



## بازنگری پهنه‌های اقلیمی شمال شرق ایران بر پایه کاربرد تلفیقی تغییر شاخص خشکی

تقی طاوسی<sup>۱</sup>، فائزه شجاع<sup>۲\*</sup>، الهه عسگری<sup>۳</sup>

۱. استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
  ۲. دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
  ۳. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
- \* نویسنده مسئول: [Faetze.shoja@yahoo.com](mailto:Faetze.shoja@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۵

### چکیده

هدف پژوهش حاضر، بازنگری پهنه‌های اقلیمی شمال شرق ایران بر اساس واکاوای تغییرپذیری شاخص خشکی در تلفیق با تغییردیگر متغیرهای اقلیمی در محدوده حوضه شمال شرق ایران است. برای این منظور داده متغیرهای دمای هوا و بارندگی در مقیاس میانگین ماهانه و سالانه طی دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۷ جمع آوری شد. برای رسیدن به هدف پژوهش در آغاز با بررسی تغییر بارندگی، تبخیر و تعرق و دما، طبقه‌بندی اقلیمی شمال شرق ایران مورد بازنگری قرار گرفت و نتیجه‌های حاصل با الگوهای طبقه‌بندی دومارتون و کوپن گایگر مقایسه شد. سپس روند متغیرهای مذکور در قالب شاخص خشکی یونپ با بهره‌گیری از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن آزمون شد تا وضعیت خشکی منطقه ارزیابی شود. نتایج نشان داد که به کارگیری ضریب خشکی به عنوان عاملی مهم در الگوی اصلاحی، باعث افزایش دقت طبقه‌بندی‌های این روش نسبت به مدل‌های پیشین می‌شود. براین اساس، منطقه مورد بررسی در هفت گروه اقلیمی طبقه‌بندی شد که پهنه Ac14، اقلیم خشک با زمستان سرد و تابستان بسیار گرم با ۳۹ درصد و ۹ ایستگاه و Ec14، اقلیم فرا خشک با زمستان سرد و تابستان بسیار گرم با یک ایستگاه به ترتیب بزرگترین و کوچک‌ترین ناحیه اقلیمی بودند. نتایج آزمون من کندال و شیب خط روند نیز برای شاخص خشکی یونپ بیانگر این مسئله بود که طی این ۲۸ سال شرایط خشکی در منطقه رو به افزایش بوده و وضعیت بیابان زایی در بخش‌های مختلف تشدید شده است.

**واژگان کلیدی:** الگوی طبقه‌بندی ترکیبی؛ شاخص یونپ؛ روند بیابان زایی؛ روش غیرپارامتریک من‌کندال

## ■ مقدمه

شناخت پتانسیل‌های طبیعی به عنوان بستر فعالیت‌های انسانی، پایه و اساس برنامه‌ریزی‌های محیطی و آمایش سرزمین را تشکیل می‌دهد. در این راستا ویژگی‌های اقلیمی و عناصر غالب آن که در پراکندگی و شکل‌گیری پدیده‌های حیاتی نقش تعیین کننده‌ای ایفا می‌کنند، به عنوان یکی از مهمترین عامل‌های طبیعی - محیطی ارزیابی می‌گردند. تضمین توفیق کامل غالب برنامه‌ریزی‌های توسعه کشاورزی، صنعت، پروژه‌های آبیاری، ترابری، بهداشت و غیره، هنگامی به دست می‌آید که با شناخت اقلیم و استفاده از پتانسیل‌های گوناگون آن همراه باشد (۲۷).

با توجه به کاربرد وسیع سامانه‌های مختلف طبقه‌بندی اقلیمی برای شناخت اقلیم‌ها در طرح‌های پژوهشی، کاربردی و مطالعاتی در مناطق مختلف کشور، به نظر می‌رسد که تعیین سامانه‌های مناسب طبقه‌بندی اقلیمی در ناحیه‌های مختلف ضروری است (۵). این مسئله در نواحی خشک و نیمه خشک که از نظر توان بوم‌شناختی ضعیف‌تر هستند و به شدت تحت تأثیر فرایند زیانبار بیابانزایی قرار دارند اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، بارندگی سالیانه اندک با پراکنش نامنظم در طول سال و تغییرات شدید درجه حرارت روزانه، ماهانه و سالانه و همچنین بالا بودن پتانسیل تبخیر و تعرق از ویژگی‌های این مناطق محسوب می‌گردد (۱۹). در این میان پراکندگی مکانی و زمانی بارندگی و تبخیر، مقدار آب در دسترس در هر محل را تعیین می‌سازد اما از آنجایی که چگونگی برآورد مقدار آب در دسترس در مدل‌های گوناگون پهنه‌بندی سرزمین‌های خشک و نیمه خشک بسیار متفاوت است، بنابراین نقشه‌هایی که بر پایه این مدل‌ها عرضه شده‌اند برای نشان دادن پراکندگی آب و هواهای خشک و نیمه خشک بسیار ناهمگونند (۲۱). به همین دلیل استفاده از یک روش کارآمد برای تعیین مرز دقیق خشکی از ضرورت‌های این ناحیه‌ها به شمار می‌رود. ضریب خشکی یا ضریب رطوبتی مهم‌ترین ویژگی آب و هوایی برای طبقه‌بندی اقلیمی است. زیرا این شاخص از جمله شاخص‌هایی است که شناخت تحول‌های همزمان

بارندگی و تبخیر و تعرق و تأثیرهای آن را فراهم می‌کند (۲۳).

دانشمندان معیارهای متفاوتی را برای تعیین آستانه خشکی ارائه داده‌اند، در روش تورنت وایت که رابطه دمایی است مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل بر پایه دما محاسبه می‌شود (۲). کوپن شاخص خشکی را با توجه به ویژگی‌های دمایی هوا، رژیم بارندگی و چگونگی پراکندگی آن‌ها در چرخه سالانه تعیین می‌کند (۱۰). کنوانسیون سازمان ملل متحد نسبت میانگین بارندگی سالانه به میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل را به عنوان ضریب خشکی در نظر می‌گیرد (۲۰). الگوی میگز که آب و هوای خشک جهان را به سه گروه فرا خشک، خشک و نیمه خشک دسته‌بندی می‌نماید برای پهنه‌بندی سرزمین‌های خشک مناسب‌تر است (۳۰ و ۱۳)، این الگو که بر اساس شاخص نمناکی تورنت وایت استوار است برای تعیین مرزهای آب و هوایی علاوه بر ضریب خشکی، رژیم بارندگی، میانگین دمای گرم‌ترین و سردترین ماه سال را نیز لحاظ می‌کند (۱۳).

بررسی ضریب خشکی اقلیمی در راستای مطالعه و تبیین علل و پیامدهای تغییرپذیری اقلیمی دارای اهمیت است، چنان‌که پیشروی قلمرو آب و هوای خشک در منطقه بشنگ در کشور چین به دلیل افزایش ضریب خشکی هوا است (۳۳). ارزیابی نوسان زمانی - مکانی شاخص خشکی در دوره ۱۹۳۰-۲۰۰۰ در ترکیه نشان می‌دهد که با کاهش بارش‌ها، شاخص خشکی روند نزولی داشته و اقلیم ترکیه به سمت خشک‌تر شدن پیش می‌رود (۲۵). در پژوهشی مشابه، بررسی روند تغییرات شاخص خشکی طی سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۱۰ در کشور ایتالیا نیز گویای این است که با کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق، شاخص مذکور کاهش پیدا کرده و منطقه مورد مطالعه به سمت خشک‌تر شدن پیش می‌رود (۲۶). تجزیه و تحلیل داده‌های دما، بارش و تبخیر و تعرق بالقوه در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۹ و براساس شاخص‌های آب و هوایی چون شاخص خشکی دومارتن، شاخص خشکی یونپ و شاخص کمبود آب در جنوب اولتینیا در کشور رومانی نشان می‌دهد که روند افزایشی این شاخص‌ها در ارتباط با تغییرات جهانی آب و هوایی است (۱۴). بررسی انتقال مناطق مرطوب به خشک

همدید در گستره کشور، نقشه اقلیمی ایران را به روش کوپن-گایگر به روزرسانی کرده و جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور را بر اثر تغییرات آب و هوایی دهه‌های گذشته مورد ارزیابی قرار داده‌اند (۱۸).

بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در غرب و شمال غرب ایران حکایت از کاهش معنادار روند بارندگی‌ها برای ایستگاه‌های دزفول، کشت و صنعت کارون و مراغه، سرپل ذهاب، ارومیه، ماکو، مهاباد، بیجار، سراب و سقز دارد، همچنین خروجی‌های شاخص یونپ بیانگر تغییر شرایط آب و هوایی نیمه مرطوب به شرایط آب و هوایی خشک نیمه مرطوب و شرایط آب و هوایی خشک نیمه مرطوب به شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک است که براساس شاخص یونپ، در بیشتر منطقه مورد مطالعه شدت خشکی از درجه خطر کم و متوسط به درجه شدید و بسیار شدید افزایش یافته است (۲۳). پژوهشگران دیگری نیز به بررسی علل و پیامدهای تغییر ضرایب یا شاخص‌های اقلیمی در پهنه‌های آب و هوایی ایران پرداخته‌اند (۱۱، ۱۵ و ۱۷).

با توجه به کاهش میزان بارندگی، افزایش دما و بحران‌های زیست محیطی مانند خشکسالی، سیل در سال‌های اخیر و تأثیرهایی که این شرایط بر تولید محصولات کشاورزی، امنیت غذایی و وضعیت اقتصادی - اجتماعی مردم دارد، پایش و پیش‌بینی روند تغییرات شاخص خشکی در ایران امری اجتناب‌ناپذیر است. از آنجایی که استان پهناور خراسان به دلیل وسعت زیاد از شرایط طبیعی بسیار متنوع برخوردار است، به منظور بهره‌گیری درست اقتصادی از رژیم‌های اقلیمی این محدوده، قبل از هرگونه برنامه‌ریزی، منطقه‌بندی صحیح براساس شاخص‌های اقلیمی و مطالعه مقدار تغییر این شاخص‌ها در دوره‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به اینکه روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی متفاوتی وجود دارد که هر یک از آن‌ها برای منطقه خاصی دقت بیشتری دارد، پژوهش حاضر دو هدف اساسی را دنبال می‌کند: ۱- پهنه بندی و بازنگری نواحی خشک شمال شرق ایران ۲- روند زمانی تغییر شاخص خشکی در طول دوره مورد مطالعه.

در منطقه‌ی مونسون آسیا برای دوره‌ی ۱۹۶۳ - ۲۰۰۶ حکایت از افزایش متوسط دمای سالانه به میزان ۰/۵ درجه سلسیوس دارد این در حالی است که بارش و رواناب به ترتیب ۱۲/۱ و ۲۷/۳ درصد کاهش پیدا کرده و این امر سبب افزایش ۱۵ درصدی شاخص خشکی در این مناطق شده است (۲۸). تغییرات الگوهای آب و هوایی جهان با روش کوپن گایگر و شاخص خشکی در بازه زمانی ۱۹۵۱-۲۰۱۰ گویای این است که مناطق خشک در سراسر جهان بین سال‌های مذکور افزایش داشته اما این روند در آمریکای شمالی به طور متوسط کاهش یافته است (۲۹). مطالعه تغییرات اقلیم در مناطق نیمه خشک جهان در ۶۱ سال گذشته (۱۹۴۸-۲۰۰۸) با استفاده از شاخص خشکی نشان می‌دهد که بزرگترین گسترش خشکی در این مناطق از اوایل دهه ۱۹۶۰ شروع شده که این گسترش در ۱۵ سال اخیر یعنی ۱۹۹۰-۲۰۰۴، ۷ درصد بیشتر از دوره ۱۵ ساله پیشین که دوره ۱۹۴۸-۱۹۶۲ را شامل می‌گردد، بوده است (۷). پهنه‌بندی کشور چین به روش کوپن-گایگر در دوره زمانی ۱۹۸۰-۱۹۹۹ نیز تأثیر تغییر اقلیم را در جابه‌جایی مناطق اقلیمی این کشور به خوبی نشان می‌دهد (۳). برخلاف بررسی‌های انجام شده، ارزیابی اثر تغییر آب و هوا بر تبخیر و تعرق مرجع و شاخص خشکی در شمال غرب چین بیانگر این است که با افزایش بارش و کاهش تبخیر و تعرق مرجع در این منطقه شاخص خشکی کاهش پیدا کرده است (۸).

در ایران نیز پژوهش‌هایی برای تعیین همسویی میان تغییرپذیری آب و هوایی و پیشروی قلمرو مناطق دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک براساس تغییرات روند شاخص‌های اقلیمی انجام شده است.

ارزیابی تغییر آب و هوای ایران در سه دهه ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۴ و بر اساس شاخص خشکی حکایت از کاهش غیر معناداری در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌جز سه ایستگاه مشهد، سنندج و تبریز دارد (۲۴). نتایج روند تغییرات شاخص خشکی در نیمه جنوبی ایران طی دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۰ نشان می‌دهد که در بیشتر ایستگاه‌ها در طول ۴۰ سال گذشته، روند بارش افزایشی و روند تبخیر و تعرق کاهش‌ی بوده است (۳۱). برخی مطالعات نیز با استفاده از میانگین بارش و دمای ماهانه ایستگاه‌های



می‌دهد. در ادامه جزئیات مربوط به روش به کار گرفته شده در تحقیق شرح داده می‌شود:

کد نخست: شدت خشکی آب و هوای هر محل را نشان می‌دهد.

حرف بزرگ کناره راست هر نماد گویای آب و هوای «فراخشک» (E)، «خشک» (A) و «نیمه خشک» (S) است (جدول ۲).

برای مشخص کردن وضعیت خشکی، ضریب خشکی سالانه هر ایستگاه به کمک شاخص خشکی برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد با نام مخفف یونپ (UNEP<sup>۴</sup>) که برای سنجش ضریب خشکی آب و هوا ارائه شده، محاسبه گردید.

شاخص پیشنهادی یونپ که برای بررسی‌های آب و هوایی کاربرد گسترده‌ای در جهان دارد به صورت غیر مستقیم بر پایه میانگین مجموع بارندگی سالانه نسبت به میانگین دمای هوا استوار است. از آنجایی که دمای هوا تعیین کننده تبخیر و تعرق پتانسیل است، بنابراین رابطه یونپ بر مبنای میانگین مجموع بارندگی سالانه نسبت به میانگین تبخیر و تعرق بیان شده است (رابطه ۱) (۲۳).

$$I = \frac{P}{ETP} \quad (1)$$

در معادله بالا:

I: شاخص یونپ

P: میانگین بارش سالانه به میلی‌متر و

ETP: میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل به میلی‌متر است.

تبخیر و تعرق پتانسیل در این معادله با روش اصلاح شده تورنت وایت و با توجه به عرض جغرافیایی هر کدام از ایستگاه‌های هواشناسی، در مقیاس ماهانه و سالانه محاسبه گردیده است (۱).

شرایط آب و هوایی براساس شاخص خشکی یونپ از فرا خشک تا مرطوب و بسیار مرطوب طبقه‌بندی می‌گردد (جدول ۱).

به منظور پهنه‌بندی نواحی آب و هوایی شمال شرق ایران و بررسی ضریب تغییرات خشکی، داده‌های مربوط به دمای هوا و بارندگی ۲۳ ایستگاه سینوپتیکی به صورت ماهانه و سالانه از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. پارامترهای مورد نیاز برای ایستگاه‌های منتخب به جز فریمان، خواف، مانه، اسفراین و جاجرم از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ موجود بوده و در ایستگاه‌های نام برده داده‌های هواشناسی از ۲۰۰۶ به بعد ثبت شده است.

بنابراین برای پر کردن نبودهای آماری این ایستگاه‌ها، از داده‌های شبکه‌ای واحد تحقیقات آب و هوایی (CRU<sup>۱</sup>) برای مؤلفه دما و داده‌های بارش جهانی (CPC<sup>۲</sup>) برای بارش استفاده شد. داده‌های مورد استفاده CRU در پژوهش حاضر در برگیرنده CRU\_TS3.23 است که با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه جغرافیایی دوره زمانی ۱۹۰۱-۲۰۱۴ و تمام خشکی‌های سطح زمین (به جز قطب جنوب) را پوشش می‌دهد (۱۲).

داده‌های GPCC نیز با درونیایی داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های زمینی سرتاسر کره زمین تولید می‌شوند و از ۱۹۰۱ به بعد را دربرمی‌گیرند. این داده‌ها همچنین با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه جغرافیایی از پایگاه NOAA<sup>۳</sup> قابل دریافت می‌باشند (۱۲).

لازم به ذکر است که دقت و اعتبار داده‌های مذکور در سطح ایران در بررسی‌های دیگر محققان مورد آزمون قرار گرفته است (۱۲ و ۱۶).

روش مورد استفاده برای طبقه‌بندی اقلیمی در پژوهش حاضر الگوی تلفیقی بوده که شدت خشکی آب و هوا، تغییر فصلی بارش و میانگین دمای هوا در گرم‌ترین و سردترین برج سال را در نظر می‌گیرد.

در واقع کلید پیکره طبقه‌بندی اقلیمی بر پایه رابطه بارندگی با دمای هوا بنا شده و نماد هر تیپ اقلیمی گویای عامل‌هایی است که با درجه خشکی هوا پیوند دارند (۲۱). هر نماد اقلیمی دارای چهار کد شامل دو حرف در کناره راست و دو عدد در کناره چپ می‌باشد که تیپ اقلیمی مربوط به محدوده مورد نظر را نشان

<sup>4</sup> United Nations Environment Programme

<sup>1</sup> Climatic Research Unit

<sup>2</sup> Global Precipitation Climatology Center

<sup>3</sup> <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b43.html>

جدول ۱. پهنه‌بندی آب و هوایی بر اساس شاخص خشکی یونپ (۲۳)

خطر بیابانزایی	شاخص خشکی یونپ	تیپ اقلیمی
بیابان واقعی	$I < 0.05$	فرا خشک
بسیار شدید	$0.05 < I < 0.2$	خشک
شدید	$0.2 < I < 0.5$	نیمه خشک
متوسط	$0.5 < I < 0.65$	خشک نیمه مرطوب
کم	$0.65 < I < 0.75$	نیمه مرطوب
ندارد	$0.75 < I$	مرطوب و بسیار مرطوب

رژیم بارش تابستانه: اگر ۷۰ درصد یا بیشتر از میانگین مجموع بارندگی سالانه در دوره گرم سال طی فصل‌های بهار و تابستان ریزش کند، رژیم بارندگی تابستانه است. رژیم بارش همه فصلی: اگر پراکندگی بارش در سال چنان باشد که درصد بارش هیچ یک از دو دوره گرم یا سرد سال به ۷۰ درصد میانگین مجموع بارندگی سالانه نرسد، رژیم بارندگی همه فصل‌های است (۲۱).

کد سوم: عدد یک رقمی بین ۰ تا ۴ است که ویژگی میانگین دمای هوا در سردترین برج سال را برای یک محل مشخص نشان می‌دهد (جدول ۳) (۲۱). کد چهارم: نیز یک عدد چهار رقمی بین ۰ تا ۴ است که گویای ویژگی میانگین دمای هوا در گرم‌ترین برج سال در یک پهنه سرزمینی می‌باشد (جدول ۳) (۲۱).

کد دوم: گویای پراکندگی فصلی بارندگی است. حرف کوچک نشان می‌دهد که بارندگی محل در کدام یک از سه رژیم بارندگی زمستانه (c)، بارندگی تابستانه (b) و بارندگی در همه فصول (a) جای دارد (جدول ۲) (۲۱). بارندگی مؤثر در اقلیم خشک، پیوند نزدیکی با سرعت تبخیر دارد (۱۰). برای نمونه به فرض یکسان بودن بارندگی و دمای هوای سالانه در دو اقلیم متفاوت، محلی که دارای رژیم بارندگی تابستانه است خشک‌تر از اقلیمی است که رژیم بارندگی زمستانه دارد. از این رو نخست رژیم بارندگی محل مشخص می‌شود. به پیروی از الگوی کوبین، در مدل اصلاحی نیز رژیم بارندگی به سه گروه زمستانه، تابستانه و همه فصول تقسیم شده است (۱۰). رژیم بارش زمستانه: اگر ۷۰ درصد یا بیشتر از میانگین مجموع بارندگی سالانه در دوره سرد سال طی فصل‌های پاییز و زمستان رخ دهد، رژیم بارندگی زمستانه است.

جدول ۲. نماد درجه خشکی هوا و پراکندگی فصلی بارندگی

حرف نخست	شدت خشکی	حرف دوم	رژیم بارندگی
E	Extremely arid	a	نامشخص
A	Arid	b	تابستانه
S	Semi-arid	c	زمستانه

جدول ۳. نماد عددی گویای ویژگی‌های دمای هوا

کد	۰	۱	۲	۳	۴
میانگین دما به سلسیوس	$0.0 < \dots$	۱-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	$30 < \dots$
شرایط دمایی	بسیار سرد	سرد	خنک	گرم	بسیار گرم



اقلیم به زیر گروه‌های کوچکتری تقسیم می‌شود (جدول ۴) (۱۸). از آنجاییکه تمام پهنه مورد مطالعه در پژوهش حاضر در گروه اقلیمی B جای گرفت، تنها ویژگی‌های این گروه از طبقه بندی کوپن- گایگر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

جدول‌های ۵ و ۶ ویژگی‌ها و معیارهای شناسایی گروه اقلیمی B را طبق الگوی کوپن- گایگر نشان می‌دهند، در اینجا مجموع بارش سالانه، Tann میانگین دمای سالانه و Tmax میانگین دمای گرم‌ترین ماه سال در هر ایستگاه است. رابطه ۳ نیز بیانگر آستانه درجه خشکی برای شناسایی مناطق خشک بوده که در این رابطه (Pth) آستانه درجه خشکی و (Tann) میانگین دمای سالانه ایستگاه مورد نظر می‌باشد. در روش طبقه بندی اقلیمی کوپن- گایگر واحد بارش و دمای هوا به ترتیب میلی‌متر و درجه سلسیوس است.

(۳)

$$P_{th} = \begin{cases} 2(Tann) & \text{دوسوم بارش سالانه در زمستان} \\ 2(Tann) + 28 & \text{دوسوم بارش سالانه در تابستان} \\ 2(Tann) + 14 & \text{فصل تمرکز بارش نامشخص} \end{cases}$$

پس از پهنه‌بندی نواحی مورد مطالعه با الگوی تلفیقی، نتایج با روش‌ها و الگوهای طبقه‌بندی دومارتون و کوپن گایگر مقایسه گردید. در روش دومارتون شاخص خشکی بر پایه ضریبی به دست می‌آید که با بارندگی بستگی همسو و با دمای هوا پیوند وارونه دارد (رابطه ۲)، یعنی ضریب‌های کوچکتر نشانه پدیده خشکی آب و هوایی یک سرزمین است (جدول ۴) (۲۱).

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (۲)$$

در این معادله (I) شاخص خشکی هوا، (P) میانگین بارندگی سالانه به میلی‌متر و (T) میانگین دمای سالانه به سلسیوس است.

پنج اقلیم اصلی کوپن- گایگر با عنوان اقلیم بارانی استوایی (A)، اقلیم خشک (B)، اقلیم معتدل بارانی (C)، اقلیم جنگلی برفی (D) و اقلیم قطبی (E) شناخته می‌شود. دومین حرف در طبقه‌بندی اقلیمی کوپن- گایگر که بر اساس بارش تعیین می‌گردد، فصل بارش ایستگاه را مشخص می‌کند، در واقع، S به معنای تابستان خشک، W به معنای زمستان خشک و I به معنای نبود فصل خشک یا اقلیم مرطوب است (جدول ۵). حرف سوم نیز شرایط دمایی ایستگاه را بیان می‌کند و بدین ترتیب هر

جدول ۴. طبقه‌بندی مناطق خشک براساس ضریب خشکی دومارتون

آب و هوا	فراخشک	خشک	نیمه خشک	نیمه نمناک خشک
شاخص خشکی	$I < 5$	$5 < I \leq 10$	$10 < I \leq 20$	$I \leq 24$

جدول ۵. ویژگی‌ها و معیارهای شناسایی مناطق خشک براساس طبقه بندی کوپن- گایگر (۲۱)

نوع اقلیم	توضیح	معیار شناسایی
B	اقلیم‌های خشک	$Pann < 10 Pth$
BS	اقلیم استپ یا نیمه خشک	$Pann > 5 Pth$
BW	اقلیم بیابانی	$Pann \leq 5 Pth$

## جدول ۶. چگونگی تعیین شرایط دمایی (سومین حرف) در گروه‌های اقلیمی کوپن-گایگر

نوع اقلیم	ویژگی	معیار شناسایی
h	استپ/بیابان گرم	$Tann \geq +18^{\circ}\text{C}$
k	استپ/بیابان سرد	$Tann < +18^{\circ}\text{C}$
a	تابستان بسیار گرم	$Tmax \geq +22^{\circ}\text{C}$
b	تابستان گرم	اقلیمی که a نیست و حداقل ۴ ماه از سال دمای ماهانه آن بیشتر از ۱۰ درجه سلسیوس است
c	تابستان خنک و زمستان سرد	اقلیمی که b نیست و دمای کمینه آن بزرگتر از ۳۸- درجه سلسیوس است
d	بینهایت قاره‌ای	همانند اقلیم c است ولی دمای کمینه آن برابر یا کمتر از ۳۸- درجه سلسیوس است

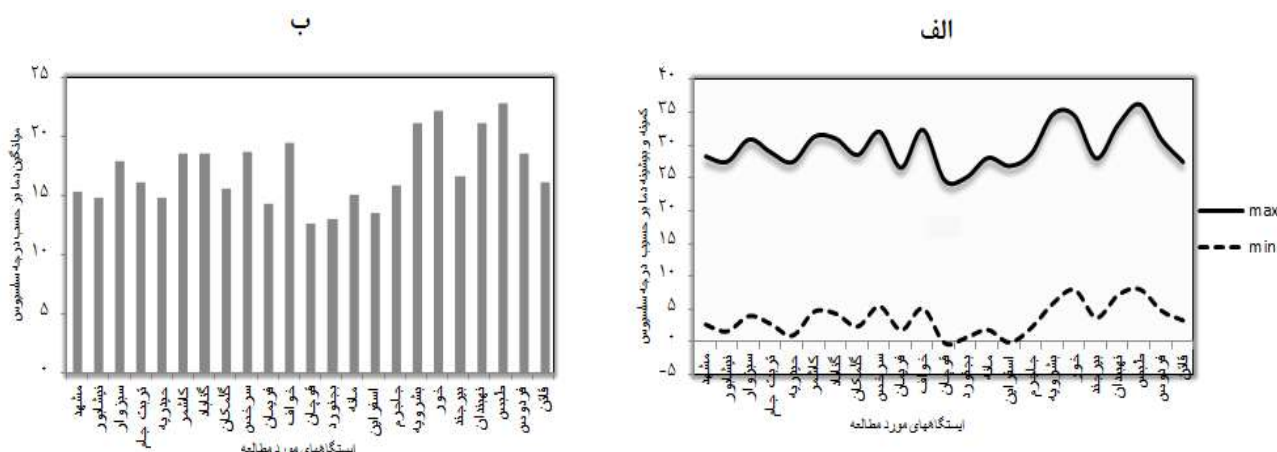
در پایان نیز به منظور بررسی وضعیت بیابانزایی منطقه، تغییر همزمان بارندگی، تبخیر تفرق و دما در قالب شاخص خشکی یونپ که همه آنها را شامل می‌شود، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بخش با استفاده از آزمون روندیابی ناپارامتریک من‌کندال و تخمین گر شیب سن استیمیتور<sup>۱</sup> که جزء متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی آب و هواشناسی هستند، مورد واکاوی قرار گرفت (۲۲). همچنین بازه زمانی مورد بررسی به سه دهه تقسیم و تغییرات شاخص خشکی یونپ در این سه دهه با یکدیگر مقایسه شد.

## ■ نتایج

## تغییر ویژگی‌های دما و بارش

بررسی تغییر دما در طول دوره آماری در پهنه مورد مطالعه حاکی از این است که ژانویه سردترین و جولای

گرمترین ماه در تمام ایستگاه‌ها بوده است. ایستگاه‌های قوچان و اسفراین به ترتیب با دمای ۰/۱۱- و ۰/۰۲- درجه سلسیوس کمترین مقادیر دما را به خود اختصاص داده و تربت حیدریه، فریمان، نیشابور، بجنورد و مانه با دمای کمتر از ۲ درجه سلسیوس در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند (شکل ۲، الف). بیشترین مقدار دما نیز در طبس، بشرویه و خور به ثبت رسیده که با بیشینه دمای ۳۶/۳۸، ۳۴/۸۶ و ۳۴/۶۳ درجه، گرم‌ترین ایستگاه‌ها در طول دوره آماری بوده‌اند. از این نظر نهبندان، خواف و فریمان نیز با بیشینه دمای بالاتر از ۳۲ درجه سلسیوس شرایط دمایی بالایی را تجربه کرده‌اند (شکل ۲، الف). به همین ترتیب بیشترین میانگین دما در طول ۲۸ سال مورد مطالعه مربوط به ایستگاه طبس با میانگین دمای ۲۲/۷۹ درجه سلسیوس و کمترین آن در ایستگاه قوچان (۱۲/۶۵) ثبت شده است (شکل ۲، ب).



شکل ۲. تحلیل آماری وضعیت دما در بازه زمانی مورد مطالعه، الف: کمینه و بیشینه دما، ب: میانگین دما



مجموع بارش سالانه ۸۵/۷۷ و ۹۴/۱۸ میلی‌متر جزء کم‌باران‌ترین مناطق محسوب می‌شوند (شکل ۳).

نمایه‌های کمینه و بیشینه بارش برای ایستگاه‌های مورد مطالعه بیانگر این است که تغییر ناچیزی بین میانگین بارش سالانه با مقادیر بیشینه و کمینه آن در ایستگاه‌ها وجود داشته به طوری که مقادیر بیشینه بارش همچنان در ایستگاه جاجرم به چشم می‌خورد و پس از آن مقدار این نمایه بین قوچان و فریمان از ۶۰ تا ۵۵ میلی‌متر متغیر است (جدول ۷ و شکل ۳).

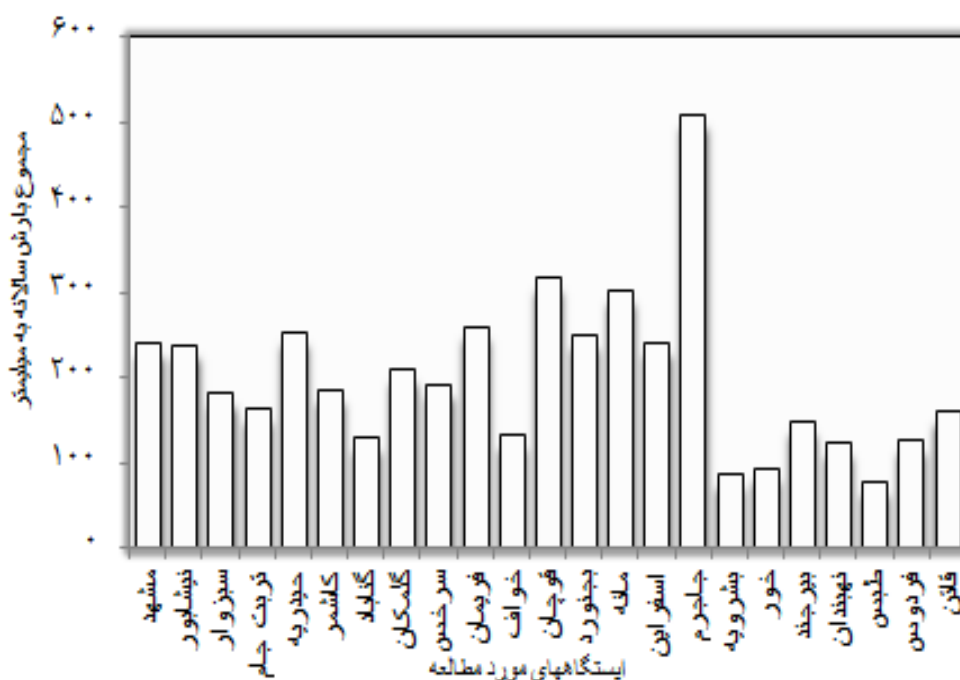
بررسی‌های آماری همچنین گویای این است که بیشترین مقدار بارش در ایستگاه خواف، در فوریه اتفاق افتاده و در جاجرم و فردوس ماه‌های آوریل و ژانویه پرباران‌ترین ماه‌ها بوده‌اند، حال آنکه سایر ایستگاه‌ها بیشینه بارش را در ماه مارس تجربه کرده‌اند.

کمینه این پارامتر نیز به طور مشترک در اکثر ایستگاه‌ها طی ماه‌های جولای و آگوست رخ داده است. در طول ۲۸ سال مورد مطالعه ایستگاه خواف در ماه سپتامبر و طبس، فردوس و خور طی ماه جولای هیچگونه رویداد بارشی را تجربه نکرده‌اند (جدول ۷).

میانگین مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول ۲۸ سال نشان دهنده این است که ایستگاه جاجرم با ۵۰۹ میلی‌متر بارندگی، تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نسبت به سایر ایستگاه‌ها ایجاد کرده و ایستگاه‌های قوچان و مانه در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نکته قابل توجه در نمودار این است که فریمان و تربت حیدریه با ۲۶۰/۲۸ و ۲۵۳/۵ میلی‌متر بارندگی، بالاتر از بجنورد، مشهد، نیشابور و گل‌مکان قرار گرفته‌اند (شکل ۳) که این مهم علاوه بر عرض جغرافیایی، نقش ارتفاع را در بارش این مناطق بارزتر می‌کند.

در واقع فریمان با ارتفاع ۱۴۶۰ و تربت حیدریه با ارتفاع ۱۴۵۰/۸ متر از سطح دریا بعد از بیرجند مرتفع‌ترین ایستگاه‌های مورد مطالعه به شمار می‌روند (جدول ۷).

کمترین مقدار بارندگی نیز متعلق به ایستگاه‌های واقع در استان خراسان جنوبی بود و این وضعیت در مورد طبس با ۷۷/۹۲ میلی‌متر بارش به طور کامل، مشخص است. ایستگاه‌های بشرویه و خور نیز با



شکل ۳. مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

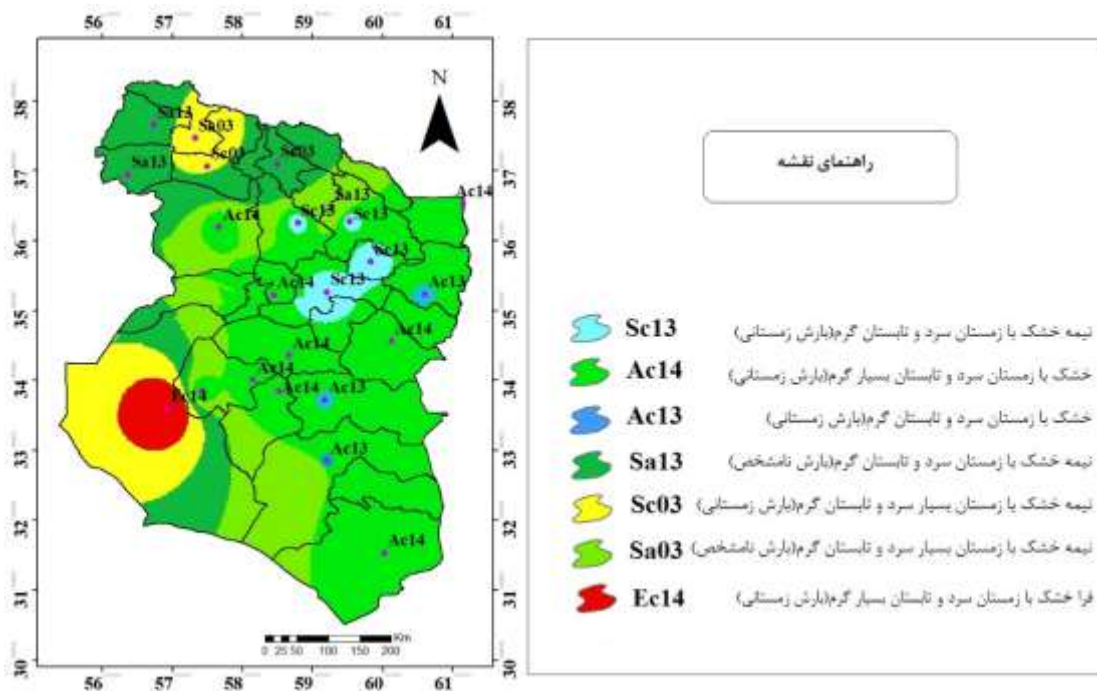
جدول ۷. ویژگی‌های بارشی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	ارتفاع (m)	بیشینه بارش		کمینه بارش	
		ماه	مقدار بارش (mm)	ماه	مقدار بارش (mm)
مشهد	۹۹۹/۲	مارس	۵۳/۸۸	مارس	۰/۹
نیشابور	۱۲۱۳	مارس	۵۶/۲۴	مارس	۰/۵
سبزوار	۹۷۲	مارس	۳۷/۳۸	مارس	۰/۲۸
تریت جام	۹۵۰/۴	مارس	۳۷/۲۷	مارس	۰/۱۴
حیدریه	۱۴۵۰/۸	مارس	۵۴/۷۰	مارس	۰/۷۶
کاشمر	۱۱۰۹/۷	مارس	۴۲/۱۰	مارس	۰/۲۵
گناباد	۱۰۵۶	مارس	۲۶/۷۳	مارس	۰/۰۴
گلمکان	۱۱۷۶	مارس	۴۶/۷۰	مارس	۰/۱۸
سرخس	۲۳۵	مارس	۴۳/۳۶	مارس	۰/۰۴
فریمان	۱۴۶۰	مارس	۵۵/۳۸	مارس	۰/۹۷
خواف	۹۹۸	فوریه	۳۷/۴۸	سپتامبر	۰
قوچان	۱۲۸۷	مارس	۶۰/۹۰	مارس	۰/۹۴
بجنورد	۱۱۱۲	مارس	۴۳/۴۴	مارس	۵/۲۵
مانه	۶۷۳	مارس	۵۰/۹	سپتامبر	۶/۵۷
اسفراین	۱۲۴۹	مارس	۴۷/۱۳	مارس	۱/۵۷
جاجرم	۱۰۰۰	آوریل	۷۱/۰۹	نوامبر	۱۸/۲۷
بشرویه	۸۸۵	مارس	۱۹/۰۴	جولای	۰/۰۴
خور	۱۱۱۷/۴	مارس	۲۰/۶۴	جولای	۰
بیرجند	۱۴۹۱	مارس	۳۵/۶۰	جولای	۰/۰۵
نهبندان	۱۲۱۱	مارس	۳۴/۸۰	مارس	۰/۰۴
فردوس	۱۲۹۳	ژانویه	۲۵/۹۶	جولای	۰
قائن	۱۴۳۲	مارس	۳۵/۵۴	جولای	۰/۰۲
طیس	۷۱۱	مارس	۱۶/۱۹	جولای	۰

### تعیین قلمروهای اقلیمی محدوده مورد مطالعه الگوی اصلاحی

نتایج طبقه‌بندی اقلیمی براساس الگوی اصلاحی نشان می‌دهد که علیرغم شباهت‌های ظاهری، ۷ پهنه متفاوت در محدوده شمال شرق ایران مشاهده می‌شود، مطابق

بررسی‌های آماری ۵۷٪ منطقه در شرایط اقلیمی خشک و ۳۹٪ در وضعیت نیمه خشک قرار گرفته‌اند، در جنوب غربی محدوده مورد مطالعه نیز اقلیمی فراخشک حاکم است (شکل ۴).



شکل ۴. پهنه‌بندی اقلیمی محدوده مورد مطالعه بر اساس الگوی اصلاحی

#### الگوی دومارتن

پهنه‌بندی اقلیمی شمال شرق ایران بر اساس شاخص دومارتن نشان می‌دهد که تنها ۳ طبقه از ۸ طبقه‌ی آب و هوایی در این پهنه وجود دارد و شدت خشکی در ایستگاه‌هایی که دمای بیشتر و بارش کمتری را تجربه می‌کنند بیشتر است، بر این اساس بیش از ۵۰ درصد محدوده مورد مطالعه که ایستگاه‌های خراسان رضوی و

جنوبی در شرایط اقلیمی خشک قرار می‌گیرند. نواحی جنوبی و جنوب غربی پهنه مورد بررسی وضعیت اقلیمی فراخشک را تجربه می‌کنند و ایستگاه‌های واقع در استان خراسان شمالی به همراه فریمان و تربت حیدریه در خراسان رضوی از اقلیم نیمه خشک برخوردار هستند (شکل ۵).



شکل ۵. پهنه‌بندی اقلیمی محدوده مورد مطالعه بر اساس الگوی دومارتن

## الگوی کوپن - گایگر

الگوی کوپن - گایگر نیز مشابه دو روش دیگر حکایت از اقلیم بیابانی و خشک محدوده مورد مطالعه دارد (شکل ۶). همانطور که پیش تر نیز اشاره شد در طبقه بندی کوپن - گایگر برای تعیین گروه اقلیمی B از ترکیب مجموع بارش سالانه و میانگین دمای سالانه ایستگاه استفاده می‌شود.

بر این اساس ایستگاه‌های مشهد، نیشابور، سبزوار، تربت جام، تربت حیدریه، فریمان، قوچان و اسفراین با میانگین بارش سالانه ۲۳۷/۱ میلی‌متر که بخش قابل توجهی از آن در زمستان می‌بارد در طبقه اقلیمی استپ یا نیمه خشک قرار می‌گیرند و از آنجایی که میانگین دمای این ایستگاه‌ها کمتر از ۱۸ درجه سلسیوس است جز مناطق بیابان‌های سرد محسوب می‌گردند.

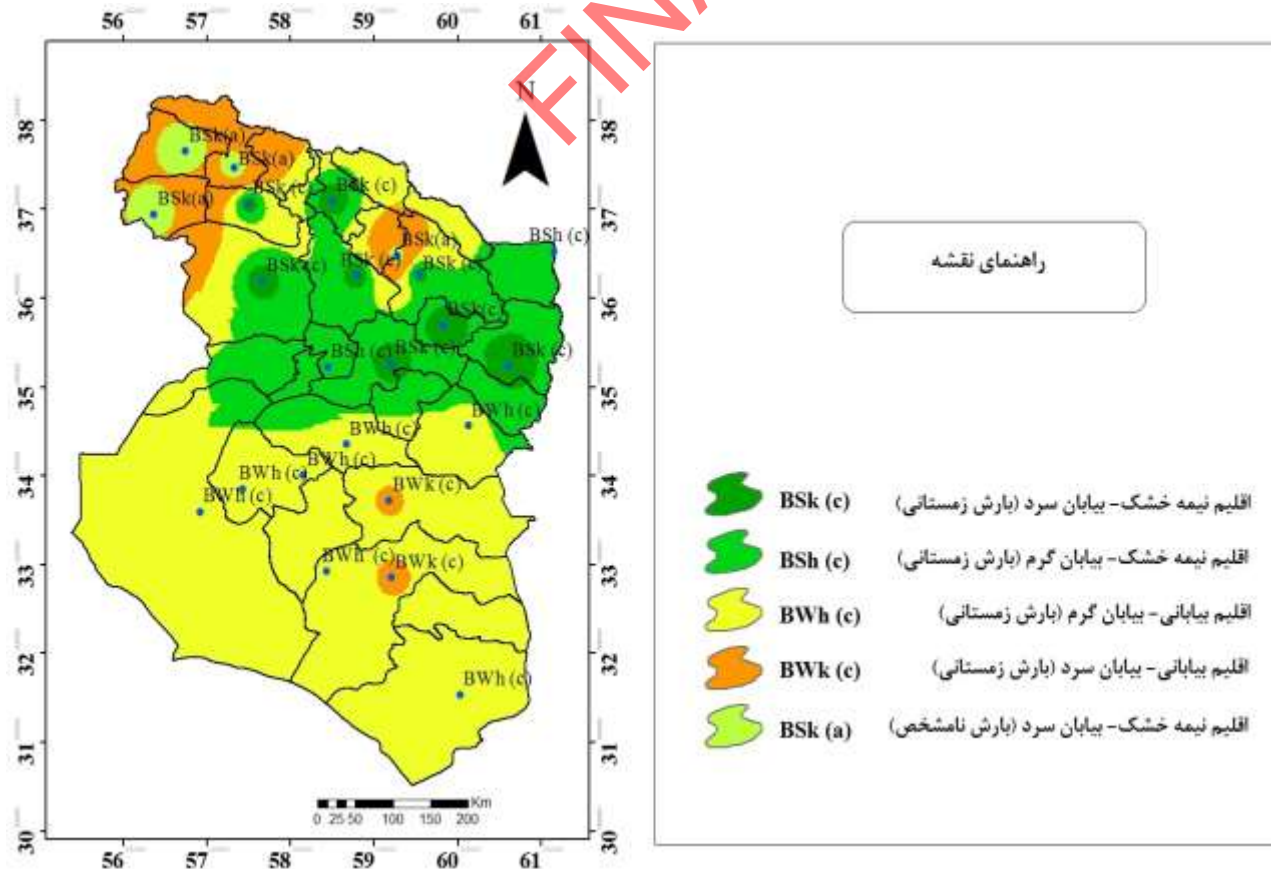
این وضعیت برای ایستگاه‌های گل‌مکان، بجنورد، مانه و جاجرم نیز به همین شکل است در واقع این نواحی نیز برپایه طبقه‌بندی گایگر در شرایط اقلیمی استپ با

بیابان‌های سرد قرار گرفته‌اند که بارش فصلی را تجربه می‌کنند. میانگین دما در این محدوده برابر ۱۴/۹ درجه سلسیوس و بارش سالانه ۳۱۸/۳۷ میلی‌متر است.

ایستگاه‌های کاشمر و سرخس با میانگین دمای ۱۸/۷ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه ۱۸۹/۷ میلی‌متر در ردیف مناطق نیمه خشک با بیابان گرم قرار می‌گیرند.

نیمه جنوبی حوضه مورد بررسی و همچنین ایستگاه‌های کم‌بارش استان خراسان رضوی شامل گناباد و خواف اقلیم بیابانی را تجربه می‌کنند، این نواحی که بالاترین مقادیر دما و کمترین میزان بارش را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند، جز مناطق بیابانی - بیابان گرم به حساب می‌آیند.

در این میان بیرجند و قائن با میانگین دمای ۱۶/۳۷ درجه سلسیوس و اختلاف ۴ درجه کمتر نسبت به پهنه سابق، در زمره بیابان‌های سرد جای می‌گیرند (شکل ۶).



شکل ۶. پهنه‌بندی اقلیمی محدوده مورد مطالعه بر اساس الگوی کوپن گایگر

**روند تغییر شاخص خشکی در محدوده مورد مطالعه**

به منظور ارزیابی وضعیت خشکی و تأثیرات تغییر اقلیم در استان پهناور خراسان، تغییرات زمانی ضریب خشکی یونپ در تمام ایستگاه‌ها مورد آزمون قرار گرفت. نتایج آزمون من کندال و شیب خط روند برای شاخص مذکور حکایت از این مسئله دارد که طی این ۲۸ سال شرایط خشکی در منطقه رو به افزایش بوده است (جدول ۸). منفی بودن آماره Z در این جدول بدین معنی است که مقادیر شاخص در طول دوره مورد مطالعه کاهش یافته که این روند نزولی در ایستگاه‌های بشرویه، بیرجند، اسفراین، تربت حیدریه، طبس، فردوس، کاشمر، گناباد، نهبندان، قائن، تربت جام، سبزوار، و خور در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. در ایستگاه‌های نیشابور، بجنورد، مانه، جاجرم و سرخس نیز گرچه تغییرات شرایط خشکی به لحاظ آماری معنی‌دار نیست

اما آماره Z و شیب خط سن استیمیتور (Qmed) مقادیر منفی را نشان می‌دهند که بیانگر روند نزولی شاخص است.

واکاوی تغییر دهه‌ای ضریب خشکی نیز گویای این است که مقدار شاخص خشکی به جز قوچان و جاجرم در سایر ایستگاه‌ها در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۱۷ نسبت به دهه ۱۹۹۰ کاهش پیدا کرده که در این میان بیشترین تغییرات در ایستگاه‌های اسفراین با ۰/۱۹، تربت حیدریه با ۰/۱۶ و مشهد ۰/۰۹ اتفاق افتاده است (جدول ۹) از آنجایی که ضریب خشکی نسبت مستقیم با بارندگی و نسبت معکوس با دمای سالیانه دارد، افزایش این رقم دلیل بالا بودن رطوبت و کاهش آن معرف خشکی منطقه خواهد بود (۲۱). به عبارتی شرایط آب و هوایی در بخش قابل توجهی از محدوده مورد مطالعه طی این ۲۸ سال خشک‌تر گردیده است.

**جدول ۸. نتایج تحلیل روند و شیب خط روند برای شاخص خشکی یونپ (Z آماره‌ی من کندال و Qmed شیب خط سنس استیمیتور)**

ایستگاه	تغییرات روند شاخص یونپ			ایستگاه	تغییرات روند شاخص یونپ		
	آماره z	معناداری	Qmed		آماره z	معناداری	Qmed
مشهد	-۱/۲۱		-۰/۰۰۳	نهبندان	-۲/۱۹	*	-۰/۰۰۲
سبزوار	-۱/۷۶	+	-۰/۰۰۳	طبس	-۲/۹۰	**	-۰/۰۰۱
تربت حیدریه	-۲/۹۰	**	-۰/۰۰۸	فردوس	-۲/۷۹	**	-۰/۰۰۳
فریمان	-۰/۵۷		-۰/۰۰۲	اسفراین	-۳/۴۶	***	-۰/۰۱۰
کاشمر	-۲/۰۷	*	-۰/۰۰۳	قائن	-۲/۰۳	*	-۰/۰۰۳
گناباد	-۲/۳۹	*	-۰/۰۰۳	نیشابور	-۰/۲۵		-۰/۰۰۱
گلمکان	۰/۰۲		۰/۰۰۰	تربت جام	-۲/۴۵	*	-۰/۰۰۳
سرخس	-۰/۱۸		۰/۰۰۰	فریمان	۰/۶۲		۰/۰۰۹
قوچان	۰/۴۹		۰/۰۰۱	خواف	۰/۵۷		۰/۰۰۳
بجنورد	-۱/۲۱		-۰/۰۰۴	مانه	-۰/۹۳		-۰/۰۰۴
بشرویه	-۳/۹۳	***	-۰/۰۰۲	خور	-۱/۸۶	+	-۰/۰۰۲
بیرجند	-۳/۵۸	***	-۰/۰۰۳	جاجرم	-۱/۴۱		-۰/۰۰۳

\* - همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد \*\* - همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد  
 \*\*\* - همبستگی در سطح اطمینان بالاتر از ۹۹ درصد + - همبستگی معنی‌دار

جدول ۹. تغییر شاخص خشکی ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول سه دهه

ایستگاه	مقدار شاخص خشکی			ایستگاه	مقدار شاخص خشکی		
	۲۰۱۱-۲۰۱۷	۲۰۰۱-۲۰۱۰	۱۹۹۰-۲۰۰۰		۲۰۱۱-۲۰۱۷	۲۰۰۱-۲۰۱۰	۱۹۹۰-۲۰۰۰
مشهد	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۳۳	سرخس	۰/۱۶	۰/۱۶۷	۰/۱۷
نیشابور	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۳	قوچان	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۲
سبزوار	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲	بجنورد	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۳۴
تربت جام	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۲	بشرویه	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۸
حیدریه	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۴	خور	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۸
کاشمر	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۹	بیرجند	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۳
گناباد	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۵	نهبندان	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۳
گلمکان	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۲۴	فردوس	۰/۰۸	۰/۱	۰/۱۴
قائن	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۲۳	فریمان	۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۳۷
اسفراین	۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۳۹	جاجرم	۱/۱	۰/۱۵	۰/۱۷
مانه	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۷	طبس	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۶

## ■ بحث و نتیجه‌گیری

تبخیر به عنوان یک عامل ترکیبی اثرات تعیین کننده تری بر خشکی اعمال می‌نماید (۹). بنابراین در پژوهش حاضر سعی بر این بود طبقه‌بندی اقلیمی ناحیه شمال شرق ایران بازنگری شده و وضعیت بیابان‌زایی منطقه با استفاده از روند تغییرات ضریب خشکی طی ۲۸ سال آماری مورد آزمون قرار گیرد. نتایج نشان داد که بخش قابل توجهی از منطقه را شرایط اقلیمی خشک در بر گرفته و تنها در ایستگاه طبس وضعیت فراخشک حاکم است. ایستگاه‌های فردوس، نهبندان، خور، خواف، گناباد، سرخس، کاشمر و سبزوار شرایط اقلیمی خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های بسیار گرم را تجربه می‌کنند و مطابق الگوی اصلاحی در طبقه Ac14 قرار می‌گیرند. ایستگاه‌های بیرجند، قائن و تربت جام نیز گرچه از نظر موقعیت جغرافیایی متفاوت هستند، اما در پهنه اقلیمی Ac13 واقع شده‌اند که تا حدودی مشابه طبقه Ac14 می‌باشد و مهم‌ترین تفاوت بین این دو پهنه شرایط دمایی آن‌ها است، به عبارتی میانگین دما در طبقه Ac14 برابر ۱۹/۲۸ درجه سلسیوس بوده ولی مقدار آن در پهنه Ac13 تا ۱۶/۲۲ درجه کاهش یافته است. این مهم موجب شده

گرچه همه محققان مسئله خشکی را شکل دهنده بیابان‌های اصلی زمین به شمار می‌آورند با این حال روش و معیارهای تعیین مرز خشکی در میان آن‌ها متفاوت است. انتخاب صحیح یک ضریب اقلیمی برای مناطق مختلف جهان آسان نیست، زیرا کاربرد هر فرمول اقلیمی در مناطقی بهترین جواب را می‌دهد که با اقلیم محل ابداع شباهت و یا نزدیکی بیشتری داشته باشد از طرف دیگر محدودیت عناصر اقلیمی مورد سنجش عاملی است که کارایی بعضی از فرمول‌ها را محدود می‌کند (۹). هرچند کمبود بارش یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های اقلیمی مناطق خشک محسوب می‌شود، اما اگر مقدار آن جدا از عوامل دیگر مورد توجه قرار گیرد، شاخصی گمراه کننده است، لذا معیار بارش می‌باید همراه با مقدار آب مورد نظر گیاهان (تبخیر و تعرق) در نظر گرفته شود. در این صورت می‌توان درباره منابع آب ناظر بر محیط آگاهی لازم را به دست آورد بنابراین به نظر می‌رسد که کاربرد ضرایبی که صرفاً بر اساس رابطه بین بارش و دما تهیه شده است نمی‌تواند معرف ماهیت واقعی اقلیم خشک باشد بلکه



در نظر گرفتن نقش تبخیر و تعرق در الگوی اصلاحی، بیرجند با بارش بیشتر و دمای پایین‌تر شرایط متفاوت‌تری را تجربه می‌کند.

کاربرد روش‌های آماری چند متغیره در پهنه‌بندی استان خراسان رضوی نیز در برخی نواحی مشابه و در برخی دیگر متفاوت از الگوی اصلاحی است (۴)، قرار گرفتن ایستگاه‌های کاشمر و خواف در ردیف گرم‌ترین، خشک‌ترین و کم‌بارش‌ترین نواحی استان مشابه نتایج تحقیق حاضر بوده در حالی که پهنه اقلیمی نیمه خشک سرد که شهرستان‌های نیشابور و تربت جام را در برمی‌گیرد و اقلیم معتدل کوهستانی که شامل تربت حیدریه و قوچان می‌باشد با نتایج به‌دست آمده در این مقاله متفاوت است، در مورد اول نقش تبخیر و تعرق و در مورد دوم عامل دما موجب شده این شهرستان‌ها در یک گروه قرار نگیرند. نتایج به‌دست آمده از روند زمانی تغییر ضریب خشکی نیز حاکی از این بود که طی دوره آماری مورد مطالعه شرایط خشکی در منطقه رو به افزایش بوده است. به طوری‌که در ایستگاه‌های بشرویه، بیرجند، اسفراین، تربت حیدریه، طبس، فردوس، کاشمر، گناباد، نهبندان، قائن، تربت جام، سبزوار، و خور روند کاهش‌ی شاخص خشکی در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار بود و تغییرات دهه‌ای ضریب خشکی نیز این روند نزولی را در بیشتر ایستگاه‌ها تأیید کرد. براساس شاخص یونپ، در نواحی غرب و شمال غرب کشور نیز شدت خشکی از درجه خطر کم و متوسط به درجه شدید و بسیار شدید افزایش یافته است (۲۳).

اگرچه پدیده‌ی بیابانی شدن که همراه با کاهش توان بوم‌شناختی و زیستی سرزمین است، در هر اقلیمی ممکن است اتفاق بیفتد، اما در اقلیم‌های خشک به دلیل اینکه مقدار بارش و رطوبت خاک کم است تأثیرهای مخرب شدیدتری خواهد داشت. با توجه به دستاورد پژوهش حاضر به منظور مدیریت صحیح بر فعالیت‌های گوناگون توسعه‌ای در مناطق خشک، واکاوی متغیرهای مختلف اقلیمی با استفاده از خروجی مدل‌های تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار در مطالعات آینده ضرورتی انکار ناپذیر است.

مناطق واقع در این محدوده دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم باشند.

نواحی اقلیمی Sc13 و Sa13 هر دو جز مناطق نیمه خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم هستند که مهم‌ترین تفاوت این دو گروه نیز در نوع بارش آن‌هاست، بدین ترتیب که در ایستگاه‌های مشهد، نیشابور، فریمان و تربت حیدریه بارش زمستانی غالب بوده و حال آنکه مانه، جاجرم و گل‌مکان بارش فصلی را تجربه می‌کنند. چنین وضعیتی در مورد پهنه‌های Sc03 و Sa03 نیز صادق است. در واقع اهمیت نوع بارش سبب شده با وجود اینکه دو ایستگاه بجنورد و اسفراین در همسایگی همدیگر قرار گرفته‌اند، شرایط نسبتاً متفاوتی را داشته باشند (شکل ۴). از آنجایی‌که در الگوی اصلاحی علاوه بر عناصر بارش و دما نقش تبخیر و تعرق پتانسیل نیز لحاظ شده، محدوده مورد بررسی از تنوع اقلیمی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است؛ این مسئله موجب شده که ایستگاه‌های سبزوار، کاشمر، گناباد، خواف و سرخس علی‌رغم عرض جغرافیایی بالاتر همانند ایستگاه‌های خراسان جنوبی، بشرویه، خور، نهبندان و فردوس، در ردیف مناطق خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم قرار گیرند و ایستگاه طبس به علت همجواری با مناطق کویری ایران مرکزی با کمترین میزان بارش و بالاترین مقادیر دما و تبخیر و تعرق جز مناطق فراخشک محسوب گردد. حال آنکه براساس طبقه‌بندی دومارتن بخش‌های شمالی نیشابور، گل‌مکان و همچنین نواحی شمالی و غربی سبزوار همانند ایستگاه‌های خراسان شمالی، اقلیم نیمه خشک را تجربه می‌کنند و در الگوی کوپن گایگر نیز نیمه جنوبی محدوده مورد مطالعه به طور کامل تحت تأثیر اقلیم بیابانی است. نتایج بدست آمده از این دو الگو با نتایج سایر محققین همسو می‌باشد (۱۷ و ۳۲).

در همین راستا پژوهشی که پیرامون پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی انجام گرفته است نشان می‌دهد که ۶ ناحیه آب و هوایی در این استان وجود دارد و ایستگاه بیرجند مشابه ایستگاه‌های خور و بشرویه در پهنه نواحی گرم و بیابانی قرار می‌گیرد (۶)، حال آنکه با

## ■ References

1. Alizadeh, A., (2004). Principles of Applied Hydrology. Twenty-Fure Edition. Imam Reza University Publication (in Farsi).
2. Afzali, M., Mahdavi, A., & Zare Chahkouei, M. (2010). Study Efficiency Thornthwaite Method Comparison with Class A Panin South Coastal of Iran. *Watershed Management Research*, 2 (109) - 114 (in Farsi).
3. Chan, D., Wu, Q., Jiang, G., & Dai, X. (2016). Projected Shifts in K<sub>üppen</sub> Climate Zones over China and Their Temporal Evolution in CMIP5 Multi-Model Simulations: *Advances in Atmospheric Sciences*, 33 (3), 283–293.
4. Esmacili, R., Montazeri, M., Esmacil Nejad, M., & Saberhaghighat, A. (2011). Climatic zoning of Khorasan Razavi Using Multivariate Statistical Methods. *Climatological Researches*, 7-8 (2), 43 -56 (in Farsi).
5. Farmahini Farahani, A., & Mahdavi, M. (2007). Application of plants as the index for categorizing of climatic classes. *Pajouhesh & Sazandegi*, 20 (1), 163-169 (in Farsi).
6. Golkar hamzee Yazd, H., Rezayinezhad, M., Tavousi, M. (2016). Climatic zoning of south Khorasan province with GIS software, *Water and Soil Conservation*, 6 (1), 62-47 (in Farsi).
7. Huang, J., Ji, M., Xie, Y., Wang, S., He, Y., & Ran, J. (2016). Global semi-arid climate change over last 60 years, *Clim Dyn*, 46 (3-4), 1131–1150.
8. Huo, Z., Dai, X., Feng, S., Kang, S., & Huang, G. (2013). Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *Hydrology*, 492 (2013), 24-34.
9. Kaviani, M.R. (2001). Climatological Study of Drought and Drought Indicators, *Geographic Research*, 1 (16), 71-89 (in Farsi).
10. Jafarpour, E. (2006). Climatology, Tehran University Press (in Farsi).
11. Masoudian, S. A., & Kaviani, M. (2008). Climatology of Iran: Isfahan University Press (In Farsi).
12. Miri, M., Azizi, G., Khoshakhlagh, F., & Rahimi, M. (2017). Evaluation Statistically of Temperature and Precipitation Datasets with Observed Data in Iran, *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 10 (35), 39- 51 (in Farsi).
13. Nicholson, Sharon E., (2011). Dry land Climatology, Cambridge University Press, New York.
14. Pravalie, R. (2013). Climatic Issues on Aridity Trends of Southern Oltenia in the Last five decades, *Geographia, Technica*, 17 (1), 70-79.
15. Rahimi, J., Ebrahimipour, M., & Khalili, A. (2013). Spatial changes of extended Demarton climatic zones affected by climate change in Iran: *Theoretical and Applied Climatology*, 3-4 (112), 409–418.
16. Ramezani Etedall, H., Ababaei, B., & Kaviani, A. (2018). Analysis of long-term changes in temperature over Iran using the cru ts dataset. *Water and Soil Resources Conservation*, 8 (1), 25- 47(in Farsi).
17. Razi, T. (2017). Koppen-Geiger climatic classification of Iran and investigation of its changes during 20<sup>th</sup> century: *Earth and Space Physics*, 2 (43), 419-439 (in Farsi).
18. Razi, T. (2017). An outlook on the Iranian K<sub>üppen</sub>-Geiger climate zones in the 21st century, *Geophysics*, 1 (11), 84-100 (in Farsi).

19. Rezaei Moghaddam, K., Karami, Gh., & Monfared, N. (2017). The geography of principle, concept and strategies of combating desertification: *A learnig for sustainable human development Regional Planning*, 3 (7), 167-192 (in Farsi).
20. Tavousi, T., Mahmoudi, P., & Sargolzayi Moghadam, F. (2010). Comparison of Spread of Dry and Semi-Arid Climates in Iran during 1976-2001, *Rangelands and Deserts*, 1 (17), 94-105 (in Farsi).
21. Tavousi, T. (2015). Desert and desertification in terms of weather, Sistan and Baluchestan University Press (in Farsi).
22. Tavousi, T., Shoja, F., Akbari, E., & Asgari, E. (2017). Assessment of land use change and Analysis process climate desertification wetland Gavkhvny, *Geographic Space*, 56 (16), 79-94 (in Farsi).
23. Tavousi, T. (2018). Investigating the trend of rainfall changes and UNP land index in the west and northwest of Iran's climate zones, *Scientii - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 105 (27), 85-96 (in Farsi).
24. Timuri, M., Abdollahi Mayvan, M., Batol Nejad, H., & Guilty; P. (2011). Study of the trend of the index of drought in Iran; Dehydration and Drought Research Center in Agriculture and Natural Resources, Karaj: *The First National Conference on Drought and Change Climate*, 883-888 (in Farsi).
25. Turkeş, M. (2003). Spatial and temporal variations in precipitation and aridity index series of Turkey, *Mediterranean climate*, 181-213.
26. Salvati, L., Zitti, M., Di Bartolomei, R., & Perini, L. (2012). Climate aridity under changing conditions and implications for the agricultural sector: Italy as a case study. *Geography*, 2013, 1-7.
27. Shabankari, M., & Gerami Motlagh, A. (2006). Climatic zoning of Bushehr, *Researches of Humanities University of Isfahan*, 1 (20), 187-210 (in Farsi).
28. Son, K., & Bac, D. (2015). Drought analysis according to shifting of climate zones to arid climate zone over Asia monsoon region, *Hydrology*, 529 (3), 1021-1029.
29. Spinoni, J., Vogt, J., Naumann, G., Carrao, H., & Barbosa, P. (2015). Towards identifying areas at climatological risk of desertification using the Kùppen-Geiger classification and FAO aridity index, *Climatology*, 35 (9), 2210-2222.
30. Warner, T.T. (2004). *Desert Meteorology*, Cambridge university press, New York.
31. Zare Abyaneh, H., Bayat Varkeshi, M., & Dinpashoh, Y. (2011). Study of Aridity Index Trends in Southern Half of Iran, *Water and Soil Science*, 2 (21), 81-92 (in Farsi).
32. Zandi, R. (2017). Climatic Classification of Khorasan Razavi Province Using the Demarton Method Using Geographic Information Systems, *Geographical New Studies Architecture and Urbanism*, 10 (1), 21-34 (in Farsi).
33. Zhi-qing, C., & Zhen-da, Z. (2001). Development of land desertification in Bashang area in the past 20 years. *Geographical Science*, 11 (4), 433-437.

## **Amendment of Climate Zones of the Northeastern Iran Based On a Combination of Changes in Aridity Index**

T. Tavosi<sup>1</sup>, F. Shoja<sup>2\*</sup>, E. Asgari<sup>3</sup>

1. Professor in Climatology, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
  2. Ph.D. in Climatology, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
  3. PhD student of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.
- \* Corresponding Author: Faeze.shoja@yahoo.com

Received date: 11/02/2018

Accepted date: 17/02/2019

### **Abstract**

The purpose of research is to rezoning the climate zones of the north east of Iran- located between 30° 35' to 38° 41'N and 56° 19' to 61° 16'E- based on the analysis of changes in the aridity index, in combination with other climatic parameters changes. Air temperature and precipitation parameters were provided in the scale of monthly average and annual over period time of 1990-2017. At first, the climate classification of the north east of Iran was revised by studying variations in precipitation, evapotranspiration and temperature and results were compared with the De Martonne and K<sub>ü</sub>ppen-Geiger climate classification. For analyzing the aridity status, trend of the above parameters in the form of UNEP index was tested using Mann-Kendall non-parametric method and Sen's slope estimator .Results indicated that applying of the aridity index, as a factor in improvement of the used pattern, caused the zoning of this method to be more precise than the previous methods. Therefore, the study area was classified into seven climatic groups, the zone Ac14 (Arid zone with cold winter and hot summer) with 39% and 9 stations, and Ec14 (Extremely-arid zone with cold winter and hot summer) with one station were the largest and smallest climate zones, respectively. Results of the Mann-Kendall test and trend line slope, for UNEP aridity index showed that the aridity and desertification intensity have increased in different parts of the area during 28 years.

**Keywords:** Combined classification pattern; UNEP index; Trend of desertification; Mann-Kendall non-parametric method