دانش کشاورزی، تبریز، ۵۲-۳۱: ۲(۵) و ۱.



۱۰- قویدل رحیمی، ی، (۱۳۸۱) «تجزیه و تحلیل نوسانات بارش و محاسبه دوره های مرطوب و خشک آذربایجان شرقی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.

۱۱- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۳) «کاربرد نمایه های مبتنی بر بارش در مطالعه خشکسالی ها و ترسالی ها: مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی»، *مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، ۵۶-۴۵: ۶۵.

۱۲- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۴) «آزمون مدل های ارزیابی خشکسالی و ترسالی برای ایستگاه های استان آذربایجان شرقی»، *مجله منابع طبیعی ایران*، جلد سوم، ۵۳۰-۵۱۷: ۴۸.

۱۳- قویدل رحیمی، ی (۱۳۸۴) «اثر الگوی بزرگ مقیاس گردش جوی-اقیانوسی انسو بر تغییرپذیری فصلی اقلیم در ایران؛ مطالعه موردی: اثرات ال نینو و لانینا بر تغییرپذیری بارش های بهاری در آذربایجان شرقی»، *مجله علوم انسانی مدرس*، ۱۱۷-۱۳۲: ۴۳.

۱۴- قویدل رحیمی، ی (۱۳۸۱) «تحلیل توزیع فضایی ماه های مرطوب و خشک در ایستگاه های استان آذربایجان شرقی»، *مجله فضای جغرافیایی*، ۳۹-۳: ۵.

۱۵- صلاحی، ب و ع، خورشیددوست و ی، قویدل رحیمی (۱۳۸۶) «ارتباط نوسان های گردش جوی-اقیانوسی اطلس شمالی با خشکسالی ها و ترسالی های آذربایجان شرقی»، *پژوهش های جغرافیایی*، ۱۵۶-۱۴۷: ۶۰.

۱۶- مدرسی پور، آ (۱۳۷۳) «ناهنجاری های اقلیمی ایران و ENSO»، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال تهران، ۲۱۳ صفحه.

17- Matyasovszky. I. (2003), "The relationship between NAO and rainfall in Hungary and its nonlinear connection with ENSO", *Theoretical and Applied Climatology*, 74: 69-75.

18- Nazrul. I. M; T. Hayashi (2005), "Spatial and Temporal Variations of Precipitation in and around Bangladesh", *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 83(1): 21-39.

19- Turkes, M; E. Erlat. (2005), "Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation

during the period 1930–2001", *Theoretical and Applied Climatology*, 76: 31-40.

20- Wallace. J. M; D. S. Gutzler (1981), "Tele-connections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter", *Monthly Weather Review*, 109: 784-812.