

بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی و شرقی ایران

Annual Rainfall Trend Analysis in Arid and Semi-arid Regions of Central and Eastern Iran

Tayeb Raziei¹, Peyman Daneshkar Arasteh²,
Bahram Saghafian³

طیب رضیعی^۱ پیمان دانش کار آراسته^۲
بهرام ثقفیان^۳

(دریافت ۸۴/۱/۲۱ پذیرش ۸۴/۴/۲۲)

Abstract

Climate variability is the main reason for drought and water scarcity. Annual rainfall trend was investigated in arid and semi-arid regions of Iran using 79 climatology and synoptic stations with 36 years of data records. Monthly and annual precipitation data from homogeneity tests were applied and discontinuities were adjusted in non-homogeneous stations using the annual nonparametric Mann-Kendal statistic test. The results showed no evidence of climate change in the study area. Although many stations showed negative trends indicating decreasing precipitation, this trend was not statistically significant at 95 percent significant level. The results indicate that the southeastern part of Iran has recently experienced a climate change of negative precipitation trend. Mapping trend statistics did not show any geographical orientation. Considering the global warming and rising temperatures, evident in the study area, the adverse effects of decreasing precipitation on temperature, the adverse effects of decreasing precipitation in conjunction with significant positive trends in temperature rise may lead to severe ecological and economic problems in the study area. The frequently occurring droughts in this region can be due to increasing temperature and decreasing precipitation.

Key words: Rainfall Variability, Climate Change, Trend, Arid and Semi-arid Regions, Iran.

چکیده

در این پژوهش روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکز و شرق ایران با استفاده از داده‌های ۷۹ ایستگاه اقلیم شناسی و سینوپتیک سازمان هواشناسی با طول دوره آماری ۳۶ سال مورد بررسی قرار گرفت. روند بارندگی سالانه در دوره آماری ۱۹۶۵-۲۰۰۰ میلادی (۱۳۴۴ تا ۱۳۷۹ خورشیدی) در همه ایستگاهها با استفاده از آزمونهای آماری ناپارامتری، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتیجه این بررسی نشان داد که نشانه‌ای از بروز تغییرات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد. اگرچه در برخی از ایستگاهها روند بارندگی سالانه منفی است و نشان دهنده روند کاهشی بارش در سالهای اخیر می‌باشد، اما در بیشتر ایستگاهها، روند مزبور معنی دار نیست. نتیجه این بررسی همچنین نشان می‌دهد که جنوب شرق کشور در سالهای اخیر با کمبود بارندگی و افزایش دما مواجه بوده است و به ویژه بارندگی سالانه در این منطقه از کشور دارای روند کاهشی معنی دار است. از این رو رویداد خشکسالیهای پیاپی در این منطقه را می‌توان به روند کاهشی بارش و افزایش دما نسبت داد. از سوی دیگر، نقشه روند بارندگی سالانه هیچ الگوی مکانی مشخصی را نشان نداد.

واژه‌های کلیدی: تغییرپذیری بارندگی، تغییر اقلیم، روند، مناطق خشک و نیمه خشک، ایران.

- 1- PhD student of Climatology, University of Tehran, and Climatologist, Soil Conservation and Watershed Management Institute (SCWMRI), Tehran, Iran; tayebrazi@scwmri.ac.ir
- 2- Assistant Professor, SCWMRI
- 3- Associate Professor, SCWMRI

- ۱- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تهران و مربی پژوهشده حفاظت خاک و آبخیزداری
- ۲- استادیار پژوهشده حفاظت خاک و آبخیزداری
- ۳- دانشیار پژوهشده حفاظت خاک و آبخیزداری

بارندگی در ارتباط با تغییرپذیری بین سالی بارندگی در مناطق مرطوب والنسیا- اسپانیا به طور معنی داری کاهش یافته است. هم چنین پیکارتا و همکاران^۱ [۷] به این نتیجه رسیدند که مقدار بارندگی سالانه در بسیاری از ایستگاههای باسیلیکا- اسپانیا دارای روند منفی است و مقدار میانگین کاهش بارندگی سالانه در این ایستگاهها در ۳۰ ساله گذشته در حدود ۱۵۶ میلی متر بوده است. با بهره‌گیری از آزمونهای پارامتری و ناپارامتری، زو و همکاران^۲ [۸] روند تغییرات بارندگی را در کشور ژاپن بررسی نمودند و چنین نتیجه‌گیری کردند که مقدار بارندگی متوسط در ژاپن، تغییرات ناگهانی زیادی را تجربه کرده است؛ در حالی که هیچ نشانه‌ای از روند کاهش و یا افزایشی یکنواخت به چشم نمی‌خورد.

علی‌رغم این که ایران عمدتاً در منطقه خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته، اما تاکنون مطالعه جامعی در زمینه تغییرات اقلیمی بر روی هیچ یک از مناطق کشور صورت نپذیرفته است و این امر به دلیل کوتاه بودن طول دوره آماری ایستگاهها و پراکنش نامناسب آنها در ایران است. با افزایش ضریب خشکی، بر میزان تغییرپذیری زمانی و مکانی بارندگی در منطقه خشک و نیمه خشک شرق و مرکز کشور افزوده می‌گردد. در نتیجه مدیران و برنامه‌ریزان منابع طبیعی (آب، خاک و ...) در این مناطق می‌باید همزمان هم با کمبود بارندگی و هم با بی‌نظمی و تغییرپذیری شدید بارندگی دست و پنجه نرم کنند. از این رو، هدف از این پژوهش بررسی تغییرات و روند احتمالی بارندگی در منطقه خشک و نیمه خشک مرکز و شرق کشور، در مقیاس سالانه می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

ایران با مساحتی در حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب غرب آسیا قرار گرفته و تقریباً از ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۲۴ تا ۶۴ درجه شرقی گسترش دارد (شکل ۱). رشته کوههای اصلی ایران، البرز و زاگرس می‌باشند که به ترتیب از غرب به شرق و از شمال به جنوب شرق امتداد دارند. این رشته کوهها نقش بسیار مهمی در توزیع ناهمگون زمانی و مکانی بارندگی در کل کشور ایفا می‌کنند. اقلیم ایران به استثنای سواحل شمالی و منطقه

تغییرات اقلیمی تأثیر زیادی بر چرخه هیدرولوژیکی و در نتیجه بر منابع آب، فراوانی و شدت خشکسالی و سیل، محیطهای طبیعی، جامعه و اقتصاد دارد [۱]. بی‌نظمی در منابع آب در هنگام خشکسالیها موجب خسارتهای اجتماعی و اقتصادی زیادی می‌گردد که اغلب جبران آن تا سالها به طول می‌انجامد. پدیده‌های عمده مرتبط با تغییر در ترکیب اتمسفر، مانند افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو، تأثیر بسیار زیادی بر آب و هوا دارد. تقریباً سراسر کره زمین افزایش دما و تغییر در الگو بارندگی را در سده گذشته تجربه کرده و به نظر می‌رسد که این وضعیت در آینده نیز ادامه داشته باشد. چنین تغییراتی در آب و هوا ممکن است در برگزیده اثرات قابل توجه و ویژه‌ای بر چرخه هیدرولوژیکی باشد. بر اساس نظر هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم^۱ دمای میانگین سطح کره زمین در سده بیستم در حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و دما در ۸ کیلومتری پایینی جو نیز در چهار دهه گذشته پیوسته روند افزایشی داشته است [۲]. براساس نتیجه پژوهشهای انجام شده، نشانه‌های تغییرات اقلیمی در سرتاسر جهان یکسان نیست. در حالی که در برخی از نقاط دنیا افزایش بارندگی و کاهش دما مشاهده می‌شود، سایر مناطق دنیا از کاهش بارندگی و افزایش دما رنج می‌برند. هر چند نتایج بسیاری از پژوهشها بیانگر روند افزایشی یا کاهش‌ی بارندگیهای سالانه، فصلی و ماهانه می‌باشند، اما بیشتر این روندها از نظر آماری معنی‌دار نیستند. در سال ۱۹۹۶، تورکز^۲ نشان داد که اگرچه بارندگی سالانه استاندارد شده منطقه‌ای در بسیاری از مناطق ترکیه دارای روند منفی و کاهش یافته است، اما این روندها در سطح ۵ درصد، معنی‌دار نیستند. وی اشاره کرد که با تغییر سطح معنی‌داری از ۵ به ۱۰ درصد، تنها در منطقه دریای سیاه و مدیترانه روند کاهش بارش، معنی‌دار می‌باشد [۳]. اگر چه راموس^۳ روندی معنی‌دار در بارندگیهای سالانه منطقه مدیترانه پیدا نکرد [۴]، دلویس و همکاران^۴ [۵] و گزلس- هیدالگو و همکاران^۵ [۶] نشان دادند که روند

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

² Turkes

³ Ramos

⁴ De Luis et al.

⁵ Gonzales-Hidalgo et al.

⁶ Piccareta et al.

⁷ Xu et al.

ادامه دارد. میانگین بارندگی ایران در حدود ۲۴۰ میلی‌متر است که بیشترین میزان آن در دشتهای حاشیه دریای خزر و دامنه‌های البرز و زاگرس به ترتیب با ۱۸۰۰ و ۴۸۰ میلی‌متر روی می‌دهد. با وارد شدن به دشتهای داخلی شرق و مرکز ایران مقدار بارندگی با پیروی از توپوگرافی محل به کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد [۹].

کوهستانی غرب کشور، خشک و نیمه خشک است. آب و هوای ایران با تابستانهای گرم و خشک و زمستانهای سرد به ویژه در قسمتهای داخلی کشور، بی نهایت قاره‌ای است. دامنه تغییرات دمای هوا در ایران در حدود ۲۲ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. دوره بارندگی در بخشهای عمده ایران از آبان تا اردیبهشت به طول می‌انجامد و در پی آن دوره خشک و گرم فرا می‌رسد که از اردیبهشت تا آخر مهرماه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ویژگیهای توپوگرافی ایران

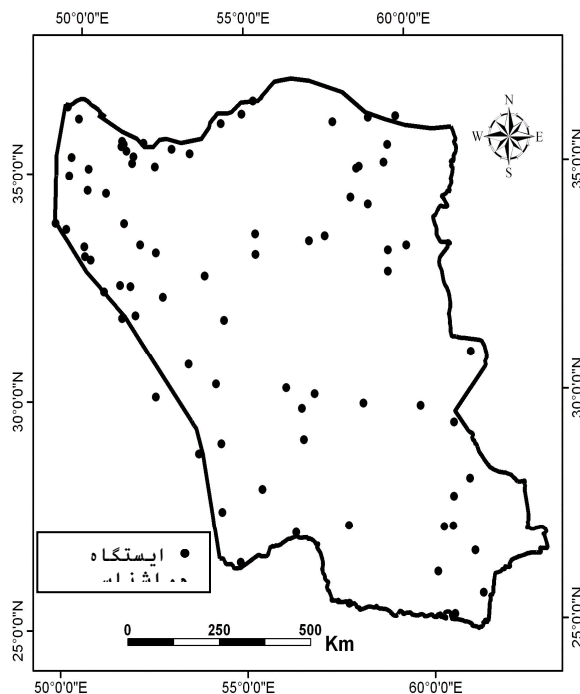
عمده‌ای از بارندگیهای غرب و جنوب غرب ایران را تشکیل می‌دهند. در منطقه کوهستانی شمال غرب کشور رگبارهای تندی و همرفتی از فرآیندهای اصلی جوی هستند که موجب بروز بارندگی در فصل بهار و ابتدای تابستان می‌شوند. این سامانه‌های باران‌آور تنها در بخشهای غربی کشور فعال هستند و زمانی که به مرکز و شرق کشور می‌رسند، رطوبت کافی برای تولید ابر و بارش ندارند؛ از این رو منطقه مرکزی و شرقی کشور مستعدترین منطقه برای بروز خشکسالی است. زیرا تغییرپذیری درون‌سالی و بین‌سالی بارندگی در این منطقه بسیار زیاد است و مقدار بارندگی سالانه و ماهانه از ضریب تغییرات بزرگی برخوردار است. این منطقه که بیش از نیمی از کشور را در بر می‌گیرد، به وسیله کوههای البرز و زاگرس احاطه شده است. کوههای زاگرس همانند یک دیوار، رطوبت سامانه‌های باران‌آور را می‌گیرد؛ در نتیجه هوایی که

از نظر سینوپتیکی آب و هوای بیشتر بخشهای ایران به ویژه در دوره گرم سال، تحت تأثیر سامانه پرفشار جنب حاره قرار دارد. این پدیده باعث به وجود آمدن تابستانهای بسیار گرم و خشک در این مناطق می‌شود. قسمت عمده بارندگی در گستره ایران به وسیله سامانه‌های مدیترانه‌ای تولید می‌شوند که از غرب به شرق و در بستر بادهای غربی به ایران وارد می‌شوند. تغییرات سامانه‌های سینوپتیکی و تغییرات سال به سال در تعداد سامانه‌هایی که به ایران وارد می‌شوند، عامل اصلی ضریب تغییرات بزرگی بارندگی سالانه در کشور به شمار می‌رود. سامانه‌های جبهه مدیترانه‌ای که در ارتباط با جریان‌های هوای غربی وارد کشور می‌شوند، بخش اصلی بارندگیهای کل کشور را در آخر پاییز و فصل زمستان تأمین می‌کنند. علاوه بر سامانه‌های جبهه‌ای مدیترانه‌ای، سامانه‌های باران‌آور سودانی نیز که از جنوب غرب وارد ایران می‌شوند، سهم

داده‌های بارندگی

داده‌های بارندگی سالانه ۷۹ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی وابسته به سازمان هواشناسی کشور با طول دوره آماری ۳۶ سال از ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۴۴-۱۳۷۹ خورشیدی) برای این مطالعه جمع‌آوری گردید. هرچند در مناطق بیابانی و کویری منطقه مورد مطالعه ایستگاهی وجود ندارد، با این حال ایستگاههای مورد استفاده در این مطالعه یک شبکه تقریباً مناسب با پراکنش مکانی قابل قبولی را تشکیل می‌دهند. همگنی داده‌های مورد استفاده با

به این مناطق می‌رسد، پتانسیل لازم را برای ایجاد بارندگی ندارد. این پدیده موجب بی‌نظمی بسیار زیادی، در بارندگی این منطقه می‌شود. نبود بارندگی از اردیبهشت تا مهرماه به همراه دمای زیاد موجب تبخیر و تفرق شدید و در نتیجه کمبود شدید آب می‌شود. وقوع دوره‌های طولانی مدت خشکسالی، این پرسش را ایجاد کرده است که آیا این منطقه دچار تغییرات آب و هوایی شده است و یا به عبارتی اقلیم منطقه خشک‌تر شده است؟ تشدید کمبود آب به همراه افزایش جمعیت و نیاز به آب، بررسی تغییرات آب و هوایی را در این منطقه اولویت بخشیده است. شکل ۲، محل ایستگاههای هواشناسی مورد استفاده در این بررسی را در منطقه مرکزی و شرقی کشور نشان می‌دهد.



شکل ۲- توزیع مکانی ایستگاههای منطقه مورد مطالعه

معنی‌داری بین ایستگاه دارای آمار ناقص و ایستگاههای اطراف وجود داشته، داده‌های گم شده ایستگاه دارای آمار ناقص از روش رگرسیون خطی و در غیر این صورت از روش نسبت نرمال برآورد شده است. در نهایت یک شبکه مناسب از ۷۹ ایستگاه با طول دوره آماری ۳۶ سال تشکیل و برای بررسی و مطالعه روند بارندگی در منطقه خشک و نیمه خشک مرکز و شرق کشور مورد استفاده قرار گرفت.

کمک روش رگرسیون خطی [۴]، روش جرم مضاعف [۱۰] و آزمون ناپارامتری من-ویتنی^۱ [۸] مورد بررسی قرار گرفت. اندک ایستگاههای ناهمگن با استفاده از داده‌های ایستگاههای قابل اعتماد اطراف اصلاح و همگن گردیدند. در این بررسی از ایستگاههایی استفاده به عمل آمد که داده‌های گم شده آنها کمتر از ۵ درصد کل داده‌ها را شامل بوده است. در مواردی که رابطه قابل قبول و

¹ Mann-Whitney

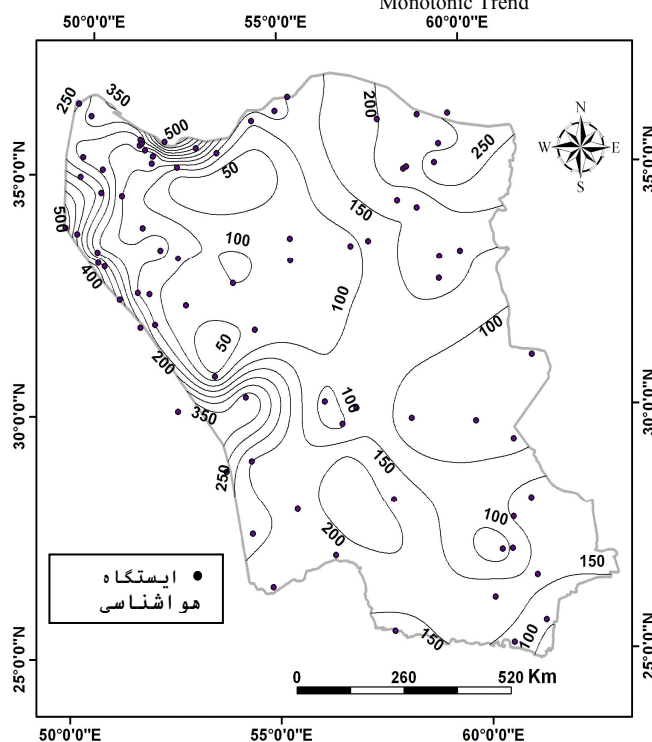
۲- روش تجزیه و تحلیل

فرآیندهای هیدرولوژیکی عموماً به عنوان فرآیندهایی ایستا^۱ شناخته می‌شوند. با این حال، شواهدی وجود دارد که بسیاری از سریهای زمانی هیدرولوژیکی دارای روند و تغییرپذیری بلندمدت می‌باشند که ممکن است ناشی از تأثیرات عوامل انسانی (خطای سیستماتیک) و یا صرفاً ویژگیهای طبیعی سامانه آب و هوای کره زمین باشد [۸] و [۱۱]. روندهایی که ممکن است در سریهای زمانی متغیرهای هیدرولوژیکی و اقلیم شناسی پیدا شوند به دو نوع شکستگیهای ناگهانی^۲ و روند یکنواخت و دارای جهت^۳ تقسیم می‌شوند [۸]. در آزمونهای آماری، روند فرض صفر یا H_0 عبارت از این است که سری مورد

بررسی دارای روند نیست. در حالی که H_1 بیانگر آن است که سری دارای روند می‌باشد. برای بررسی و شناسایی روند معمولاً از روشهای پارامتری و ناپارامتری استفاده می‌شود. با این تفاوت که روشهای ناپارامتری در مقایسه با روشهای پارامتری از دقت و قابلیت اعتماد بیشتری برخوردارند. از میان روشهای ناپارامتری، آزمون من-کنندال^۴ بهترین شیوه برای شناسایی روندهای یکنواخت به شمار می‌آید [۱۲ و ۱۳]. در حالی که آزمون من-ویتنی مناسبترین گزینه برای شناسایی تغییرات ناگهانی و شکستگیها در سریهای مورد بررسی است. این آزمون به طور گسترده‌ای برای آزمون و بررسی همگنی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸]. در این بررسی از آزمون من-ویتنی برای

- 1 Stationary
- 2 Step (Shift) Change
- 3 Monotonic Trend

⁴ Mann-Kendall



شکل ۳- توزیع مکانی بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه

هر مقدار در سری زمانی به صورت پیوسته و پشت سرهم با بقیه مقادیر سری، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. آماره S که جمع همه شمارشها را نشان می‌دهد با رابطه زیر بیان می‌گردد [۱۴]

شناسایی روندهای ناگهانی و ناهمگنی سریهای زمانی استفاده گردید. به منظور شناسایی روندهای یکنواخت و دارای جهت مشخص در سریهای زمانی بارندگی سالانه، آزمون من-کنندال مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمون،

در رابطه ۳، t_p ، تعداد مقادیر مشابه برای مقدار p ام q ، تعداد مقادیر مشابه در سری می باشد [۱۴].

در این بررسی سطوح معنی داری ۱۰ و ۵ درصد مورد استفاده قرار گرفته و مقادیر p مشاهده‌ای برای هر یک از سری‌های مورد بررسی به دست آمد. به منظور گروه بندی سری‌های زمانی، ایستگاهها به زیرگروه‌های همگن تقسیم شدند و برای شناسایی الگوهای مکانی علامت روندها (+، ۰ و -) نیز از روش تحلیل خوشه‌ای استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگیهای بارندگی سالانه منطقه

از ویژگیهای منطقه مرکزی و شرقی ایران تغییرپذیری شدید بارندگی از ماهی به ماه دیگر و از سالی به سال دیگر است. در این منطقه به طور کلی مقدار بارندگی بسیار اندک بوده و پاسخگوی نیازهای محیطی و اجتماعی منطقه نیست. به دلیل حاکمیت سامانه پرفشار جنب حاره در طی دوره اردیبهشت تا آبان ماه، وقوع بارندگی در این دوره تقریباً ناچیز است. از این رو وقوع بارندگی در این منطقه، تنها به فصل زمستان، زمانی که این سامانه به روی خلیج

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i) \quad (1)$$

که در آن: x_i و x_k ، مقادیر پشت سرهم سری می باشند؛ n ، طول دوره سری زمانی و $\text{sgn}(\theta)$ نیز برابر است با ۱، صفر و -۱، اگر θ به ترتیب بزرگتر از، برابر و یا کوچکتر از صفر باشد. فرض H_0 زمانی رد می شود که $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1-\alpha/2}$ باشد. نتیجه آزمون Z بر اساس رابطه زیر ارزیابی می شود

$$S > 0$$

$$S = 0$$

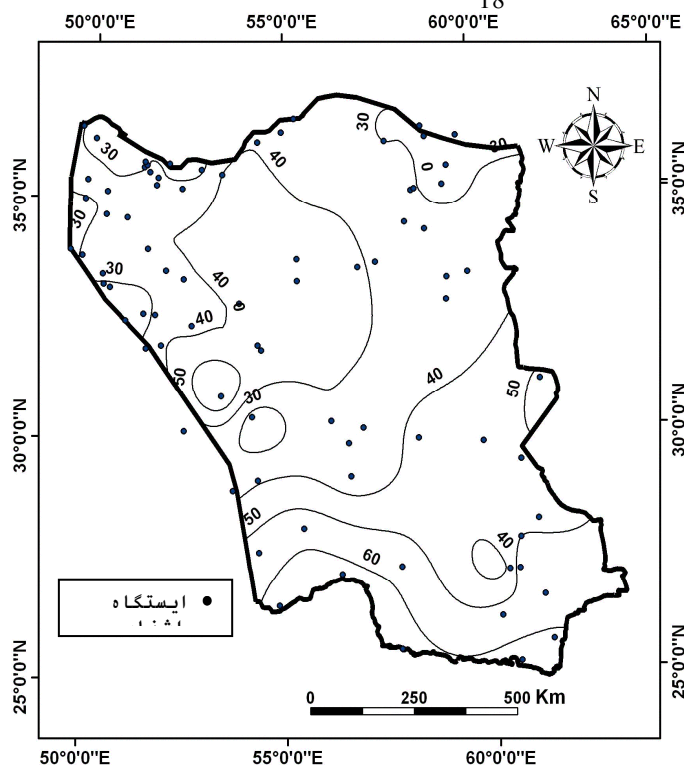
$$S < 0$$

(۲)

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 1 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < -1 \end{cases}$$

که در آن: $\text{Var}(S)$ از رابطه زیر به دست می آید

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (3)$$



شکل ۴- توزیع مکانی درصد ضریب تغییرات بارندگی در منطقه مورد مطالعه

فیلتر هموارساز ۹ ساله هموار گردید. سپس، روند سری‌های هموار شده با استفاده از آزمون آماری من-کندال بررسی گردید. نتیجه این بررسی نشان داد که بیشتر ایستگاهها دارای روند منفی و یا مثبت می‌باشند. توزیع مکانی روند بارندگی سالانه بدون توجه به معنی‌داری آنها و تنها بر اساس مقدار آزمون، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل خوشه‌ای با استفاده از روش کمترین فاصله اقلیدسی و به شیوه وارد^۱ انجام شد [۱۵]. نتیجه تحلیل خوشه‌ای نشان داد که روند بارندگی سالانه در ایستگاهها، در پنج گروه قابل دسته بندی است. گروه A که ۳۸ درصد ایستگاهها را شامل می‌شود، دارای روند افزایشی خفیف می‌باشد. این گروه بیشتر در منطقه مرکزی کشور یعنی دشتها و بیابانهای ایران که از شمال غرب به جنوب شرق گسترده‌اند، دیده می‌شود. گروه B که با روند کاهشی قابل توجه مشخص می‌شود، عمدتاً در جنوب شرقی و شمال غربی منطقه متمرکز شده‌اند و ۲۰ درصد از کل ایستگاهها را شامل می‌شوند. گروه C که ۲۱ درصد ایستگاهها را شامل می‌شود با روند کاهشی خفیف مشخص می‌شود و بیشتر در مناطق کوهپایه‌ای غرب و شمال منطقه توزیع شده‌اند. گروه D نیز که ۱۵ درصد از ایستگاهها را به خود اختصاص می‌دهد، دارای روند افزایشی قابل توجه بوده و بیشتر در جنوب غرب منطقه متمرکز می‌باشند. سرانجام، گروه E که تنها ۵ درصد از کل ایستگاهها را شامل می‌گردد، با روند کاهشی شدید مشخص می‌شود. گروه E عمدتاً در شمال غرب منطقه متمرکز پیدا کرده است. شکل ۵، توزیع مکانی روند بارندگی سالانه را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این شکل، تنها جهت روندها به منظور گروه‌بندی تغییرات زمانی سری‌های زمانی بارندگی سالانه به عنوان شاخصی از تغییرات و نوسانات اقلیمی مد نظر بوده است. بر اساس این نقشه بیشتر ایستگاهها دارای روند منفی و یا مثبت می‌باشند. در صورت در نظر گرفتن سطح معنی‌دار بودن آزمون آماری، تنها در تعداد کمی از ایستگاهها روندهای مشاهده شده معنی‌دار می‌باشند. شکل ۶، توزیع مکانی

فارس و دریای عمان عقب‌نشینی می‌کند، محدود می‌گردد. بر اساس داده‌های بارندگی دوره آماری ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۰ میلادی، مقدار بارندگی سالانه در این منطقه از غرب و شمال به سمت شرق و جنوب کاسته می‌شود. همچنان که شکل ۳ نشان می‌دهد، مقدار میانگین بارندگی سالانه در دامنه‌های البرز و زاگرس در شمال و غرب منطقه به ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی متر می‌رسد. به طور کلی مقدار بارندگی، توزیع مکانی و تغییرپذیری آن در منطقه به طور معنی داری از ناهمواریها پیروی می‌کند؛ به طوری که در دشتهای مرکزی و شرقی کشور، ارتفاعات نقش مهمی در آب و هوای منطقه دارند. از این رو همگام با روند ناهمواریهای منطقه، مقدار بارندگی در مناطق پست داخلی به کمتر از ۵۰ میلی متر می‌رسد.

به منظور تعیین الگوی مکانی تغییرپذیری بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه، درصد ضریب تغییرات بارندگی (CV) برای کلیه ایستگاهها محاسبه شد (شکل ۴). ضریب تغییرات بارندگی سالانه نیز به پیروی از ناهمواریها از جنوب شرق به غرب و شمال در همه جهات کاهش می‌یابد. درصد ضریب تغییرات بارندگی سالانه در این منطقه از حداکثر ۶۰ درصد در جنوب شرق کشور تا حداقل ۳۰ درصد در بخشهای غربی و شمالی منطقه تغییر می‌کند. مقادیر بالای ضریب تغییرات در منطقه را می‌توان به ارتفاع کم بسیاری از نقاط منطقه، دوری از منابع رطوبت و در بادپناه زاگرس واقع شدن، مرتبط دانست. به دلیل مقدار بزرگ ضریب تغییرات و عدم اطمینان کافی به وقوع بارندگی در منطقه، می‌توان گفت که سرتاسر این منطقه مستعدترین منطقه در کشور برای وقوع خشکسالی است و به همین علت خشکسالیهای بسیار شدیدی را تجربه کرده است. از این رو دوره‌های خشکسالی که ممکن است به ۳ تا ۵ سال پیاپی برسد در این منطقه و به ویژه در جنوب شرق ایران پدیده‌ای غیر عادی نیست.

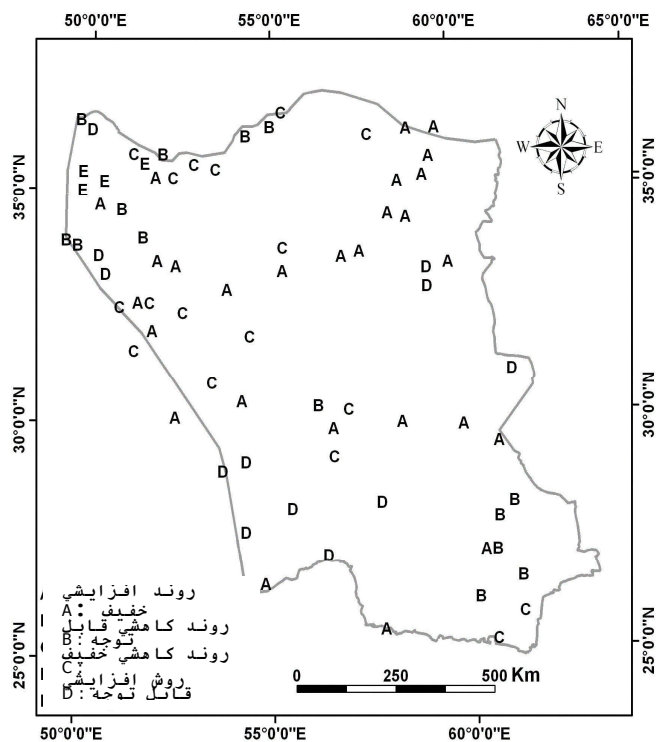
۳-۲- روند بارندگی سالانه

به منظور از بین بردن نوسانات موجود در سری‌های زمانی بارندگی سالانه، سری‌های مورد بررسی با استفاده از

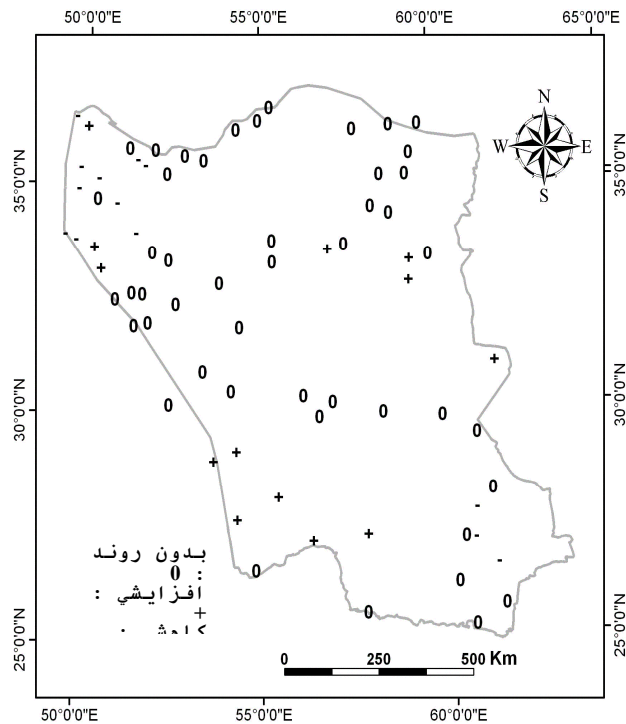
^۱Ward

می‌شود. تغییر سطح معنی‌دار بودن از ۵ به ۱۰ درصد نیز توانست بر تعداد ایستگاههای دارای روند بیافزاید. شکل ۷، نشان می‌دهد که با تغییر سطح معنی‌دار بودن از ۵ به ۱۰ درصد، تنها ۶ ایستگاه به ایستگاههای دارای روند معنی‌دار اضافه شده است که در شکل ۷ با نشانه‌های درشت مثبت و منفی نمایش داده شده است. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که تنها ۳۹ درصد ایستگاههای منطقه مورد مطالعه از خود روند معنی‌دار نشان می‌دهند و بر مبنای آزمون من- کندال واقعاً دچار تغییرات اقلیمی شده‌اند.

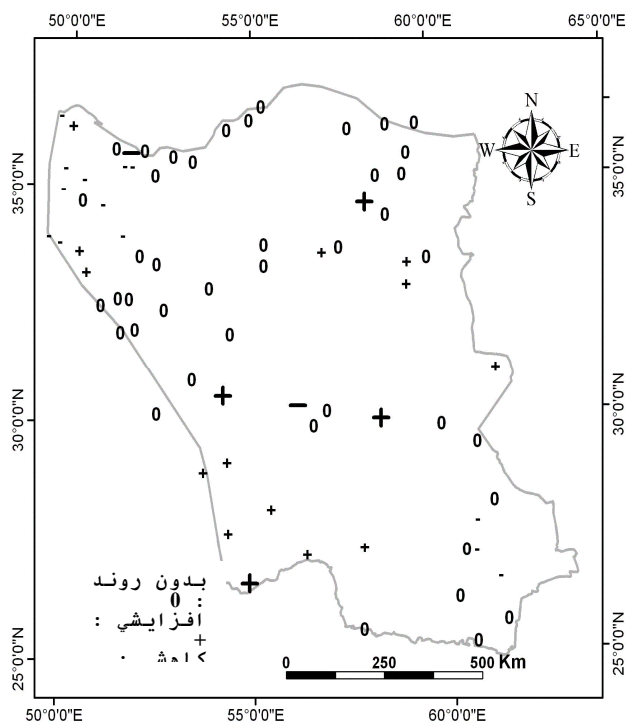
روندهای بارندگی سالانه را بر اساس آزمون من- کندال و در سطح معنی‌داری ۵ درصد، نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، بیشتر ایستگاهها در این نقشه دارای علامت 0 هستند که بیانگر نبود روند می‌باشد. ایستگاههای دارای روند افزایشی (+) عمدتاً در شمال غرب، جنوب غرب و شرق منطقه مورد مطالعه قرار دارند. ایستگاههای با روند کاهش (-) نیز اکثراً در جنوب شرق و گوشه شمال غربی منطقه تمرکز پیدا کرده‌اند. با توجه به این نتیجه که تنها در ۳۲ درصد ایستگاهها، روند یکنواخت معنی‌دار در بارش سالانه به عنوان شاخصی از تغییرات اقلیمی مشاهده



شکل ۵- توزیع مکانی گرایش روند بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه



شکل ۶- تغییرات مکانی معنی دار روند بارش سالانه در سطح معنی داری ۵ درصد



شکل ۷- تغییرات مکانی معنی دار روند بارش سالانه در سطح معنی داری ۱۰ درصد

[۱۶] روند تغییرات دما را در منطقه جنوب شرق ایران بررسی کردند و چنین نتیجه گرفتند که میانگین دمای حداکثر، در سطح معنی دار ۵ درصد، دارای روند کاهشی و

در صورتی که بخواهیم وجود تغییرات اقلیمی را در منطقه بررسی و ارزیابی کنیم، دیگر متغیرهای اقلیمی مانند دما را نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم. رضیئی و ثقفیان

میانگین دمای حداقل دارای روند افزایشی است. از این رو دامنه دمای شبانه روز به طور معنی داری افزایش یافته است. داده‌های مورد بررسی در این تحقیق کمتر تحت تأثیر صنعتی شدن و اثر گسترش شهرها قرار داشته‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده از دیگر پژوهش‌های انجام شده در کشور این نتیجه‌گیری برای بسیاری دیگر از نقاط کشور نیز قابل تعمیم است.

۴- نتیجه‌گیری

بررسی تغییرپذیری بارندگی سالانه در ۷۹ ایستگاه هواشناسی مرکز و شرق کشور نشان داد که تغییر پذیری شدید بارندگی سالانه یکی از ویژگی‌های طبیعی این اقلیم به شمار می‌رود. ضریب تغییرات بارندگی در این ایستگاهها بیانگر آن است که یکنواختی بارندگی در این منطقه به دلیل بی نظمی‌های موجود در رژیم بارندگی آن بسیار کم است. بیشتر ایستگاههای منطقه (بیش از ۶۰ درصد) نشان می‌دهند که هیچ گونه روند معنی داری در آنها مشاهده نشده است. بدین معنی که مقدار بارندگی سالانه در این ایستگاهها در طی سالهای ۱۹۶۵-۲۰۰۰ تغییر قابل ملاحظه‌ای از خود نشان نداده است و نوسانات موجود، ناشی از ویژگیهای اقلیمی منطقه است.

وجود بی نظمی و نوسانات زیاد در سری‌های زمانی بارندگی سالانه عامل اصلی کمبود منابع آب و وقوع دوره‌های بلند مدت خشکسالی در این منطقه به شمار می‌آید. نبود آب در پاره‌ای از سالها به همراه افزایش تقاضا در این منطقه سبب شده است که برخی تصور کنند که این منطقه با تغییرات اقلیمی مواجه است. به استثناء دامنه‌های البرز و زاگرس در غرب و شمال که دارای توپوگرافی ناهموار و اقلیم معتدل می‌باشند، بیشتر ایستگاههای مرکز، جنوب و شرق منطقه هیچ روند معنی داری از خود نشان ندادند و در جنوب شرقی منطقه نیز بیشتر ایستگاهها دارای روند کاهش بارش می‌باشند. در این منطقه که هیچ منبع آبی مهمی وجود ندارد و بیش از هفت ماه از سال، دمای هوا بالاست؛ کاهش بارندگی سالانه، به ویژه در دهه اخیر که منطقه، یک خشکسالی بلندمدت و شدید را پشت سر نهاده است؛ سبب بحران آب گردیده است.

- 1- Ramos, M.C. (2001). "Rainfall distribution pattern and their change over time in a Mediterranean area." *J. Theoretical and Applied Climatology*, 69, 163-170.
- 2- IPCC (2000). "Special report on emissions scenarios." *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599.
- 3- Turkes, M. (1996). "Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey." *J. International Journal of Climatology*, 16, 1057-1076.
- 4- Peterson, T.C., and Easterling, D.R. (1994). "Creation of homogeneous composite climatological reference series." *J. International Journal of Climatology*, 14, 671-679.
- 5- De Luis, M., Raventos, J., Gonzales-Hidalgo, J.C., Sanchez, J.R., and Cortina, J. (2000). "Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain)." *J. International Journal of Climatology*, 20, 1451-1469.
- 6- Gonzales-Hidalgo, J.C., De Luis, M., Raventos, J., and Sanchez, J. R. (2001). "Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a Western Mediterranean area." *J. International Journal of Climatology*, 21, 843-860.
- 7- Piccareta, M., Capolongo, D., and Boenzi, F. (2004). "Trend analysis of precipitation and drought in Basilicata from 1923 to 2000 within a Southern Italy context." *J. International Journal of Climatology*, 24, 907-922.
- 8- Xu, Z.X., Tkeuchi, K., and Ishidaria, H. (2003). "Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation." *J. Journal of Hydrology*, 279, 144-150.
- 9- Dinpashoh, Y., Fekri Fard, A., Moghadam, M., Jahanbakhsh, S., and Mirnia, M. (2004). "Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods." *J. Journal of Hydrology*, 297, 109-123.
- 10- Kohler, M.A. (1949). "Double-mass analysis for testing the consistency of records for making adjustment." *Bulletin of the American Meteorological Society*, 30, 188-189.
- 11- Jain, S., and Lall, U. (2000). "Magnitude and timing of annual maximum floods: trend and large scale climate associations for the Blacksmith Fork river, Utah." *J. Water Resources Research*, 36(12), 3641-3651.
- 12- Yue, S. and Pilon, P. (2004). "A comparison of the power of the t-test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection." *J. Hydrological Sciences*, 49(1), 21-37.
- 13- Yue, S., Pilon, P., and Cavadias, G. (2004). "Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series." *J. Journal of Hydrology*, 254-259-271.
- 14- Rodrigues da Silva, V. P. (2004). "On climate variability in northeast of Brazil." *J. Journal of Arid Environment*, 58, 575-596.
- 15- Wilks, D.S. (1995). *Statistical methods in the atmospheric sciences (an introduction)*, Academic Press, San Diego, CA, USA.

۱۶- رضیعی، ط، و تقفیان، ب. (۱۳۸۳). "بررسی روند خشکسالی در دشت سیستان." مجموعه مقالات، اولین کنفرانس ملی منابع آب ایران، دانشگاه تهران، تهران.