



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۱

۱۳۷-۱۵۴

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی-زمانی طبقه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس روش دومارتن و آزمون من-کندال در دوره آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸

امین فتحی تپهرشت، حسین شفیع‌زاده مقدم* و مهدی کوچک‌زاده

گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶

فتیحی تپهرشت، ا. ح. شفیع‌زاده مقدم و م. کوچک‌زاده. ۱۴۰۱. تحلیل فضایی - زمانی طبقه بندی اقلیمی ایران بر اساس روش دومارتن و آزمون من-کندال در دوره آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۳): ۱۳۷-۱۵۴.

سابقه و هدف: آب و هوای یک منطقه در یک دوره بلندمدت را اقلیم گویند. شناسایی و طبقه‌بندی اقلیمی از دیرباز مورد توجه متخصصان آب و هواشناسی بوده است. محققان با به کارگیری روش‌های مختلف و با استفاده از متغیرهای اقلیمی همچون بارش و دما، زمین را به مناطق اقلیمی همگن طبقه‌بندی کرده‌اند و نتایج پهنه‌بندی اقلیمی را در ارزیابی کمبود آب و منابع آب در مقیاس‌های کوچک و بزرگ به منظور پیش‌بینی اقدامات عملی برای کنترل خشکی در مناطق آسیب‌پذیر به‌کار برده‌اند. هدف از این تحقیق به‌روزرسانی و تحلیل فضایی-زمانی طبقه بندی اقلیمی ایران بر اساس شاخص دومارتن و استفاده از آزمون من-کندال است.

مواد و روش‌ها: برای انجام این مطالعه، داده‌های مربوط به متغیرهای دما و بارش به‌صورت ماهیانه از ۱۵۳ ایستگاه سینوپتیک در دوره زمانی ۱۳۷۴-۱۳۹۸ از سازمان هواشناسی کشور استخراج گردید. ابتدا داده‌های میانگین دمای سالیانه و مجموع بارش سالیانه از داده‌های ماهیانه تهیه شد و سپس با استفاده از مدل کریجینگ نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش به دست آمد. نقشه نهایی پهنه‌بندی اقلیمی با استفاده از شاخص دومارتن که پایه آن بر اساس بارش و دما است تهیه گردید. همچنین برای بررسی معنی‌داری یا عدم معنی‌داری شاخص اقلیمی دومارتن و تعیین روند، از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده شده است.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که بر اساس مدل کریجینگ، میزان R^2 و RMSE برای داده‌های بارش به ترتیب برابر با ۰/۵۸ و ۱۶۷/۵۱ میلی‌متر و برای داده‌های دما ۰/۸۳ و ۲/۲۳ درجه سلسیوس به‌دست آمد که بیانگر عملکرد بهتر مدل برای داده‌های دما می‌باشد. علت این امر با واریانس بالای داده‌های بارش در کشور مرتبط است. پهنه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس شاخص دومارتن نشان داد که شش تیپ اصلی اقلیمی این شاخص در ایران وجود دارد. بیش‌تر مساحت ایران را اقلیم خشک و پس از آن اقلیم نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد. بررسی نتایج حاصل از تحقیق نشان داد اقلیم خشک ۷۶/۴۰٪، اقلیم نیمه‌خشک ۱۹/۶۵٪ و سایر اقلیم‌ها کمتر از ۴٪ مساحت ایران را تشکیل می‌دهند. همچنین مساحت اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک با مساحتی بالغ بر ۹۶/۰۵٪ از سطح ایران، نسبت به تحقیقات گذشته افزایش یافته است که می‌تواند به دلیل کاهش بارش و افزایش دما باشد. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که ایستگاه‌های خرمدره، میانه، رامسر، بروجرد،

*Corresponding Author: *Email Address.* H.shafizadeh@modares.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.1105>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.3.8.1>

پیرانشهر، تبریز و بیجار دارای روند صعودی (روند مرطوب‌تر شدن) و ایستگاه‌های دزفول، ملایر، سبزواری، بندر انزلی، تهران (مهرآباد)، تهران (شمیران)، قزوین و دوشان تپه دارای روند نزولی (روند خشک‌تر شدن) معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، ایران دارای شش ناحیه اقلیمی شامل؛ اقلیم خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب است. همچنین مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقاتی که سایر محققین در گذشته انجام داده‌اند نشان داد که مساحت اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک در دوره مورد مطالعه نسبت به دوره‌های گذشته افزایش داشته است. همچنین ۱۴٪ از ایستگاه‌های باروند نزولی (۸ ایستگاه) دارای روند نزولی معنی‌دار و ۷٪ از ایستگاه‌های باروند صعودی (۷ ایستگاه) دارای روند صعودی معنی‌دار در سطح ۹۵٪ هستند.

واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی اقلیمی، دومارتن، من-کندال، بارش، دما.

مقدمه

شاخص تجربی برای طبقه‌بندی اقلیمی ارائه شد که اساس آن بر دو مولفه بارش و دما استوار بوده و زمین را به شش کلاس اقلیمی خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب تقسیم‌بندی می‌نماید (de Martonne, 1926). می‌توان گفت که روش دومارتن و کوپن به دلیل دقت بالا، استفاده از داده‌های بارش و دما که دارای تاریخچه آماری بیشتری نسبت به سایر مشخصه‌های هواشناسی هستند و در همه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک قابل اندازه‌گیری می‌باشند، محبوبیت بیشتری بین محققان دارند و برای انجام مطالعات اقلیمی در پژوهش‌های زیادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. (Coscarelli et al., 2004; Baltas, 2007; Fillaux et al., 2007; Belda et al., 2014; Beck et al., 2018; Zeroual et al., 2019).

تحقیقات گسترده‌ای در مورد طبقه‌بندی اقلیمی با استفاده از روش‌های ذکر شده در ایران انجام شده است. نتایج پژوهشی که به پهنه‌بندی اقلیمی استان کردستان در یک دوره ۳۰ ساله با استفاده از روش دومارتن پرداخته است و از روش وزن‌دهی معکوس فاصله برای درون‌یابی و تهیه نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش استفاده کرده‌اند، نشان داد که اقلیم‌های نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای مساحت بیشتری را در استان پوشش می‌دهند و اقلیم‌های مرطوب و نیمه‌مرطوب دارای مساحت کمتر و بیشتر در قسمت‌های غربی

وضعیت غالب آب و هوای یک منطقه در یک دوره بلندمدت که تابعی از پارامترهای هواشناسی می‌باشد را اقلیم آن منطقه می‌نامند و اقلیم‌شناسی علم شناخت و مطالعه آب و هوا است (Kaviani and Alijani, 2002). طبقه‌بندی اقلیمی یعنی شناسایی پهنه‌هایی که از شرایط آب و هوای تقریباً یکسانی برخوردارند. تنوع آب و هوایی، ایران را به سرزمینی با اقلیم‌های گوناگون تبدیل کرده است (Masoodian, 2003). طبقه‌بندی اقلیمی همیشه مورد توجه کارشناسان آب و هواشناسی بوده است. آن‌ها با به کارگیری روش‌های مختلف و با استفاده از متغیرهای اقلیمی همچون بارش و دما، زمین را به مناطق اقلیمی همگن طبقه‌بندی می‌کردند (Raziei, 2017). با پهنه‌بندی اقلیمی می‌توان از ظرفیت‌های بالقوه محیطی، کشاورزی، اقتصادی و صنعتی به درستی استفاده کرد (Tavosi and Delara, 2010). درحالی‌که برای آشکارسازی تغییرات اقلیمی، وجود یک نقشه طبقه‌بندی ضروری است، انتخاب یک سیستم طبقه‌بندی از چالش‌های بزرگ در مطالعات تغییر اقلیم محسوب می‌شود (Matkan et al., 2019). در سال ۱۹۹۰ روش طبقه‌بندی جدیدی ارائه شد که کره زمین را بر اساس دما، بارش و تغییرات فصلی به پنج منطقه اصلی اقلیمی شامل اقلیم بارانی استوایی، خشک، معتدل بارانی، جنگلی برفی و قطبی تقسیم‌بندی کرد (Köppen, 1900). در سال ۱۹۲۶ یک

طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی پرداخته است نشان داد که شش ناحیه آب و هوایی بر اساس شاخص دومارتن توسعه یافته در این استان وجود دارد (Zandi, 2017). در تحقیقی از داده‌های بارش و دمای ماهانه ۱۵۵ ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره مطالعاتی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ برای طبقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر استفاده شده است و درون‌یابی بارش و دما بین ایستگاه‌های مطالعاتی از روش کریجینگ انجام شد و نتیجه طبقه‌بندی نشان داد که ایران دارای نه گروه اقلیمی است (Raziei, 2017).

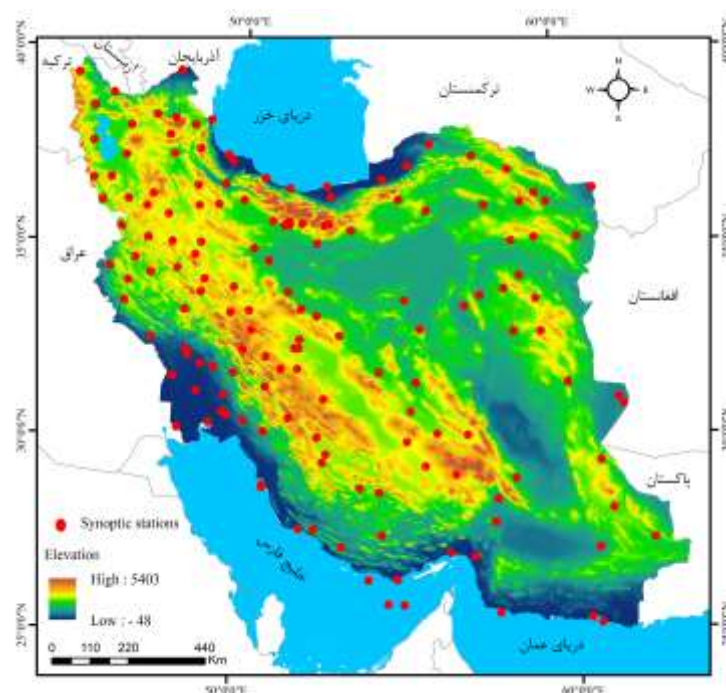
با مروری بر مطالعات انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت که طبقه‌بندی‌های اقلیمی انجام شده دارای دوره آماری نسبتاً قدیمی هستند و همچنین فقط Rahimi *et al.* (2013) و Tabari *et al.* (2014) طبقه‌بندی اقلیمی را در سطح کشور ایران انجام داده‌اند و بقیه مطالعات بیشتر در سطح حوزه یا بخشی از ایران بوده است. لذا هدف این تحقیق تهیه یک نقشه طبقه‌بندی اقلیمی به‌روز، بر اساس جدیدترین آمار و داده‌های هواشناسی برای کشور ایران است.

مواد و روش‌ها

کشور ایران در جنوب‌غربی آسیا و در محدوده 25° و 5° دقیقه الی 39° و 78° عرض شمالی و 44° و 10° الی 63° و 11° طول شرقی واقع شده است و دارای وسعت 1648195 کیلومتر مربع می‌باشد. همسایگان ایران ارمنستان و آذربایجان در شمال غربی، ترکمنستان در شمال شرقی، عراق و ترکیه در غرب، افغانستان و پاکستان در شرق می‌باشند. میانگین بارش و دمای سالانه ایران به ترتیب برابر 250 میلی‌متر و $18/26$ درجه سلسیوس است (Zareiee, 2014).

استان مشاهده شدند. (Hanafi and Hatami (2013) طی تحقیقی از داده‌های مجموع بارش ماهیانه، میانگین، حداکثر و حداقل دمای ماهیانه ۱۸۱ ایستگاه سینوپتیک ایران در طول دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۷۰) برای طبقه‌بندی اقلیم ایران با استفاده از روش دومارتن توسعه یافته توسط (Khalili (1992) استفاده کردند. همچنین از مدل کریجینگ معمولی و سمی-وایوگرام کروی برای درون‌یابی داده‌ها بهره بردند. نتایج نشان داد که ایران دارای هشت منطقه اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه-مرطوب، مرطوب، بسیار مرطوب نوع (الف) و بسیار مرطوب نوع (ب) است (Rahimi *et al.*, 2013). در پژوهشی دیگر Tabari *et al.* (2014) به طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از روش‌های دومارتن و پینا پرداختند. آنها از ۴۱ ایستگاه سینوپتیک در دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۶۶) برای طبقه‌بندی استفاده کردند و از روش کریجینگ معمولی برای درون‌یابی داده‌های بارش و دما بهره گرفتند. نتایج نشان داد که بر اساس روش دومارتن ۸۸٪ مساحت ایران را اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد، درحالی‌که بر اساس روش پینا ۹۶٪ مساحت ایران را اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد.

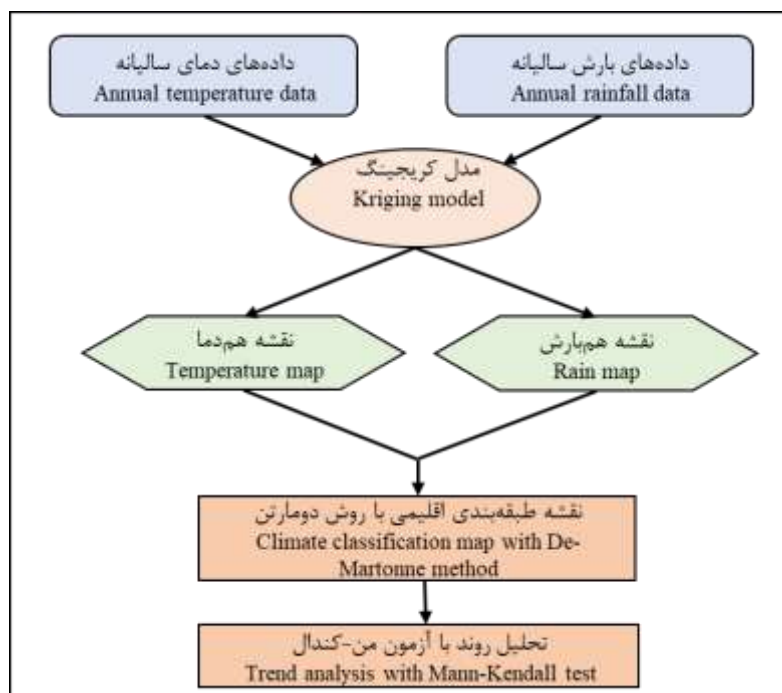
طبقه‌بندی اقلیمی شهرستان رفسنجان با استفاده از روش دومارتن و آمبرژه نشان داد که شهرستان رفسنجان بر اساس شاخص دومارتن دارای اقلیم خشک و بر اساس شاخص آمبرژه دارای اقلیم سرد است (Dehghan *et al.*, 2016). نتایج تحقیقی که با استفاده از روش دومارتن توسعه یافته که ورودی آن هشت پارامتر مهم اقلیمی (شامل میانگین دما، حداکثر دما، حداقل دما، رطوبت اتمسفری، سرعت باد، یخبندان، بارش، تعداد ساعات آفتابی) است به



شکل ۱- نقشه‌ی پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک در منطقه مورد مطالعه
 Fig. 1- Spatial distribution of synoptic stations in the study area

استفاده از مدل کریجینگ، نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش تهیه شد و در مرحله آخر از روش دومارتن برای طبقه‌بندی اقلیمی استفاده شد. شکل ۲ فلوجارت مراحل تهیه نقشه طبقه‌بندی اقلیمی با روش دومارتن را نشان می‌دهد.

در این تحقیق برای انجام طبقه‌بندی اقلیمی به روش دومارتن، داده‌های بارش و دما از نظر کامل بودن مورد بررسی قرار گرفته و مجموع داده‌های بارش و میانگین دمای سالیانه برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. سپس با



شکل ۲- روند نمای تحلیل فضایی-زمانی طبقه بندی اقلیمی ایران بر اساس روش دومارتن
 Fig. 2- Spatio-temporal analysis of climatic classification using the De-Martonne

داده‌ها

آماري بهينه براي تعيين اقليم يك منطقه معرفي کردند بيشتر است. بايد اين مسئله را نيز در نظر گرفت که با افزايش دوره آماري، تعداد ايستگاه‌هايي که در اين دوره داراي آمار مشترک هستند کاهش مي‌يابد. جدول ۱ ويژگي‌هاي آماري بارش و دما را طی سال‌هاي ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸ در ايستگاه‌هاي سينوپتيک مورد مطالعه را نشان مي‌دهد. مقدار ميانگين دماي ساليانه در ايستگاه‌هاي مورد مطالعه بين ۵/۵۵ تا ۲۸/۵۴ درجه سلسيوس متغير است. داده‌هاي ميانگين بارش ساليانه داراي پراکندگي بيشترتي نسبت به داده‌هاي دما هستند، به طوري که ميانگين بارش ساليانه در ايستگاه-هاي مورد مطالعه بين ۳۴/۰۷ تا ۱۷۲۵/۳۱ ميلي‌متر متغير است و ميانگين بارش ساليانه نيز برابر ۲۶۹/۰۰ ميلي‌متر است.

در اين پژوهش از داده‌هاي بارش و دماي ماهانه ۱۵۳ ايستگاه سينوپتيک ايران که از سايت سازمان هواشناسي کشور براي دوره آماري ۲۵ ساله (۱۳۹۸-۱۳۷۴) دريافت شده است استفاده گرديد. اگرچه بسياري از ايستگاه‌ها داراي دوره‌ي آماري بلندمدت‌تري هستند، ولي دوره آماري مورد نظر در اين تحقيق به اين دليل کوتاه‌تر انتخاب شد که تمام ايستگاه‌ها در اين دوره داراي آمار زماني يکسان باشند و يک شبکه منظم از نقاط براي طبقه‌بندي به دست آيد. با وجود اينکه دوره آماري انتخاب شده از دوره آماري ۳۰ ساله پيشنهادي سازمان جهاني هواشناسي براي مشخص کردن اقليم يك منطقه کمتر است، اما از دوره آماري ۱۵ ساله که (Fraedrich *et al.* (2001) به عنوان دوره

جدول ۱- آمار توصيفي داده‌هاي ميانگين بارش و دماي ساليانه

Table 1. Descriptive statistics of average annual precipitation and temperature data

انحراف معيار Std. deviation	واريانس Variance	ميانه Median	ميانگين Mean	حداکثر Max.	حداقل Min.	متغير Variable
5.45	29.70	17.42	18.26	28.54	5.55	دما (سلسيوس) Temperature (°C)
257.00	66049.91	218.31	269.00	1725.31	34.07	بارش (ميلي‌متر) Precipitation (mm)

جمله‌اي محلي، توابع پايه شعاعي و وزن‌دهي معکوس فاصله، روابط همسايگي بين داده‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. درحالي که روش کريجينگ يکي از مهم‌ترين تخمين‌گرهاي خطي ناريب است، زيرا اولاً بدون خطاي سيستماتيک است و ثانياً واريانس تخمين آن حداقل است (Nadi *et al.*, 2013).

از روش کريجينگ معمولي که يک روش تخمين استوار بر منطق ميانگين متحرک وزن‌دار است براي درون‌يابي و تهيه نقشه‌هاي هم‌بارش و هم‌دما استفاده شد. کريجينگ يک روش زمين آمار براي درون‌يابي داده‌ها بر اساس واريانس فضايي است. در اين روش، واريانس فضايي تابعي از فاصله شناخته می‌شود و اين تخمين به صورت زير تعريف می‌شود (Minaei and Minaei, 2017).

درون‌يابي داده‌هاي بارش و دما

براي تهيه نقشه يکپارچه و پيوسته از يک مکان با داده‌هاي گسسته‌اي هم‌چون داده‌هاي نقطه‌اي يا خطي از روش‌هايي استفاده می‌شود که به آن درون‌يابي می‌گویند. در فرايند درون‌يابي با استفاده از مقادير معلوم مقادير مجهول تخمين زده می‌شود. عوامل مهمي مانند تعداد، توزيع مکاني نقاط نمونه‌برداري، پيچيدگي‌هاي محيطي و توپوگرافيکي، و توانايي مدل درون‌يابي نقش موثري در دقت تهيه نقشه پهنه‌بندي دارند. روش‌هاي متعددي براي درون‌يابي يک متغير وجود دارد که روش‌هاي چند جمله‌اي جهاني، چند جمله‌اي محلي، توابع پايه شعاعي، وزن-دهي معکوس فاصله و کريجينگ از جمله روش‌هاي مرسوم است. در روش‌هاي چند جمله‌اي جهاني، چند

این آزمون این است که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی کند و به طور گسترده برای تجزیه و تحلیل روندهای یکنواخت در سری های زمانی هیدرولوژیکی و عناصر اقلیمی استفاده شده است (Minaei and Irannezhad, 2018). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده ها می باشد (Gocic and Trajkovic, 2013). آزمون من-کندال بر اساس آماره S به صورت زیر محاسبه می شود:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (\text{sign}(x_i - x_j)) \quad (3)$$

که در آن x_i و x_j داده های متوالی هستند، n طول سری زمانی است و تابع علامت به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

واریانس آماره S صورت زیر به دست می آید:

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

که در آن n تعداد داده ها، p تعداد مقادیر دنباله ها و t_p تعداد دنباله ها برای p امین مقدار است. قسمت دوم در رابطه بالا یک تعدیل برای دنباله یا داده های حساس است. همچنین آماره استاندارد شده آزمون Z_{MK} را می توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

در صورتی که مقدار Z_{MK} مثبت باشد روند صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می شود. همچنین برای آزمودن روند کاهش یا افزایش یکنواخت در سطح معنی داری P، اگر مقدار Z_{MK} بزرگتر از $Z_{1-p/2}$

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i) \quad (1)$$

در رابطه ۱ $z(s_i)$: مقدار اندازه گیری شده برای نمونه i ام، λ_i : وزن نمونه i ام، n: تعداد مقادیر اندازه گیری شده و $Z(s_0)$: مقدار پیش بینی شده است (Tabari et al., 2014). در این تحقیق، سمی واریوگرام بهینه با استفاده از تابع autofit در محیط برنامه نویسی R برآورد گردید. همچنین به منظور فرآیند درون یابی، از پکیج gstst استفاده گردید.

بعد از تهیه نقشه های میانگین بارش و دما، از روش دومارتن که از رابطه ۲ قابل محاسبه است برای پهنه بندی اقلیمی استفاده شده است. متغیرهای هواشناسی مورد نیاز در روش دومارتن، میانگین بارندگی سالیانه و میانگین دما سالیانه می باشد.

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (2)$$

که در آن I: شاخص خشکی دومارتن، P: میانگین بارش سالیانه (میلی متر) و T: میانگین دما سالیانه (درجه سلسیوس) هستند. شاخص دومارتن بر اساس جدول ۲ تقسیم بندی می شود.

جدول ۲- مقدار شاخص دومارتن در اقلیم های مختلف

Table 2. The value of the De-Martonne index in different climates

شاخص دومارتن De-Martonne index	نوع اقلیم Type of climate
10 تا 0	خشک Arid
20 تا 10	نیمه خشک Semi-arid
24 تا 20	مدیترانه ای Mediterranean
28 تا 24	نیمه مرطوب Semi-humid
35 تا 28	مرطوب Humid
بزرگتر از 35 Greater than 35	بسیار مرطوب Very humid

بررسی روند با استفاده از آزمون من-کندال Kendall و Mann (1945) و (1975) معرفی و توسعه داده شده است. یکی از مزایای

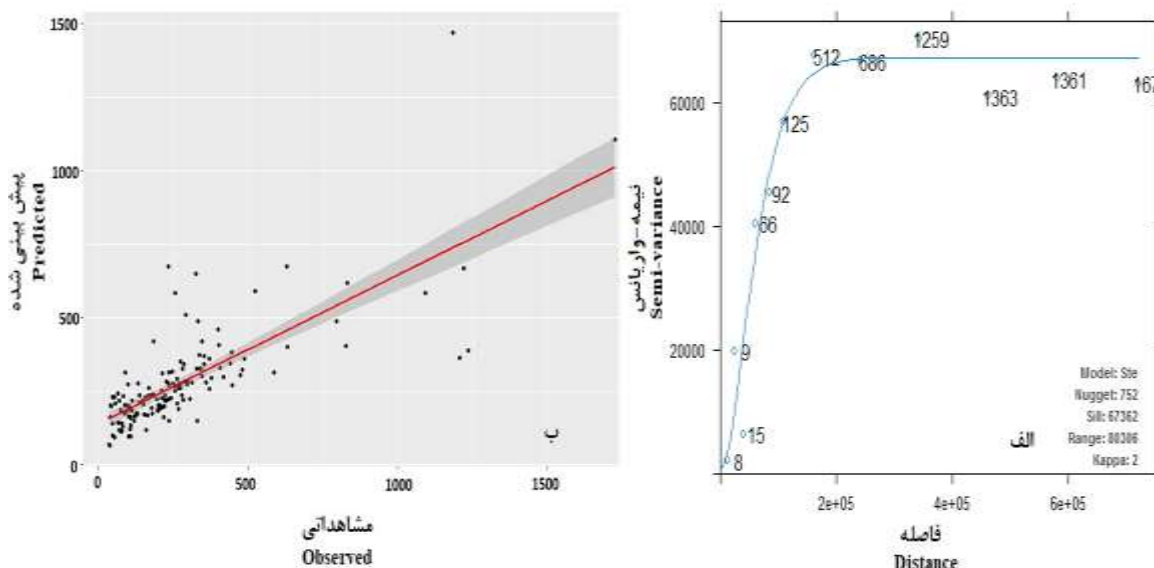
که به دلیل پراکندگی و تغییرات کمتر دما در سطح ایران، نتیجه درون‌یابی بسیار قابل قبول‌تر از بارش است.

جدول ۳- ارزیابی مدل کریجینگ برای داده‌های بارش و دما
Table 3. Evaluation of kriging model for precipitation and temperature data

متغیر Variable	ضریب تعیین R-squared	جذر میانگین مربعات RMSE
بارش Precipitation	0.58	167.51
دما Temperature	0.83	2.23

پهنه‌بندی بارش

رابطه بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده در شکل ۳ نشان داده شده است و تقریباً بیشتر داده‌های بارش در بازه بین ۰ تا ۵۰۰ میلی‌متری قرار دارند. ایستگاه‌های بندر انزلی، آستارا، نوشهر، کوه‌رنگ، رشت و رامسر با میانگین بارش سالیانه ۱۷۲۵، ۱۲۳۵، ۱۲۱۹، ۱۲۰۶ و ۱۱۸۴ میلی‌متر، داده‌های دور از میانگین و میانه را در شکل ۳-ب تشکیل می‌دهند و باعث کاهش دقت نتیجه درون‌یابی شده‌اند.



شکل ۳- الف) واریوگرام تجربی برازش شده بارش سالیانه، ب) رابطه‌ی داده‌های مشاهداتی با داده‌های پیش‌بینی شده بارش
Fig. 3- A) fitted experimental annual precipitation variogram, and B) correlation between observed data and predicted precipitation data

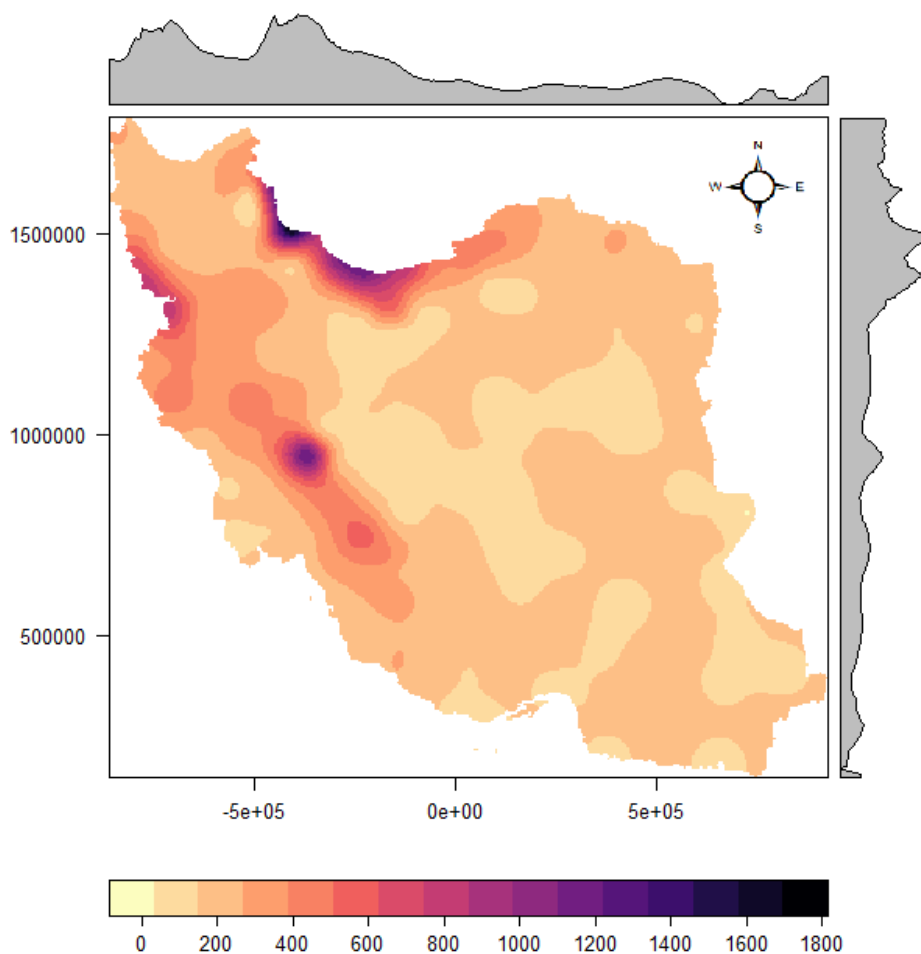
می‌دهد حداکثر بارندگی در شمال کشور، سواحل دریای خزر، رشته کوه‌های البرز و دامنه‌های شمال‌غربی کشور اتفاق می‌افتد.

باشد فرض صفر رد شده و وجود روند اثبات می‌شود. معمولاً این آزمون برای سطح معنی‌دار ۹۵ و ۹۹ درصد به انجام می‌رسد. این تحقیق در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شده و مقدار Z_{MK} معنی‌دار برابر ۱/۹۶ در نظر گرفته شده است (Modarres and Silva 2007; Dawood, 2017).

نتایج و بحث

جدول ۳ ارزیابی مدل کریجینگ با توجه به دو معیار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب تعیین (R-squared) آورده شده است. مقدار پایین R-squared و مقدار نسبتاً بالا RMSE برای داده‌های بارش به دلیل پراکندگی زیاد داده‌های بارش است. به طوری که کمترین مقدار میانگین بارش سالیانه در دوره مورد مطالعه برابر ۳۴ میلی‌متر در ایستگاه زهک و بیشترین مقدار ۱۷۲۵ میلی‌متر در ایستگاه بندر انزلی ثبت شده است. همچنین مقدار R-squared و مقدار RMSE برای داده‌های دما نشان داد

در شکل ۴ نقشه هم‌بارش برای میانگین بارش سالیانه در طول دوره آماری (۱۳۷۴-۱۳۹۸) در پیکسل‌های ۲۵۰ متری در ۲۵۰ متری تهیه شده است. این نقشه نشان

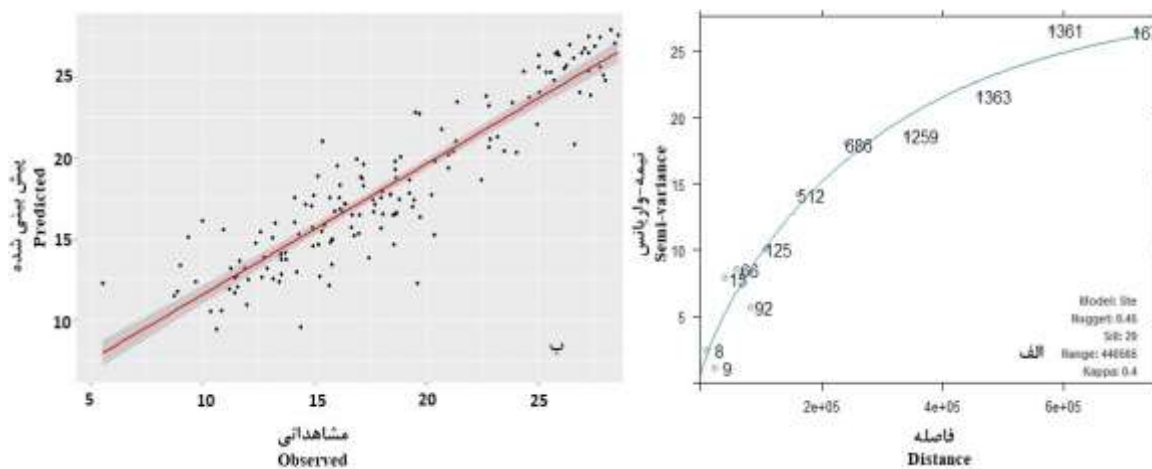


شکل ۴- میانگین بارش سالیانه (mm) در طول دوره آماری (۱۹۹۵-۲۰۱۹)
 Fig. 4- Average annual precipitation (mm) during the statistical period (1995-2019)

داده‌های دما در شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که مدل کریجینگ درون‌یابی را با دقت قابل قبولی انجام داده است.

پهنه‌بندی دما

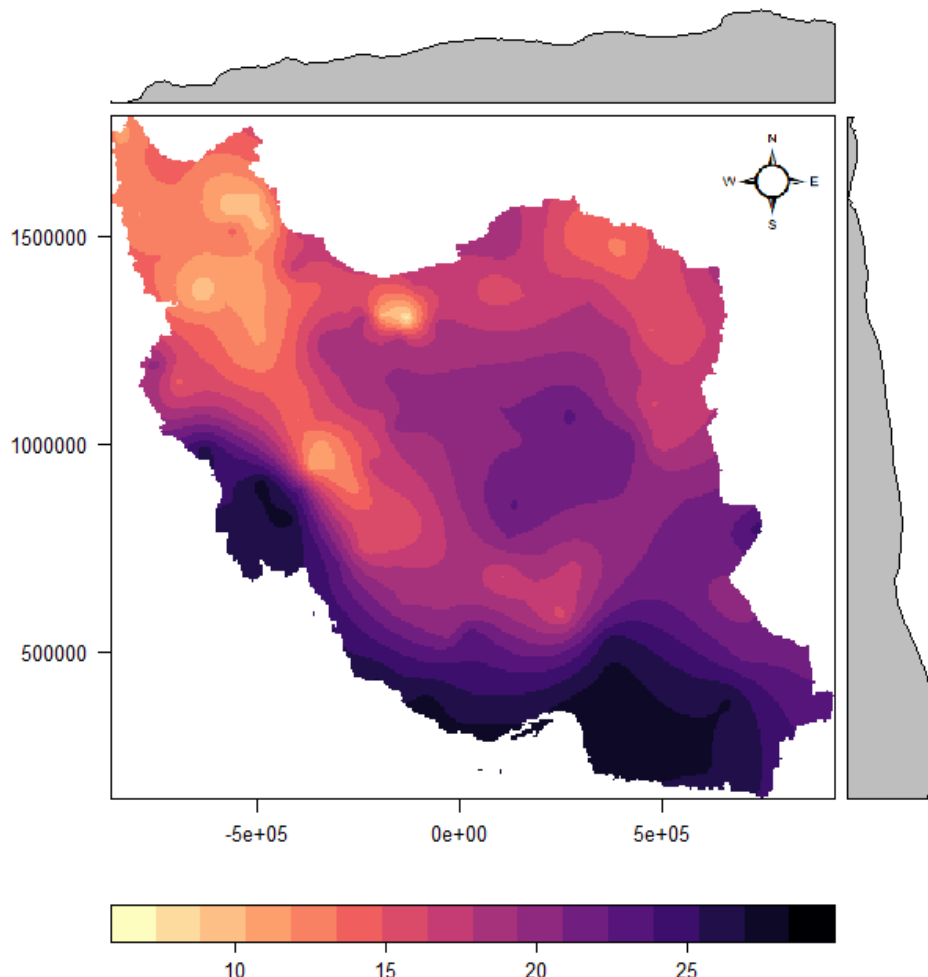
با توجه به واریوگرام تجربی برازش شده همچنین رابطه‌ی داده‌های مشاهداتی با داده‌های پیش‌بینی شده برای



شکل ۵- الف) واریوگرام تجربی برازش شده میانگین دمای سالیانه، ب) رابطه‌ی داده‌های مشاهداتی با داده‌های پیش‌بینی شده
 Fig. 5- A) Experimental variogram fitted to the average annual temperature, and B) correlation of the observed data with predicted data

به طوری که رشته کوه‌های زاگرس، قسمتی از رشته کوه‌های البرز و نواحی شمال غربی کشور دارای کمترین مقدار میانگین دمای سالیانه در طول دوره آماری (۱۹۹۵-۲۰۱۹) هستند.

با توجه به پهنه‌بندی میانگین دمای سالیانه در شکل ۶ می‌توان دریافت که ناحیه‌های جنوبی کشور دارای دمای بالاتر و هر چه به سمت شمال کشور می‌رویم میانگین دما کاهش می‌یابد.

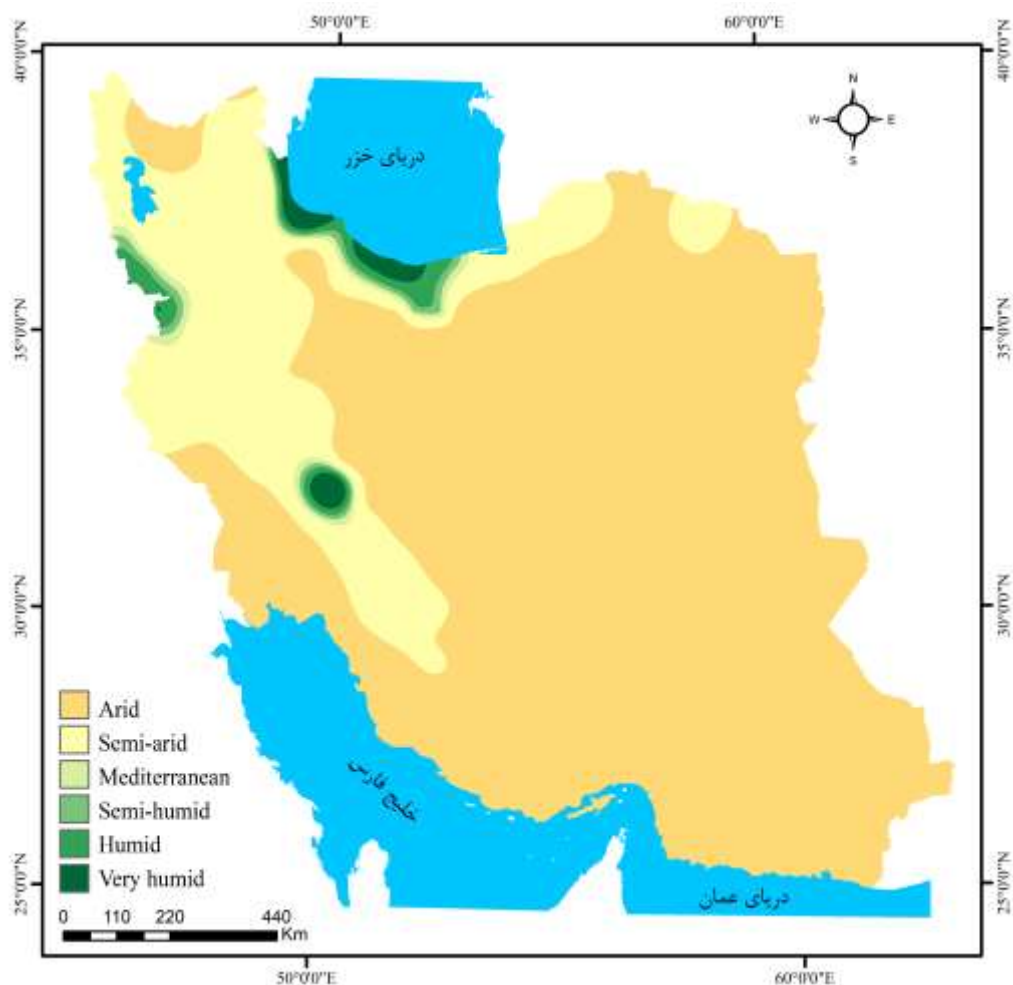


شکل ۶- میانگین دما سالیانه (°C) در طول دوره آماری (۱۹۹۵-۲۰۱۹)
 Fig. 6- Average annual temperature (°C) during the statistical period (1995-2019)

سدی مانع نفوذ هوای مرطوب مدیترانه‌ای به داخل فلات ایران می‌شوند و رطوبت هوا را در دامنه‌های خود نگه می‌دارند. در فلات مرکزی ایران که اقلیم خشک حاکم است، به دلیل کمبود رطوبت و نبود ابر در آسمان دامنه‌ای تغییرات دمای هوا در این مناطق بسیار زیاد است، به همین دلیل شاهد زمستان‌های سرد و سخت و تابستان‌های گرم و خشک هستیم. مساحت سایر اقلیم‌ها به نسبت اقلیم خشک بسیار کمتر بوده و به همین دلیل ایران را عموماً کشوری خشک می‌نامند (Masoodian, 2003).

پهنه‌بندی اقلیمی

پهنه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس شاخص دومارتن در شکل ۷ نشان می‌دهد که شش تیپ اصلی اقلیمی این شاخص در ایران وجود دارد. بیشتر مساحت ایران را اقلیم خشک و پس از آن اقلیم نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد. هر چه از جنوب به سمت شمال کشور حرکت می‌کنیم، از مساحت اقلیم خشک کاسته و به مساحت اقلیم‌های مرطوب اضافه می‌شود. رشته کوه‌های البرز حد فاصل دو آب و هوای متضاد هستند، جلگه‌های پست خزر را از فلات مرکزی جدا می‌کنند و سلسله کوه‌های غربی، همچون



شکل ۷- نقشه طبقه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس شاخص دومارتن برای دوره آماری (۱۹۹۵-۲۰۱۹)

Fig. 7- Climate classification map of Iran based on De-Martonne index for the statistical period (1995-2019)

آمده بود که این تفاوت می‌تواند به دلیل تعداد ایستگاه‌ها و دوره آماری مورد مطالعه باشد. همچنین یافته‌های این پژوهش با نتایج (Rahimi *et al.*, 2013) که نشان دادند ۲۳٪ مساحت ایران را اقلیم خشک و ۷۰٪ مساحت را اقلیم نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد تقریباً همانند است و این تفاوت جزئی می‌تواند به دلیل تفاوت در دوره مورد آماری مطالعه و نوع روش دومارتن (معمولی یا توسعه-یافته) باشد.

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که اقلیم خشک ۷۶/۴٪ مساحت ایران را تشکیل می‌دهد و بعد از آن اقلیم نیمه‌خشک با ۱۹/۶۵٪ در جایگاه دوم قرار دارد. اقلیم‌های مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب کمتر از ۴٪ مساحت ایران را تشکیل می‌دهند. نقشه طبقه‌بندی اقلیمی به دست آمده با نتایج (Tabari *et al.*, 2014) مطابقت دارد، ولی درصد پوشش اقلیم‌های خشک و نیمه-خشک در مطالعه آنها، با روش دومارتن ۸۸٪ به دست

جدول ۴- مساحت و درصد کلاس‌های اقلیمی در ایران
Table 4. Area and percentage of climatic classes in Iran

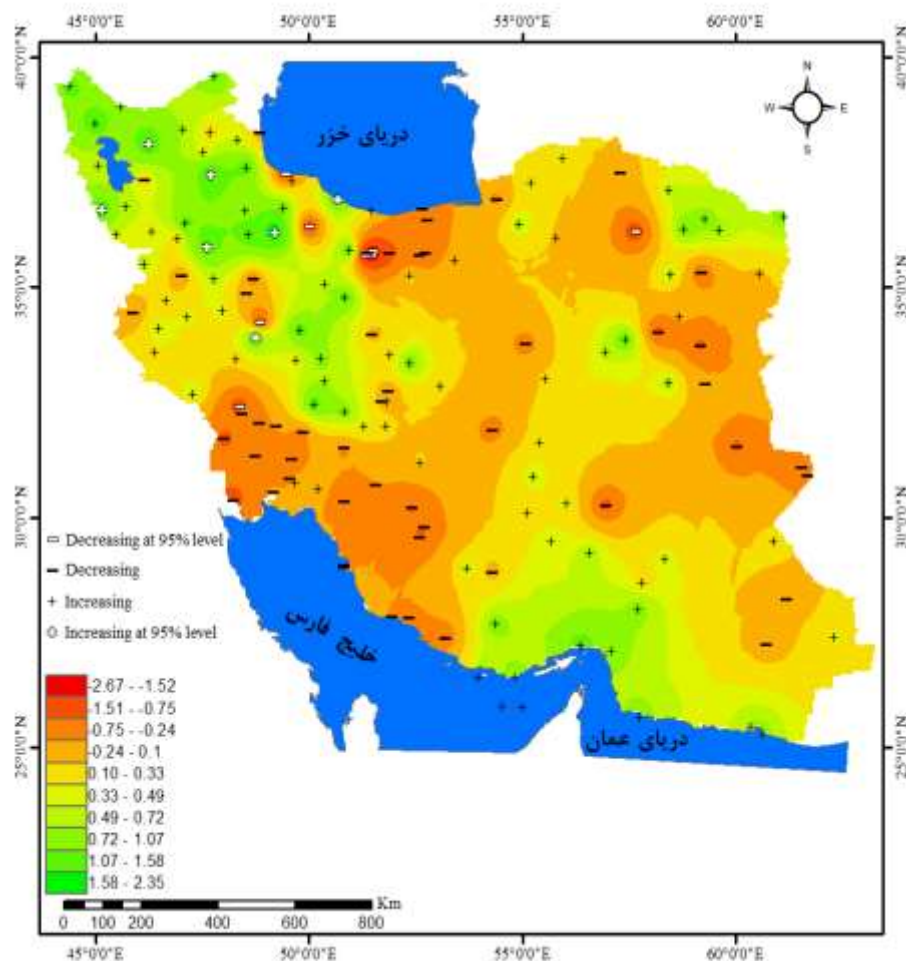
درصد Percentage	مساحت (km ²) Area (km ²)	اقلیم Climate
76.40	1247663.94	خشک Arid
19.65	320962.19	نیمه‌خشک Semi-arid

ادامه جدول ۴- مساحت و درصد کلاس‌های اقلیمی در ایران
Table 4. Cont. Area and percentage of climatic classes in Iran

درصد Percentage	مساحت (km ²) Area (km ²)	اقلیم Climate
1.07	17542.69	مدیترانه‌ای Mediterranean
0.77	12602.63	نیمه مرطوب Semi-humid
1.19	19426.25	مرطوب Humid
0.91	14908.38	بسیار مرطوب Very humid

ایستگاه‌های با روند نزولی (۸ ایستگاه) داری روند نزولی معنی‌دار و ۷٪ از ایستگاه‌های با روند صعودی (۷ ایستگاه) دارای روند صعودی معنی‌دار در سطح ۹۵٪ هستند. روند نزولی بیشتر در قسمت‌های شرقی، مرکز و جنوب‌غربی کشور اتفاق افتاده است و همچنین روند صعودی بیشتر در قسمت‌های شمال‌غربی و جنوب کشور دیده می‌شود.

پس از محاسبه شاخص اقلیمی دومارتن برای ۱۵۳ ایستگاه مورد مطالعه در طول دوره ۲۵ ساله (۱۳۷۴-۱۳۹۸)، آزمون من-کندال برای همه ایستگاه‌ها در این دوره محاسبه شد. نتایج آزمون من-کندال در شکل ۸ نشان می‌دهد که ۵۷ ایستگاه در سطح کشور دارای روند نزولی و ۹۶ ایستگاه دارای روند صعودی در شاخص دومارتن هستند. ۱۴٪ از



شکل ۸- آماره Z آزمون من-کندال برای داده‌های اقلیمی دومارتن
Fig. 8- Z-statistics Mann-Kendall test for De-Martonne climatic data

۵٪ هستند. وجود روند افزایشی شاخص دومارتن می‌تواند به دلیل کاهش دما و افزایش بارش در طول دوره مورد مطالعه باشد و همچنین روند نزولی این شاخص نتیجه افزایش دما و کاهش بارش در دوره مورد مطالعه است.

ایستگاه‌های خرمدره، میانه، رامسر، بروجرد، پیرانشهر، تبریز و بیجار دارای روند افزایشی شاخص دومارتن در سطح ۵٪ هستند. و همچنین ایستگاه‌های دزفول، ملایر، سبزواری، بندر انزلی، تهران (مهرآباد)، تهران (شمیران)، قزوین و دوشان تپه دارای روند نزولی معنی‌دار در سطح

جدول ۵- ایستگاه‌های دارای روند معنی‌داری در سطح ۵٪
Table 5. Stations with a significant (at 5% level) trend

روند Trend	آماره Z من-کندال Z-statistics Mann-Kendall	اقلیم Climate	نام ایستگاه Station name
صعودی Increasing	2.97*	نیمه‌خشک Semi-arid	خرمدره Khorramdareh
صعودی Increasing	2.1*	خشک Arid	میانه Mianeh
صعودی Increasing	2.08*	خیلی مرطوب Very humid	رامسر Ramsar
صعودی Increasing	2.08*	نیمه‌خشک Semi-arid	بروجرد Borujerd
صعودی Increasing	2.08*	مرطوب Humid	پیرانشهر Piranshahr
صعودی Increasing	2.08*	خشک Arid	تبریز Tabriz
صعودی Increasing	1.99*	نیمه‌خشک Semi-arid	بیجار Bijar
نزولی Decreasing	-2.27*	خشک Arid	دزفول Dezful
نزولی Decreasing	-2.31*	نیمه‌خشک Semi-arid	ملایر Malayer
نزولی Decreasing	-2.31*	خشک Arid	سبزواری Sabzevar
نزولی Decreasing	-2.36*	خیلی مرطوب Very humid	بندر انزلی Bandar-E-Anzali
نزولی Decreasing	-2.36*	خشک Arid	تهران (مهرآباد) Tehran (Mehrabad Airport)
نزولی Decreasing	-2.59*	نیمه‌خشک Semi-arid	تهران (شمیران) Tehran (Shemiran)
نزولی Decreasing	-2.59*	نیمه‌خشک Semi-arid	قزوین Qazvin
نزولی Decreasing	-3.22*	خشک Arid	دوشان تپه Dowshan Tappeh

*. سطح معنی‌دار ۰/۰۵
* Significant level of 0.05

نتیجه‌گیری

دارای شش ناحیه اقلیمی شامل؛ اقلیم خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب است. همچنین مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقاتی که سایر محققین در گذشته انجام داده‌اند، نشان داد که روند افزایشی مساحت اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک همچنان ادامه دارد و اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک بیش از ۹۶٪

در این تحقیق، به طبقه‌بندی اقلیمی در ایران به روش دومارتن و مدل کریجینگ پرداخته شده است. هدف این تحقیق تهیه یک نقشه اقلیمی جدید و به‌روز با استفاده از به‌روزترین داده‌های هواشناسی بود که در اختیار محققین و سازمان‌های مربوطه قرار گیرد. نتایج ما نشان داد که ایران

کشت کشاورزی، هواشناسی، صنعت ساختمان سازی و راه- سازی، معماری و گردشگری استفاده کرد.

پی نوشتها

- ¹ Climatology
- ² Inverse distance weighting
- ³ Extra arid
- ⁴ Per-humid A
- ⁵ Per-humid B
- ⁶ Pinna
- ⁷ Kriging
- ⁸ <https://data.irimo.ir/>
- ⁹ Global Polynomial
- ¹⁰ Local Polynomial
- ¹¹ Radial Basis Functions
- ¹² Root Mean Square Error

Baltas, E., 2007. Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Applications. A Journal of Forecasting, Practical Applications, Training Techniques and Modelling.* 14(1), 69-78.

Beck, H.E., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A. and Wood, E.F., 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data.* 5(1), 1-12.

Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T. and Kalvová, J., 2014. Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha. *Climate Research.* 59(1), 1-13.

Coscarelli, R., Gaudio, R. and Caloiero, T., 2004. Climatic trends: an investigation for a Calabrian basin (southern Italy). *Iahs Publication.* 286, 255-266.

Dawood, M., 2017. Spatio-statistical analysis of temperature fluctuation using Mann-Kendall and Sen's slope approach. *Climate Dynamics.* 48(3-4), 783-797.

de Martonne, E., 1926. Une nouvelle fonction

مساحت کل ایران را تشکیل می دهند. نتایج آزمون من- کندال برای دوره مورد مطالعه نشان داد که ۸ ایستگاه سطح کشور روند نزولی و ۷ ایستگاه روند صعودی معنی دار در شاخص دومارتن را دارند. روند صعودی در بیشتر ایستگاهها می تواند به دلیل افزایش بارش و یا کاهش دما در طول دوره مطالعه ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸ باشد. نتایج این مطالعه از اهمیت زیادی برای ارزیابی کمبود آب و منابع آب در مقیاسهای محلی و منطقه ای به منظور پیش بینی اقدامات عملی برای کنترل خشکی در مناطق آسیب پذیر برخوردار است. همچنین از نتایج این تحقیق می توان در مطالعاتی که مبنای آنها نقشه های طبقه بندی اقلیمی است، هم چون تعیین الگوی

منابع

climatologique: L'indice d'aridité. *Meteorologie.* 2, 449-459.

Dehghan, P., Karimi, S., Marziehsadat, T. and Khosravi, H., 2016. Climatic classification of Rafsanjan city based on Amberge and Demartonne systems. In *Proceedings 1st National Conference on Passive Defense in Agriculture, Natural Resources and Environment with a Sustainable Development Approach, 20th-24th June, Tehran, Iran.* p.102.

Douglas, E. M., Vogel, R. M., and Kroll, C. N., 2000. Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology.* 240(1-2), 90-105.

Fillaux, J., Santillan, G., Magnaval, J. F., Jensen, O., Larrieu, E., and Sobrino-Becaria, C. D., 2007. Epidemiology of toxocariasis in a steppe environment: the Patagonia study. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.* 76(6), 1144-1147.

Fraedrich, K., Gerstengarbe, F.W. and Werner, P.C., 2001. Climate shifts during the last century. *Climatic Change,* 50(4), pp.405-417. Gocic, M. and Trajkovic, S., 2013. Analysis of changes in

- meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*. 100, 172-182.
- Hanafi, A. and Hatami, I., 2013. Producing climate map for Kurdistan Province using information technology system. *Scientific-Research Quarterly Geographical Data (Sepehr)*. 22(87), 24-28. (In Persian with English abstract).
- Kaviani, M. and Alijani, B., 2002. Basics of meteorology. tehran. Samt Publications. 2, 480-520. (In Persian with English abstract).
- Khalili A., 1992. Arid and semi arid regions of Iran. In *Proceedings 1st Seminar on Problems of Iranian Deserts and Kavirs, 17th-20th May, Yazd, Iran*. pp.566-579.
- Köppen, W., 1900. Versuch einer klassifikation der klimate, vorzugsweise nach ihren beziehungen zur pflanzenwelt. (Schluss). *Geographische Zeitschrift*. 6(12), 657-679.
- Masoodian, S.A., 2003. Climatic regions of Iran. *Geography and Development*. 2, 171-184. (In Persian with English abstract).
- Matkan, A., Shakiba, A., Raeini Sarjaz, M., and Rahimi, M., 2019. Climatic zoning analysis of Urmia Lake catchment area based on Koppen-Trewartha classification scheme with climate change approach. In *Proceedings 14st Congress of the Iranian Geographic Society, 15th-19th May, Tehran, Iran*. p.201.
- Minaei, M., and Irannezhad, M., 2018. Spatio-temporal trend analysis of precipitation, temperature, and river discharge in the northeast of Iran in recent decades. *Theoretical and Applied Climatology*. 131(1), 167-179.
- Minaei, M., and Minaei, F., 2017. Geostatistical modeling of air temperature using thermal remote sensing. *Environment and Sustainability*. 1(4), 103-109.
- Modarres, R. and da Silva, V.R., 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*. 70, 344-355.
- Nadi, M., Jamei, M., Bazrafshan, J., and Janatrostami, S., 2013. Evaluation of different methods for interpolation of mean monthly and annual precipitation data (Case Study: Khuzestan Province). *Physical Geography Research*. 44, 117-130. (In Persian with English abstract).
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M. and Khalili, A., 1988. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and applied climatology*. 112, 409-418.
- Raziei, T., 2017. Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century. *Journal of the Earth and Space Physics*. 43(2), 419-439. (In Persian with English abstract).
- Tabari, H., Hosseinzadeh Talaei, P., Mousavi Nadoushani, S. S., Willems, P., and Marchetto, A., 2014. A survey of temperature and precipitation based aridity indices in Iran. *Quaternary International*. 345, 158-166.
- Tavosi, T., and Delara, G., 2010. Climate classification of Ardebil province. *Neyvar*. 34, 47-52. (In Persian with English abstract)
- W. Koppen., 1936. Das geographischa system der klimate. In: W. Koppen and G. C. Geiger, Eds., *Handbuch der klimatologie*, Gebr, Borntraeger, pp. 1-44.
- Zandi, R., 2017. Climatic classification of Khorasan Razavi province by De-martonne

method using GIS. *Journal of Geographical New Studies Architecture and Urbanis.* 10, 21-34. (In Persian with English abstract)

Zareiee, A., 2014. Evaluation of changes in different climates of Iran, using De Martonne index and Mann–Kendall trend test. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions.* 2, 2245–2261.

Zeroual, A., Assani, A. A., Meddi, M., and

Alkama, R., 2019. Assessment of climate change in Algeria from 1951 to 2098 using the Köppen–Geiger climate classification scheme. *Climate Dynamics.* 52(1), 227-243.





Environmental Sciences Vol.20 / No.3 / Autumn 2022

137-154

Original Article

Spatio-temporal analysis of Iran's climatic classification based on Domarten method and Mann-Kendall test in the statistical period of 1995-2019

Amin Fathi Taperasht, Hossein Shafizadeh Moghadam* and Mahdi Kouchakzadeh

Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2021.10.05 Accepted: 2021.12.27

Fathi Taperasht, A., Shafizadeh Moghadam, H. and Kouchakzadeh, M., 2022. Spatio-temporal analysis of Iran's climatic classification based on Domarten method and Mann-Kendall test in the statistical period of 1995-2019. *Environmental Sciences*. 20(3): 137-154.

Introduction: Climate identification and classification have long been of interest to meteorologists. Researchers have classified the earth into homogeneous climatic zones using different methods and climatic variables such as rainfall and temperature. They have used the results of climate zoning to assess water scarcity and water resources on a small and large scale to anticipate practical measures to control drought in vulnerable areas. The purpose of this study is to update and analyze the Spatio-temporal analysis of Iran's climatic classification based on the Domarten index and the Mann-Kendall test. Because in studies based on climate classification maps, up-to-date maps can better help understand the study area.

Material and methods: For this study, data related to temperature and precipitation variables were extracted monthly from 153 synoptic stations from 1995-2019 from the Meteorological Organization of Iran. First, the data of average annual temperature and total annual precipitation were obtained from monthly data and then, using isothermal maps, they were obtained using the kriging model. The final climate zoning map was prepared using the De-Martonne index based on rainfall and temperature. The non-parametric Mann-Kendall test was also used to evaluate the significance or non-significance of the De-Martonne climate index and determine the trend.

*Corresponding Author: *Email Address*. H.shafizadeh@modares.ac.ir
<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.1105>
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.3.8.1>

Results and discussion: The results showed that based on the Kriging model, R^2 and RMSE for precipitation data were 0.58 and 167.51 mm, respectively, and for the temperature data were 0.83 and 2.23 °C, respectively. This indicates better performance of the model for temperature data. This is related to the high variance of precipitation data in the country. Iran's climatic zoning based on the De-Martonne index showed six main climatic types in Iran. Most of Iran's area has an arid climate and then a semi-arid climate. The study results showed that arid climate is 76.40%, the semi-arid climate is 19.65%, and other climates make up less than 4% of the area of Iran. Also, the area of arid and semi-arid climates with an area of 96.05% of the area of Iran has increased compared to previous research, which may be due to reduced rainfall and increased temperature. Also, the results of the Mann-Kendall test showed that Khorramdareh, Miyaneh, Ramsar, Boroujerd, Piranshahr, Tabriz, and Bijar stations have a significant upward trend (wetting trend), and Dezful, Malayer, Sabzevar, Bandar Anzali, Tehran (Mehrabad), Tehran (Shemiran), Qazvin and Dushan Tappeh stations have a significant downward trend (drying trend) at the significance level of 5%.

Conclusion: This study showed that Iran has six climatic regions, including arid, semi-arid, Mediterranean, semi-humid, humid, and very humid. Also, comparing the results with the results of research done by other researchers in the past showed that the area of arid and semi-arid climates in the study period has increased compared to previous periods. Also, 14% of stations with a downtrend (8 stations) have a significant downtrend, and 7% of stations with an uptrend (7 stations) have a significant uptrend at the significance level of 5%.

Keywords: Climate classification, De-Martonne , Mann-Kendall, Precipitation, Temperature.

