نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٠

صفحات ٥٥ – ٧٠

تحلیل فضایی تغییرات اقلیمی در ایران

علیرضا صادقی نیا[1]؛ استادیار گروه علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

سمیه رفعتی؛ استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران.

مهدی صداقت؛ استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۰/۰۵/۲۷ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۶/۱۴

چکیده

این پژوهش با هدف تحلیل فضایی تغییرات اقلیمی دما در ایران انجام شد. ابتدا با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن، روند تغییرات شناسایی شد. سپس با استفاده از روش های تحلیل مولفه های اصلی و خوشه بندی، گستره ایران از لحاظ روند تغییرات سالانه شاخص های فرین در چهار خوشه دسته بندی شد. ۳۸ ،۳۳ ، ۱۸ و ۱۱ درصد از ایستگاهها به ترتیب در خوشه های ۱، ۲، ۳ و ۴ قرار گرفتند. شدیدترین روندهای افزایشی در ایستگاههای خوشه یک، که در نواحی پست و کم ارتفاع ایران استقرار دارند رخ داده است. میانگین ارتفاع آنها ۵۳۵ متر است. ایستگاههای خوشه ۲ روند افزایشی متوسط و ایستگاههای خوشه ۳ روند افزایشی ضعیفی را تجربه کرده اند. ایستگاههای خوشه ۲ غالبا در نواحی شمال غرب و غرب ایران استقرار یافته اند، اما ایستگاههای خوشه ۳ نظم خاصی را از نظر پراکندگی فضایی نشان نمی دهند. ایستگاههای خوشه ۴ بر خلاف سه خوشه دیگر، روندهای آشکاری را نشان نمی دهند. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که بین عامل ارتفاع و شیب روند شاخص های فرین گرم همبستگی معکوس وجود دارد. یعنی هرچه ارتفاع کاهش می یابد، شیب روند افزایش می یابد. بنابراین ایستگاههایی که در نواحی پست و کم ارتفاع قرار گرفته اند نسبت به نواحی مرتفع، تغییرات اقلیمی شدیدتری را تجربه کرده اند. همچنین تغییرات اقلیمی شاخص های حدی گرم قوی تر از شاخص های حدی سرد و روند افزایش دماهای کمینه بیشتر از دماهای بیشینه است. علاوه بر آن، تعداد شب های گرم با شیب بیشتری نسبت به تعداد روزهای گرم افزایش یافته است.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، شاخص های فرین، خوشه بندی، ایران.

[1] . نویسنده مسئول: Email: alirezasadeghinia@gmail.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

مقدمه

شدت و فراوانی مخاطرات محیطی مرتبط با اقلیم رو به افزایش است و در سال های اخیر تلفات جانی زیادی را به همراه داشته است. با توجه به اینکه روندهای گرمایش جهانی افزایش یافته است، شدت و فراوانی مخاطرات اقلیمی نیز افزایش یافته و نگرانی های زیادی را برای جامعه بشری بوجود آورده است. برای مثال، در چهار دهه گذشته، بلایای هواشناسی دو برابر و بلایای هیدرولوژیکی چهار برابر شده است (Vinod, ۲۰۱۷: ۳). تغییرات اقلیمی هزینه های اقتصادی زیادی را به کشورها تحمیل کرده است و رشد اقتصادی کشورها را با مشکل مواجه کرده است. بنابراین کاهش مخاطرات اقلیمی و رشد اقتصادی جوامع زمانی اتفاق خواهد افتاد که هوشمندانه با تغییرات آب و هوایی مقابله شود. شناخت تغییرات اقلیمی به ما کمک می کند تا تصمیم گیری بهتری در زمینه کاهش و سازگاری با تغییرات اتخاذ کنیم. همه اینها بر نحوه تأثیر تصمیمات و اقدامات انسان بر فراوانی و شدت بلایای مرتبط با آب و هوا تأکید می کند.

تغییرات اقلیمی به تغییرات به وقوع پیوسته در میانگین و سایر آماره های (کمینه، بیشینه، واریانس و ...) عناصر اقلیمی اشاره دارد (Field et al., ۲۰۱٤). از آنجا که عنصر بارش با دما ارتباط دارد، پژوهشگران اغلب بر تغییرات دمای جهانی به عنوان شاخص تغییر آب و هوا تمرکز می کنند (Pisor & Jones, ۲۰۲۰). نتایج پژوهش هانسن و همکاران (۲۰۰۶) نشان می دهد که میانگین دمای سطح زمین در هر دهه ۰/۲ درجه سانتیگراد در حال افزایش است و گرمایش بیش از ۱ درجه سانتیگراد می تواند منجر به تغییرات آب و هوایی خطرناک شود و سطح آب دریاها را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات جدیدتر نشان می دهد که میانگین دمای سطح کره زمین در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۹ نسبت به ۱۹۹۰-۱۹۶۱ حدود ۰/۶۶ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (Valipour et al., ۲۰۲۱). دانشمندان معتقدند که افزایش انتشار گازهای گلخانه ای و تغییرات نوسانات اطلس شمالی (NAO) عوامل اصلی افزایش میانگین دما در سطح جهان بویژه در نیمکره شمالی بوده است (Wang et al., ۲۰۱۷) علاوه بر مطالعاتی که تغییرات میانگین دمای سطح زمین را بررسی کردند، بسیاری از پژوهشگران علاقه مند به مطالعه مقادیر فرین دما بوده اند و بر این باورند که میانگین ها، به تنهایی نماینده کاملی از اقلیم نیستند (Yan et al., ۲۰۰۲). مطالعات متعددی تغییرات دماهای فرین را به عنوان یک نمایه مهم برای درک تغییر اقلیم مطالعه کردند (Lawson, ۲۰۰۳; Zhang et al., ۲۰۰۸; Sonali & Nagesh Kumar, ۲۰۱۳; Panda & Sahu, ۲۰۱۹). برای مثال یان و همکاران (۲۰۰۲) روند دماهای فرین اروپا و چین را مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که سه دوره تغییرات دماهای فرین در اروپا و چین دیده می شود، کاهش دماهای فرین گرم قبل از قرن نوزدهم، کاهش دماهای فرین سرد از قرن نوزدهم به بعد و افزایش دماهای فرین گرم از دهه ۱۹۶۰. مطالعات انجام شده روی مقادیر فرین مانند کمینه ها و بیشینه ها، نشان دادند که افزایش در دماهای کمینه تقریبا دو برابر میزان افزایش دماهای بیشینه است (Walter et al., ۲۰۰۲).

در ایران مطالعات گسترده ای در زمینه تغییرات اقلیمی دما انجام پذیرفته است. برخی از پژوهش ها، تغییرات میانگین دما را در ایران بررسی کردند (جهان بخش و ترابی، ۱۳۸۳؛ شیرغلامی و همکاران،۱۳۸۴؛ احمدی و رادمنش، ۱۳۹۳، قربانی، ۱۳۹۳؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۵؛ کمانگر و همکاران، ۱۳۹۷؛ رفعتی و کریمی، ۱۳۹۷؛ بارانی و کرمی، ۱۳۹۸). تعداد زیادی از این مطالعات نیز، تغییرات کمینه ها و بیشینه های دما را مورد بررسی قرار داده اند (رحیم زاده و عسکری، ۱۳۸۳؛ عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ورشاویان و همکاران، ۱۳۹۰؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ مسعودیان و دارند، ۱۳۹۱؛ رحیم زاده و نساجی زواره، ۱۳۹۳؛ قاسمی، ۲۰۱۵؛ حلبیان، ۱۳۹۶، کریمی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

و همکاران، ۱۳۹۷؛ بازگیر و همکاران، ۱۳۹۸). به طور کلی، نتایج پژوهش های قبلی نشان می دهد که آماره های میانگین، بیشینه و کمینه دما در بیشتر پهنه فلات ایران در دهه های اخیر روند افزایشی داشته است، اما میزان تغییرات افزایشی در مناطق مختلف یکسان نبوده است. نتایج پژوهش های قبلی به خاطر تفاوت در تعداد ایستگاههای مطالعه شده، دوره زمانی مورد مطالعه، نوع پایگاه داده های استفاده شده و روش مطالعه تفاوت های اندکی را نشان می دهند. اکثریت مطالعات انجام شده نشان دادند که دمای کمینه با شیب بیشتری نسبت به دمای بیشینه افزایش یافته اند و گاهی میزان افزایش دمای کمینه دو برابر میزان افزایش دمای بیشینه گزارش شده است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ رحیم زاده و نساجی زاده، ۱۳۹۳؛ قاسمی، ۲۰۱۵، بازگیر و همکاران، ۱۳۹۸). یکی از تفاوت هایی که در نتایج پژوهش ها مشاهده می شود، مربوط به میزان تغییرات افزایشی دما در مناطق مختلف ایران است. برای نمونه نتایج پژوهش قربانی (۱۳۹۳) و امیدوار (۱۳۹۵) نشان می دهد که بیشترین شیب مثبت افزایش دما در بخش های شمال غرب و غرب رخ داده است؛ اما نتایج برخی پژوهش های دیگر مانند مسعودیان (۱۳۸۳)، مسعودیان و دارند (۱۳۹۱)، علیجانی و همکاران (۱۳۹۱) و قاسمی (۲۰۱۵) حاکی از این است که روندهای افزایشی دما در سرزمین های گرم و کم ارتفاع قوی تر از سرزمین های مرتفع بوده است. به نظر می رسد مهمترین علت نتایج متفاوت پژوهشگران مربوط به نوع پایگاه داده ای است که مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج مطالعات گذشته همچنین نشان می دهد که آهنگ افزایش دمای ایران در فصول گرم بیشتر از فصول سرد بوده است (قربانی، ۱۳۹۳؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۵؛ قاسمی، ۲۰۱۵، حلبیان، ۱۳۹۶).

مرور ادبیات و پیشینه تحقیق در زمینه تغییرات اقلیمی دما در ایران نشان می دهد که علیرغم انجام پژوهش های ارزشمند در گذشته، نیازمند درک عمیق تر تغییرات فضایی شاخص های فرین گرم و سرد در پهنه ایران هستیم. بنابراین با توجه به گستردگی و توپوگرافی پیچیده ایران، نیاز است تا با استفاده از روش های آماری چند متغیره، ایستگاهها را بر اساس نوع و شدت روندها خوشه بندی کرد تا به نواحی همگنی از نظر نوع و شدت تغییرات دست یافت. همچنین بررسی ارتباط میزان تغییرات اقلیمی با عوامل مختلف جغرافیایی مانند ارتفاع و عرض جغرافیایی به فهم بیشتر الگوی فضایی تغییرات اقلیمی در ایران کمک می کند. از این رو، هدف اصلی این پژوهش تحلیل فضایی تغییرات اقلیمی شاخص های فرین دما در ایران است. نتایج این پژوهش به برنامه ریزان کمک می کند تا تغییرات اقلیمی دما را به صورت منطقه ای بشناسند و در زمینه کاهش و سازگاری تغییرات اقلیمی تصمیمات مناسب تری اتخاذ کنند.

داده ها و روش کار

در این مطالعه داده‌های دمای کمینه و بیشینه روزانه مربوط به ۴۰ ایستگاه همدید که دارای آمار طولانی‌مدت (۵۰ سال) بودند، در دوره آماری ۱۹۶۸ تا ۲۰۱۷ از سازمان هواشناسی اخذ و همگنی و روند تغییر دمای آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بعد از شناسایی همه جهش‌های معنی‌دار، سری داده‌های مورد مطالعه باید همگن شوند. در این مطالعه مقداری که برابر اندازه جهش بود، برای اصلاح همه داده‌های بخش پیش از نقطه تغییر به آن‌ها اضافه یا از آن‌ها کسر شد (رفعتی و کریمی، ۱۳۹۷). برای بررسی همگنی و اصلاح داده‌ها الگوریتم و کد (RHtestsV٤) توسعه یافته توسط ونگ (Weng, ۲۰۰۸; Weng et al., ۲۰۰۷; Weng, ۲۰۰۳) بر اساس مدل رگرسیون دوفازه و نرم‌افزار R i۳۸٦ به‌کار گرفته شد.

پس از آماده سازی سری های زمانی دمای کمینه و بیشینه در تمام ایستگاهها، از بین شاخص های تغییر اقلیم مورد تایید گروه بین المللی ETCCDI ، مجموعه ۱۴ شاخص برای تعیین فرین های دما انتخاب شد (Nicholls & Murray, ۱۹۹۹) (جدول۱). در ادامه جهت بررسی روند و نوع تغییرات شاخص ها از آزمون ناپارامتریک من- کندال و آزمون سن

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

استفاده شد. آزمون من-کندال ابتدا توسط مان (۱۹۴۵) و سپس در سال ۱۹۷۵ توسط کندال توسعه یافت (Serrano et al.,۱۹۹۹). مراحل محاسبه این آزمون به شرح زیر است: ۱. محاسبه اختلاف تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به شرح رابطه (۱) (Kumar et al., ۲۰۰۹):

رابطه (۱)

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \operatorname{sgn}\left(x_j - x_i\right)$$

جدول ۱. شاخص های انتخاب شده برای تحلیل فرین های دما در ایران

شاخص	نام تشریحی	تعریف	واحد
TXx	بیشینه حداکثر دمای سالانه	بیشینه حداکثر دمای سالانه	° C
TNx	بیشینه حداقل دمای سالانه	بیشینه حداقل دمای سالانه	° C
SU۲۵	روزهای تابستانی	روزهایی که دمای حداکثر روزانه بیشتر از ۲۵ ° C باشد	روز
TR۲۰	شب های حاره ای	روزهایی که دمای حداقل روزانه بیشتر از ۲۰ ° C باشد	روز
TX۹۰P	روزهای گرم	درصد روزهایی که دمای حداکثر بیشتر از صدک نودم باشد	٪
TN۹۰P	شب های گرم	درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد	٪
WSDI	تداوم گرما	تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر بیشتر از صدک نودم باشد	روز
TXn	کمینه حداکثر دمای سالانه	کمینه حداکثر دمای سالانه	° C
TNn	کمینه حداقل دمای سالانه	کمینه حداقل دمای سالانه	° C
FD	روزهای یخبندان	روزهایی که دمای حداقل روزانه کمتر از ۰ ° C باشد	روز
ID	روزهای یخی	روزهایی که دمای حداکثر روزانه کمتر از ۰ ° C باشد	روز
TX۱۰P	روزهای سرد	درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد	٪
TN۱۰P	شب های سرد	درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد	٪
CSDI	تداوم سرما	تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد	روز

در رابطه (۱) n طول دوره آماری، x_j و x_i مقدار داده j ام و i ام سری زمانی و $sgn(X_j - X_i)$ تابع علامت بوده و به صورت زیر تعریف می شود:

رابطه (۲)

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

۲. محاسبه واریانس S از رابطه (۳):

رابطه (۳)

$$V(S) = \frac{n(n-۱)(۲n+۵) - \sum_{i=1}^{n} t(t-1)(2t+5)}{۱۸}$$

که n تعداد داده ها و m معرف تعداد سری هایی است که در آن حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نیر بیانگر فراوانی داده های با ارزش یکسان است.

۳. استخراج آماره z به کمک رابطه (۴):

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

رابطه (۴)

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\left(\mathrm{var}(S)\right)^{\frac{1}{2}}} & S>0\\ 0 & S=0\\ \dfrac{S+1}{\left(\mathrm{var}(S)\right)^{\frac{1}{2}}} & S<0\end{cases}$$

در این آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$|z| \le z_{\alpha/2}$ ؛ که α سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می شود. در صورتی که آماره ی z مثبت (منفی) باشد، روند سری داده ها افزایشی (کاهشی) در نظر گرفته می شود.

برای محاسبه شیب خط روند سری داده ها از تخمینگر سن استفاده شد:

رابطه (۵)

$$\beta = Median\left[\frac{X_j-X_i}{j-i}\right] (\forall j>i)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و X_j و X_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی j ام و i ام می باشند. مقدار مثبت (منفی) β نشان دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری است.

به منظور خوشه بندی ایستگاهها بر اساس شیب روند شاخص های فرین گرم و سرد سالانه در طی دوره مطالعه (۲۰۱۷-۱۹۶۸)، از روش تحلیل مولفه های اصلی (PCA) و خوشه بندی (CL) استفاده شد. با توجه به اینکه نمره z من کندال و شیب روند هفت شاخص فرین گرم و هفت شاخص فرین سرد برای ۴۰ ایستگاه با استفاده از آماره شیب سن محاسبه شد، در مجموع ۲۸ متغیر حاصل شد. ۲۸ متغیر محاسبه شده شامل نمره z من کندال و شیب روند تعداد روزهای تابستانی، تعداد شب های حاره ای، درصد شب های گرم، درصد روزهای گرم، تعداد دوره های گرم با تداوم شش روزه، بیشینه دمای حداکثر سالانه، بیشینه دمای حداقل سالانه، تعداد یخبندان، تعداد روزهای یخی، درصد شب های سرد، درصد روزهای سرد، تعداد دوره های سرد با تداوم شش روزه، کمینه حداکثر دمای سالانه و کمینه حداقل دمای سالانه است. با توجه به ۲۸ متغیر و ۴۰ ایستگاه مطالعه، یک ماتریس ۲۸*۴۰ حاصل شد. برای کاهش تعداد متغیرها و تعیین عامل های اصلی از روش تحلیل مولفه های اصلی با ماتریس R استفاده شد. پس از شناسایی عامل های مهم، خوشه بندی با استفاده از روش وارد (Ward) انجام شد. قبل از انجام خوشه بندی لازم است تعداد بهینه خوشه ها تعیین شود. بررسی مطالعات گذشته نشان داد که شاخص های آماری متعددی برای تعیین تعداد مناسب خوشه ها پیشنهاد شده است. اخیرا در نرم افزار آماری R برای تعیین تعداد بهینه خوشه ها بسته Nbclust توسعه یافته است. بسته Nbclust ابتدا تعداد خوشه ها را با استفاده از ۳۰ شاخص آماری محاسبه می کند و در نهایت مناسب ترین تعداد خوشه را برای انجام خوشه بندی به کاربر پیشنهاد می دهد (Charad et al., ۲۰۱٤). در این مطالعه، برای تعیین تعداد بهینه خوشه ها از بسته Nbclust در بستر نرم افزار آماری R استفاده شد. پس از مشخص شدن تعداد بهینه خوشه ها، خوشه بندی با روش وارد (Ward) انجام شد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

شرح و تفسیر نتایج

- **روند شاخص های فرین گرم**

جدول (۲) میانگین نمرات z من کندال و شیب سن را برای ۷ شاخص فرین گرم طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۶۸ در ایران نشان می دهد. در حالت کلی، میانگین نمرات z و شیب سن، رخداد روندهای مثبت را در همه ی شاخص های فرین گرم در طول پنجاه سال اخیر تایید می کند. میانگین نمره z و شیب سن برای همه ی شاخص فرین گرم در کل سطح ایران به ترتیب ۲/۸ و ۰/۲۳ است. به طور متوسط در ۹۱ درصد از ایستگاهها روندهای مثبت مشاهده شده است و روندهای مشاهده شده در ۶۸ درصد از ایستگاهها معنادار بوده است. بر اساس میانگین شیب سن برای کل ایستگاههای ایران، به طور متوسط، رخداد تعداد شب های حاره ای ($TR_{۲۰}$)، تعداد روزهای تابستانی ($SU_{۲۵}$)، تعداد دوره های گرم (WSDI)، درصد شب های گرم ($TN_{۹۰}P$) و درصد روزهای گرم ($TX_{۹۰}P$)) به ترتیب در هر دهه ۶/۴ شب، ۴/۴ روز، ۲/۱ دوره، ۱/۸ درصد و ۱/۱ درصد افزایش یافته است. بنابراین می توان نتیجه گرفت، در حالیکه شیب روند تعداد شب ها و روزهای گرم در پنجاه سال اخیر مثبت بوده است؛ روند افزایشی تعداد شب های گرم نسبت به روزهای گرم قوی تر بوده است. همچنین تعداد دوره های گرم با تداوم شش روزه در ایران افزایش یافته است. میانگین شیب سن برای بیشینه دمای حداکثر سالانه (TXx) و بیشینه دمای حداقل سالانه (TNx) به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۳ است. با توجه به مقادیر ذکر شده، میانگین افزایش بیشینه دمای حداکثر سالانه و بیشینه دمای حداقل سالانه برای کل ایستگاهها به ترتیب ۱ و ۱/۵ درجه سانتیگراد در طول نیم قرن اخیر بوده است (جدول ۲). رخداد روند افزایشی در شاخص های حدی گرم همچنین در بسیاری از مطالعات انجام شده در زمینه تغییرات اقلیمی در سطح جهان گزارش شده است. برای نمونه مطالعات اخیر، رخداد روندهای افزایشی شاخص های گرم را در چین نشان داده است (Yin & Sun, ۲۰۱۸). البته میزان افزایش در همه نقاط جهان یکسان نبوده و تفاوت های منطقه ای زیادی در میزان روندهای افزایشی شاخص های گرم مشاهده شده است. برای مثال روندهای افزایشی شاخص تداوم گرما (WSDI) در جنوب شرقی آسیا قوی تر از آمریکای شمالی و جنوبی بوده است (Lu et al., ۲۰۱۸).

جدول ۲. میانگین نمره z من کندال، شیب سن، درصد ایستگاههای دارای روند مثبت و منفی معنادار برای هفت شاخص فرین گرم

شاخص های فرین گرم	روزهای تابستانی	شب های حاره ای	روزهای گرم	شب های گرم	تداوم مدت گرما	بیشینه دمای حداکثر سالانه	بیشینه دمای حداقل سالانه
میانگین نمره Z (کل ایستگاهها)	۳/۱	۴/۲	۲/۳	۳/۷	۳/۸	۱/۴۵	۲/۹
میانگین شیب سن (کل ایستگاهها)	۰/۴۴	۰/۶۴	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۳
ایستگاههای دارای روند مثبت	۹۳٪	۸۵٪	۹۸٪	۸۵٪	۹۲٪	۹۰٪	۹۸٪
ایستگاههای دارای روند مثبت معنادار	۸۱٪	۷۵٪	۸۰٪	۶۳٪	۸۰٪	۳۶٪	۶۳٪
ایستگاههای دارای روند منفی	۷٪	۱۲٪	۴٪	۱۲٪	۷٪	۱۲٪	۲٪
ایستگاههای دارای روند منفی معنادار	۰	۷٪	۰	۴٪	۲٪	۴٪	۲٪

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

- **روند شاخص های فرین سرد**

جدول (۳) میانگین نمرات z من کندال و شیب سن را برای ۷ شاخص فرین سرد طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۶۸ در ایران نشان می دهد. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می کنید، شاخص های فرین سرد بر خلاف شاخص های فرین گرم بیشتر روند کاهشی را نشان می دهد. رخداد روند کاهشی در شاخص های فرین سرد در ایران همچنین در سایر پژوهش ها مانند علیجانی و همکاران (۱۳۹۱) و مسعودیان و دارند (۱۳۹۱) گزارش شده است. بر اساس میانگین شیب سن برای کل ایستگاههای ایران، به طور متوسط رخداد تعداد یخبندان (FD)، تعداد روزهای یخی (ID)، تعداد دوره های سرد (CSDI)، درصد روزهای سرد (TX۱۰P) و درصد شب های سرد (TN۱۰P) به ترتیب در هر دهه ۲/۶ روز، ۰/۶ روز، ۱/۷ دوره، ۱ درصد و ۱/۳ درصد کاهش یافته است. مقایسه میانگین نمره z و شیب سن در جدول (۲) و (۳) نشان می دهد که روندهای کاهشی شاخص های فرین سرد در مقایسه با روندهای افزایشی شاخص های فرین گرم ضعیف تر بوده است. بنابراین، همگام با افزایش تعداد روزها و شب های گرم، تعداد روزها و شب های سرد با شیب نسبتا کمتری کاهش یافته است. شاخص تداوم سرما بر خلاف شاخص تداوم گرما، روند کاهشی دارد. میانگین شیب سن برای دو شاخص کمینه دمای حداکثر سالانه (TXn) و کمینه دمای حداقل روزانه (TNn) به ترتیب ۰/۰۴۴ و ۰/۰۵۱ است. این مقادیر نشان می دهد که کمینه دمای حدااکثر سالانه و کمینه دمای حداقل سالانه به طور متوسط در طی پنجاه سال گذشته به ترتیب ۲/۲ و ۲/۵ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (جدول۳). مقایسه روند این دو شاخص با دو شاخص بیشینه دمای حداکثر سالانه و بیشینه دمای حداقل سالانه نشان می دهد که روند افزایش دماهای کمینه در مقایسه با دماهای بیشینه شدیدتر است. این یافته با نتایج علیجانی و همکاران (۱۳۹۰)، مسعودیان (۱۳۸۸)، رحیم زاده و نساجی زاده (۱۳۹۳)، قاسمی (۲۰۱۵) و بازگیر و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی دارد. برای اینکه محدوده فضایی تغییرات شاخص های فرین گرم و سرد با هم مقایسه شود از میانگین درصد ایستگاههایی که روند معنی دار مثبت و منفی داشته اند استفاده شد. درصد ایستگاههای دارای روند معنادار نشان می دهد که به طور متوسط ۶۸ درصد از ایستگاهها از نظر شاخص های فرین گرم، و ۵۰ درصد از ایستگاهها از نظر شاخص های فرین سرد تغییرات معناداری را تجربه کرده اند. این اعداد نشان می دهد که از لحاظ توزیع فضایی نیز تغییرات معنادار در شاخص های فرین گرم گستره فضایی بیشتری از شاخص های فرین سرد دارد.

جدول ۳. میانگین نمره z من کندال، شیب سن، درصد ایستگاههای دارای روند مثبت و منفی معنادار برای هفت شاخص فرین سرد

شاخص های فرین سرد	فراوانی یخبندان	روزهای یخی	روزهای سرد	شب های سرد	تداوم سرما	کمینه دمای حداکثر سالانه	کمینه دمای حداقل سالانه
میانگین نمره Z (کل ایستگاهها)	-۱/۸۵	-۰/۹	-۲/۱۴	-۲/۳	-۲	۱/۴	۱/۶
میانگین شیب سن	-۰/۲۶	-۰/۰۶	-۰/۱	-۰/۱۳	-۰/۱۷	۰/۰۴۴	۰/۰۵۱
ایستگاههای دارای روند مثبت	۴٪	۴٪	۰	۱۲٪	۴٪	۹۴٪	۸۲٪
ایستگاههای دارای روند مثبت معنادار	۴٪	۰	۰	۶٪	۰	۳۱٪	۴۱٪
ایستگاههای دارای روند منفی	۸۳٪	۵۳٪	۱۰۰٪	۸۸٪	۹۶٪	۶٪	۱۷٪
ایستگاههای دارای روند منفی معنادار	۵۸٪	۲۰٪	۷۳٪	۶۸٪	۴۸٪	۰	۶٪

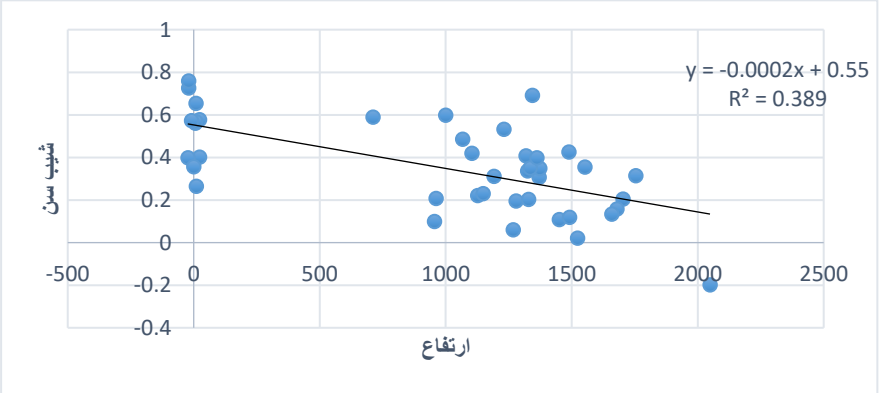
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

- **ارتباط ارتفاع و عرض جغرافیایی با شیب روند شاخص های فرین گرم و سرد**

به منظور بررسی ارتباط عوامل مختلف جغرافیایی با شیب روند شاخص های فرین گرم و سرد در ایران، ضرایب همبستگی بین شیب روند شاخص ها و ارتفاع و عرض جغرافیایی ایستگاهها محاسبه شد. نتایج نشان داد که هیچ گونه همبستگی معنی داری بین عرض جغرافیایی و شیب روند شاخص های فرین گرم و سرد وجود ندارد. اما، مقدار ضریب همبستگی ارتفاع ایستگاهها و میانگین شیب سن هفت شاخص فرین گرم نشان داد که بین عامل ارتفاع و شیب روند شاخص های فرین گرم ارتباط معکوس وجود دارد. مقدار ضریب همبستگی محاسبه شده ۰/۶۲- است که در سطح اطمینان ۰/۰۱ معنادار است. این مقدار نشان می دهد که هر چه ارتفاع کاهش یابد، شیب روند شاخص های فرین گرم افزایش می یابد. بنابراین ایستگاههایی که در مناطق جلگه ای و پست و نواحی کم ارتفاع داخلی قرار گرفته اند نسبت به نواحی مرتفع و کوهستانی، روندهای افزایشی شدیدتری را تجربه کرده و با سرعت بیشتری درحال گرم شدن هستند. برای مثال، ایستگاه بوشهر با ارتفاع ۹ متر، دارای میانگین شیب سن ۰/۶۵ و ایستگاه سقز با ارتفاع ۲۰۴۸ متر، دارای میانگین شیب سن ۰/۰۲ است. مقدار ضریب تعیین بین ارتفاع و شیب سن تقریبا ۰/۳۸ است (شکل۱). این آماره نشان می دهد که تقریبا ۳۸ درصد از تغییرات اقلیمی شاخص های فرین گرم را عامل ارتفاع در ایران کنترل می کند.

با توجه به اینکه در تمامی ایستگاههای سواحل جنوبی خلیج فارس و دریای عمان و برخی ایستگاههای کم ارتفاع شاخص روزهای یخی و روزهای یخبندان مشاهده نشده است، ضریب همبستگی ارتفاع و دو شاخص مذکور بررسی نشد. ضرایب همبستگی سایر شاخص های حدی سرد با عامل ارتفاع به صورت جداگانه بررسی شد. ضریب همبستگی بین ارتفاع و شاخص های کمینه دمای حداکثر سالانه، کمینه دمای حداقل سالانه، تداوم سرما، درصد شب های سرد و روزهای سرد به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۱۲، ۰/۱۲، ۰/۲ و ۰/۰۴ است که هیچکدام معنادار نیستند.



شکل۱: نمودار همبستگی ارتفاع و میانگین شیب سن هفت شاخص فرین گرم

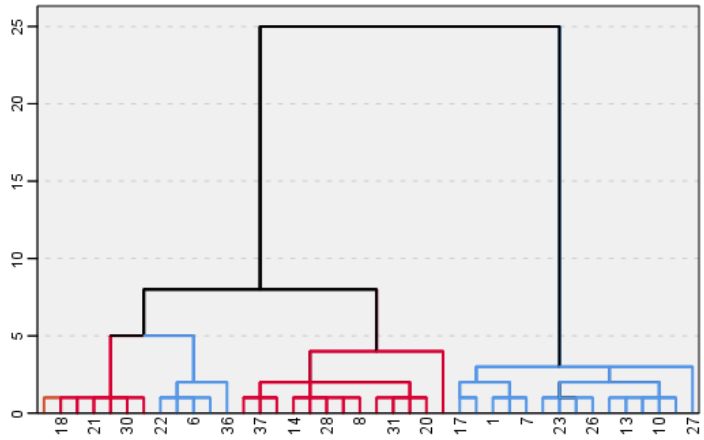
- **خوشه بندی ایستگاهها بر اساس روند تغییرات شاخص های فرین گرم و سرد**

روش تحلیل مولفه های اصلی با ماتریس R بر روی ۲۸ متغیر یعنی ۱۴ متغیر نمره z من کندال و ۱۴ متغیر شیب سن اجرا و با روش وریمکس چرخانده شد. مقدار آزمون KMO و بارتلت به ترتیب با مقادیر ۰/۶۶۷ و ۱۱۸۷ و معناداری در سطح ۰/۰۱ ضمن تایید کفایت نمونه، نشان دادند که می توان با استفاده از ماتریس همبستگی، مولفه های اصلی را شناسایی کرد. از بین ۲۸ عامل استخراج شده، شش عامل اول انتخاب شد؛ زیرا بر اساس نمودار اسکری بعد از عامل

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

ششم، مقادیر ویژه و شیب نمودار به طور قابل ملاحظه ای افت کرد. شش عامل اول، تقریبا ۸۱ درصد از واریانس متغیرها را تبیین می کنند.

قبل از انجام خوشه بندی تعداد بهینه خوشه ها با استفاده از بسته Nbclust در بستر نرم افزار R تعیین شد. نتایج ۳۰ شاخص آماری محاسبه شده نشان داد که اکثر شاخص ها، تعداد بهینه خوشه ها را سه یا چهار خوشه تعیین می کنند. برای مثال تعداد بهینه خوشه ها با استفاده از شاخص های Pseudot۲، Duda، Gamma و Beale چهار خوشه و با استفاده از شاخص های KL، CH، Hartigan و Cindex سه خوشه است. برای تصمیم گیری نهایی در مورد تعداد خوشه ها، ایستگاهها بر اساس نمره های شش مولفه های اصلی (شش متغیر) بوسیله روش وارد خوشه بندی شدند. شکل ۲ نمودار درختی حاصل از روش خوشه بندی وارد را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می کنید، در روش وارد، ایستگاهها در سه خوشه اصلی گروهبندی شده اند. برای تشخیص تفاوت خوشه های فرعی، مقادیر شیب سن و نمره z من کندال خوشه های فرعی مقایسه شدند. مقایسه خوشه های فرعی هر شاخه اصلی نشان داد که علی رغم قرار گرفتن ۱۲ ایستگاه در خوشه چپ، دو خوشه فرعی آن تفاوت های معناداری از نظر مقادیر شیب سن و نمره z من کندال دارند. پنج ایستگاه شهرکرد، سقز، فسا، تربت حیدریه و بیرجند که در خوشه فرعی آبی رنگ قرار گرفته اند، تقریبا روندهای آشکاری را نشان نمی دهند و تفاوت قابل ملاحظه ای با ۷ ایستگاه دیگر خوشه چپ دارند. بنابراین خوشه سمت چپ به دو خوشه تقسیم شد. در نهایت پس از انجام فرایند خوشه بندی، گستره ایران از لحاظ روند تغییرات سالانه شاخص های فرین گرم و سرد به چهار خوشه تفکیک شد (شکل ۲).



شکل ۲. درخت خوشه بندی روند تغییرات اقلیمی شاخص های فرین گرم و سرد سالانه ایران

خوشه ۱ با روند افزایشی شدید: در خوشه یک ۱۵ ایستگاه قرار گرفته است که روند افزایشی شدیدی را در طول نیم قرن اخیر تجربه کرده اند. میانگین ارتفاع این ۱۵ ایستگاه، ۵۳۵ متر است. بنابراین شدیدترین روندهای گرمایشی ایران در نواحی پست و جلگه ای جنوب و جنوب شرق ایران، سواحل دریای خزر، دشت ها و نواحی کم ارتفاع داخلی و نواحی کوهپایه ای مرکز و مشرق ایران رخ داده است. ایستگاههای این خوشه شامل آبادان، اهواز، بوشهر، بندر لنگه، چابهار، بم، طبس، شیراز، شاهرود، تهران، مشهد، رامسر، رشت و بابلسر است (شکل ۳). درمجموع ۳۸ درصد از ایستگاهها روند گرمایشی بسیار شدید را تجربه کرده اند. ارتفاع کم ایستگاههای واقع در خوشه ۱، یک بار دیگر وجود همبستگی معکوس بین میزان ارتفاع ایستگاهها و شدت روند تغییرات شاخص های فرین گرم را تایید می کند. داده های جدول ۴

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

و ۵ نشان می دهد که به طور متوسط شاخص روزهای تابستانی، شب های حاره ای، درصد روزهای گرم، درصد شب های گرم و تداوم گرما به ترتیب در هر دهه ۵/۲ روز، ۱۱/۶شب، ۱/۶ درصد، ۳ درصد و ۲/۸ دوره در خوشه ۱ افزایش یافته است. همچنین بیشینه دمای حداکثر سالانه و بیشینه دمای حداقل سالانه ایستگاههای این خوشه در نیم قرن اخیر به ترتیب ۱/۵ و ۲/۷ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (جدول ۴). با توجه به داده های جدول ۵، به طور متوسط تعداد یخبندان، روزهای یخی، درصد روزهای سرد، درصد شب های سرد و تداوم سرما به ترتیب در هر دهه ۳ روز، ۰/۷ روز، ۱/۱ درصد، ۲/۱ درصد و ۲/۸ دوره در خوشه ۱ کاهش یافته است. همچنین کمینه دمای حداکثر سالانه و کمینه دمای حداقل سالانه در طول ۵۰ سال گذشته به ترتیب ۱/۹ و ۳/۶ درجه سانتیگراد افزایش یافته است.

خوشه ۲ با روند افزایشی متوسط: در این خوشه ۱۳ ایستگاه قرار گرفته است که در مقایسه با ایستگاههای خوشه ۱ روند افزایشی متوسطی را تجربه کرده اند. ۳۳ درصد از ایستگاهها در خوشه ۲ قرار گرفته اند. میانگین شیب سن ۷ شاخص فرین گرم برای ایستگاههای خوشه ۲، ۰/۲ است که در مقایسه با میانگین خوشه ۱ (۰/۳۵) ۰/۱۵ کمتر است. با توجه به اینکه میانگین شیب سن ۷ شاخص فرین گرم برای کل ایستگاهها (۴۰ ایستگاه) ۰/۲۳، و برای ایستگاههای خوشه ۲، ۰/۲ است، بنابراین متوسط شیب سن ایستگاههای خوشه ۲ به میانگین کل نزدیک است. ارتفاع متوسط ایستگاههای خوشه ۲، ۱۱۵۳ متر است که در مقایسه با ایستگاههای خوشه ۱ (۵۳۵ متر)، ۶۱۸ متر مرتفع تر هستند. ایستگاههای خوشه ۲ از نظر تراکم، به ترتیب در نواحی شمال غرب (اردبیل، تبریز، ارومیه، خوی)، غرب (سنندج، کرمانشاه، زنجان، قزوین)، مرکز (اصفهان، کرمان و سبزوار) و بخشی از سواحل خزر (انزلی وگرگان) استقرار یافته اند (شکل۳). در مجموع خوشه ۲ بیشتر بر نواحی شمال غرب و غرب ایران متمرکز است و این نواحی روندهای گرمایشی متوسطی داشته اند. یکی از مهمترین ویژگی های خوشه ۲ وجود روندهای منفی شدید در برخی شاخص های فرین سرد مانند تعداد یخبندان، روزهای یخی و کمینه دمای حداکثر سالانه است. به طور متوسط شاخص های تعداد یخبندان، روزهای یخی در هر دهه ۳/۸ و ۱/۳ روز کاهش و کمینه دمای حداکثر سالانه ۰/۵۳ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. بنابراین شدیدترین روند کاهشی تعداد یخبندان و روزهای یخی در خوشه ۲ که غالبا متمرکز بر نواحی شمال غرب و غرب ایران است رخ داده است (جدول ۵).

خوشه ۳ با روند افزایشی ضعیف: ایستگاههای خوشه ۳ که روندهای افزایشی ضعیفی در طول نیم قرن اخیر داشته اند، از نظر جغرافیایی تمرکز خاصی را به نمایش نمی گذارند و در همه بخش های ایران پراکنده هستند. ۱۸ درصد از ایستگاهها در خوشه ۳ هستند. ایستگاههای بندرعباس، نوژه (همدان)، خرم آباد، اراک، سمنان، کاشان و زاهدان در این خوشه قرار گرفته اند (شکل۳). میانگین ارتفاع این ۷ ایستگاه ۱۱۴۰ متر است. داده های جدول ۳ و ۴ نشان می دهد که به طور متوسط شاخص روزهای تابستانی، شب های حاره ای، درصد روزهای گرم، درصد شب های گرم و تداوم گرما به ترتیب در هر دهه ۲/۶ روز، ۴/۳ شب، ۰/۵ درصد، ۱/۴ درصد و ۰/۸۵ دوره در خوشه ۳ افزایش یافته است. همچنین بیشینه دمای حداکثر سالانه و بیشینه دمای حداقل سالانه ایستگاههای این خوشه در نیم قرن اخیر به ترتیب ۰/۶۵ و ۱/۶ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (جدول ۴). با توجه به داده های جدول ۵، به طور متوسط تعداد یخبندان، روزهای یخی، درصد روزهای سرد، درصد شب های سرد و تداوم سرما به ترتیب در هر دهه ۲ روز، ۰/۴ روز، ۰/۴ درصد، ۱ درصد و ۰/۸ دوره در خوشه ۳ کاهش یافته است. در مجموع ایستگاههای خوشه ۳ در مقایسه با ایستگاههای خوشه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

۱ و ۲ روندهای افزایشی ضعیف تری در شاخص های فرین گرم و روندهای کاهشی ضعیف تری در شاخص های فرین سرد دارند.

خوشه ۴ بدون روند آشکار: ایستگاههای شهرکرد، سقز، فسا، بیرجند و تربت حیدریه در خوشه ۴ قرار دارند (شکل۳). ایستگاههای خوشه ۴ بر خلاف سه خوشه دیگر، روندهای آشکاری را نشان می دهند. به طور کلی میانگین شیب سن هفت شاخص فرین گرم و سرد برای ایستگاه های خوشه ۴ به ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۰۲- است. با توجه به میانگین ها، متوسط شیب سن شاخص های فرین گرم و سرد در ایستگاههای خوشه ۴ نزدیک به صفر است. میانگین ارتفاع ایستگاههای خوشه ۴، ۱۵۵۶ متر است. مقایسه این عدد با میانگین ارتفاع ایستگاههای خوشه ۱ (۵۳۵ متر)، خوشه ۲ (۱۱۵۳ متر) و خوشه ۳ (۱۱۴۰ متر) نشان می دهد که میانگین ارتفاع خوشه ۴ از همه خوشه ها بیشتر است. در مجموع می توان نتیجه گرفت که در ایران همراه با افزایش ارتفاع، شدت روندهای افزایشی دما کاهش می یابد و در برخی نقاط مانند ایستگاههای خوشه ۴ روندهای آشکاری مشاهده نمی شود.

جدول ۴. میانگین شیب سن شاخص های فرین گرم برای ایستگاههای هر خوشه

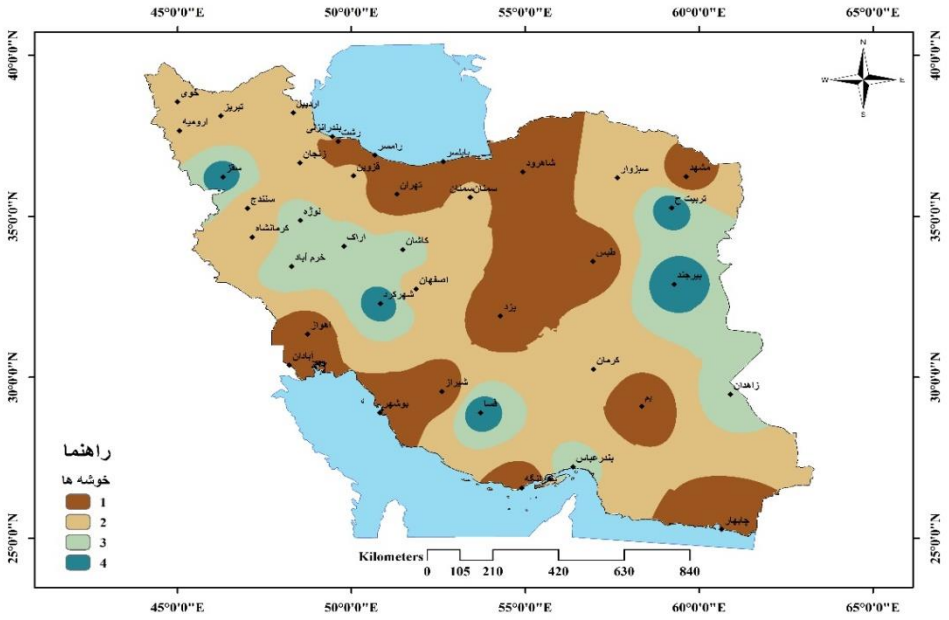
شاخص های فرین گرم	روزهای تابستانی	شب های حاره ای	روزهای گرم	شب های گرم	طول مدت گرما	بیشینه دمای حداکثر سالانه	بیشینه دمای حداقل سالانه
خوشه (۱)	۰/۵۲	۱/۱۶	۰/۱۶	۰/۳	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۵۴
خوشه (۲)	۰/۵	۰/۳۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۰۳	۰/۰۳۶
خوشه (۳)	۰/۲۶	۰/۴۳	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۸۵	۰/۰۱۳	۰/۰۳۲
خوشه (۴)	۰/۰۱	۰/۱۵	-۰/۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۶۲	-۰/۰۱	۰/۰۰۷

جدول ۵. میانگین شیب سن شاخص های فرین سرد برای ایستگاههای هر خوشه

شاخص های فرین سرد	فراوانی یخبندان	روزهای یخی	روزهای سرد	شب های سرد	طول مدت سرما	کمینه دمای حداکثر سالانه	کمینه دمای حداقل سالانه
خوشه (۱)	-۰/۳	-۰/۰۰۷	-۰/۱۱	-۰/۲۱	-۰/۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۷۲
خوشه (۲)	-۰/۳۸	-۰/۱۳	-۰/۱	-۰/۱۹	-۰/۱۶	۰/۰۵۳	۰/۰۶۱
خوشه (۳)	-۰/۲	-۰/۰۴	-۰/۱	-۰/۰۴	-۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۳۷
خوشه (۴)	-۰/۰۹	-۰/۰۶	-۰/۰۷	۰/۰۵	-۰/۰۱۲	۰/۰۳	-۰/۰۰۸

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]



شکل ۳. پراکندگی فضایی ایستگاههای خوشه ۱، ۲، ۳ و ۴ در ایران

نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی تغییرات رخ داده در سری های زمانی شاخص های فرین گرم و سرد سالانه ایران و خوشه بندی ایستگاهها بر اساس تغییرات رخ داده در نیم قرن اخیر انجام شد. نتایج آزمون من کندال و شیب سن، رخداد روندهای افزایشی را در شاخص های فرین گرم طی ۵۰ سال اخیر نشان می دهد. مطالعه ما نشان داد که روند افزایشی تعداد شب های گرم نسبت به روزهای گرم قوی تر بوده است. همچنین، روند افزایشی دماهای کمینه تقریبا دو برابر دماهای بیشینه بوده است. بر اساس یافته های این پژوهش، شاخص های فرین سرد بر خلاف شاخص های فرین گرم بیشتر روند کاهشی را نشان می دهد. مقایسه شیب سن شاخص های فرین گرم و سرد نشان داد که روندهای کاهشی شاخص های فرین سرد در مقایسه با روندهای افزایشی شاخص های فرین گرم ضعیف تر بوده است. از لحاظ توزیع فضایی نیز تغییرات معنادار در شاخص های فرین گرم گستره فضایی بیشتری از شاخص های فرین سرد در ایران دارد. پس از انجام فرایند خوشه بندی، گستره ایران از لحاظ روند تغییرات سالانه شاخص های فرین گرم و سرد به چهار خوشه تفکیک شد. خوشه ۱ شامل ۱۵ ایستگاه است. ایستگاههای خوشه ی۱ شدیدترین روندهای افزایشی را در طول نیم قرن اخیر تجربه کرده اند. میانگین ارتفاع این ۱۵ ایستگاه، ۵۳۵ متر است. توزیع فضایی ایستگاههای خوشه ۱ نشان داد که تمامی ایستگاههای این گروه در نواحی پست و کم ارتفاع ایران پراکنده شده اند. درمجموع ۳۸ درصد از ایستگاههای ایران روند گرمایشی بسیار شدید را تجربه کرده اند. خوشه ۲ شامل ۱۳ ایستگاه است که در مقایسه با ایستگاههای خوشه ۱ روند گرمایشی متوسطی را تجربه کرده اند و ۳۳ درصد از کل ایستگاههای مطالعه شده را تشکیل می دهند. از نظر توزیع فضایی، ایستگاههای خوشه ۲ بیشتر در نواحی شمال غرب و غرب ایران استقرار یافته اند. خوشه ۳ شامل ۷ ایستگاه است که ۱۸ درصد از کل ایستگاهها را شامل می شوند. ایستگاههای خوشه ۳ روندهای گرمایشی ضعیفی داشته اند. ایستگاههای خوشه ۳، از نظر جغرافیایی تمرکز خاصی را به نمایش نمی گذارند و در همه بخش های ایران پراکنده هستند. در مجموع ایستگاههای خوشه ۳ در مقایسه با ایستگاههای خوشه ۱ و ۲ روندهای افزایشی ضعیف تری در

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

شاخص های فرین گرم و روندهای کاهشی ضعیف تری در شاخص های فرین سرد دارند. کمترین تعداد ایستگاهها در خوشه ۴ (۵ ایستگاه) قرار گرفته اند که فقط ۱۱ درصد از کل ایستگاهها را شامل می شوند. ایستگاههای خوشه ۴ بر خلاف سه خوشه دیگر، روندهای آشکاری را نشان نمی دهند. ضریب همبستگی بین ارتفاع ایستگاهها و میانگین شیب روند شاخص های مطالعه شده نشان داد که بین عامل ارتفاع و شیب روند شاخص های فرین گرم ارتباط معکوس وجود دارد. مقدار ضریب همبستگی محاسبه شده ۰/۶۲- است که در سطح اطمینان ۰/۰۱ معنادار است. این مقدار نشان می دهد که هر چه ارتفاع کاهش یابد، شیب روند شاخص های فرین گرم افزایش می یابد. بنابراین ایستگاههایی که در مناطق جلگه ای و پست و نواحی کم ارتفاع داخلی قرار گرفته اند نسبت به نواحی مرتفع و کوهستانی، تغییرات افزایشی شدیدتری را تجربه کرده و با سرعت بیشتری درحال گرم شدن هستند.

منابع

احمدی، فرشاد و فریدون رادمنش. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات متوسط دمای ماهانه و سالانه در نیمه شمالی کشور در نیم قرن اخیر. *نشریه آب و خاک* (علوم و صنایع کشاورزی)، **۲۸**: ۸۶۵-۸۵۵.

امیدوار، کمال؛ رضا ابراهیمی، محمد کیخسروی کیانی و قاسم لکزاشکور. ۱۳۹۵. اثر گرمایش جهانی بر تغییرات دمای ایران تحت مدل دینامیکی EH۵OM. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۴۳**: ۱۹۵-۲۱۶.

بارانی، نادر و آیت اله کرمی. ۱۳۹۸. تحلیل روند سالانه پارامترهای اقلیمی دما و بارش در نواحی ده گانه زراعی-اکولوژیکی ایران. *فصلنامه علوم محیطی*، **۴**: ۷۵-۹۰.

بازگیر، سعید؛ فائزه عباسی، ابراهیم اسعدی اسکویی، مسعود حقیقت و پرویز رضازاده. ۱۳۹۸. تحلیل همگنی داده های دما و بارش در ایران با رویکرد اقلیمی. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۱**: ۵۱-۷۰.

جهانبخش، سعید و سیما ترابی. ۱۳۸۳. بررسی و پیش بینی تغییرات دما و بارش در ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۷۴**: ۱۰۴-۱۲۵.

حلبیان، امیرحسین؛ جواد پورشهبازی و محمود سلطانیان. ۱۳۹۶. ارزیابی تغییر دمای بیشینه و کمینه فصلی ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، **۲۳**: ۱-۱۰.

رحیم زاده، فاطمه و احمد عسکری. ۱۳۸۳. نگرشی بر تفاوت نرخ افزایش دمای حداقل و حداکثر و کاهش دامنه شبانه روزی دما در کشور. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۷۳**: ۱۵۵-۱۷۱.

رحیم زاده، فاطمه و مجتبی نساجی زواره. ۱۳۹۳. روند و تغییرپذیری دما در ایران در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۰ پس از تعدیل ناهمگنی های غیراقلیمی موجود در داده ها. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۱۱۵**: ۱۹۶-۱۸۱.

رفعتی، سمیه و مصطفی کریمی. ۱۳۹۷. بررسی همگنی داده های اقلیمی و روند تغییر دما. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۴(۱): ۱۹۹-۲۱۴.

شیرغلامی، هادی و بیژن قهرمان. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، **۱**: ۹-۲۳.

عزیزی، قاسم و محمود روشنی. ۱۳۸۷. مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من کندال. *پژوهش های جغرافیایی*. **۶۴**: ۱۳-۲۸.

علیجانی، بهلول؛ پیمان محمودی، محمد سلیقه و الله بخش ریگی. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات کمینه ها و بیشینه ها سالانه دما در ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۱۰۲**: ۱۰۱-۱۲۲.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

علیجانی، بهلول؛ احمد روشنی، فاطمه پرک و روح الله حیدری. ۱۳۹۱. روند تغییرپذیری فرین های دما با استفاده از شاخص های تغییر اقلیم در ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۲**: ۱۷-۲۸.

قربانی، خلیل. ۱۳۹۳. الگوی فصلی و مکانی تغییر اقلیم دمای هوا در ایران. *نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک*، **۲۱** (۵)، ۲۷۰-۲۵۷.

کریمی، مصطفی؛ فاطمه ستوده و سمیه رفعتی. ۱۳۹۷. تحلیل روند تغییرات و پیش بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۴۸**: ۷۹-۹۳.

کمانگر، محمد؛ زهرا حجازی زاده و علیرضا کربلایی. ۱۳۹۷. واکاوی روند دمایی و تحلیل چرخه های میانگین دمای سالانه غرب ایران. *نشریه هواشناسی و علوم جو*، **۴**: ۲۴۴-۲۵۷.

مسعودیان، سید ابوالفضل. ۱۳۸۳. بررسی روند دمای ایران در نیم سده ی گذشته. جغرافیا و توسعه، **۲**: ۸۹-۱۰۶.

مسعودیان، سید ابوالفضل و محمد دارند. ۱۳۹۱. تحلیل زمانی- مکانی روند روزهای فرین سرد ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۱۰۵**: ۳۷-۵۶.

ورشاویان، وحید؛ علی خلیلی، نوذر قهرمان و سهراب حجام. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*، **۲۷** (۱): ۱۷۹-۱۶۹.

Charad, M.; N. Ghazzali, V. Boiteau and A. Niknafs. ۲۰۱٤. NbClust: An R Package for determining the relevant number of clusters in a Data set. *Journal of statistical software*, ٦١(٦): ١-٣٦.

Field, C. B.; V. R. Barros, K. J. Mach and M. D. Mastrandrea. ۲۰۱٤. Technical summary. In Climate hange ۲۰۱٤: *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. ٣٥–٩٤). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Ghasemi, A.R. ۲۰۱٥. Changes and trends in maximum, minimum and mean temperature series in Iran. *Atmospheric science Letters*, ١٦: ٣٦٦-٣٧٢.

Ghimire, B.; C.A. Williams, J. Masek, F. Gao, Z. Wang, C. Schaaf, and T. He. ۲۰۱٤. Global albedo change and radiative cooling from anthropogenic land cover change, ١٧٠٠ to ٢٠٠٥ based on MODIS, land use harmonization, radiative kernels, and reanalysis. *Geophys. Res*. Lett. ٤١: ٩٠٨٧–٩٠٩٦.

Hansen, J.; M. Sato, R. Ruedy, K. Lo, and D.W. Lea. ۲۰۰٦. Global temperature change. *Proc. Natl. Acad. Sci*. USA, ١٠٣: ١٤٢٨٨–١٤٢٩٣.

Kumar, S.; V. Merwade, J. Kam, and K. Thurner. ۲۰۰۹. Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, ٣٧٤:١٧١-١٨٣.

Lawson, B.D. ۲۰۰۳. Trends in winter extreme minimum temperature on the Canadian prairies. *Atmosphere-Ocean*, ٤١ (٣): ٢٣٣–٢٣٩.

Pallé, E.; P. R. Goode, P. Montanes-Rodriguez, and S. E. Koonin. ۲۰۰٤. Changes in Earth's reflectance over the past two decades. *Science*, ٣٠٤: ١٢٩٩–١٣٠١.

Panda, A.; and N. Sahu. ۲۰۱۹. Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir and Koraput districts of Odisha, India. *Atmos Sci Lett*. ٢٠:e٩٣٢. ١-١٠. https://doi.org/١٠,١٠٠٢/asl.٩٣٢.

Lu, C.H.; Y. Sun, X.B. Zhang. ۲۰۱۸. Multimodel detection and attribution of changes in warm and cold spell durations. Environ. Res. Lett. ١٣: ٠٧٤٠١٣.

Pisor, A. C. and J. H. Jones. ۲۰۲۱. Human adaptation to climate change: An introduction to the special issue. *Am J Hum Biol*. ٣٣:e٢٣٥٣٠: ١-١١.

Rosenzweig, C.; D. Karoly, M. Vicarelli, P. Neofotis, Q. Wu, G. Casassa, and A. Imeson. ۲۰۰۸. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, ٤٥٣(٧١٩٣): ٣٥٣–٣٥٧.

Serrano, A.; V.L. Mateos, and J.A. Garcia .١٩٩٩. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period ١٩٢١-١٩٩٥. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: *Hydrology, Oceans and Atmosphere*. ٢٤(١-٢): ٨٥-٩٠.

Sonali, P.; and D. Nagesh Kumar. ۲۰۱۳. Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. Journal of Hydrology, ٤٧٦: ٢١٢-٢٢٧.

Valipour, M, Bateni, S. M. & Jun, C. (۲۰۲۱). Global Surface Temperature: *A New Insight. Climate*, ۹ (٥), ٨١. https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/cli٩٠٥٠٠٨١

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

Vautard, R.; J. Cattiaux, P. Yiou, J.N. Thépaut, and P. Ciais. ۲۰۱۰. Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness. *Nat. Geosci*. **۳**: ۷۵۶–۷۶۱.
Vinod, T. ۲۰۱۷. *Climate change and natural disasters*: Transforming economies and policies for a sustainable future. Routledge, London. ISBN ۹۷۸-۱-۱۳۸-۵۶۷۳۵-۱,
http://dx.doi.org/۱۰,۴۳۲۴/۹۷۸۱۳۱۵۰۸۱۰۴۵
Walter, G.R.; E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesean, T. J. Beebee, J. M. Formentin, O. Hoegh-Guldberg, and F. Bairlein. ۲۰۰۲. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, **۴۱۶**: ۳۸۹-۳۹۵.
Wang, X.; J. Li, C. Sun, and T. Liu. ۲۰۱۷. NAO and its relationship with the Northern Hemisphere mean surface temperature in CMIP۵ simulations. *J. Geophys. Res. Atmos*. **۱۲۲**: ۴۲۰۲–۴۲۲۷.
Wang, X.; L. ۲۰۰۸. Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *J. Appl.Meteor. Climatol*., ۴۷: ۲۴۲۳-۲۴۴۴.
Wang, X. L.; Q. H. Wen, and Y. Wu. ۲۰۰۷. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *J. Appl. Meteor. Climatol*., ۴۶ (۶): ۹۱۶-۹۳۱.
Wang, X. L. ۲۰۰۳. Comments on Detection of Undocumented Changepoints: A Revision of the Two-Phase Regression Model. *J. Climate*, ۱۶, ۳۳۸۳-۳۳۸۵.
Yan, Z.; P.D. Jones, T.D. Davies, A. Moberg, H. Bergstrom, D. Camuffo, C. Cocheo, M. Maugeri, G.R. Demaree, T. Verhoeve, E. Thoen, M. Barriendos, R. Rodriguez, J. Martin-Vide, and C. Yang. ۲۰۰۲. Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations. *Climatic Change*, **۵۳**: ۳۵۵–۳۹۲.
Yin, H.; and Y. Sun. ۲۰۱۸. Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in ۲۰۱۷ based on ETCCDI indices. Advances in Climate Change Research ۹: ۲۱۸e۲۲۶.
Zhang, Q.; C.Y. Xu, Z. Zhnag, G. Ren, and Y.D. Chen. ۲۰۰۸. Climate change or variability? The case of Yellow river as indicated by extreme maximum and minimum air temperature during ۱۹۶۰–۲۰۰۴. *Theor. Appl. Climatol*, **۹۳**: ۳۵–۴۳.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.4.55]