

صص ۹۳-۷۵

الگوی فضایی تغییرات روند دما و بارش در استان گیلان

لیلا حق پرست مژدهی

گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

بهمن رمضانی گورابی*

گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

آتوسا بیگدلی

گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

یوسف زین العابدین

گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۸

چکیده

تغییرات مکانی و زمانی دما و بارش تحت تأثیر شرایط محلی و جهانی قرار داشته و بر حیات اکولوژیک و مدیریت پایدار منابع آب تأثیرگذار هستند. در این پژوهش، ابتدا داده‌ها از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) با تفکیک مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ به مدت ۴۴ سال (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) دریافت گردید. سپس روند تغییرات دما و بارش با استفاده از آزمون روند من‌کندال تعیین و از آماره I موران محلی (ALMI) برای شناسایی نوع الگوی مکانی آن‌ها استفاده شد. نتایج این آزمون بر روی میانگین دمای ماهانه نشان داد که در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می، ژوئن، ژوئیه، اگوست، سپتامبر، اکتبر و دسامبر در سطح معنی‌داری $\alpha = 0.05$ ، روند مثبت افزایشی وجود دارد. همچنین، بارش ماه‌های می، ژوئن و اگوست از روند منفی تبعیت می‌کند. در این راستا، الگوی فضایی دما و بارش نشان داد که الگوی خوشه بالا-بالا (HH) و پایین-پایین (LL) در ماه‌های دارای روند، در بخش‌های مختلف استان اعم از جلگه تا کوهستان و از شرق تا غرب به صورت هسته‌های جدا از هم شکل گرفته‌اند. در نتیجه رفتار غیر تصادفی بر الگوی توزیع مکانی دما و بارش این ماه‌ها در گستره استان گیلان حاکم است.

واژگان کلیدی: دما و بارش، روند، الگوی فضایی، خوشه، استان گیلان

مقدمه

هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در سال ۱۹۹۵ میلادی بر تغییرات جهانی حاکی از افزایش دمای کره زمین به میزان 0.7° درجه سانتی‌گراد از نیمه دوم قرن نوزدهم اشاره کرده است. تغییر اقلیم فرآیند منحصر به عصر ما نبوده و بر اساس شواهد موجود، کره زمین در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی همواره با چنین تغییراتی مواجه بوده است ولی آنچه تغییرات

اقلیمی قرن حاضر و به‌ویژه در نیمه دوم قرن بیستم را از گذشته متمایز ساخته است، ماهیت و سرعت آن است. این تغییرات ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای جو در اثر فعالیت‌های انسانی است که باعث افزایش دمای جهانی به میزان ۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ماقبل صنعتی شده است (دیبایک و کولیبالی^۱، ۲۰۰۵؛ فنگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۴؛ بکله^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر این، تغییر اقلیم می‌تواند شرایط آب‌وهوای محلی را تغییر دهد و فرآیندهای هیدرولوژیکی را تسریع کند (دولابیان و همکاران، ۲۰۲۱).

در سال‌های اخیر، نرخ بی‌سابقه گرمایش جهانی اثرات بالقوه عمیقی بر روی اکوسیستم‌های طبیعی و جوامع انسانی داشته است. به‌عنوان مثال افزایش مخاطرات طبیعی، تسریع چرخه هیدرولوژیکی و چرخه کربن، کاهش امنیت غذایی و تسهیل گسترش جغرافیایی بسیاری از بیماری‌های عفونی از جمله پیامدهای تغییر اقلیم بوده و خسارات اقتصادی و بهداشتی جدی بر جوامع تحمیل کرده است (دوتوری^۴ و همکاران، ۲۰۱۸؛ سان^۵ و همکاران، ۲۰۱۹؛ سورندران نایر^۶ و همکاران، ۲۰۲۰؛ واتس^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که دامنه احتمالی افزایش دمای جهانی ۲ تا ۴/۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود و بنابراین، سطوح گرمایش ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ درجه سانتی‌گراد نقاط عطف مهمی نه‌تنها برای کاهش، بلکه برای درک اثرات مورد انتظار تغییر آب‌وهوا هستند (رافتری^۸، ۲۰۱۷).

مطالعات انجام شده در گستره ایران و سایر نقاط جهان تغییرات معنی‌دار در متغیرهای اقلیمی دما و بارش را تأیید می‌کند. به‌طوری که تحلیل روند تغییرات بارش‌های شمال غرب ایران در نیم‌قرن گذشته حاکی از روند نزولی آن در این ناحیه بوده و ماه‌های با روند منفی بیشتر از ماه‌های با روند مثبت است (میر عباسی نجف‌آبادی و دین‌پژوه، ۱۳۹۱). بررسی تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه آن با تغییرات در مقیاس جهانی و نیمکره شمالی بیانگر آن است که با کاهش دما، کاهش بارندگی و با افزایش دما، افزایش بارندگی اتفاق می‌افتد. همچنین دمای حداقل در سه ایستگاه رامسر، بابلسر و گرگان، افزایش شدیدتری را نسبت به دمای حداکثر نشان می‌دهد که می‌تواند مربوط به افزایش گازهای گلخانه‌ای باشد که برافزایش دمای حداقل تأثیر بیشتری دارد (پیرنیا و همکاران، ۱۳۹۴). در این راستا، ارزیابی و شناخت تغییر اقلیم در ایران زمین طی دهه‌های اخیر نشان می‌دهد که نمایه‌های فرین گرم روزهای تابستان، روزهای گرم، شب‌های گرم و شب‌های حاره‌ای رو به افزایش است، در حالی که روند نمایه فرین سرد از جمله روزهای یخبندان، روزهای یخی شب‌های سرد و روزهای سرد منفی بوده و رو به کاهش است. امواج گرمایی طولانی‌تر و برعکس امواج سرد کوتاه‌تر و در کل بسامد رخداد بارش‌های فرین رو به افزایش است (دارند، ۱۳۹۴). همچنین تحلیل روند و الگوی فضایی بارش‌های سالانه و فصلی در نیمه غربی ایران، وجود تغییرات درون‌دهه‌ای و الگوهای خودهمبستگی فضایی مثبت را نشان می‌دهد

1. Dibike & Coulibaly

2. Feng

3. Bekele

4. Dottori

5. Sun

6. Surendran Nair

7. Watts

8. Raftery

و به سمت دوره‌های اخیر به‌استثنای فصل زمستان که روند افزایشی نامحسوسی تجربه کرده، در مقیاس سالانه، فصل بهار و پاییز از گستره مکانی الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت بارش کاسته شده است (غیاث‌آبادی فراهانی و همکاران، ۱۳۹۷). علاوه بر این، مطالعات انجام شده توسط سلیمانی ساردو و مصباح زاده، (۱۳۹۹)، زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۰)، میرشکاران و همکاران (۱۴۰۰)، زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۲)، درخشی و همکاران (۱۴۰۳) و دولابیان و همکاران (۲۰۲۱) وجود تغییرات معنی‌دار در دما و بارش و بی‌نظمی در رخداد مکانی و زمانی این دو متغیر را در آینده اقلیمی ایران تأیید کردند. علاوه بر این مطالعات انجام شده توسط زاهد و رسول^۱ (۲۰۱۰) در پاکستان، آلینا و ایرینا^۲ (۲۰۱۳) در جلگه اولتینیا، نیکولسون^۳ و همکاران (۲۰۱۸) در قاره آفریقا، گومز^۴ و همکاران (۲۰۲۲) در ناحیه مدیترانه و متبوت^۵ و همکاران (۲۰۲۳) در سوریه، تغییرات شدید دما و بارش را در آینده این مناطق امری محتمل می‌دانند.

در این پژوهش با توجه به شرایط حساس اقلیمی ناحیه جنوبی ساحل دریای خزر، تغییرات دما و بارش در استان گیلان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر خشک‌سالی‌های شدیدی در استان گیلان مشاهده شده است، که کمبود آب ناشی از آن و دوره‌های خشک طولانی مدت باعث مشکلات عدیده‌ای در بخش‌های مختلف اعم از منابع آب سطحی، زیرزمینی، کشاورزی، جنگل و مسائل اقتصادی-اجتماعی شده است. با توجه به پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم، میزان فاجعه‌بار بودن آن به بزرگی و سرعت تغییرات و همچنین آسیب‌هایی است که می‌تواند به زمین، انسان و سایر موجودات ساکن در آن وارد کند. علاوه بر آن میزان آسیب‌پذیری و واکنش آن‌ها نیز به میزان مقاومت، تاب‌آوری و سازگاری آن‌ها بستگی دارد. از جمله متغیرهای جوی که نسبت به تغییرات اقلیمی واکنش نشان می‌دهند دما و بارش هستند. این دو متغیر به‌طور مستقیم با اکثر پدیده‌های جوی در رابطه بوده و به عبارت دیگر پدیده‌هایی از قبیل خشک‌سالی‌ها، دوره‌های تر/خشک، سیلاب‌های شدید، یخبندان‌ها شدید، طوفان‌ها و ... از شرایط غیر نرمال این دو متغیر نشأت می‌گیرند. بنابراین مطالعه تغییر دما و بارش در این ناحیه از کشور بسیار ضروری است. علاوه بر این، تحلیل فضایی این دو متغیر می‌تواند به مدیران و سیاست‌گذاران بخش مختلف اجرایی در راستای پیش‌آگاهی از وضعیت آینده اقلیمی استان گیلان کمک کند.

داده‌ها و روش‌ها

به‌منظور تحلیل فضایی تغییر روند دما و بارش در استان گیلان، از دما و بارش ماهانه به مدت ۴۴ سال (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) استفاده شده است. برای دریافت داده‌های مورد نیاز، از سایت مرکز اروپایی میان‌مدت جو^۶ (ECMWF) استفاده شد. آخرین مجموعه از داده‌های باز تحلیل سایت ECMWF نیز تحت عنوان ERA5 است که مجموعه داده‌گان جوی را از سال

1. Zahid & Rasul

2. Alina & Irina

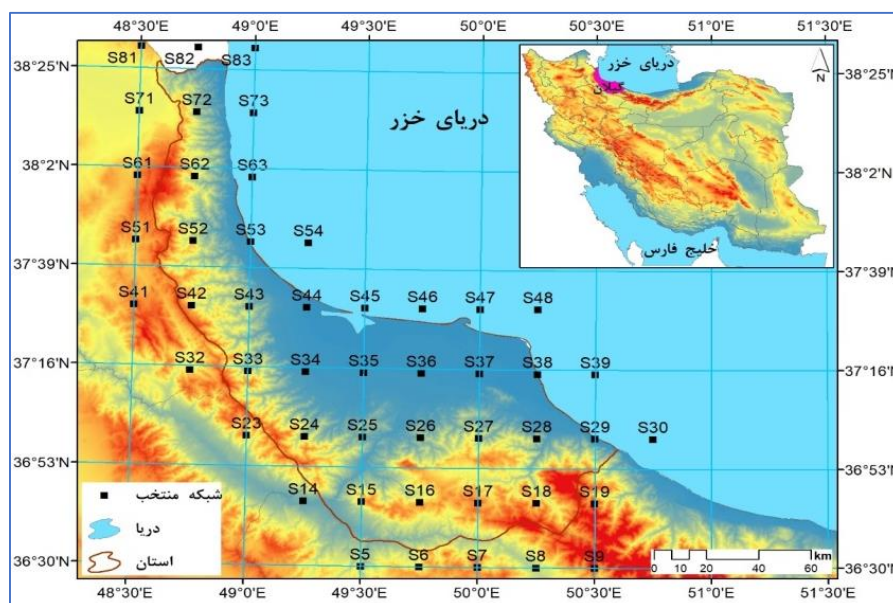
3. Nicholson

4. Gomez

5. Mathbout

6. European Center for Medium-Range Weather

۱۹۷۹ تاکنون با دقت بالا تولید کرده است. داده‌های این سایت از نوع یاخته‌ای بوده و در این پژوهش محدوده جغرافیایی استان گیلان بین 36° و 33° تا 38° و $27'$ عرض شمالی و 48° و $32'$ تا 50° و $36'$ طول شرقی برای داندود داده‌ها انتخاب گردید. اندازه هر یاخته نیز $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ درجه قوسی بوده و ماتریسی به ابعاد 9×10 سطر و ستون تشکیل شد که ۹۰ یاخته را در هر بار اندازه‌گیری پوشش می‌دهد. در شکل ۱ یاخته‌ها در انطباق با محدوده استان گیلان نشان داده شده است. به عبارت دیگر، از ۹۰ یاخته فقط ۴۸ یاخته برای بررسی انتخاب شده است.



شکل ۱: شبکه‌بندی منطبق بر محدوده استان گیلان ($0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$)

آزمون روند من کندال

آزمون من کندال یک آزمون نا پارامتریک برای شناسایی روندها در سری زمانی داده‌ها است. در این روش مقادیر داده‌ها به صورت یک سری زمانی مرتب شده ارزیابی می‌شوند. هر مقدار داده با تمام مقادیر داده‌های بعدی مقایسه می‌گردد. مقدار اولیه آمار من-کندال (S) صفر در نظر گرفته شده است. اگر مقدار داده مربوط به دوره زمانی بعدی بالاتر از مقدار داده مربوط به دوره زمانی قبلی باشد، S به میزان ۱ افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، اگر مقدار داده مربوط به دوره زمانی بعدی کمتر از مقدار داده قبلی باشد، S به میزان ۱ کاهش می‌یابد. نتیجه تمام افزایش‌ها و کاهش‌ها، مقدار نهایی S را به دست می‌دهد. فرض کنید $x_1, x_2, \dots, x_n$ مجموعه‌ای از n نقطه داده است که در آن x_j بیانگر نقطه داده در زمان j است. آنگاه آماره من کندال به صورت زیر بیان می‌شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (۱)$$

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (۲)$$

$$\begin{aligned} \text{sign}(x_j - x_k) &= 1 \text{ if } x_j - x_k > 0 \\ &= 0 \text{ if } x_j - x_k = 0 \\ &= -1 \text{ if } x_j - x_k < 0 \end{aligned} \quad (3)$$
$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g (t_g - 1)(2t_p - 5) \right] \quad (9)$$
$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{[VAR(S)]^{1/2}} \text{ if } S > 0 \\ Z &= 0 \text{ if } S = 0 \\ Z &= \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}} \text{ if } S < 0 \end{aligned} \quad (\delta)$$
$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (6)$$

آماره I موران محلی

1. Gilbert

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} w_{ij} (x_i - \bar{x}) \quad (7)$$

در این رابطه، x_i ویژگی سلول i و $\bar{x}$ میانگین ویژگی مربوطه و w_{ij} وزن فضایی بین سلول i و j است. مقدار S_i^2 از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} - \bar{x}^2 \quad (8)$$

در این رابطه n برابر با تعداد کل عوارض است. در این آماره امتیاز استاندارد Z محاسبه شده و در یک سطح اطمینان مورد آزمون قرار می‌گیرد. امتیاز استاندارد ZI_i به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$ZI_i = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (9)$$

در این رابطه امید ریاضی $E[I_i]$ برابر با

$$E[I_i] = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} \quad (10)$$

و واریانس $V[I_i]$ برابر با

$$V[I_i] = E[I^2] - E[I_i]^2 \quad (11)$$

در این تحلیل اگر مقدار I_i مثبت و معنی‌دار باشد بیانگر این است که سلول‌های موجود توسط سلول‌های مشابه خود محاصره شده‌اند. مقادیر مثبت I_i نشان‌دهنده این است که سلول مورد نظر با مقادیر مشخص توسط سلول‌هایی با مقادیر مشابه احاطه شده است (بالا-بالا یا پایین-پایین)، و به این گونه سلول‌ها خوشه گفته می‌شود. از طرف دیگر مقادیر منفی و معنی‌دار I_i بیانگر آن است که سلول مورد نظر توسط سلول‌هایی که از لحاظ ارزشی اصلاً مشابهتی با یکدیگر ندارند احاطه شده است (بالا-پایین یا پایین-بالا)، که به این گونه سلول‌ها، نا خوشه گفته می‌شود و وجود چنین سلول‌هایی حاکی از همبستگی فضایی منفی است (روشنی و همکاران، ۱۴۰۰).

بحث و یافته‌ها

به منظور بررسی معنی‌داری روند میانگین دمای استان گیلان از آزمون روند من کندانال استفاده شده است. چنانچه از جدول ۱ پیداست آماره تاو کندانال در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن برابر با ۰/۴۰۸، ۰/۳۹۱، ۰/۴۶۹، ۰/۱۷۱، ۰/۴۲۹ و ۰/۴۴ محاسبه شد. با توجه به سطح معنی‌داری تعیین شده یعنی $\alpha = 0.05$ کاملاً مشخص است که ماه‌های مورد نظر به استثنای ماه آوریل، از روند معنی‌دار برخوردار هستند، زیرا مقدار آلفای محاسبه شده نیز کمتر ۰/۰۵ است. علاوه بر این، مقدار آماره تاو کندانال در ماه‌های ژوئیه، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر به ترتیب برابر با ۰/۴۲۳، ۰/۴۱، ۰/۳۳، ۰/۸۷ و ۰/۲۴۷ به دست آمد. مقدار آلفای محاسبه شده از مقدار آلفای برابر ۰/۰۵ در تمامی موارد (به استثنای ماه نوامبر) کمتر بوده و معنی‌داری روند نیز اثبات می‌شود. در نتیجه وجود روند در میانگین دمای استان گیلان در ۱۲ ماه سال (به استثنای ماه‌های آوریل و نوامبر) تأیید می‌گردد. علاوه بر این، مثبت بودن مقدار آماره تاو کندانال بیانگر روند مثبت

در میانگین دمای استان گیلان در ماه‌های مورد نظر است. بنابراین در طی ۴۴ سال گذشته (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) به میانگین دما به‌طور پیوسته افزوده شده است.

جدول ۱: نتایج آزمون روند من کندال میانگین دمای استان گیلان در ماه‌های مختلف سال

آزمون روند	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
آماره تاو کندال	۰/۴۰۸	۰/۳۹۱	۰/۴۶۹	۰/۱۷۱	۰/۴۲۹	۰/۴۴	۰/۳	۰/۴۲۳	۰/۴۱	۰/۳۳	۰/۰۸۷	۰/۲۴۷
S	۳۸۶	۳۷۰	۴۴۴	۱۶۲	۴۰۶	۴۱۶	۲۸۴	۴۰۰	۳۸۸	۳۱۲	۸۲	۲۳۴
Var(S)	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵/۳۳۳	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵
p-value (دوطرفه)	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	۰/۱۰۳	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۴۱۳	۰/۰۱۸
مقدار آلفا	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

نتایج آزمون روند من کندال میانگین بارش در جدول ۲ آورده شده است. مقدار آماره تاو کندال ماه‌های ژانویه تا دسامبر به ترتیب برابر با ۰/۰۳۴، ۰/۰۰۲، ۰/۰۵۳، ۰/۰۲۵، ۰/۰۲۰۵، ۰/۰۲۰۹، ۰/۱۲۷، ۰/۰۲۴۷، ۰/۰۱۱، ۰/۰۵۵، ۰/۰۶۶ و ۰/۰۵۵- محاسبه شد که در ۹ ماه از سال هیچ‌گونه روند معنی‌داری مشاهده نشد، فقط در سه ماه می، ژوئن و اگوست روند معنی‌دار منفی در میانگین بارش مشاهده گردید. به عبارت دیگر میانگین بارش سه ماه می، ژوئن و اگوست استان گیلان در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ (۴۴ سال) روند معنی‌دار کاهشی داشته و از میانگین بارش استان کاسته شده است. با مقایسه آلفای محاسبه شده با $\alpha = 0.05$ واضح است که این مقدار در ماه‌های می، ژوئن و اگوست کوچک‌تر از ۰/۰۵ بوده و معنی‌داری روند آن‌ها اثبات می‌شود. در سایر ماه‌ها مقدار آلفای محاسبه شده بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بوده و وجود روند در سری زمانی بارش آن‌ها رد می‌گردد.

جدول ۲: نتایج آزمون روند من کندال میانگین بارش استان گیلان در ماه‌های مختلف سال

آزمون روند	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
آماره تاو کندال	-۰/۰۳۴	-۰/۰۰۲	۰/۰۵۳	۰/۰۲۵	-۰/۰۲۰۵	-۰/۰۲۰۹	۰/۱۲۷	-۰/۰۲۴۷	۰/۰۱۱	-۰/۰۵۵	۰/۰۶۶	-۰/۰۵۵
S	-۳۲	-۲	۵۰	۲۴	-۱۹۴	-۱۹۸	۱۲۰	-۲۳۴	۱۰	-۵۲	۶۲	-۵۲
Var(S)	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵
p-value (دوطرفه)	۰/۷۴۶	۰/۹۸۴	۰/۶۱۳	۰/۸۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴۵	۰/۲۲۵	۰/۰۱۸	۰/۹۱۹	۰/۵۹۹	۰/۵۳۱	۰/۵۹۹
مقدار آلفا	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

نتایج آزمون روند من کندال میانگین دمای ۴۸ یاخته مورد بررسی در گستره استان گیلان نشان می‌دهد که در ماه ژانویه از ۴۸ یاخته فقط یک یاخته (S63) دارای روند معنی‌دار نیست. بقیه یاخته‌ها در سطح استان از روند معنی‌دار مثبت

در سطح اطمینان ۹۵٪ یا $\alpha = 0.05$ برخوردار هستند. به عبارت دیگر، ناحیه مورد مطالعه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ افزایش پیوسته دما را تجربه کرده است. میانگین دما در ماه فوریه نیز شرایطی مشابه ماه ژانویه داشته و به غیر از یاخته S63، در سایر یاخته‌ها روند افزایشی مثبت حاکم بوده است. نتایج آزمون روند میانگین دما در ماه مارس بیانگر روند افزایشی در تمامی یاخته‌ها است. بنابراین روند مثبت دما در کل پهنه استان گیلان در طی ماه‌های فصل زمستان به اثبات می‌رسد. در ماه آوریل روند مثبت دما نسبت به ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس دچار تغییر شده و معنی‌داری روند در اکثر مناطق استان رد می‌شود. به عبارت دیگر از ۴۸ یاخته‌ای که کل استان را در برمی‌گیرند فقط یاخته‌های S5 تا S9، S16 و S17، S23، S32، S41 از روند مثبت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ یا $\alpha = 0.05$ پیروی می‌کنند. در سایر یاخته‌ها هیچ‌گونه روند مثبت یا منفی قابل مشاهده نیست. بررسی روند میانگین دمای یاخته‌ها با روش من کندال در ماه مینشان می‌دهد که در تمام پهنه استان روند مثبت معنی‌دار وجود دارد. شرایط در ماه ژوئن با ماه می کاملاً یکسان بوده و روند مثبت معنی‌دار در تمامی یاخته‌ها قابل مشاهده است. در نتیجه حاکمیت روند مثبت بر میانگین دمای دو ماه فصل بهار در استان گیلان کاملاً محرز است.

جدول ۳: نتایج آزمون روند من کندال میانگین دمای یاخته‌ها در استان گیلان

یاخته	ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		م		ژوئن		ژوئیه		آگوست		سپتامبر		اکتبر		نوامبر		دسامبر	
	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV
معنی‌دار	۴۷	۰.۵/۰ >	۴۷	۰.۵/۰ >	۴۸	۰.۵/۰ >	۳۸	۰.۵/۰ >	۴۸	۰.۵/۰ >	۴۸	۰.۵/۰ >	۴۵	۰.۵/۰ >	۴۸	۰.۵/۰ >	۴۸	۰.۵/۰ >	۴۸	۰.۵/۰ >	۱	۰.۵/۰ >	۳۵	۰.۵/۰ >
بی‌معنی	۱	۰.۵/۰ <	۱	۰.۵/۰ <	۰	۰.۵/۰ <	۱۰	۰.۵/۰ <	۰	۰.۵/۰ <	۰	۰.۵/۰ <	۳	۰.۵/۰ <	۰	۰.۵/۰ <	۰	۰.۵/۰ <	۰	۰.۵/۰ <	۴۷	۰.۵/۰ <	۱۳	۰.۵/۰ <

در همین راستا، بررسی روند میانگین دمای استان در ماه‌های فصل تابستان حاکی از آن است که از ۴۸ یاخته مورد بررسی، یاخته‌های S30، S48، S53 و S63 بدون روند بوده و سایر یاخته‌ها در ماه ژوئیه دارای روند مثبت معنی‌دار هستند. در ماه‌های آگوست و سپتامبر تمامی یاخته‌ها دارای روند مثبت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ یا $\alpha = 0.05$ بوده و روند افزایشی بر میانگین دمای استان تسلط دارد. بنابراین میانگین دمای ماه‌های فصل تابستان در طی دوره مورد بررسی افزایش یافته است. در ماه اکتبر روند مثبت در تمامی یاخته‌ها قابل مشاهده بوده و در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌داری روند اثبات می‌گردد. اما در ماه نوامبر تمامی یاخته‌ها (به‌استثنای یاخته S36) بدون روند بوده و معنی‌داری روند رد می‌گردد. یعنی میانگین دمای نوامبر استان گیلان در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ دارای رفتار تصادفی بوده و هیچ نشانه‌ای از رفتار غیر تصادفی که بیانگر روند باشد وجود ندارد. اما در ماه دسامبر، رفتار غیر تصادفی و وجود روند در میانگین دمای اکثر یاخته‌ها قابل مشاهده است. به عبارت دیگر، از ۴۸ یاخته مورد بررسی در پهنه استان گیلان، یاخته‌های S29 و S30، S38 و S39، S47 و S48 تا S52، S54، S62 و S63 و S73 دارای رفتار تصادفی بوده و سایر یاخته‌ها نیز دارای رفتار غیر تصادفی هستند. بنابراین روند مثبت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ در اکثر یاخته‌ها به غیر از یاخته‌های بالا به اثبات می‌رسد. در

مجموع باید گفت که میانگین دمای استان در طی دوره ۴۴ ساله افزایش یافته و افزایش مورد نظر از نوع روند مثبت معنی دار بوده است. از این رو رفتار حاکم بر سری داده‌های میانگین دما از نوع غیر تصادفی است و پیامدهای آن در صورت ادامه روند در آینده شدیدتر خواهد بود (جدول ۳).

همان گونه که از جدول ۴ پیداست بارش ماه ژانویه در هیچ کدام از ۴۸ یاخته مورد بررسی روند معنی دار مثبت یا منفی نشان نمی‌دهد. به عبارت دیگر رفتار متغیر بارش در این ماه تصادفی است. در ماه فوریه هم رفتار تصادفی بر بارش تمامی یاخته‌ها (به استثنای S27) حاکم بوده و هیچ گونه روند معنی داری در بارش مشاهده نمی‌شود. رفتار حاکم بر بارش یاخته‌ها در ماه مارس نیز از هر دو نوع تصادفی و غیر تصادفی است. به طوری که از ۴۸ یاخته مورد بررسی در پهنه استان گیلان، ۹ یاخته S19، S23 تا S28 و S51 دارای روند افزایشی و از نوع غیر تصادفی و ۳۹ یاخته دیگر دارای روند تصادفی هستند. به طور کلی در ماه‌های فصل زمستان روند کاهشی یا افزایشی در بارش استان مشاهده نمی‌شود و رفتار تصادفی بارش در این سه ماه مورد تأیید قرار می‌گیرد (به استثنای موارد بالا). بارش یاخته‌ها در ماه آوریل هیچ گونه روند معنی داری را در طی دوره ۴۴ ساله نشان نداده و رفتار آن از نوع تصادفی است. اما در ماه می شرایط بارش یاخته‌ها در گستره استان تغییر کرده و روند در برخی از مناطق آن قابل مشاهده است. به طوری که یاخته‌های S18، S29، S30، S38 و S45، S46 از روند منفی برخوردار بوده و رفتار آن‌ها غیر تصادفی است. سایر یاخته‌ها دارای رفتار تصادفی بوده و روندی بر آن‌ها حاکم نیست. روند منفی بارش در ماه ژوئن هم در برخی از مناطق استان مشاهده می‌شود به طوری که یاخته S6، S14، S33، S43، S45 تا S48، S53 و S54، S63 و S72 و S73 دارای روند منفی بوده و بقیه یاخته‌ها روند مشخصی را نشان نمی‌دهند. به طور کلی در دو ماه از فصل بهار (می و ژوئن) روند منفی بارش در برخی از مناطق استان گیلان وجود داشته و نشان‌دهنده کاهش آن در طول ۴۴ سال گذشته است. در ماه ژوئیه به غیر از یاخته‌های S9، S19 و S39، در سایر یاخته‌ها هیچ گونه روند معنی دار مثبت یا منفی مشاهده نمی‌شود. اما در ۳ یاخته فوق روند مثبت معنی دار حاکم بوده و نشان‌دهنده افزایش بارش یاخته‌ها در طی دوره مورد بررسی است. با توجه به نتایج قبلی، وجود روند منفی در میانگین بارش ماه آگوست استان به اثبات رسید. اما بررسی روند تک تک یاخته‌ها نشان می‌دهد که در برخی از یاخته‌ها روند منفی وجود نداشته و رفتار تصادفی دارند. به طور کلی اکثر یاخته‌ها در این ماه دارای روند منفی بارش هستند. یاخته‌های دارای روند منفی نیز S5 و S6، S14 تا S17، S19، S23 تا S32، S36 تا S41، S48 تا S51، S54 تا S61، S63 تا S71 و S72 را در برمی‌گیرند. در مجموع از ۴۸ یاخته مورد بررسی، ۳۷ یاخته دارای روند منفی و ۱۱ یاخته باقیمانده بدون روند بودند. در نتیجه در ماه آگوست نیز مانند ماه‌های می و ژوئن، روند کاهشی بر بارش استان گیلان تسلط دارد. بررسی روند بارش یاخته‌ها با آزمون من کندال در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر نشان‌دهنده عدم وجود روند بوده و بارش این چهار ماه در گستره استان از رفتار تصادفی پیروی می‌کند. به طور کلی روند کاهشی بارش در ماه‌های فصل بهار و تابستان استان گیلان بیانگر اهمیت دو چندان این مسئله در این ناحیه است زیرا نیاز آبی محصولات کشاورزی این ناحیه از جمله برنج، گندم و غیره هم‌زمان با این ماه‌ها بوده و روند کاهشی بارش در طی دوره ۴۴ ساله، کشاورزی ناحیه را با کمبود آب مواجهه کرده است.

جدول ۴. نتایج آزمون روند من کندال میانگین بارش یاخته‌ها در استان گیلان

یاخته	ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		می		ژوئن		ژوئای		آگوست		سپتامبر		اکتبر		نوامبر		دسامبر	
	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV	تعداد	pV
معنی‌دار	۰	۰/۵/۰>	۱	۰/۵/۰>	۸	۰/۵/۰>	۰	۰/۵/۰>	۶	۰/۵/۰>	۱۵	۰/۵/۰>	۳	۰/۵/۰>	۳۶	۰/۵/۰>	۰	۰/۵/۰>	۰	۰/۵/۰>	تعداد	pV	تعداد	pV
بی‌معنی	۴۸	۰/۵/۰<	۴۷	۰/۵/۰<	۴۰	۰/۵/۰<	۴۸	۰/۵/۰<	۴۲	۰/۵/۰<	۳۳	۰/۵/۰<	۴۵	۰/۵/۰<	۱۲	۰/۵/۰<	۴۸	۰/۵/۰<	۴۸	۰/۵/۰<	۰	۰/۵/۰>	۰	۰/۵/۰>

در شکل ۲ الگوی فضایی مقادیر آماره روند من کندال متغیر دما به روش I موران محلی (ALMI) نشان داده شده

است. با مشاهده الگوی فضایی ۱۲ ماه سال نتایج زیر به دست آمد:

– کاملاً مشخص است که پهنه‌های با بیشترین روند افزایشی (بالا-بالا) در ماه ژانویه، محدود به ناحیه جلگه‌ای و کوهستانی ارتفاعات ماسوله است. همچنین دو خوشه با کمترین مقدار روند در شمال غرب استان گیلان یعنی ناحیه جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی ارتفاعات تالش و دیگری در ناحیه شرقی استان به صورت نوار باریکی از جلگه تا نواحی کوهستانی شهرستان رودسر ادامه دارد. بقیه مناطق استان دارای روند افزایشی متوسط نسبت به دو حالت گفته شده در ماه ژانویه هستند. در مجموع در کل پهنه استان روند افزایشی وجود دارد اما شدت حداکثر و حداقل آن محدود به نواحی گفته شده در بالا است. در سایر مناطق که قسمت اعظم مساحت استان را در برمی‌گیرند روند افزایشی متوسط حاکم می‌باشد (شکل ۲).

– الگوی فضایی روند افزایشی ماه فوریه نشان می‌دهد که نواحی کوهستانی شرق و غرب سفیدرود و همچنین ارتفاعات ماسوله تا غرب استان بیشترین روند افزایشی دما را در طی دوره تجربه کرده است. در حالی که ناحیه جلگه‌ای منتهی به دریای خزر واقع در شهرستان‌های رشت، آستانه، لنگرود و رودسر و همچنین مناطق جلگه‌ای تا کوهستانی شهرستان‌های رضوانشهر و تالش در غرب استان از کمترین مقدار روند افزایشی برخوردار بودند. سایر مناطق استان دارای روند افزایشی متوسط در ماه فوریه بوده و نسبت به دو حالت بالا-بالا (رنگ قرمز) و پایین-پایین (رنگ آبی) در حد وسط قرار می‌گیرند (شکل ۲).

– الگوی فضایی مقادیر آزمون روند من کندال میانگین دمای ماه مارس استان گیلان نشان می‌دهد که مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی غرب دره سفیدرود تا ارتفاعات ماسوله تغییرات شدید روند را تجربه کرده است زیرا I موران محلی این بخش از استان گیلان از نوع خوشه بالا-بالا (HH) است. همچنین ناحیه ساحلی و نوار باریکی از بخش جلگه‌ای در امتداد خط ساحلی از شرق تا غرب استان مقادیر پایین-پایین (LL) روند را تجربه کرده و به نوعی میزان روند آن نسبت به سایر مناطق استان کمتر بوده است. البته پهنای خوشه پایین-پایین (LL) در شهرستان رضوانشهر و تالش عریض‌تر شده و مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی آن را در برمی‌گیرد (شکل ۲).

- آزمون روند من کندانال میانگین دمای ماه آوریل در جدول ۳ نشان داد که وجود روند در پهنه استان بی معنی است، و رفتار دما در این ماه امری تصادفی و کاملاً عادی است. اما همان گونه که قبلاً گفته شد برخی از یاخته ها روند معنی دار داشتند که بیشتر در نواحی کوهستانی بخش جنوبی استان قرار گرفتند. بنابراین در ارتفاعات جنوبی و به صورت لکه های کوچک در ارتفاعات غربی آن الگوی خوشه ای بالا-بالا (HH) مشاهده می شود که نشان دهنده شدت روند در این بخش از ناحیه مورد مطالعه است. در سایر نواحی استان الگوی خاصی قابل شناسایی نبوده و رفتار تصادفی بر روند دما غلبه دارد (شکل ۲).
- در شکل ۲ کاملاً مشخص است که الگوی روند میانگین دمای ماه می در سطح استان از دو خوشه بالا-بالا (HH) و پایین-پایین (LL) و همچنین روند متوسط نسبت به دو حالت دیگر تشکیل شده است. خوشه بالا-بالای روند میانگین دما به صورت دو شاخه کاملاً مستقل در شهرستان آستارا و نواحی کوهستانی شهرستان تالش و همچنین ارتفاعات شرقی و جنوبی شهرستان های رودسر و رودبار قابل مشاهده است. الگوی خوشه پایین-پایین (LL) به صورت دو باریکه کاملاً مشخص بخش ساحلی و جلگه ای استان را در شمال و غرب آن در بر گرفته است. سایر مناطق استان از الگوی خاصی پیروی نمی کند. همچنین روند تغییرات میانگین دما در آن متوسط بوده و الگوی خوشه ای خاصی در آن قابل شناسایی نیست.
- الگوی فضایی روند میانگین دما با استفاده از آماره I موران محلی در ماه ژوئن نسبتاً مشابه ماه می است. در این ماه الگوی بالا-بالا (HH) به طور سه خوشه مستقل در شمال (آستارا)، ارتفاعات غرب و شرق استان مشاهده می شود. الگوی پایین-پایین (LL) با دو خوشه مستقل در ناحیه ساحلی و جلگه ای بخش شمالی و شمال غربی کاملاً مشخص است. سایر نواحی استان از روند متوسط نسبت به دو الگوی بالا-بالا و پایین-پایین پیروی می کند (شکل ۲).
- در ماه ژوئیه الگوی بالا-بالا به صورت سه خوشه کاملاً مشخص در گستره استان خودنمایی می کند به طوری که خوشه اصلی که ناحیه مرکزی تا ارتفاعات غربی استان را در بر می گیرد بزرگ تر از دو خوشه دیگر است. دو خوشه دیگر، یکی در ناحیه جلگه ای شرق و دیگری در شمال آستارا تشکیل شده است. الگوی پایین-پایین نیز از دو خوشه مجزا تشکیل شده است که خوشه اول منطبق بر نواحی کوهستانی جنوب استان و دیگری منطبق بر ناحیه ساحلی شهرستان انزلی و نواحی ساحلی، کوهپایه ای و کوهستانی شهرستان رضوانشهر و تالش است. سایر نواحی استان دارای روند متوسط نسبت به دو الگوی بالا-بالا و پایین-پایین هستند (شکل ۲).
- الگوی فضایی روند میانگین دمای استان گیلان در ماه آگوست بیانگر وجود هر دو خوشه بالا-بالا (HH) و پایین-پایین (LL) در این ناحیه است. به طوری که الگوی بالا-بالا به صورت سه خوشه مستقل در بخش مرکزی تا کوهستانی غرب و شمال آن مشاهده می شوند. خوشه اصلی الگوی پایین-پایین (LL) روند میانگین دما محدوده به نواحی کوهستانی شرق و جنوب استان بوده و دیگر خوشه الگوی پایین-پایین محدود به ناحیه کوچک واقع در بخش ساحلی

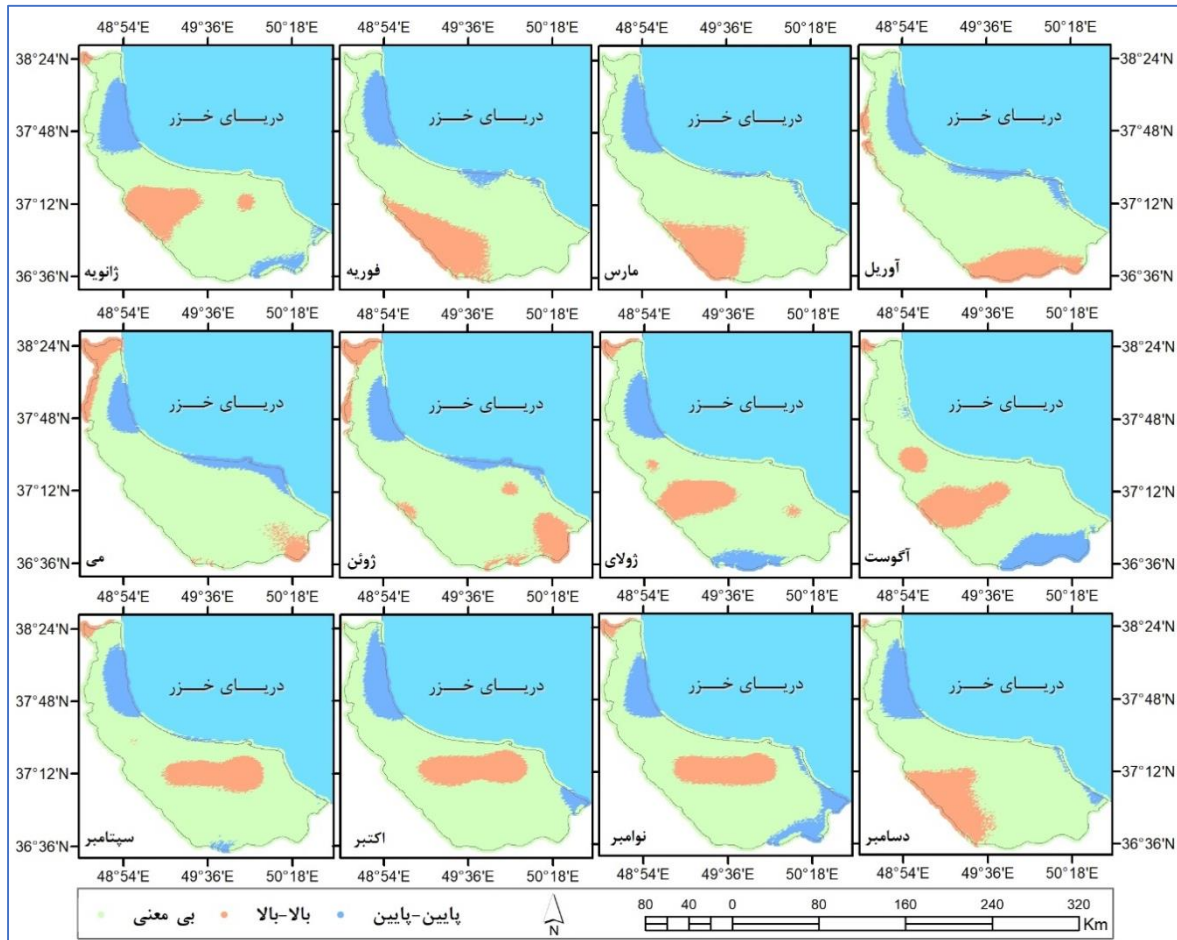
و جلگه‌ای جنوب شهرستان تالش است. در سایر مناطق استان الگوی خاصی مشاهده نشده و روند میانگین دما در حد متوسط است (شکل ۲).

نتایج تحلیل الگوی فضایی روند میانگین دمای استان گیلان در ماه سپتامبر نشان می‌دهد که دو خوشه اصلی بالا-بالا (HH) و پایین-پایین (LL) به ترتیب در بخش مرکزی و شمال غرب استان شکل گرفته است. علاوه بر این یک خوشه بالا-بالا در بخش کوهستانی شهرستان آستارا و سه الگوی خوشه‌ای پایین-پایین در ناحیه ساحلی شهرستان‌های رشت و انزلی، شهرستان رودسر و بخش کوهستانی جنوب استان قابل مشاهده است. در سایر مناطق استان روند از نوع مثبت و در حد متوسط بوده و از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند (شکل ۲).

در ماه اکتبر یک خوشه الگوی بالا-بالا در بخش مرکزی جلگه استان گیلان در راستای شرقی-غربی مشاهده می‌شود که روند میانگین دما در این ناحیه نسبت به سایر مناطق استان شدیدتر است. همچنین الگوی خوشه پایین-پایین در شمال غرب استان از رضوانشهر تا آستارا در راستای شمالی-جنوبی امتداد داشته و ناحیه جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی را در برمی‌گیرد. علاوه بر این، یک خوشه بالا-بالا در شمال غرب شهرستان آستارا و خوشه پایین-پایین در شرق استان با مساحت محدودتر شکل گرفته است. سایر مناطق استان دارای روند متوسط نسبت به دو خوشه بالا-بالا و پایین-پایین هستند (شکل ۲).

نتایج محاسبه آزمون روند من کندال ماه نوامبر برای تمامی یاخته‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که هیچ‌گونه روند معنی‌داری در گستره استان گیلان وجود ندارد. زیرا الگوهای شناسایی‌شده نسبت به میانگین آزمون روند من کندال در پهنه استان و تفاضل مقدار آزمون من کندال هر یاخته از میانگین آن و بر اساس آماره I موران به دست آمده است. بنابراین خوشه‌های بالا-بالا و پایین-پایین در این ماه به معنی روند بیشتر یا کمتر در پهنه استان نیست. به عبارتی در این ماه کل گستره استان بدون روند بوده و رفتار تصادفی بر آن حاکم است.

در ماه دسامبر الگوی بالا-بالا به صورت یک پهنه کاملاً وسیع در ارتفاعات ماسوله و غرب استان کاملاً مشخص است. الگوی پایین-پایین در بخش ساحلی و جلگه‌ای شرق استان و همچنین در بخش ساحلی، جلگه‌ای و کوهستانی غرب آن شکل گرفته است. سایر مناطق استان روند معنی‌داری را نشان نمی‌دهند زیرا با توجه به اطلاعات جدول ۳ در بیشتر مناطق استان روند بی‌معنی بوده و رفتار تصادفی بر میانگین دما حاکم است. در مجموع باید گفت الگوی فضایی با خوشه بالا-بالا (HH) و پایین-پایین (LL) به نوعی شدت و ضعف روند میانگین دما در گستره استان را نشان می‌دهد. از این رو تحلیل فضایی روند میانگین دما با آماره I موران محلی نشان داد که برخی از مناطق از روند شدیدتری در طی دوره ۴۴ (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) برخوردار بودند. اگر روند در آینده ادامه پیدا کند باید شاهد پیامدهای خطرناک افزایش دما از جمله سیلاب‌ها، خشک‌سالی‌ها، امواج گرم و سرد و غیره در استان باشیم.



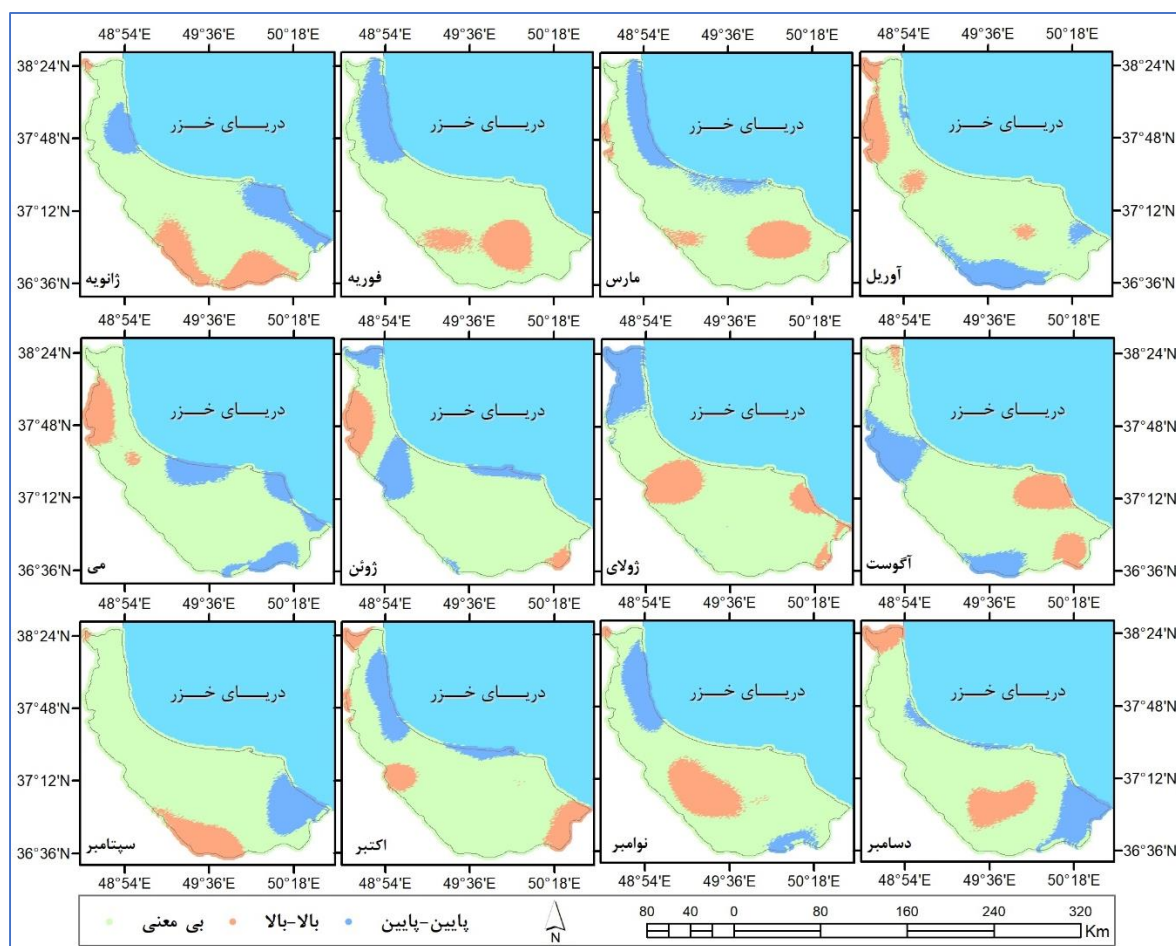
شکل ۲. الگوی فضایی دمای متوسط ۴۸ یاخته استان گیلان به روش I موران محلی

علاوه بر الگوی فضایی میانگین دما، الگوی فضایی مقادیر آزمون روند من کندال بارش به روش I موران محلی (ALMI) در شکل ۳ نمایش داده شده است.

- بررسی میانگین بارش استان و همچنین یاخته‌های آن در طی ۴۴ سال (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) نشان داد که روند معنی‌داری در بارش ژانویه آن ایجاد نشده است. با این حال الگوی فضایی مقادیر آزمون روند من کندال بارش استان در ماه ژانویه نشان می‌دهد که مقادیر بالا-بالا (HH) منطبق بر ارتفاعات جنوبی استان و مقادیر پایین-پایین (LL) نیز منطبق بر مناطق ساحلی و جلگه‌ای شرق و همچنین شمال غرب آن است. البته باید گفت الگوی فضایی شناسایی شده بر اساس مقادیر تصادفی بوده و به معنی زیاد یا کم بودن روند نیست (شکل ۳).
- الگوی فضایی مقادیر آزمون روند من کندال ماه فوریه بر اساس مقادیر تصادفی آن تعیین شده و مانند ماه ژانویه به معنای وجود الگوی با روند بالا یا پایین نیست. در نتیجه الگوی فضایی مقادیر تصادفی آزمون روند من کندال در ماه فوریه نشان‌دهنده شکل‌گیری خوشه بالا-بالا (HH) در بخش کوهستانی دو طرف دره سفیدرود در راستای شرقی-غربی است. همچنین الگوی با خوشه پایین-پایین (LL) در محدوده شمال غرب استان در راستای شمالی-جنوبی شکل گرفته و بخش ساحلی، جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی آن را در برمی‌گیرد (شکل ۳).

- نتایج به دست آمده از آزمون روند من کندال بارش ماه مارس نشان داد که روند مثبت معنی‌دار در بارش استان گیلان وجود دارد. از این‌رو رفتار بارش در طی ۴۴ سال تصادفی و همراه روند بوده است. بررسی الگوی فضایی مقادیر تصادفی آزمون من کندال بارش ماه مارس در شکل ۳ بیانگر وجود خوشه بالا-بالا (HH) در نواحی کوهپایه‌ای و کوهستانی در شرق و ارتفاعات ماسوله در غرب استان است (روند مثبت). همچنین خوشه پایین-پایین (LL) از منطقه ساحلی و جلگه‌ای کیشهر شروع و تا آستارا به‌صورت نوار باریک ادامه دارد. الگوی پایین-پایین در استان گیلان بدون روند بوده و مثل سایر قسمت‌های آن دارای رفتار تصادفی یا بی‌معنی است.
- در ماه آوریل نیز مانند ماه‌های ژانویه و فوریه، روند معنی‌داری در میزان بارش استان گیلان مشاهده نمی‌شود. از این‌رو بارش ماه آوریل در طی دوره مورد مطالعه (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) کاملاً تصادفی بوده و جهت‌گیری خاصی که بیانگر وجود روند مثبت یا منفی باشد وجود ندارد. اما تحلیل فضایی مقدار بدون روند آزمون من کندال، وجود دو خوشه بالا-بالا (HH) و پایین-پایین (LL) را نشان می‌دهد. به طوری که خوشه بالا-بالا به‌صورت یک هسته کوچک در شرق و دو هسته کوچک و بزرگ در غرب و شمال غرب استان شکل گرفته است. همچنین خوشه پایین-پایین در مناطق جلگه‌ای شرق، ارتفاعات جنوبی و سواحل شمال غرب استان (ساحل تالش) مشاهده می‌شود (شکل ۳).
- در شکل ۳ الگوی فضایی روند بارش استان گیلان در ماه مینشان داده شده است. با توجه به معنی‌داری روند منفی در برخی از یاخته‌های بارش، دو الگوی مشخص در گستره استان قابل تشخیص است. الگوی اول با مقادیر بالا-بالا (HH) بیانگر تغییرات مثبت بدون روند و الگوی پایین-پایین (LL) بیانگر تغییرات منفی همراه با روند است. مقادیر LL نیز ارتفاعات جنوبی و ساحل شمالی ناحیه شرق استان گیلان را در برمی‌گیرند. در حالی مقادیر HH در شمال غرب استان قابل مشاهده بوده و دارای رفتار تصادفی یا بدون روند است.
- در ماه ژوئن نیز روند کاهشی در بارش استان گیلان مشهود بوده و بر اساس شاخص I موران محلی مناطق شمالی استان (ساحل کیشهر و شهرستان رشت)، ارتفاعات ماسوله و شمال غرب استان از روند کاهشی شدیدتری نسبت به سایر نواحی برخوردار هستند (LL). در این راستا، ناحیه کوهستانی شهرستان تالش، دارای الگوی بالا-بالا (HH) است که این الگو به معنی روند مثبت معنی‌دار نبوده و همانند سایر مناطق استان دارای رفتار تصادفی (بی‌معنی) است (شکل ۳).
- با توجه به نتایج به دست آمده از محاسبه مقدار آزمون روند من کندال بارش ماه ژولای مشخص شد که در این ماه روند معنی‌داری در بارش قسمت اعظم مساحت استان گیلان مشاهده نمی‌شود (به‌استثنای یاخته‌های S9، S19 و S39). با توجه به موقعیت یاخته‌های S9، S19 و S39 باید گفت در ناحیه شرقی استان گیلان، الگوی بالا-بالا با روند معنی‌دار مثبت شکل گرفته است. به عبارت دیگر در منتهی‌الیه شرقی استان، بارندگی در طی دوره ۴۴ ساله روند افزایشی مثبت را طی کرده است. در سایر مناطق استان با وجود یک خوشه بالا-بالا در غرب استان، رفتار از نوع تصادفی و بدون روند است (شکل ۳).

– در ماه آگوست روند منفی بر بارندگی استان گیلان غلبه داشته و بیشتر مساحت استان از روند منفی تبعیت می‌کند. به عبارتی بارندگی این ماه در طی ۴۴ سال روند منفی را طی کرده است. در این راستا الگوی فضایی با مقادیر بالا-بالا (LL) شاخص I موران محلی که نشان‌دهنده شدت روند منفی بارندگی نسبت به سایر مناطق است در ارتفاعات جنوبی و غربی استان گیلان مشاهده می‌شود. همین‌طور الگوی خوشه‌ای پایین-پایین (LL) این شاخص در ارتفاعات جنوبی و جلگه‌ای ناحیه شرق گیلان تشکیل شده است. این نواحی با وجود الگوی HH، دارای رفتار تصادفی و بدون روند هستند. سایر مناطق استان به غیر از دو الگوی بالا-بالا در ارتفاعات جنوبی و ناحیه جلگه‌ای شرق استان، دارای روند کاهشی یا منفی هستند. به‌طور کلی ماه آگوست خشک‌ترین ماه استان گیلان از لحاظ شدت و وسعت محسوب می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. الگوی فضایی بارش ۴۸ یاخته استان گیلان به روش I موران محلی

– بارش ماه سپتامبر استان گیلان هیچ‌گونه روند افزایشی یا کاهشی در طی دوره ۴۴ ساله نشان نداده است. اما الگوی فضایی مقادیر بدون روند بارش ماه سپتامبر نشان می‌دهد که خوشه بالا-بالا (HH) ارتفاعات جنوب و جنوب غربی را در برمی‌گیرد. همچنین الگوی خوشه‌ای پایین-پایین (LL) محدوده شرقی استان را پوشش می‌دهد (شکل ۳).

- بررسی بارش ماه اکتبر با آزمون روند من کندال نشان داد که هیچ‌گونه روندی در بارش استان وجود ندارد. تحلیل الگوی فضایی بارش نشان داد که خوشه بالا-بالا (HH) محدود به بخش شرقی، غربی و شمال غربی استان است. همچنین خوشه پایین-پایین (LL) در بخش جلگه‌ای و ساحلی شمال و شمال غرب مشاهده می‌شود. در سایر نواحی استان مقدار آماره من کندال بین دو خوشه بالا-بالا و پایین-پایین قرار دارد (شکل ۳).
- بارش ماه نوامبر در پهنه استان از روند خاصی پیروی نمی‌کند. به عبارت دیگر بارش کل پهنه استان دارای رفتار تصادفی بوده و افزایش یا کاهش معنی‌دار در مقدار بارش آن مشاهده نمی‌شود. تحلیل الگوی فضایی مقدار آماره من کندال نشان می‌دهد که بخش مرکزی با تمایل به ارتفاعات غربی آن دارای الگوی خوشه‌ای بالا-بالا و نواحی ساحلی، جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی شمال غرب و همچنین ناحیه جنوب شرقی استان دارای الگوی خوشه‌ای پایین-پایین هستند. البته باید گفت الگوی بالا-بالا و پایین-پایین بر اساس مقادیر بدون روند آزمون من کندال تعیین شده است (شکل ۳).
- در نهایت آزمون روند من کندال بارش ماه دسامبر بیانگر عدم وجود روند مثبت و منفی معنی‌دار در سطح استان است. اما تحلیل الگوی فضایی مقادیر تصادفی آزمون من کندال با استفاده از آماره I موران محلی نشان داد که خوشه بالا-بالا (HH) محدوده به ارتفاعات مرکزی استان در دو طرف دره سفیدرود و همچنین آستارا است. در این راستا خوشه پایین-پایین محدوده به نواحی ساحلی شهرستان‌های شرق استان است. نواحی با مقادیر پایین-پایین (LL) نیز شهرستان رودسر و از نواحی ساحلی این شهرستان تا شهرستان تالش امتداد دارد (شکل ۳). در مجموع باید گفت معنی‌داری روند کاهشی در بارش چهار ماه مارس، می، ژوئن و آگوست کاملاً بدیهی بوده و در سایر ماه‌های سال روند معنی‌داری در بارش استان مشاهده نشده و رفتار تصادفی بر بارش استان غلبه دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تحلیل دقیقی از روند دما و بارش و الگوی فضایی این دو متغیر در محدوده استان گیلان طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ انجام شد. بدین منظور داده‌های دما و بارش استان گیلان به صورت $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه قوسی از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) به مدت ۴۴ سال دریافت گردید. سپس با استفاده از آزمون روند من کندال، نوع روند دما و بارش و معنی‌داری آن‌ها تعیین گردید. علاوه بر این، الگوی فضایی آماره من کندال در گستره استان گیلان با استفاده از شاخص I موران محلی (ALMI) تعیین شد. نتایج به دست آمده از بررسی دما حاکی از روند افزایشی آن در طول دوره بوده است. روند افزایشی در میانگین دمای استان و همچنین دمای تک‌تک یاخته‌ها (۴۸ یاخته) تأیید شد. با توجه به اهمیت افزایش دما در دهه‌های اخیر، این موضوع نیز توسط سایر پژوهشگران از جمله عساکره و همکاران (۲۰۱۹) تأیید شده است. زیرا آن‌ها معتقدند دمای ایران در چند دهه اخیر افزایش چشمگیری داشته است. به‌عنوان مثال دمای کشور در دهه ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ نسبت به دهه ۱۹۶۱ تا ۱۹۷۰ به میزان ۰/۱۷ و ۰/۱

افزایش یافته است. این در حالی است که دمای ایران در دهه ۱۹۶۱ تا ۱۹۷۰ و ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۰ به میزان ۰/۳- کاهش نشان می‌دهد. همچنین مطالعه صبحی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی روند دمای ایران نشان دادند که بیشتر ایستگاه‌ها به‌ویژه آن‌هایی که در بخش غربی و شرقی کشور قرار دارند روند مثبت معنی‌دار در سری زمانی دمای ماهانه فصل تابستان نشان می‌دهند. اما بیشترین تعداد ایستگاه با روند مثبت در آوریل (۳۰ ایستگاه) و سپس در آگوست (۲۹ ایستگاه) و روند منفی در فوریه (۱۶ ایستگاه) و مارس (۱۵ ایستگاه) مشاهده شد. در نتیجه بین نتایج به دست آمده از روند تغییرات دمای استان گیلان و سایر مطالعات انجام شده در کشور همسویی وجود داشته و تمامی آن‌ها بر روند افزایشی آن در چند دهه اخیر تأکید دارند. علاوه بر وجود روند در دمای استان گیلان، وجود روند در بارش ماه‌های دوره گرم سال (می، ژوئن و آگوست) نیز تأیید شد. روند کاهشی بارش در ماه‌های می، ژوئن و آگوست تأثیر مستقیم بر شرایط اکولوژیک این ناحیه از کشور داشته است. همچنین کاهش بارش و بی‌نظمی در زمان وقوع آن‌ها باعث کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است که متعاقب با آن کشاورزان برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی با مشکل روبه‌رو شده‌اند. مسئله کاهش بارش و بی‌نظمی در وقوع آن توسط سایر پژوهشگران بررسی شده است. به‌عنوان مثال فیضی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که بارش‌های جنوب شرقی کشور در طی فصول تابستان و پاییز دارای روند منفی بوده و روند در فصل بهار کمتر و فصل زمستان با عدم روند روبه‌رو بوده است. یا رضی و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی الگوی مکانی و روند زمانی بارش در ایران نتیجه گرفتند که بارش سالانه در شمال غربی و جنوب شرقی کشور دارای روند نزولی و در نواحی غربی، مرکزی و شمال شرقی آن دارای روند صعودی است. همچنین در فصل زمستان و پاییز روند صعودی در بیشتر بخش‌های کشور مشاهده می‌شود، به‌استثنای شمال غرب و جنوب شرق که روند نزولی حاکم است. در بهار و تابستان روند نزولی بارش بر بیشتر مناطق ایران تسلط دارد. در مجموع بارش ایران در فصول بهار و تابستان از روند نزولی و در پاییز و زمستان از روند صعودی تبعیت می‌کند. با توجه به روند کاهشی بارش در ماه‌های گرم سال در استان گیلان و عدم معنی‌داری روند در ماه‌های سرد سال به‌نوعی همسویی بین نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های بالا در گستره ایران وجود دارد.

منابع

- ۱- پیرنیا، عبد...؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ سلیمانی، کریم (۱۳۹۴): بررسی تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه آن با تغییرات در مقیاس جهانی و نیمکره شمالی. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۶ (۱۱)، ۹۰ تا ۱۰۰.
- ۲- دارند، محمد (۱۳۹۴): ارزیابی و شناخت تغییر اقلیم در ایران زمین طی دهه‌های اخیر. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۹ (۳۰)، ۱ تا ۱۴.
- ۳- درخشی، جعفر؛ سبحانی، بهروز؛ جهانبخش، سعید (۱۴۰۳): پیش‌بینی مقادیر دما و بارش طی دهه‌های آینده با به‌کارگیری مدل canESM۲ در حوضه آبخیز اهرچای. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۴ (۷۲)، ۴۹ تا ۶۴.

- ۴- روشنی، محمود؛ رضایی، پرویز؛ گنجی گوفلی، صدیقه (۱۴۰۰): تحلیل‌های آماری اطلاعات جغرافیایی با استفاده از ArcView GIS و ArcGIS. نویسنده: دیوید دبلیو اس وانگ و جی لی، انتشارات پژوهشکده محیط‌زیست جهاد دانشگاهی، چاپ اول، ۳۸۸.
- ۵- زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۰): یادداشت تحلیلی: تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین ایران با به‌کارگیری مدل همادی CMIP6، آب و توسعه پایدار، ۸ (۴)، ۱۱۹ تا ۱۲۴.
- ۶- زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۲): بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر امنیت آبی در ایران. آب و توسعه پایدار، ۱۰ (۱)، ۳۷ تا ۴۴.
- ۷- سلیمانی ساردو، فرشاد؛ و مصباح زاده (۱۳۹۹): پیش‌بینی دما و بارش با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم و مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری (مطالعه موردی: جنوب استان کرمان). پژوهش‌های محیط‌زیست، ۱۱ (۲۲)، ۹۷ تا ۱۱۰.
- ۸- غیاث‌آبادی فراهانی، فاطمه؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ عزیزی، قاسم؛ فتاحی، ابراهیم (۱۳۹۷): بررسی و تحلیل تغییرات درون دهه‌ای روند و الگوی فضایی بارش‌های سالانه و فصلی (مطالعه موردی: نیمه غربی ایران). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۴۸)، ۵۹ تا ۷۸.
- ۹- میرشکاران، یحیی؛ کاکاپور، وحید؛ زارعی، امیر (۱۴۰۰): ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما با استفاده از مدل‌های AR۴ (مطالعه موردی: حوضه آبخیز قره‌سو، کرمانشاه). نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۲ (۸)، ۳۳ تا ۳۴.
- ۱۰- میرعباسی نجف‌آبادی، رسول؛ دین‌پژوه، یعقوب (۱۳۹۱): تحلیل روند تغییرات بارش‌های شمال غرب ایران در نیم‌قرن گذشته. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۵ (۴)، ۵۹ تا ۷۳.

- 11- Zahid, M., Rasoul, G. (2010). Rise In Summer Heat Index Over Pakistan. Journal Of Meteorology, 6, <https://api.semanticscholar.org/Corpusid:133937619>.
- 12- Alina, V., Irina, O. (2013): Summer Air Temperature Variability And Trends Within Oltenia Plain. Journal Of The Geographical Institute "Jovan Cvijic", 63 (3), 371-381. <https://doi.org/10.2298/IJGI1303371V>.
- 13- Asakereh, H., Khosravi, Y., Doostkamian, M., & Solgimoghaddam, M. (2019): Assessment Of Spatial Distribution And Temporal Trends Of Temperature In Iran. Asia-Pacific Journal Of Atmospheric Sciences, 56, 549-561. <https://doi.org/10.1007/S13143-019-00150-9>
- 14- Bekele, D., Alamirew, T., Kebede, A., Zeleke, G. & Melesse, A. M. (2019): Modeling Climate Change Impact On The Hydrology Of Keleta Watershed In The Awash River Basin, Ethiopia. Environmental Modeling & Assessment, 24 (1), Pp. 95-107.
- 15- Dibike, Y. B. & Coulibaly, P. (2005): Hydrologic Impact Of Climate Change In The Saguenay Watershed: Comparison Of Downscaling Methods And Hydrologic Models. Journal Of Hydrology, 307 (1-4), Pp. 145-163.
- 16- Dottori, F., Szewczyk, W., Ciscar, J.-C., Zhao, F., Alfieri, L., Hirabayashi, Y., Et Al. (2018): Increased Human And Economic Losses From River Flooding With Anthropogenic Warming. Nature Climate Change, 8 (9), Pp. 781-786. <https://doi.org/10.1038/S41558-018-0257-Z>
- 17- Doulabian, S., Golian, S., Shadmehri Toosi, A., & Murphy, C. (2021): Evaluating The Effects Of Climate Change On Precipitation And Temperature For Iran Using RCP Scenarios. Journal Of Water And Climate Change, 12 (1), 166-184. <https://doi.org/10.2166/Wcc.2020.114>.
- 18- Feizi, V., Mollashahi, M., Farajzadeh, M., Azizi, G. (2014): Spatial And Temporal Trend Analysis Of Temperature And Precipitation In Iran. Ecopersia, 2 (4), Pp. 727-742. <http://ecopersia.modares.ac.ir/article-24-6002-en.html>
- 19- Feng, S., Hu, Q., Huang, W., Ho, C. H., Li, R. & Tang, Z. (2014): Projected Climate Regime Shift Under Future Global Warming From Multi-Model, Multi-Scenario CMIP5 Simulations. Global And Planetary Change, 112, Pp.41-52.
- 20- Gilbert, R. O. (1987): Statistical Methods For Environmental Pollution Monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.
- 21- Gomez-Gomez, J. D. D., Velazquez, D. P., Collados-Lara, A. J., Chacon, F. F. (2022): The Impact Of Climate Change Scenarios On Droughts And Their Propagation In An Arid

- Mediterranean Basin. A Useful Approach For Planning Adaptation Strategies. *Science Of The Total Environment*, 820, 153128, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153128>.
- 22- Mathbout, S., Martin-Vide, J., & Bustins, J. A. L. (2023): Drought Characteristics Projections Based On CMIP6 Climate Change Scenarios In Syria. *Journal Of Hydrology: Regional Studies*, 50, 101581, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101581>.
- 23- Nicholson, S. E., Funk, C., Fink, A. H. (2018): Rainfall Over The African Continent From The 19th Through The 21st Century. *Global And Planetary Change*, 165, Pp.114-127. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.12.014>.
- 24- Raziei, T., Daryabari, J., & Bordi, I., & Pereira, L. S. (2014): Spatial Patterns And Temporal Trends Of Precipitation In Iran. *Theor Appl Climatol*, 115: Pp. 531–540. DOI 10.1007/S00704-013-0919-8.
- 25- Saboohi, R., Soltani S., Khodagholi, M. (2012): Trend Analysis Of Temperature Parameters In Iran. *Theor Appl Climatol*, 109, 529–547. <https://doi.org/10.1007/S00704-012-0590-5>
- 26- Surendran Nair, S., King, A. W., Gullledge, J., Preston, B. L., Mcmanamay, R. A., & Clark, C. D. (2020): Economic Losses From Extreme Weather In The U.S. Gulf Coast Region: Spatially Differential Contributions Of Climate Hazard And Socioeconomic Exposure And Vulnerability. *Environmental Research Letters*, 15 (7), 074038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/Ab7b9a>
- 27- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., Et Al. (2020): The 2020 Report Of The Lancet Countdown On Health And Climate Change: Responding To Converging Crises. *The Lancet*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32290-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32290-X)
- 28- Zahid, M., Rasul, G. (2010): Rise In Summer Heat Index Over Pakistan. *Journal Of Meteorology*, 6, <https://api.semanticscholar.org/Corpusid:133937619>.