



دوره ۳۱، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۲۰، پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۲۸-۳۹  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2018.121560.1109

# پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

## تعیین وضعیت و تغییرات شاخص فصلی بارش در بخش مرکزی استان اردبیل

رئوف مصطفی‌زاده \*

(نویسنده‌ی مسئول) \* استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

سونیا مهری

دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۷

\*Corresponding Email: raooofmoṣtafazedeh@uma.ac.ir

### چکیده

بارش مهم‌ترین سنج‌های اقلیمی، بویژه در مناطق خشک بوده، و وضعیت آن حاصل برهم‌کنش عوامل فیزیکی و تغییرات مکانی‌زمانی است و از تغییر اقلیم متأثر می‌گردد. فصلی‌بودن نحوه‌ی توزیع بارندگی در ماه‌های سال را مشخص می‌کند، و به عبارتی تغییرات فصلی وضعیت بارش را ارزیابی می‌کند. بررسی حاضر برای تعیین وضعیت و تغییرات شاخص فصلی با استفاده از شاخص فصلی‌بودن و روند تغییرات آن در بخش مرکزی استان اردبیل انجام شده است. از داده‌های بارندگی ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی در دوره‌ی آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۱ (۲۳ساله) استفاده شد. تغییرات زمانی مکانی با استفاده از دو نمایه‌ی بارش، یعنی شاخص فصلی بارش و ضریب تغییرات برآورد شدند. روند شاخص فصلی با آزمون من-کندال تعیین شد. نتایج نشان دادند که بیش‌ترین ضریب تغییرات در ایستگاه لای و اردبیل به ترتیب با ۶۵٪ و ۶۳٪، و کم‌ترین ضریب تغییرات در ایستگاه شمشیرخانی با ۳۶٪ بود. براساس نتایج شاخص فصلی بارش، بخش عمده‌ی منطقه در دو وضعیت عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه (۰/۲ تا ۰/۳)، و یکنواخت با یک فصل مرطوب و دامنه‌ی عددی بیشینه‌ی ۰/۶ بودند. نتایج روند با استفاده از آزمون من-کندال نشان دادند که فقط در برخی از این ایستگاه‌ها روند از نظر آماری معنی‌دار بوده است. ارزیابی ضریب تغییرات بارش نشان داد که یکنواختی بارش در ماه‌های مختلف در این ایستگاه‌ها کاهش یافته است. افزایش ضریب تغییرات بارش و شاخص فصلی بارش بیانگر تغییر وضعیت آن و افزایش احتمال شدت خشک‌سالی در منطقه است.

واژگان کلیدی: آزمون روند، شاخص فصلی، ضریب تغییرات، وضعیت بارش

## Determination of the Precipitation Regime and the Seasonality Index Variations in the Central Part of the Ardabil Province

Raof Mostafazadeh\*

(Corresponding Author)\*, Assistant Professor, Department Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

**Sonia Mehri**

Graduated M.Sc. of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

### Abstract

Precipitation is the most important climatic factor, particularly in dry lands and its regime characteristics is affected by the change in climate. The precipitation regime is a result of physical, spatial and temporal interactions. The seasonality index (SI) specifies the distribution of monthly rainfall over the year and evaluates the seasonal variations of the rainfall regime. The present study was conducted to determine the precipitation regime and to detect the trend of precipitation SI at the central part of the Province of Ardabil. The rainfall data of 24 stations were collected for the 1989–2012 period. Descriptive statistics of monthly precipitation data were presented both graphically and statistically, and the spatial-temporal variations were estimated using the SI and coefficient of variation (CV). The trend of precipitation SI at different rain gauge stations was determined using the Mann-Kendall test. The results showed that the highest CV belonged to the Sad-Ghorichay and Lay Stations (65 and 63%), and the lowest was related to the Shamsir Khani Station (36%). Based on the precipitation SI of monthly data, two main regimes were determined: a short dry-season ( $SI= 0.2-0.3$ ), and a wet-season having the SI value of 0.6. The results of the Mann-Kendall test showed that most stations had either negative or positive trends in the precipitation SI. The increasing trend in the study area was more than the decreasing trend; only in some stations was the trend statistically significant. Also, assessing the CV of precipitation data showed that the uniformity of monthly precipitation values had decreased during the study period. Increasing the CV and precipitation SI indicate a change in precipitation regime; consequently, an increase in the severity of possible droughts in the study area.

■ **Keywords:** coefficient of variations, Mann–Kendall, precipitation regime, seasonality index, trend test

### مقدمه

تغییر در میزان بارش و وضعیت بارندگی، از مظاهر شایان توجه تغییرات اقلیمی است. بارش، از متغیرترین عناصر اقلیمی است و تغییرات آن می تواند تبعات منفی محیطی، اجتماعی، اقتصادی و حتی فرهنگی برای جوامع بشری داشته باشد. تغییرپذیری می تواند نقش مهمی در پیش بینی های اقلیمی و در نتیجه مدیریت منابع آب و برنامه ریزی های بهینه ی محیطی و اقتصادی و کشاورزی داشته باشد (گواناکورتا و ساجی ۲۰۱۳). کاهش یا افزایش میزان بارندگی بر

بسیاری دیگر از پدیده های اقلیمی و محیطی مانند رواناب، سیلاب، دمای و رطوبت هوا تأثیر می گذارد. به طور معمول برای بیان وضعیت بارش در یک منطقه، از میانگین بلندمدت بارش های سالانه و ماهانه استفاده می شود. تغییر میزان بارندگی، در طول زمان اهمیت زیادی دارد؛ اما آن چیزی که از تغییر در میزان بارش مهم تر است، تغییر در ضریب تغییرات<sup>۱</sup> (پراکنش زمانی) بارش است. یکی از ویژگی های زمانی بارش، وضعیت بارندگی<sup>۲</sup> است. وضعیت بارش، حاصل برهم کنش عوامل فیزیکی و مکانی و زمانی است.

1 - Coefficient of Variation

2 - Precipitation Regime

مفهوم وضعیت بارندگی و کمی‌سازی آن، امکان مقایسه‌ی میزان بارندگی در فصل‌ها یا ماه‌های مختلف را مهیا می‌سازد. شناخت توزیع زمانی بارش، نه تنها به لحاظ اقلیم‌شناسی اهمیت دارد، بلکه به لحاظ برنامه‌ریزی اقتصادی زراعی نیز ارزش فراوانی دارد.

در خصوص مطالعه‌ی وضعیت بارش، می‌توان به دو گروه مطالعه، شامل طبقه‌بندی وضعیت بارش و ارزیابی تغییر زمانی وضعیت بارش اشاره کرد. راموس و همکاران (۲۰۰۱) تغییرپذیری بارش فصلی در منطقه‌ی آلت‌پندز<sup>۳</sup> را بررسی کردند. مطالعات ایشان بیانگر تمایل فصل بهار به خشکی و تمایل فصل پاییز به شرایط مرطوب است. داویی (۲۰۰۴) در پژوهشی به بررسی تغییرات روزانه‌ی بارش در نواحی نیمه‌خشک شمال چین پرداخت. دوره‌ی زمانی بررسی‌شده از ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۰ میلادی بود. او به این نتیجه رسید که تعداد روزهای بارانی در این منطقه رو به کاهش است و به‌طور متوسط در این دوره، تعداد روزهای بارانی در مناطق نیمه‌خشک شمال چین، هشت روز کاهش یافته است. ریزر و کوتیل (۲۰۰۷) وضعیت بارش را در والنسیا و لارناکا<sup>۴</sup> مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که وضعیت بارش در لارناکا از همگنی و یکنواختی بیشتری نسبت به والنسیا برخوردار است. بورت و هورتون (۲۰۰۷) تغییرپذیری بارش دوره‌های ده‌ساله‌ی دوره‌ها را از دهه‌ی ۱۸۵۰ بررسی کردند و نشان دادند که طی قرن بیستم تابستان‌های مورد بررسی خشک‌تر و زمستان‌ها مرطوب‌تر شده‌اند. جیانگ و همکاران (۲۰۰۷) روند تغییرات بارندگی و آبدهی رودخانه را در حوزه‌ی رودخانه‌ی یانگ‌تسه در دوره‌ی آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ واکاوی کردند و یک روند مثبت معنی‌دار را در داده‌های بارندگی فصل تابستان مشاهده نمودند. گونزل‌هایدالگو و همکاران (۲۰۰۱) روند بارش ماهانه را در شبه‌جزیره‌ی ایبری در جنوب غربی اروپا، طی نیمه‌ی دوم قرن بیستم مطالعه کردند. نتیجه‌ی بررسی آن‌ها تغییرپذیری زمانی و مکانی فراوانی را در روند بارش ماهانه نشان داد؛ اما روند بارش عموماً منفی بود. فنگ و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر تغییرات وضعیت بارش و کاربری اراضی را بر رواناب و فرسایش خاک، در حوزه‌ی کوچک کوهستانی تگا در چین بررسی کردند. در حوزه‌ی بررسی‌شده، سه نوع وضعیت بارش براساس مقدار و مدت و فراوانی بارش‌ها تعیین و مشخص شد که وضعیت بارشی I و II مهم‌تر هستند؛ زیرا اثر فرسایشی بیشتری دارند؛ همچنین تغییر کاربری زمین در این حوزه‌ی آبخیز، رواناب را به میزان شایان توجهی کاهش داده بود. پاتیل (۲۰۱۵) تغییرات شاخص فصلی بارش را در دوره‌ی ۳۲ ساله در منطقه‌ی سنگلی در ایالات ماهرآشتر کشور هند تحلیل کرد. مشاهده شد که مقدار شاخص فصلی برای هر ماه محدود و بین ۰/۸۷ تا ۱/۴۰ است. حجام و همکاران (۲۰۰۸) روند تغییرات بارندگی فصلی سالانه‌ی چند ایستگاه را در حوزه‌ی مرکزی ایران، با استفاده از دو روش ناسنجه‌ی من-کندال و تخمین گر سن بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در بیشتر موارد کارایی دو روش گفته‌شده، در تحلیل روند بارندگی فصلی و سالانه شبیه هم است

و کارایی روش سن، در تحلیل مشاهداتی که در آن‌ها تعداد داده‌های صفر زیاد است، بهتر از آزمون من-کندال است. رضیئی و همکاران (۲۰۰۹) به شناسایی مناطق همگن بارش در غرب ایران پرداختند و پنج منطقه‌ی همگن بارش را در این بخش شناسایی کردند. عساکره (۲۰۱۱) با استفاده از آمار بارندگی ماهانه‌ی ۳۱ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی طی ۳۵ سال اخیر، به تحلیل تغییرات وضعیت بارندگی استان زنجان پرداخت. نتایج پژوهش وی براساس شاخص فصلی بارش در استان زنجان نشان داد که دو نوع وضعیت بارش در منطقه وجود دارد؛ نوع اول، وضعیت بارش فصلی، با یک فصل کوتاه خشک بود و نوع دوم، وضعیت کاملاً فصلی بود. رزمی‌قلندری و عساکره (۲۰۱۴) توزیع زمانی و وضعیت بارش را با استفاده از آمار بارندگی ماهانه‌ی ۷۳ ایستگاه طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ در شمال غرب ایران بررسی کردند. نتایج نشان داد که کمترین ضریب تغییرات و بیشترین یکنواختی بارش در شمال-شرق پهنه‌ی مورد بررسی رخ می‌دهد. ظهراپی و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای اقلیمی، دما و بارش در حوزه‌ی آبریز کرخه واقع در غرب کشور ایران را بررسی کردند. بیشترین و کمترین مقدار کاهش بارش سالانه در ایستگاه قورباغستان واقع در کرمانشاه و دهنود، به ترتیب با شیب تغییرات ۸/۷۷- و ۱/۲۷- میلی‌متر در سال بود.

نحوه‌ی شکل‌گیری بارندگی در استان اردبیل و تغییرات آن، متأثر از سامانه‌های متعدد و با توجه به موقعیت جغرافیایی شمال غرب ایران (واقع شدن در مسیر بادهای غربی و تأثیر فرایندهای محلی) بسیار پیچیده است؛ بدین دلیل، مطالعه‌ی ویژگی‌هایی نظیر وضعیت بارش می‌تواند برخی از پیچیدگی‌های اقلیمی این ناحیه را آشکار سازد. تعیین فصلی بودن بارندگی و توزیع آن در ماه‌های مختلف سال می‌تواند بر تغییرات آبدهی رودخانه و نیز زمان کاشت محصولات تأثیر بگذارد و روند تغییرات آن، ارزیابی مناسبی از سمت‌وسوی تغییرات و پیش‌بینی رفتار آن در طول زمان ارائه می‌دهد. هدف از انجام این پژوهش بررسی تغییر وضعیت بارش با استفاده از شاخص فصلی بارش<sup>۵</sup> و تشخیص وجود روند بین مقادیر شاخص یادشده است. شاخص فصلی، برای کمی‌سازی وضعیت بارش و تغییرات فصلی آن به کار برده شده است.

### مواد و روش

#### منطقه‌ی بررسی‌شده

استان اردبیل در شمال غربی فلات ایران، بین عرض ۴۵' ۳۷° تا ۴۲' ۳۹° و طول ۳' ۴۷° تا ۵۵' ۴۸° است که از شمال، با جمهوری آذربایجان، از شرق با استان گیلان، از جنوب با استان زنجان و از غرب، با استان آذربایجان شرقی همسایه است. استان اردبیل جزو نواحی سردسیر کوهستانی است و میزان بارندگی در بخش‌های مختلف این استان، به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال نوسان دارد. در این مطالعه از آمار بارش ماهانه‌ی ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی با دوره‌ی آماری ۲۳ ساله از سال آبی ۱۳۶۹-۱۳۶۸ تا

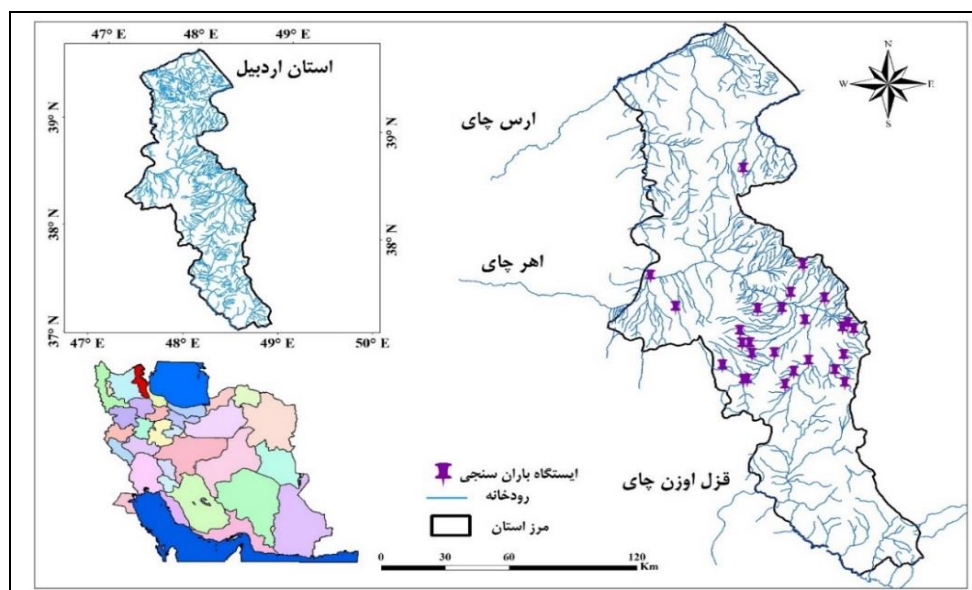
3 - Alt Penedes

4 - Valencia & Larnaca

5 - Seasonality Index

مناسب ایستگاه‌ها در بخش مرکزی استان برای انجام پژوهش و تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی مناسب تشخیص داده شد. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه های باران سنجی بررسی شده در استان اردبیل نشان داده شده است. در جدول ۱ نیز مشخصات ایستگاه‌های انتخابی آورده شده است.

۱۳۹۰-۱۳۹۱ واقع در آبخیزهای اصلی استان اردبیل (دره رود، بال‌ها رود و قزل‌اوزن) استفاده شد. پس از بررسی موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و نیز طول دوره‌ی آماری موجود، مشخص شد که ایستگاه‌های واقع در بخش‌های شمالی و جنوبی تراکم کمی دارند. به عبارتی، طول دوره‌ی آماری و تعداد



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی انتخابی به‌کاررفته در تحلیل‌ها در استان اردبیل و ایران.

جدول ۱- برخی از مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی بررسی شده در استان اردبیل.

ارتفاع (متر)	بارش متوسط سالانه	نام ایستگاه	ردیف	ارتفاع (متر)	بارش متوسط سالانه	نام ایستگاه	ردیف
۲۱۶۰	۵۵۴/۸۴	شمشیرخانی	۱۳	۱۳۴۸	۴۷۰/۹۵	آبی‌بیگلو	۱
۱۴۰۲	۲۹۷/۱۴	کوزه‌تپراقی	۱۴	۱۷۷۸	۴۳۶/۴۹	آتشگاه	۲
۱۳۴۱	۲۴۳/۳۳	گیلانده	۱۵	۱۳۴۹	۳۹۷/۷۹	آلادیزگه	۳
۲۰۳۸	۳۳۵/۵۸	لای	۱۶	۱۵۶۰	۲۸۷/۸۶	ابریکوه	۴
۱۴۰۵	۲۹۷/۷۱	نمین	۱۷	۱۳۶۵	۲۱۴	اردبیل	۵
۱۶۲۳	۳۳۰/۶۳	نیر	۱۸	۱۵۶۰	۳۵۵/۸۸	بقرآباد	۶
۱۵۶۰	۳۲۲/۳۰	هیر	۱۹	۱۴۸۰	۲۵۹/۲۹	پل‌الماس	۷
۱۵۹۴	۳۵۵/۵	یامچی‌علیا	۲۰	۱۵۵۰	۳۳۷/۴۷	خوش‌آباد	۸
۱۴۸۵	۳۱۲/۲۴	مشگین‌شهر	۲۱	۱۹۹۷	۴۴۸/۳۴	سنین	۹
۸۸۳	۲۲۵/۷۶	گرمی	۲۲	۱۲۸۶	۱۸۷/۲۷	سامیان	۱۰
۱۴۲۸	۳۱۶/۷۹	نیارق	۲۳	۱۶۹۲	۲۵۹/۳۲	سرعین	۱۱
۱۵۱۲	۲۳۹/۵۵	سد قوری‌چای	۲۴	۱۵۳۴	۳۲۳/۱۵	شمس‌آباد	۱۲

## روش پژوهش

### استخراج ویژگی‌های توصیفی بارش

از داده‌های بارش ماهانه ثبت‌شده در ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی با طول دوره‌ی آماری ۲۳ ساله استفاده شد. انتخاب ایستگاه‌ها بر پایه‌ی دوره‌ی آماری مشترک (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۱) و موقعیت ایستگاه باران‌سنجی در منطقه (بخش مرکزی استان اردبیل) بود. برای ارائه‌ی ویژگی‌های توصیفی بارش و تغییرات زمانی مکانی آن‌ها در منطقه، میانگین و ضریب تغییرات به صورت سالانه و ماهانه محاسبه شد. برای بررسی توزیع زمانی (وضعیت) بارش، شاخص فصلی ( $\bar{S}_I$ ) برای هر یک از ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی محاسبه شد (سامانر ۲۰۰۱؛ پاتل ۲۰۱۵؛ گاه‌کورتا و ساجی ۲۰۱۳). برای تحلیل تغییرات زمانی بارش، ضریب تغییرات بین ماه‌های مختلف و کل دوره‌ی آماری مورد نظر محاسبه شد. ضریب تغییرات سالانه از نسبت انحراف معیار (S) به میانگین ( $\bar{X}$ ) دوازده ماه هر سال و براساس رابطه‌ی ۱ به درصد بیان می‌شود:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (1)$$

ضریب تغییرات کم، معرف پایداری و توزیع زمانی یکنواخت است، درحالی‌که ضریب تغییرات زیاد، معرف تمرکز بارش در یک بازه‌ی زمانی کوتاه است. عدد ۴۰ مبنای مقایسه‌ی مقادیر ضریب تغییرات است، اگر کمتر از ۴۰ باشد، بارش منظم و با توزیع نسبتاً یکنواخت است، و هرچه از ۴۰ بیش‌تر باشد، دلیل بر بی‌نظمی وقوع بارندگی و تفاوت‌های شدید ماه‌ها به لحاظ میزان دریافت بارندگی است (رزمی‌قلندری و عساکره ۲۰۱۴؛ لیاوآدا و اسمیکاپولوس ۲۰۰۵).

## محاسبه‌ی شاخص فصلی بارش ( $\bar{S}_I$ )

در ارزیابی فصلی بودن بارش از دو رویکرد استفاده می‌شود. در رویکرد اول، خشک یا مرطوب بودن فصل‌های بارش براساس مقادیر بارش ماهانه زیر یک آستانه‌ی مشخص، تعیین می‌شود. در رویکرد دوم از میزان تغییرات بارش در ماه‌های مختلف و توزیع آن در طول سال استفاده می‌شود. شاخص فصلی بارش را برای اولین بار والش و لاولر در سال ۱۹۸۱ برای کمی‌سازی وضعیت بارش به کار گرفتند. این شاخص، مجموع قدرمطلق انحرافات میانگین بارش ماهانه، از میانگین بارش سالانه، تقسیم بر میانگین بارش سالانه است (رابطه‌ی ۲). برای تعیین وضعیت بارش ایستگاه بررسی شده، میانگین شاخص فصلی با رابطه‌ی ۲ محاسبه شد (والش و لاولر ۱۹۸۱).

$$\bar{S}_I = \frac{1}{\bar{R}} \sum_{i=1}^{n=12} \left| \bar{X}_n - \frac{\bar{R}}{12} \right| \quad (2)$$

که در آن، میانگین بلندمدت بارش سالانه و میانگین بارش ماهانه در ماه‌های مختلف است.

این شاخص می‌تواند اختلاف وضعیت بارش را حتی برای مناطقی با ۲ تا ۳ اوج بارندگی در سال نشان دهد. مقادیر حاصل از این شاخص، بین صفر (توزیع یکنواخت بارش) و ۱/۸۳ (تنها یک ماه بارانی) تغییر می‌کند. طبقه‌بندی وضعیت بارش براساس مقادیر شاخص فصلی بارش در جدول ۲ آورده شده است (والش و لاولر ۱۹۸۱).

جدول ۲- تقسیم‌بندی نوع وضعیت بارش براساس مقادیر شاخص فصلی بارش.

وضعیت بارش	$\bar{S}_I$
یکنواخت	$0/19 \leq$
یکنواخت با یک فصل مرطوب	$0/2 - 0/39$
عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه	$0/4 - 0/59$
فصلی (یک فصل خشک و یک فصل مرطوب)	$0/6 - 0/79$
فصلی با فصل خشک طولانی‌تر	$0/8 - 0/99$
بیش‌تر بارش در ۳ ماه یا کمتر	$1 - 1/19$
تقریباً تمامی بارش در ۱ تا ۲ ماه	$1/2 \geq$

در دوره‌ی آماری در بسته‌ی MAKSSENS از آزمون من-کندال برای تعیین صعودی یا نزولی بودن روند، و از روش سن برای تعیین میزان تغییر استفاده شد. برای تشخیص روند در داده‌های آب و هواشناسی از آزمون‌های مختلف سنجه‌ی (پارامتری) و ناسنجه‌ی استفاده می‌شود. آزمون من-کندال از دسته آزمون‌های غیرسنجه‌ی است. آزمون ناسنجه‌ی من-کندال، از جمله روش‌های بررسی تغییر روند داده‌ها است که اولین بار من (۱۹۴۵) از آن استفاده کرد و سپس در سال ۱۹۷۵ کندال آن را گسترش داد و توزیع آماری

شاخص فصلی برای هر یک از ایستگاه‌های بررسی شده در طول دوره‌ی آماری ۲۳ ساله محاسبه، و تغییرات مکانی آن برای محدوده‌ی مرکزی استان با استفاده از روش درون‌یابی معکوس فاصله برآورد شد. تغییرات مکانی در نقشه‌های تغییرات مکانی نشان داده شد. روش‌هایی مانند کریجینگ و دیگر روش‌های دقیق‌تر نیازمند تعداد ایستگاه‌های بیشتری است، پس براساس پیشینه و نیز سادگی روش معکوس فاصله، در درون‌یابی از آن استفاده شد. برای تشخیص وجود روند در مقادیر شاخص فصلی بارش ماهانه



بنابراین در یک آزمون دوطرفه، برای تشخیص روند در تراز اعتماد  $\alpha$ ، اگر مقدار  $Z_S$  بزرگتر از یا مساوی  $Z$  جدول باشد فرض صفر رد خواهد شد. در این آزمون‌ها فرض صفر ( $H_0$ )، یکنواختی توزیع و مستقل بودن داده‌ها در گروه زمانی است و فرض مقابل ( $H_1$ )، روند افزایشی یا کاهششی است. در این روش، داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده با تمام داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود (شیخ و همکاران ۱۳۸۸).

### تخمین شیب خط روند با روش تخمین گر سن

تخمین شیب خط روند را سن (۱۹۶۸) برای تشخیص روند در گروه زمانی داده‌ها معرفی کرد. این روشی ناسنجه‌ی است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهده‌های یک گروه زمانی، شیب میانه‌ی را برای گروه زمانی داده‌ها از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌کند. در روش سن، برای هر دو جفت داده‌ی متوالی یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه‌شده گروه زمانی تشکیل می‌دهند که میانه‌ی آن‌ها شیب خط روند را نشان می‌دهد (رابطه‌ی ۷ و ۸).

$$f(t) = Q_t + B \quad (7)$$

$$Q = \text{Median} \left( \frac{x_j - x_k}{j - k} \right) \quad (8)$$

که در آن،  $B$ ، مقدار ثابت،  $Q$  شیب خط روند برآوردی،  $x_j$  مقدار مشاهده‌ی  $j$ ام،  $x_k$  مقدار مشاهده‌ی  $k$ ام است. و  $j$  واحد زمانی بعد از  $k$  است. مقادیر مثبت منفی  $Q$  نشان‌دهنده‌ی روند افزایشی یا کاهششی در گروه داده‌ها است. در آزمون من- کندال ( $Z$  Test) مقدار مطلق آزمون با توزیع تجمعی معیار داده‌ها مقایسه می‌شود و در صورت وجود روند، مقادیر مثبت یا منفی می‌گیرد. مقدار مثبت و منفی  $Z$  در معادله‌ی ۷ به ترتیب نشانگر روند افزایشی و کاهششی است. با استفاده از نرم‌افزار MAKESENS آزمون ناسنجه‌ی من-کندال<sup>۶</sup> و تخمینگر سن<sup>۷</sup>، وجود روند در مقادیر شاخص فصلی بارش در هر یک از ایستگاه‌ها به‌طور جداگانه ارزیابی شد (نونینی و کاباندا ۲۰۱۳).

### نتایج

ضریب تغییرات بارش ماهانه برای دوره‌ی آماری ۲۳ساله محاسبه شد. برای بهتر نشان دادن تغییرات بارش، مقادیر ضریب تغییرات با استفاده از روش درون‌یابی، معکوس فاصله، درون‌یابی و نتایج تغییرات مکانی شاخص آورده شد (شکل ۲).

آزمون را به دست آورد. آزمون ناسنجه‌ی من- کندال تابع توزیع مشخصی را برای گروه داده‌ها فرض نمی‌کند، درحالی‌که قدرت تشخیص آن به‌اندازه‌ی آزمون‌های سنجه است (لیتین‌مایر و همکاران ۱۹۹۴). سازمان جهانی هواشناسی آزمون من-کندال را برای بررسی و تشخیص روند در گروه‌های زمانی اقلیمی توصیه کرده است. در روش من-کندال، داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و تعیین روند براساس مراحل و فرمول‌های زیر انجام می‌گیرد (سالمی و همکاران ۲۰۰۲؛ ژنگ و همکاران ۲۰۱۵).

مراحل انجام این آزمون به ترتیب زیر است:  
محاسبه‌ی اختلاف بین تک‌تک مشاهده‌ها با هم، اعمال تابع علامت و آماره‌ی  $S$  برای آزمون من-کندال به‌دست می‌آید و سپس که تابع علامت است، تعیین می‌شود (رابطه‌ی ۳).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (3)$$

$$\text{sign}(\theta) = [+1 \text{ if } \theta > 0, 0 \text{ if } \theta = 0, -1 \text{ if } \theta < 0]$$

برای متغیرهای تصادفی مستقل، دارای توزیع یکنواخت و بدون گره (دو یا چندین داده با مقادیر عددی مساوی) میانگین و واریانس  $S$  به‌صورت رابطه‌ی زیر است:

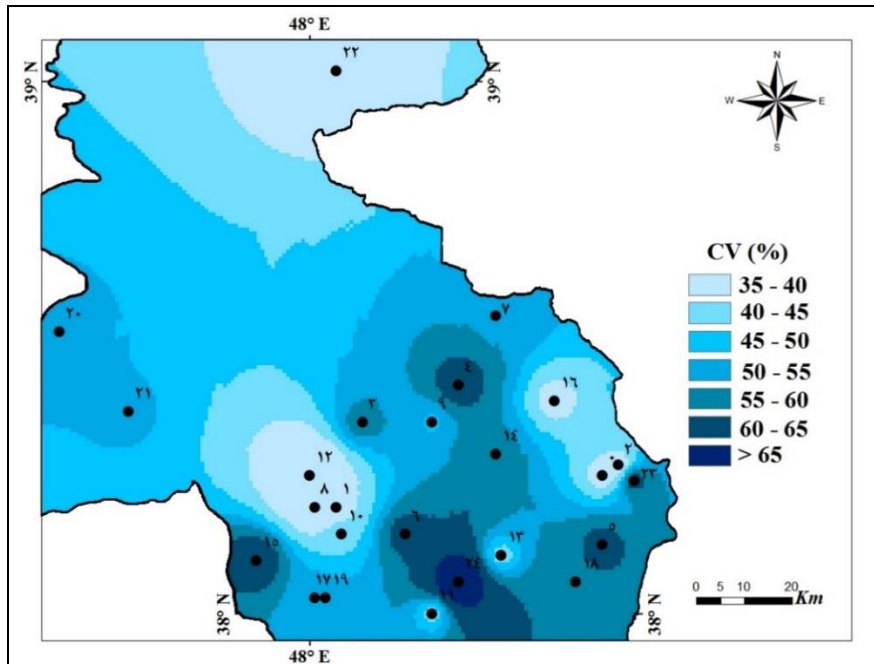
$$E(S) = 0 \quad \text{and} \quad \text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} = \sigma^2 \quad (4)$$

اگر در گروه داده‌ها گره باشد، مقدار واریانس از رابطه‌ی شماره‌ی ۵ محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (5)$$

به‌طوری‌که تعداد گره با ظرفیت  $i$  را نشان می‌دهد؛ برای مثال اگر در یک گروه داده، فقط دو عدد با مقادیر مساوی باشد، یک گره با ظرفیت دو ( $t_2 = 1$ ) خواهیم داشت. اگر تعداد داده‌های یک گروه، بیش از ۱۰ باشد،  $S$  از توزیع بهنجار تبعیت خواهد کرد و مقدار آماری معیار ( $Z$ ) به‌صورت رابطه‌ی ۶ خواهد بود:

$$Z_s = \left[ \frac{S-1}{\sigma} \text{ if } S > 0, 0 \text{ if } S = 0, \frac{S+1}{\sigma} \text{ if } S < 0 \right] \quad (6)$$



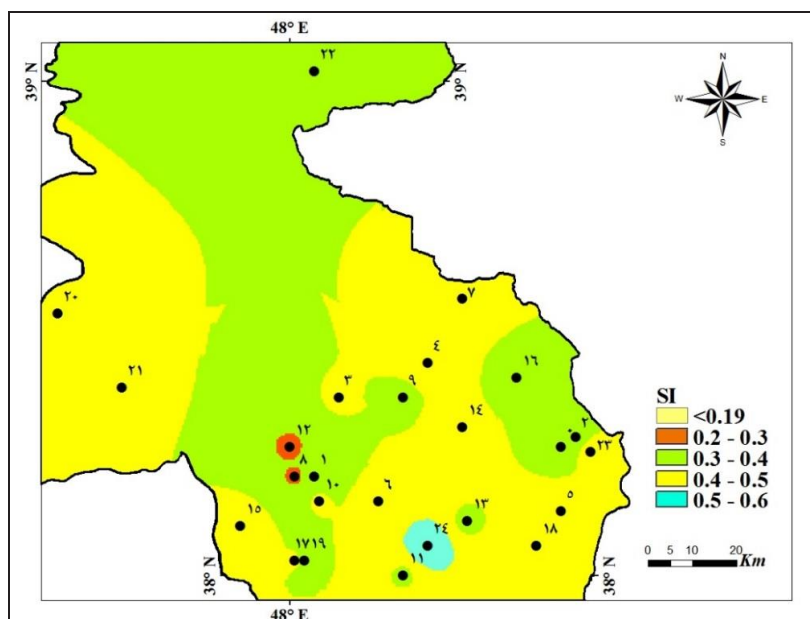
شکل ۲- توزیع مکانی ضریب تغییرات بارش در بخش مرکزی استان اردبیل.

منطقه‌ی بررسی شده تأثیر بگذارد. براساس شاخص فصلی بارش (رابطه‌ی ۲)، دو وضعیت را در پهنه‌ی بررسی شده در استان اردبیل می‌توان تعیین کرد. نتایج مقادیر شاخص فصلی بارش برای هر یک از ایستگاه‌های بررسی شده در جدول ۳ و محدوده‌های مربوط به هر یک از دو وضعیت مشخص شده، در شکل ۴ آورده شده است.

توزیع مکانی مقادیر بارش در منطقه غیریکنواخت بود. بیش‌ترین غیریکنواختی با توجه به ضریب تغییرات و وضعیت بارش در ایستگاه لای و اردبیل مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد چون از داده‌های ماهانه در خصوص دامنه‌ی مقادیر ضریب تغییرات استفاده شده است، تغییرات در منطقه‌ی بررسی شده در دامنه‌ی گسترده‌تری نشان داده شده است؛ از طرفی، تغییرات ارتفاعی و نیز عوامل ایجاد بارش می‌تواند بر افزایش ضریب تغییرات بارش ماهانه در

جدول ۳- مقادیر شاخص فصلی بارش (SI) بارش ماهانه در ایستگاه‌های منتخب در استان اردبیل.

ردیف	نام ایستگاه	مقدار شاخص فصلی (SI)	وضعیت بارش
۱	آبی بیگلو	۰/۳۳	یکنواخت با یک فصل مرطوب
۲	آتشگاه	۰/۳۳	یکنواخت با یک فصل مرطوب
۳	آلادیزگه	۰/۳۴	یکنواخت با یک فصل مرطوب
۴	ابریکوه	۰/۴۱	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۵	اردبیل	۰/۴۹	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۶	بقراآباد	۰/۴۶	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۷	پل الماس	۰/۴۵	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۸	خوش آباد	۰/۴۵	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۹	سنین	۰/۲۸	یکنواخت با یک فصل مرطوب
۱۰	سامیان	۰/۳۶	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۱۱	سرعین	۰/۴۱	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۱۲	شمس آباد	۰/۳۸	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۱۳	شمشیرخانی	۰/۲۷	یکنواخت با یک فصل مرطوب
۱۴	کوزه تهرافی	۰/۳۷	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۱۵	گیلانده	۰/۴۲	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۱۶	لای	۰/۴۷	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۱۷	نمین	۰/۳۴	یکنواخت با یک فصل مرطوب
۱۸	نیر	۰/۴۰	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۱۹	هیر	۰/۴۲	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۲۰	یامچی علیا	۰/۳۸	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۲۱	مشگین شهر	۰/۴۱	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۲۲	گرمی	۰/۴۶	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۲۳	نیارق	۰/۳۵	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه
۲۴	سد قوری چای	۰/۴۵	عمدتاً فصلی با یک فصل خشک کوتاه

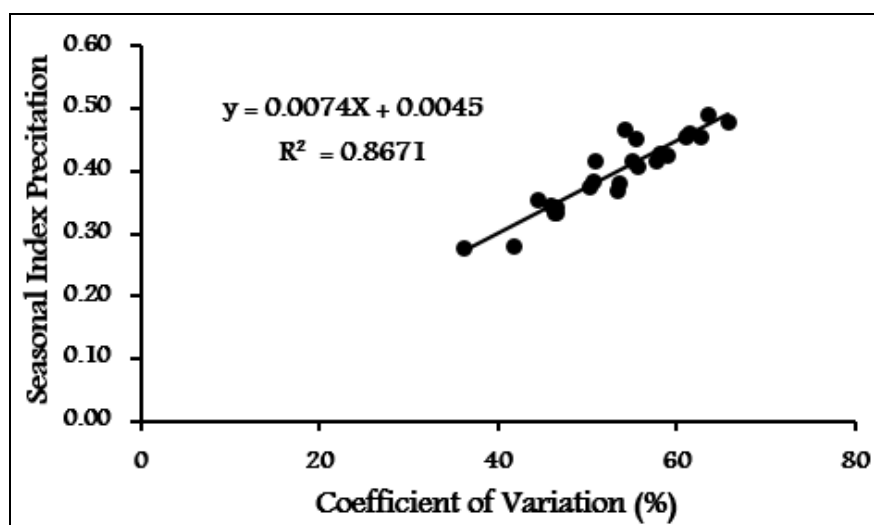


شکل ۳- توزیع مکانی شاخص فصلی بارش ماهانه در بخش مرکزی استان اردبیل.

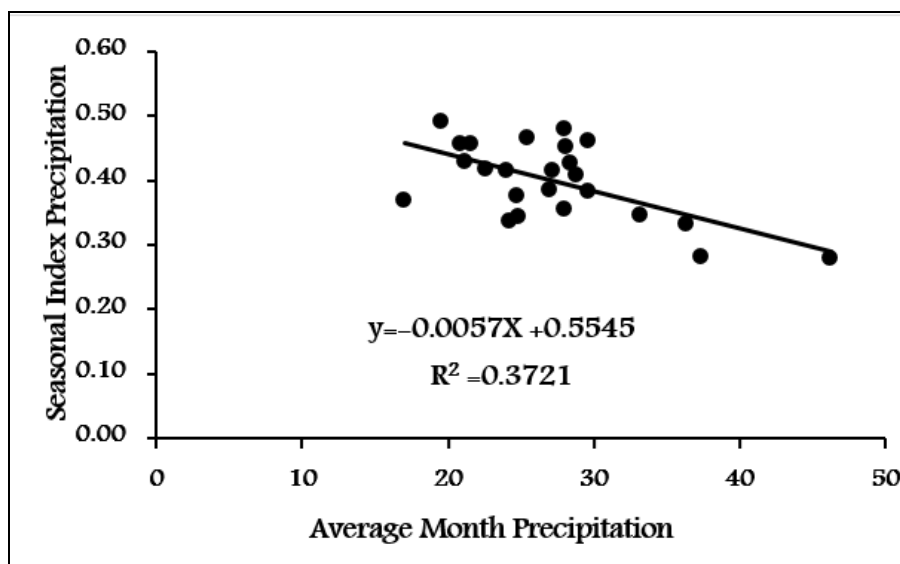


متمرکز شده است و اختلاف زیادی بین ماه‌های کم‌باران و پر باران وجود دارد؛ به گونه‌ای که بیشترین ضریب تغییرات در این بخش به بیش از ۴۰٪ می‌رسد. نتایج مقایسه‌ی همبستگی بین مقادیر ضریب تغییرات و شاخص فصلی و میانگین بارش سالانه، به صورت نمودار رسم شد که نتایج آن در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

دو وضعیت را می‌توان در بخش مرکزی استان اردبیل مشاهده کرد (شکل ۳). وسیع‌ترین وضعیت بارش این ناحیه وضعیت بارش فصلی با یک فصل خشک، و پس از آن وضعیت بارش یکنواخت با یک فصل مرطوب در منطقه است. می‌توان گفت بارش این دو پهنه در ماه‌های پر باران بیشتر و در ماه‌های خشک کم‌تری است. به عبارت دیگر، بارش در فصل خاصی از سال



شکل ۴ - همبستگی بین مقادیر ضریب تغییرات و شاخص فصلی بارش ماهانه در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل.



شکل ۵ - همبستگی بین مقادیر متوسط بارش ماهانه و شاخص فصلی بارش در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل.

مقادیر بارندگی به‌طور یکنواخت بین ماه‌های سال توزیع می‌شود. در شکل ۵، رابطه‌ی بین شاخص فصلی و متوسط بارش ماهانه معکوس است که از نظر آماری معنی‌دار دانسته می‌شود. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌هایی با مقادیر زیاد بارش، مقدار شاخص فصلی بودن کم‌تر، و بیانگر توزیع تقریباً یکسان

ضریب همبستگی ۰/۱۸۶٪ (شکل ۴) نشان می‌دهد که بین ضریب تغییرات شاخص فصلی همبستگی مستقیم و معنی‌داری وجود دارد. به عبارتی، در ضریب تغییرات زیاد، توزیع بارندگی ماه‌های سال در یک یا چند ماه مشخص متمرکز شده است؛ در حالی که در ایستگاه‌های با ضریب تغییرات کم‌تر

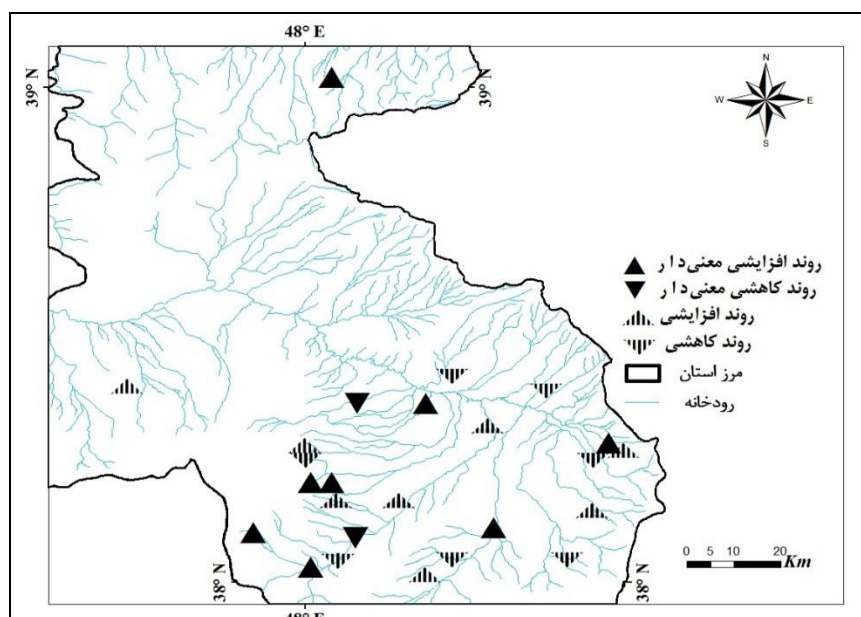
روند خطی (تغییر در واحد زمان)،  $Q_{max95}$ : حد بالای فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪ ( $\alpha=0.05$ )، مقدار ثابت معادله‌ی خطی با زمان برای روند خطی، و  $B_{max95}$ : مقدار ثابت حد بالای فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪ برای روند خطی ( $\alpha=0.05$ )، است.

بارش در ماه‌های مختلف سال است (شکل ۵). روند تغییرات ماهانه‌ی بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی استان اردبیل با استفاده از آزمون‌های ناسنجه‌ی من-کندال در جدول ۴ آورده شده است. در جدول ۴، Test Z آماره‌ی آزمون من-کندال، Q: شیب واقعی

جدول ۴- نتایج آزمون‌های من-کندال (Z) و سن (Q) برای شاخص فصلی بارش در استان اردبیل (۱۳۶۸-۱۳۹۱).

Station	Test Z	Q	$Q_{max95}$	$\beta$	$B_{max95}$
ابربکوه	-۲/۸۲**	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۸	۰/۲۵
آبی بیگلر	-۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۱۳
آتشگاه	۲/۲۷*	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۷	-۰/۰۴
آلادیزگه	۳/۶۷**	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	-۰/۰۲
بقرآباد	۰/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۸
پل الماس	۲۱۱۸۶	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲۸	۰/۰۳
خوش آباد	-۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۲۵
سامیان	۳/۹۰**	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۲۱	۰/۱۷
سنین	۲/۶۶**	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۱۳
شمس آباد	۰/۸۶	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۸	-۰/۰۴
شمشیرخانی	۱۴۶۱۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	-۰/۱۱
کوزه تیراقی	۳/۶۴**	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	-۰/۰۶
لای	۱/۶۹*	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۲۸	۰/۱۶
سد قوری چای	-۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۳۸	۰/۲۸
نیراق	۰/۷۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۱۵
هیر	-۰/۳۶	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۰۰
یامچی علیا	-۲/۸۲**	۰/۰	۰/۰۰	۰/۲۸	۰/۲۵
اردبیل	-۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۱۳
گرمی	۲/۲۷*	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۷	-۰/۰۴
نیر	۳/۶۷**	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	-۰/۰۲
گیلانده	۰/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۸
مشگین شهر	۱/۵۸	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲۸	۰/۰۳
سرعین	۱/۱۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۱۴
نمین	-۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۲۵

\*\*وجود روند در سطح ۹۵٪؛ \*وجود روند در سطح ۹۹٪.



شکل ۶ - توزیع مکانی روندهای تغییرات شاخص فصلی بارش در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل.

با یک فصل مرطوب دارد. تحلیل‌ها گویای تغییرات نسبتاً کم در دو وضعیت است که با نتایج رزمی-قلندری و عساکره (۲۰۱۴) لیاوآدا و اسمیکاپولوس (۲۰۰۵) مبنی بر استفاده از نمایه‌ی شاخص فصلی برای بررسی تغییرات بارش و تشخیص دو وضعیت در منطقه‌ی بررسی شده همخوانی دارد. در گستره‌ی مکانی وضعیت یکنواخت، بارشی که تنها در فصل خاصی از سال اتفاق افتاده است، بیشینه‌ی بارش را موجب شده است؛ از طرف دیگر، کوهستانی بودن منطقه، تغییرات ارتفاع و جهت ناهمواری‌ها، باعث توزیع بارندگی در ماه‌های مختلف می‌شود. پیچیدگی اقلیم منطقه‌ی بررسی شده و وضعیت‌های بارشی متنوع حاکم بر آن، ضرورت مدیریت صحیح منابع آب حاصل از بارندگی را دوچندان می‌سازد؛ زیرا بخش‌هایی از منطقه با کمبود بارش مواجه‌اند و تمرکز بارش در بخش‌های دیگر با وجود زیادبودن بارش در فصل خاصی از سال است. در فصل‌های دیگر سال، کمبود بارش می‌تواند باعث مسائل و مشکلات مرتبط با نیاز آبی شود.

نتایج آزمون من-کندال نشان داد که روند تغییرات شاخص فصلی بارش را می‌توان در ایستگاه‌های مختلف دید، اما این روند در بیش‌تر ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نیست؛ به عبارتی، تغییر شاخص فصلی بارش در دوره‌ی آماری در ایستگاه‌های بررسی‌شده چندان زیاد نیست و نوسانات فصلی بودن و توزیع بارندگی در ماه‌های مختلف ناشی از ویژگی‌های اقلیمی منطقه است. می‌توان گفت که در مناطقی که بارش یکنواخت دارند، اطمینان به وقوع بارش در فصل کشت برای کشت محصولات کشاورزی بیش‌تر است.

نتایج آزمون من-کندال (جدول ۴) نشان داد که روند تغییرات شاخص فصلی بارش، در برخی نقاط کاهش‌ی و در برخی دیگر افزایش‌ی بود و روند افزایش‌ی در استان، فراوانی بیش‌تری از روند کاهش‌ی داشت. شکل ۶ توزیع مکانی روندهای شاخص فصلی بارش را براساس آزمون من-کندال در تراز معنی‌داری ۵٪ نشان می‌دهد. فقط تعدادی از ایستگاه‌های بررسی‌شده روندی معنی‌دار داشته‌اند، که نشان‌دهنده‌ی تغییرات اقلیمی در منطقه‌ی بررسی‌شده است.

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از آمار بارش ماهانه‌ی ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی با طول دوره‌ی آماری ۲۳ ساله در استان اردبیل، مشخصات بارش، شاخص فصلی، ضریب تغییرات و روند بین آن‌ها بررسی شد. ضریب تغییرات بارندگی، نشان‌دهنده‌ی شدت تغییرات بارش است. نتایج نشان داد تفاوت مکانی بارش نسبتاً زیاد بود. ضریب تغییرات بارندگی در این ایستگاه‌ها بیانگر کم-بودن یکنواختی بارندگی در این منطقه است که می‌تواند با تأثیر پستی و بلندی و منشاء تولید بارش در وضعیت بارندگی منطقه مرتبط باشد. بیش‌ترین ضریب تغییرات و غیریکنواختی در ایستگاه سد لای و اردبیل و کم‌ترین ضریب تغییرات و یکنواختی در ایستگاه شمشیرخانی دیده شد. در بخش‌هایی از منطقه که بارش آن کم‌تر بود، یکنواختی زمانی بارش نیز کم‌تری بود. دو نوع وضعیت بارش (شکل ۳) تشخیص داده شد. ۸۰٪ از بخش مرکزی استان اردبیل دو وضعیت عمدتاً فصلی، با یک فصل خشک کوتاه و یکنواخت

- Asakareh H. 2011. An analysis of precipitation regime changes in Zanjan province. *Journal of Meteorological Organization (Nivar)*, 34(70–71): 63–67 (In Persian).
- Burt TP, Horton BP. 2007. Inter-decadal variability in daily rainfall at Durham (UK) since the 1850s. 27(7): 945–956.
- Dao-Yi G. 2004. Daily precipitation changes in the semi-arid region over northern China. *Journal of Arid Environments*, 59 (4):771–784.
- Fang FN, Shi ZH, Li L, Go ZL, Liu QJ, Ai L. 2012. The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed. *Catena*, 99: 1–8.
- Gonzales-Hidalgo JC, DeLuis M, Raventos J, Sanchez JR. 2001. Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a Western Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 21(7): 843–860.
- Guhathakurta P, Saji E. 2013. Detecting changes in rainfall pattern and seasonality index vis-à-vis increasing water scarcity in Maharashtra. *Journal of Earth System Science*, 122 (3): 639–649.
- Hajjam S, Khoshkhoo Y, Vandi Sh R. 2008. Annual and seasonal precipitation trend analysis of some selective meteorological stations in central region of Iran using non-parametric methods. *Physical Geography Research Quarterly*, 64: 157–168. (In Persian).
- Jiang T, Su B, Hartmann H. 2007. Temporal and spatial of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin 1961-2000. *Geomorphology*, 85(3): 143–154.
- Livada I, Asimakopoulos DN. 2005. Individual seasonality index of rainfall regimes in Greece. *Climate Research*, 28(2): 155–161.
- Lettenmaier DP, Wood EF, Wallis JR. 1994. Hydroclimatological trends in the Continental United States 1948-88. *Journal of Climate*, 7(4): 586–600.
- Patil MK. 2015. Change in seasonality index of rainfall in Singli District Indian Stream, Indian Streams. *Research Journal*. 5 (1): 1–7.
- Ramos MC. 2001. Rainfall distribution patterns and their change over time in a Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology*, 69(3-4): 163–170.
- Razier T, Danshkar Arašteh P, Saghafian B. 2009. Annual rainfall trend analysis in arid and semi-arid regions of central and Eastern Iran. *Journal of Water and Wastewater*, 16(2):73–81. (In Persian).
- Razmi Ghalandary R, Asakereh H. 2012. Analysis of annual precipitation change in northwest of Iran. *Geography and Environmental Planning*, 23(3): 147–162. (In Persian).
- Razmi Ghalandary R, Asakereh H. 2014. Temporal distribution and precipitation regime in northwest of Iran. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 29(1):145–160. (In Persian).
- Reiser H, Kutie H. 2007. The rainfall regime and its uncertainty in Valencia and Larnaca. *Advances in Geosciences. European Geosciences Union*, 12(1): 101–106.
- Salmi T, Maatta A, Anttila P, Ruoho-Airola T, Amnell T. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the EXCEL template application MAKESENS. *Publications on air quality 31*, Finnish Meteorological Institute, Helsinki.
- Sen PK. 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379–1389.
- Sheikh V, Babaei A, Mooshakhian Y. 2009. Trend analysis of precipitation regime in the Gorganroud Basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science*. 3(8):29–38. (In Persian).
- Sumner G, Homar V, Ramis C. 2001. Precipitation seasonality in eastern and southern coastal Spain. *International Journal of Climatology*, 21(2): 219–247.
- Walsh RPD, Lawler DM. 1981. Rainfall seasonality: Description, spatial patterns and changes through time. *Weather*, 36(7): 201–208.
- Zohrabi N, Massah Bavani A, Goodarzi E, Hedarnejad M. 2016. Identify trend in the annual temperature and precipitation in Karkheh River Basin. *Journal of Wetland Ecobiology*, 8(2):5–22. (In Persian).
- Zhang A, Zheng Ch, Wang S. 2015. Analysis of stream flow variations in the Heihe River Basin, northwest China: trends, abrupt change, driving factor and ecological influences. *Journal of Hydrology and Regional Studies*, 3(1): 106–124.

