

منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم

طیب رضیئی*

استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(دریافت: ۹۵/۱/۱۶، پذیرش نهایی: ۹۵/۷/۲۷)

چکیده

در این پژوهش از میانگین بارش و دمای ماهانه ۱۵۵ ایستگاه همدیدی کشور در دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ برای تهیه نقشه اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر استفاده شد. بارش و دمای ماه‌های مختلف سال با استفاده از روش کریجینگ معمولی برای شبکه‌ای از نقاط با فاصله ۰/۱ درجه جغرافیایی، برآورد و گروه اقلیمی هر نقطه به روش کوپن-گایگر تعیین شد. نتیجه نشان داد که از ۳۱ گروه اقلیمی کوپن-گایگر ۹ مورد آن در ایران وجود دارد. همچنین با استفاده از داده‌های دمای ماهانه CRU و بارش ماهانه GPCP نقشه اقلیمی ایران برای پنج دوره بیست و پنج ساله ۱۹۰۱-۱۹۲۵، ۱۹۲۶-۱۹۵۰، ۱۹۵۱-۱۹۷۵، ۱۹۷۶-۲۰۰۰ و ۲۰۰۱-۲۰۱۴ تهیه و با یکدیگر مقایسه شد و مشخص گردید که گروه‌های اقلیمی موجود در ایران در گذشته ۱۱ مورد بوده است که دو مورد از آن‌ها بر اثر تغییرات اقلیمی ناپدید شده‌اند و جای خود را به گروه اقلیمی دیگری داده‌اند. نتایج همچنین نشان داد که جابه‌جایی‌های اقلیمی بیشتر در مناطق مرزی گروه‌های اقلیمی روی داده است و زیرگروه‌های اقلیم برفی بیشترین پس‌روی را در سال‌های گذشته داشته‌اند. همچنین مشخص شد که بخش زیادی از مناطق کوهستانی کشور که پیش‌تر اقلیم برفی داشته‌اند، امروزه دارای اقلیم معتدل یا تابستان‌های گرم هستند و اقلیم بیابانی گرم به سرعت جایگزین اقلیم بیابانی سرد در این مناطق می‌شود. اقلیم منطقه شمال غرب ایران بیشتر از هر منطقه دیگری دستخوش تغییر شده است و اقلیم نیمه‌بیابانی سرد به سرعت در حال گسترش به سوی این منطقه و پس‌راندن گروه‌های اقلیمی برفی و معتدل از این منطقه است.

واژه‌های کلیدی: ایران، تغییر اقلیم، کوپن-گایگر، منطقه‌بندی اقلیمی، CRU، GPCP.

۱. مقدمه

نقدهای بسیاری به روش طبقه‌بندی کوپن به‌ویژه به چگونگی تعیین مرز مناطق اقلیمی در این روش گرفته شد. در نتیجه کوپن و گایگر (۱۹۳۰)، تراورتا (۱۹۸۰)، رودلف (۱۹۸۱)، گوتر و کوترباخ (۱۹۹۰) و استرن و همکاران (۲۰۰۰) با ایجاد اصلاحاتی در روش اصلی طبقه‌بندی کوپن توانستند ایرادهای موجود در این روش را برطرف و نسخه اصلاح‌شده‌ای از آن را ارائه دهند که امروزه به‌طور گسترده استفاده می‌شود. روش طبقه‌بندی کوپن بر این اساس استوار است که گیاهان بومی هر منطقه بهترین نمایه برای تعیین اقلیم آن منطقه هستند و مرز بین مناطق اقلیمی مختلف را می‌توان با استفاده از محدوده‌های زیستی گیاهان مختلف مشخص کرد (تراورتا، ۱۹۸۰). از این رو در نظر گرفتن ارتباط بین اقلیم و پوشش گیاهی در روش طبقه‌بندی کوپن سبب شده است که اقلیم‌شناسان و پژوهشگران علوم محیطی و کشاورزی این روش را بیش از هر روش طبقه‌بندی

منطقه‌بندی اقلیمی کره زمین از دیرباز مورد توجه آب‌وهواشناسان بوده است و آن‌ها با استفاده از روش‌های گوناگون و بر اساس متغیرهای مهم اقلیمی مانند بارش و دما، کره زمین را به مناطق اقلیمی گوناگون طبقه‌بندی می‌کردند. از مهم‌ترین و معتبرترین روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی می‌توان به روش کوپن (۱۹۳۶) و تورنت‌وایت (۱۹۴۸) اشاره کرد که بیشتر از هر روش دیگری مورد پسند و استفاده پژوهشگران قرار گرفته است و پس از گذشت چندین دهه از عمرشان هنوز هم استفاده می‌شوند. کوپن (۱۹۰۰، ۱۹۳۱، ۱۹۳۶) کره زمین را بر اساس مقدار بارش و دما و نیز تغییرات فصلی، به پنج منطقه اصلی اقلیمی با عنوان اقلیم بارانی (C)، استوایی (A)، اقلیم خشک (B)، اقلیم معتدل بارانی (C)، اقلیم جنگلی برفی (D) و اقلیم قطبی (E) و سپس هر یک از این اقلیم‌ها را بر اساس تغییرات فصلی دما و بارش به مناطق اقلیمی کوچک‌تری تقسیم کرد. در گذر زمان

دیگری مورد توجه و استفاده قرار دهند. پس از کوپن، دانشمندان زیادی مانند تورنت وایت (۱۹۴۸) کوشش کردند تا روش بهتری برای طبقه‌بندی اقلیم ارائه دهند تا هم از مبنای فیزیکی قوی‌تری برخوردار باشد و هم مرزبندی مناطق اقلیمی در آن با دقت بیشتری تعیین گردد. اگرچه روش طبقه‌بندی اقلیمی تورنت وایت (۱۹۴۸) از اعتبار علمی بسیار بالایی برخوردار است ولی روش طبقه‌بندی کوپن همچنان به عنوان پرطرفدارترین روش طبقه‌بندی اقلیمی استفاده می‌شود. امروزه ارزیابی‌های اقلیمی منطقه‌ای و نیز اطلس‌های اقلیمی که در مراکز اقلیم‌شناسی مهم جهان ترسیم می‌شوند، روش کوپن را مبنای کار خود قرار داده‌اند (فائو، ۱۹۹۷).

کوپن و گایگر (۱۹۳۰) اولین نقشه طبقه‌بندی اقلیمی به روش کوپن-گایگر را به صورت دستی تهیه کردند. در بسیاری از کتاب‌های اقلیم‌شناسی نیز از همین نقشه برای معرفی مناطق اقلیمی جهان و نیز آموزش چگونگی طبقه‌بندی اقلیمی به دانشجویان اقلیم‌شناسی استفاده می‌شود (کوتک و همکاران، ۲۰۰۶). نیاز به روزآمد کردن نقشه طبقه‌بندی اقلیمی جهان به روش کوپن سبب شد که کوتک و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دمای ماهانه واحد تحقیقات اقلیمی دانشگاه ایست آنجلیا (CRU) و بارش ماهانه مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC) برای دوره زمانی ۱۹۵۱-۲۰۰۰ نقشه اقلیمی جهان را به روش کوپن-گایگر به‌روزرسانی کنند. دقت مکانی هر دو داده مورد استفاده ۰/۵ درجه جغرافیایی است. پیل و همکاران (۲۰۰۷) نیز با استفاده از داده‌های بلندمدت بارش و دمای شبکه داده‌های تاریخی اقلیم جهانی (GHCN2) نقشه دیگری از طبقه‌بندی اقلیمی جهان به روش کوپن-گایگر ارائه کردند. روبل و کوتک (۲۰۱۰) نیز با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دمای ماهانه CRU و بارش ماهانه GPCC نقشه دیگری از طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر برای کره زمین ارائه کردند و به بررسی جابه‌جایی‌های مناطق اقلیمی جهان در اثر تغییرات اقلیمی پرداختند. دقت هریک از این نقشه‌ها در مقیاس منطقه‌ای به کیفیت داده‌ها و تعداد

ایستگاه‌های استفاده شده از آن منطقه بستگی دارد. با توجه به دقت مکانی کم داده‌های استفاده‌شده در پژوهش‌های بالا لازم است تا طبقه‌بندی‌های اقلیمی در مقیاس قاره‌ای و کشوری با استفاده از شبکه متراکم‌تری از ایستگاه‌های هواشناسی صورت پذیرد تا نقشه دقیق‌تری از طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر برای هر منطقه اقلیمی تهیه گردد. در این راستا، استرن و همکاران (۲۰۰۰) با اصلاحاتی در روش طبقه‌بندی کوپن و استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استرالیا توانستند نقشه طبقه‌بندی اقلیمی کوپن را برای این کشور تهیه کنند. اسپاروک و همکاران (۲۰۰۷) هم با استفاده از ۱۳۴۲ ایستگاه هواشناسی پراکنده در گستره کشور برزیل و کشورهای همسایه آن به طبقه‌بندی اقلیمی این منطقه جهان به روش کوپن-گایگر پرداختند و نتیجه را با نقشه‌های اقلیمی قبلی که در مقیاس جهانی تهیه شده است، مقایسه کردند. چن و چن (۲۰۱۳) هم با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دانشگاه دلاور (Delaware) برای دوره زمانی ۱۹۰۱-۲۰۱۰ به ارزیابی استفاده از روش طبقه‌بندی کوپن در بررسی تغییرات بلندمدت و نیز تغییرپذیری کوتاه‌مدت اقلیمی در سطح جهان پرداختند. چان و همکاران (۲۰۱۶) نیز با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دانشگاه دلاور (Delaware) در دوره زمانی ۱۹۸۰-۱۹۹۹ کشور پهناور چین را به روش کوپن-گایگر، منطقه‌بندی و تأثیرات تغییر اقلیم در جابه‌جایی مناطق اقلیمی منطقه مورد مطالعه را بررسی و ارزیابی کردند.

تغییرات اقلیمی می‌تواند باعث افزایش یا کاهش گستره یک منطقه اقلیمی و در نتیجه جابه‌جایی مناطق اقلیمی گردد و تنش‌هایی را در جوامع گیاهی و جانوری آن مناطق پدید آورد (چن و چن، ۲۰۱۳؛ وانگ و اورلند، ۲۰۰۴). با توجه به اینکه در روش طبقه‌بندی کوپن از ترکیب دو متغیر اقلیمی مهم دما و بارش استفاده می‌شود، دانشمندان زیادی در سال‌های گذشته از این روش برای بررسی امکان جابه‌جایی مناطق اقلیمی در اثر پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی استفاده کرده‌اند. به عنوان مثال گوتر و کوترباخ (۱۹۹۰)، لومان

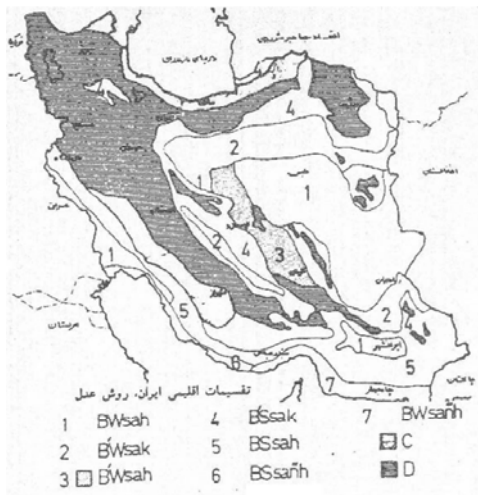
به آسانی امکان‌پذیر نیست. از این رو، نقشه‌های اقلیمی تهیه‌شده به وسیله گنجی و عدل در شکل ۱ بازتولید شده است تا هم در دسترس پژوهشگران کشور قرار گیرد و هم نتایج این تحقیق با آن‌ها مقایسه شود. بررسی منابع موجود نشان می‌دهد که تا سال ۱۳۸۷ کوشش دیگری برای شناسایی مناطق اقلیمی ایران به روش کوپن صورت نپذیرفته است. در این سال مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) در کتاب خود با عنوان آب‌وهوای ایران نقشه‌ای از مناطق اقلیمی ایران به روش کوپن ارائه دادند که در مقایسه با نقشه‌های اقلیمی گنجی (۱۳۳۴)، عدل (۱۳۳۹) و جوادی (۱۹۶۶) جزئیات بیشتری از مناطق اقلیمی ایران را به نمایش می‌گذارد. آن‌ها برای تهیه این نقشه از پایگاه داده اسفزاری که از درون‌یابی داده‌های بارش و دمای بیش از ۴۰۰۰ ایستگاه هواشناسی پراکنده در سطح کشور در دوره آماری ۱۳۴۰-۱۳۸۳ به دست آمده است، بهره برده‌اند. نقشه اقلیمی مسعودیان و کاویانی (شکل ۱-ج) در معرفی اغلب مناطق اقلیمی کشور با نقشه‌های اقلیمی شکل ۱-الف و شکل ۱-ب هماهنگ است و اندک تفاوت موجود بین آن‌ها را می‌توان به تعداد بسیار بیشتر ایستگاه‌های مورد استفاده مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) و نیز طول دوره آماری متفاوت این پژوهش‌ها نسبت داد. به نظر می‌رسد که شکل ۱-ج به‌خوبی توانسته است گروه‌های اقلیمی مناطق غربی و شمالی کشور را که از تراکم ایستگاهی خوبی برخوردارند، شناسایی کند و به نمایش بگذارد، ولی در شناسایی درست گروه‌های اقلیمی بخش مرکزی و شرقی کشور دقت لازم را نداشته است. به عنوان مثال پیدایش اقلیم معتدل مرطوب (Csa) در جنوب شرق کشور بسیار دور از واقعیت است. همچنین با توجه به شکل ۱-ج به نظر می‌رسد که اقلیم بیابانی سرد (BWk) در بخش مرکزی ایران به شکل ناباورانه‌ای به سوی مناطق داخلی ایران مرکزی پیش‌تاخته و اقلیم بیابانی گرم (BWh) را پس رانده است. پیدایش اقلیم معتدل مرطوب (Csa) در جنوب شرق کشور و کاهش قلمرو اقلیم بیابانی گرم (BWh) به سود اقلیم بیابانی سرد (BWk) در ایران مرکزی با واقعیت هم‌خوانی ندارد. این

و همکاران (۱۹۹۳)، فریدریش و همکاران (۲۰۰۱) و دی‌کاسترو و همکاران (۲۰۰۷) از روش طبقه‌بندی کوپن برای ارزیابی مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی گرمایش جهانی استفاده کردند. کلیدن و همکاران (۲۰۰۰) نیز با استفاده از روش طبقه‌بندی کوپن و شبیه‌سازی مدل‌های اقلیمی به بررسی و ارزیابی بیشترین اثر ممکن پوشش گیاهی در اقلیم جهانی پرداختند. دياز و ایشد (۲۰۰۷) گستره اقلیمی توندرای آلی منطقه کوهستانی غرب آمریکا را برای دوره ۱۹۰۱-۱۹۳۰ و دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۶ مقایسه کردند و دریافتند که منطقه توندرای آلی در مقایسه با گذشته در حدود ۷۳ درصد کاهش یافته است. کیم و همکاران (۲۰۰۸) هم با مقایسه دو دوره ۱۹۵۱-۱۹۷۰ و ۱۹۸۱-۲۰۰۰ دریافتند که منطقه شمال چین به سوی اقلیمی خشک‌تر و گرم‌تر در حال تغییر است. پیل و همکاران (۲۰۰۱) نیز با استفاده از روش طبقه‌بندی کوپن به ارزیابی تغییرات زمانی رواناب سالانه در مقیاس قاره‌ای پرداختند.

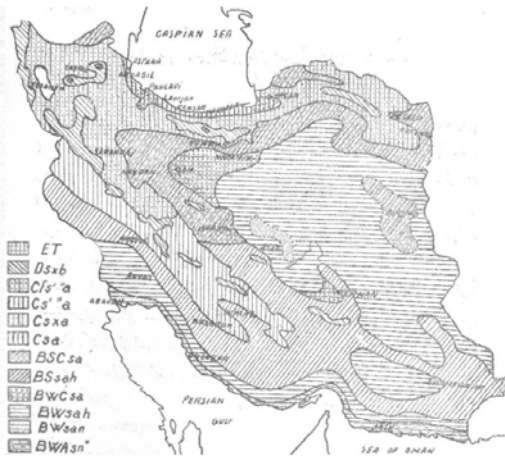
اولین نقشه منطقه‌بندی اقلیمی ایران به شیوه کوپن در سال ۱۳۳۴ به وسیله گنجی (۱۳۳۴) ارائه شد که برای تهیه آن از ۵۶ ایستگاه هواشناسی پراکنده در سطح کشور که از طول دوره آماری کوتاهی در زمان مطالعه برخوردار بودند، استفاده شده بود. چند سال بعد عدل (۱۳۳۹) نیز با ۶۶ ایستگاه هواشناسی پراکنده در سطح کشور یک بار دیگر ایران را به شیوه کوپن منطقه‌بندی کرد. جوادی (۱۹۶۶) هم در سال ۱۳۴۵ با استفاده از روش کوپن منطقه‌بندی دیگری از ایران ارائه کرد که اگرچه در جزئیات کمی با دو نقشه قبلی تفاوت دارد ولی در نمایش ساختار کلی مناطق اقلیمی ایران با آن‌ها کاملاً هماهنگ است (خلیلی و همکاران، ۱۳۷۰). با توجه به اینکه اغلب ایستگاه‌های هم‌دیدی کشور در سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۵۵ کار داده‌برداری را آغاز کرده‌اند، طول دوره آماری مورد استفاده عدل و جوادی نیز خیلی بیشتر از دوره آماری مورد استفاده گنجی نبوده است. با توجه به قدیمی بودن نقشه‌های اقلیمی ارائه‌شده از سوی گنجی (۱۳۳۴، ۱۳۵۳)، عدل (۱۳۳۹) و جوادی (۱۹۶۶)، دستیابی پژوهشگران به این نقشه‌ها

تغییرات اقلیمی روی داده در دهه‌های گذشته انجام گرفته است. با توجه به ناهمواری‌های پیچیده ایران (شکل ۲-الف) که در مسافت‌های کوتاه تفاوت‌های اقلیمی شدیدی را پدید آورده است، کوشش شده است تا از بیشترین تعداد ایستگاه ممکن برای تهیه این نقشه استفاده شود. برای دستیابی به این مهم از داده‌های مجموع بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه ۱۵۵ ایستگاه همدیدی ایران که از پراکنش تقریباً مناسبی در سطح کشور برخوردار هستند (شکل ۲-ب) استفاده شده است تا نقشه اقلیمی به دست آمده بیشترین هماهنگی را با واقعیت‌های اقلیمی مناطق مختلف جغرافیایی کشور داشته باشد.

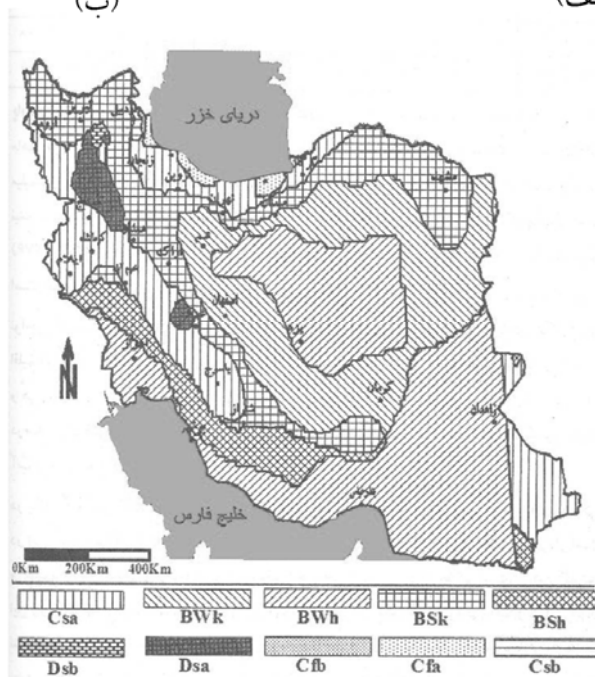
نتیجه را می‌توان به تعداد ناکافی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده از این بخش از کشور در پایگاه داده اسفزاری و نیز خطای فرایند درونیابی داده‌ها در این پایگاه نسبت داد. با توجه به تفاوت‌های موجود میان نقشه‌های شکل ۱ به‌ویژه تفاوت آن‌ها در شناسایی مناطق اقلیمی بخش مرکزی و شرقی کشور نیاز است تا طبقه‌بندی اقلیمی کشور با استفاده از شبکه مترامی از ایستگاه‌های هواشناسی انجام گیرد و مناطق اقلیمی ارائه شده در نقشه‌های شکل ۱ راستی آزمایی شود. از این رو، پژوهش حاضر با هدف به‌روزرسانی نقشه طبقه‌بندی اقلیمی ایران به شیوه کوپن-گایگر و نیز بررسی امکان جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در اثر گرمایش جهانی و



(ب)

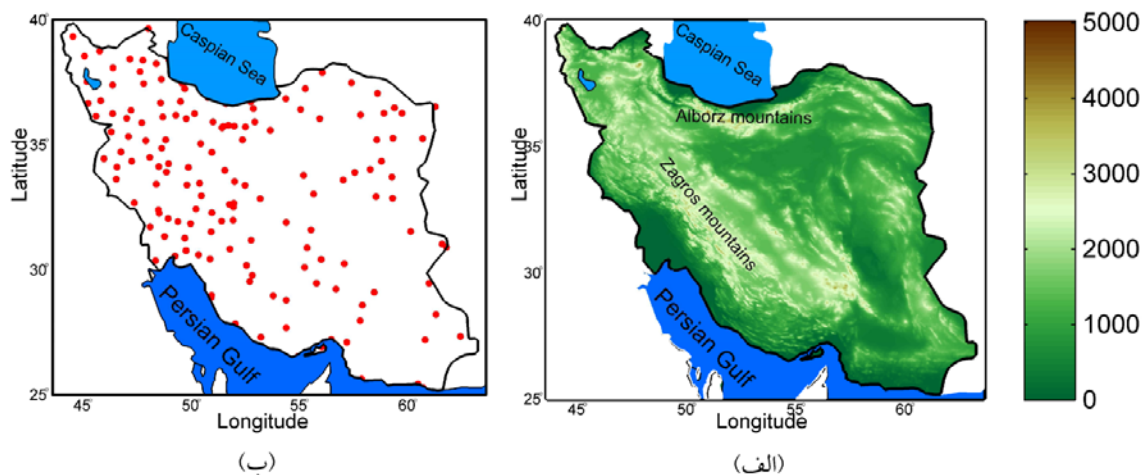


(الف)



(ج)

شکل ۱. نقشه طبقه‌بندی اقلیمی ایران به شیوه کوپن: الف) گنجی (۱۳۳۴)، ب) عدل (۱۳۳۹) و ج) مسعودیان-کاوایی (۱۳۸۷).



شکل ۲. الف) نقشه ناهمواری‌های ایران و ب) پراکنش ایستگاه‌های همدیدی بر روی نقشه ایران.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲-۱. داده‌ها

برای این پژوهش از آمار مجموع بارش ماهانه ۱۵۵ ایستگاه همدیدی کشور (شکل ۱-ب) برای دوره بیست و پنج ساله آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ استفاده شده است. اگرچه بسیاری از ایستگاه‌های مورد استفاده از آمار طولانی‌تری برخوردار هستند ولی دوره آماری مورد استفاده در این پژوهش از این جهت کوتاه‌تر در نظر گرفته شد تا یک شبکه تقریباً منظم از نقاط برای مطالعه به دست آید (شکل ۱-ب). در این دوره آماری اکثر ایستگاه‌های استفاده شده از آمار کامل برخوردار هستند. حدود ۲۰ درصد از ایستگاه‌ها در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ آمار گم شده دارند که با توجه به اینکه این آمار گم شده کمتر از ۱۰ درصد کل داده‌های هر ایستگاه را شامل می‌شود و اینکه توزیع نقاط در مقایسه با طول دوره آماری از اهمیت بیشتری در این مطالعه برخوردار است، آمار این دسته از ایستگاه‌ها نیز استفاده شدند. آمار گم شده این دسته از ایستگاه‌ها نیز با استفاده از روش درون‌یابی کمترین فاصله وزنی (Inverse Distance Weighed, IDW) برآورد و جایگزین گردید. با توجه به شکل ۱-ب ملاحظه می‌شود که پراکنش نقاط در سطح کشور تقریباً منظم است و از بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی کشور نیز علیرغم کمبود ایستگاه‌های داده‌برداری، ایستگاه‌های قابل توجهی استفاده شده است. شکل ۱-ب

نشان می‌دهد که از هر منطقه جغرافیایی کشور حداقل یک ایستگاه معرف در این نقشه دیده می‌شود که یک شرایط تقریباً آرمانی برای تهیه نقشه اقلیمی کشور به روش کوپن-گایگر را فراهم کرده است. دوره آماری انتخاب شده اگرچه اندکی کمتر از دوره آماری سی ساله پیشنهادی سازمان جهانی هواشناسی برای تعیین اقلیم یک منطقه است ولی بسیار بیشتر از دوره آماری پانزده ساله‌ای است که فریدریش و همکاران (۲۰۰۱) به عنوان دوره آماری بهینه برای تعیین اقلیم یک منطقه معرفی کردند.

به منظور ارزیابی نقشه اقلیمی به دست آمده از شبکه ایستگاهی نمایش داده شده در شکل ۱-ب و نیز بررسی امکان جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در اثر تغییرات اقلیمی رخ داده در دهه‌های گذشته، به پیروی از کوتک و همکاران (۲۰۰۶) و روبل و کوتک (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های دمای ماهانه CRU و بارش ماهانه GPCP نقشه اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر برای پنج دوره بیست و پنج ساله ۱۹۰۱-۱۹۲۵، ۱۹۲۶-۱۹۵۰، ۱۹۵۱-۱۹۷۵، ۱۹۷۶-۲۰۰۰ و ۲۰۰۱-۲۰۱۴ تهیه گردید. این داده‌ها دارای دقت مکانی ۰/۵ درجه جغرافیایی هستند و در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی (شکل ۱-ب) از طول دوره آماری بسیار طولانی‌تری برخوردارند که امکان تهیه نقشه‌های اقلیمی برای دوره‌های مختلف زمانی و بررسی تغییرات زمانی مناطق اقلیمی کشور در این دوره‌ها را فراهم آورده است. همان‌گونه که پیش از

این نیز بیان شد دوره زمانی بیست و پنج ساله انتخاب شده برای بررسی جابه‌جایی‌های اقلیمی در این پژوهش بسیار بیشتر از دوره آماری پانزده ساله‌ای است که فریدریش و همکاران (۲۰۰۱) به عنوان دوره آماری بهینه برای تعیین اقلیم یک منطقه معرفی کرده‌اند. علاوه بر این انتخاب این پنجره زمانی سبب می‌شود که تعداد دوره‌های بیشتری برای مقایسه به دست آید. همچنین یادآوری می‌شود که هم داده‌های CRU و هم داده‌های GPCC با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی سراسر کره زمین که به روش‌های مختلف کنترل کیفی شده‌اند، تهیه شده و در دسترس پژوهشگران قرار گرفته است. اگرچه شبکه داده‌های CRU علاوه بر داده‌های دما، داده‌های بارش را نیز با همین دقت مکانی دارد ولی با توجه به اینکه داده‌های GPCC تغییرات مکانی بارش در سطح جهان را با دقت بیشتری شبیه‌سازی می‌کند، در این پژوهش از داده‌های بارش GPCC به جای داده‌های بارش CRU استفاده شده است. یادآوری می‌گردد که در تهیه داده‌های GPCC علاوه بر داده‌های ایستگاه‌های زمینی از داده‌های ماهواره‌ای، داده‌های CRU و داده‌های GHCN2 نیز استفاده شده است. علاوه بر این میری و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان داده‌اند که داده‌های بارش GPCC برآورد بسیار خوبی از بارش ماهانه نقاط مختلف ایران به دست می‌دهد و می‌توان از آن به جای داده‌های زمینی استفاده کرد.

۲-۲. روش‌ها

از زمانی که کوپن روش طبقه‌بندی اقلیمی خود را ارائه داد تا سال ۲۰۰۰ تغییراتی به وسیله پژوهشگران مختلف برای بهبود این روش پیشنهاد گردید. به همین دلیل نسخه‌های مختلفی از روش کوپن وجود دارد که تا حدودی با یکدیگر متفاوت هستند. در این پژوهش به پیروی از کوتک و همکاران (۲۰۰۶) و روبل و کوتک (۲۰۱۰) از روش طبقه‌بندی کوپن-گایگر استفاده شد تا نتیجه به دست آمده قابلیت مقایسه با نتایج پژوهش‌های اخیر را داشته باشد. پنج اقلیم اصلی کوپن با عنوان اقلیم بارانی استوایی (A)، اقلیم

خشک (B)، اقلیم معتدل بارانی (C)، اقلیم جنگلی برفی (D) و اقلیم قطبی (E)، بر اساس بارش و دمای سالانه، تعیین شده و هر یک از آن‌ها بر اساس تغییرات فصلی بارش به مناطق اقلیمی کوچک‌تری تقسیم می‌شود. دومین حرف در طبقه‌بندی اقلیمی کوپن که بر اساس بارش تعیین می‌شود فصل بارش ایستگاه را تعیین می‌کند. بر این اساس s به معنای تابستان خشک، w به معنای زمستان خشک و f به معنای نبود فصل خشک یا اقلیم کاملاً مرطوب است. از این رو با توجه به جدول ۱ در روش طبقه‌بندی کوپن-گایگر دو حرف اول نقش اصلی را در تعریف مناطق اقلیمی دارند. حرف سوم از طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر نیز شرایط دمایی ایستگاه را بیان می‌کند که بر اساس آن هر اقلیم به زیر گروه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود. چگونگی تعیین سومین حرف از طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول Tmon میانگین دمای ماهانه را بر اساس درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد.

از پنج گروه اقلیمی کوپن-گایگر چهار گروه A، C، D و E تنها بر اساس معیار دما شناسایی می‌شوند، در حالی که برای تعیین گروه اقلیمی B از ترکیب مجموع بارش سالانه و میانگین دمای سالانه ایستگاه استفاده می‌شود (پیل و همکاران، ۲۰۰۷). در جدول ۱ میانگین دمای سالانه با Tann و میانگین دمای گرم‌ترین و سردترین ماه سال به ترتیب با Tmax و Tmin نمایش داده شده است. همچنین مجموع بارش سالانه و مجموع بارش خشک‌ترین ماه سال نیز به ترتیب با Pann و Pmin نشان داده شده است. کمترین و بیشترین بارش تابستانه و زمستانه نیز به ترتیب با Pmax، Pmin، Pwmax و Pwmin نمایش داده شده است. در جدول ۱ همچنین Pth آستانه درجه خشکی است که از آن برای شناسایی مناطق خشک (B) استفاده می‌شود. رابطه ۱ چگونگی تعیین این آستانه را نشان می‌دهد. یادآوری می‌شود که در روش طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر واحد بارش و دمای هوا به ترتیب میلی‌متر و درجه سانتی‌گراد است.

$$P_{th} = \begin{cases} 2\{T_{ann}\} \\ 2\{T_{ann}\} + 28 \\ 2\{T_{ann}\} + 14 \end{cases} \quad (1)$$

اگر دوسوم بارش سالانه در زمستان بیارد
اگر دوسوم بارش سالانه در تابستان بیارد
اگر فصل تمرکز بارش مشخص نباشد

جدول ۱. گروه‌های اصلی طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر، ویژگی‌ها و معیارهای شناسایی آن‌ها (کوتک و همکاران، ۲۰۰۶).

معیار شناسایی	توضیح	نوع اقلیم
$T_{min} \geq +18\text{ C}^\circ$	اقلیم استوایی	A
$P_{min} \geq 60\text{ mm}$	اقلیم استوایی جنگلی بسیار مرطوب	Af
$P_{ann} \geq 25(100 - P_{min})$	اقلیم استوایی موسمی	Am
$P_{min} < 60\text{ mm in summer}$	اقلیم استوایی ساوانا با تابستان‌های خشک	As
$P_{min} < 60\text{ mm in winter}$	اقلیم استوایی ساوانا با زمستان‌های خشک	Aw
$P_{ann} < 10 P_{th}$	اقلیم‌های خشک	B
$P_{ann} > 5 P_{th}$	اقلیم استپ یا نیمه‌خشک	BS
$P_{ann} \leq 5 P_{th}$	اقلیم بیابانی	BW
$-3\text{ C}^\circ < T_{min} < +18\text{ C}^\circ$	اقلیم‌های گرم معتدل	C
$P_{smin} < P_{wmin}, P_{wmax} > 3 P_{smin}$ and $P_{smin} < 40\text{ mm}$	اقلیم گرم معتدل با تابستان خشک	Cs
$P_{wmin} < P_{smin}$ and $P_{smax} > 10 P_{wmin}$	اقلیم گرم معتدل با زمستان خشک	Cw
neither Cs nor Cw	اقلیم گرم معتدل بسیار مرطوب	Cf
$T_{min} \leq -3\text{ C}^\circ$	اقلیم‌های برفی	D
$P_{smin} < P_{wmin}, P_{wmax} > 3 P_{smin}$ and $P_{smin} < 40\text{ mm}$	اقلیم برفی با تابستان‌های خشک	Ds
$P_{wmin} < P_{smin}$ and $P_{smax} > 10 P_{wmin}$	اقلیم برفی با زمستان‌های خشک	Dw
Dw اقلیمی که نه Ds است و نه Dw	اقلیم برفی بسیار مرطوب	Df
$T_{max} < +10\text{ C}^\circ$	اقلیم‌های قطبی	E
$0\text{ C}^\circ \leq T_{max} < +10\text{ C}^\circ$	اقلیم تندرا	ET
$T_{max} < 0\text{ C}^\circ$	اقلیم یخبندان	EF

جدول ۲. چگونگی تعیین شرایط دمایی (سومین حرف) گروه‌های اقلیمی کوپن-گایگر (کوتک و همکاران، ۲۰۰۶).

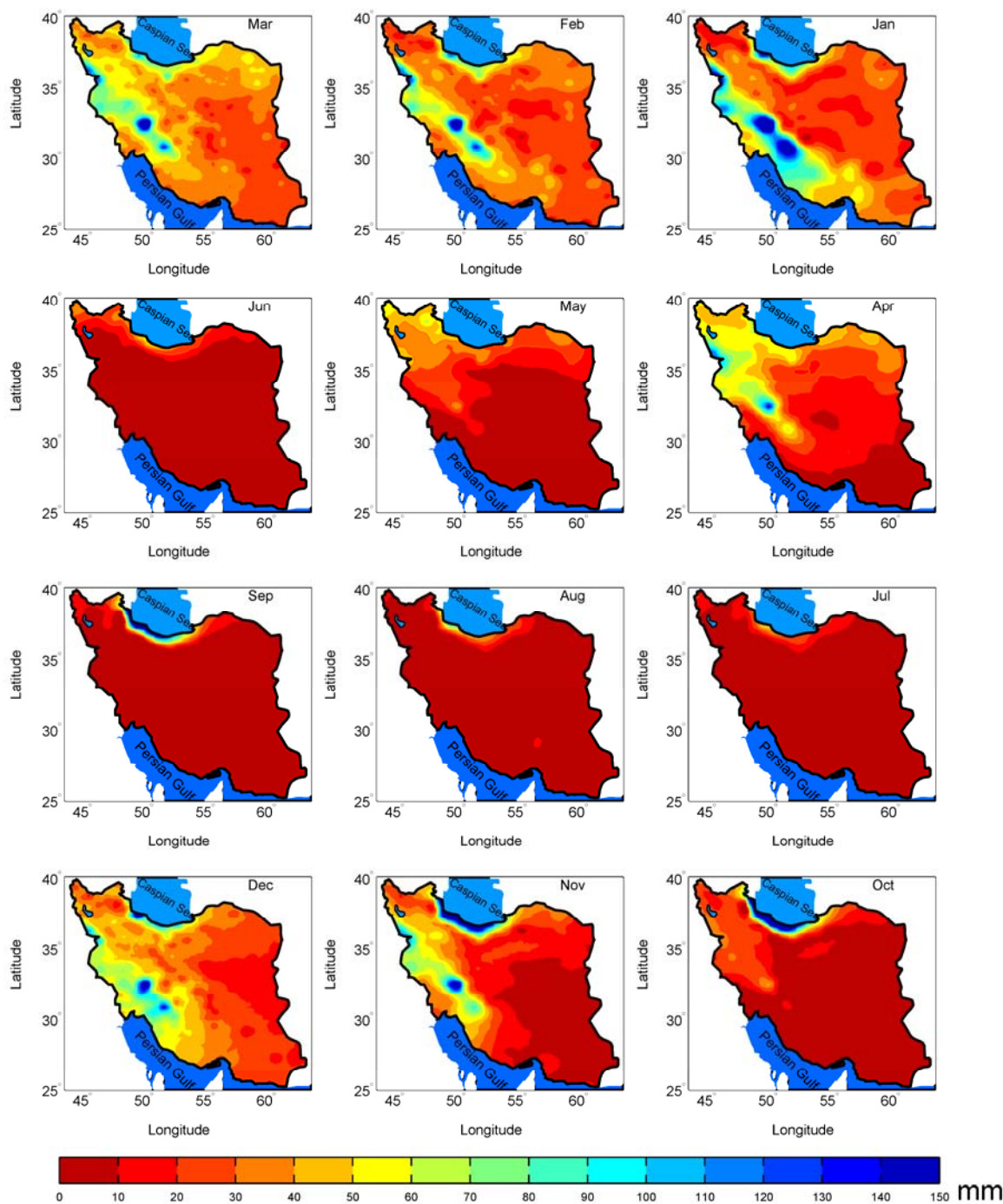
معیار شناسایی	ویژگی	نوع اقلیم
$T_{ann} \geq +18\text{ C}^\circ$	استپ/بیابان گرم	h
$T_{ann} < +18\text{ C}^\circ$	استپ/بیابان سرد	k
$T_{max} \geq +22\text{ C}^\circ$	تابستان بسیار گرم	a
اقلیمی که a نیست و حداقل ۴ ماه از سال دمای ماهانه آن بیشتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد است.	تابستان گرم	b
اقلیمی که b نیست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

استفاده از روش زمین‌آماري کريجينگ معمولی به نقشه تبدیل شد (شکل‌های ۳ و ۴) تا از آن‌ها برای تهیه نقشه اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر استفاده شود.

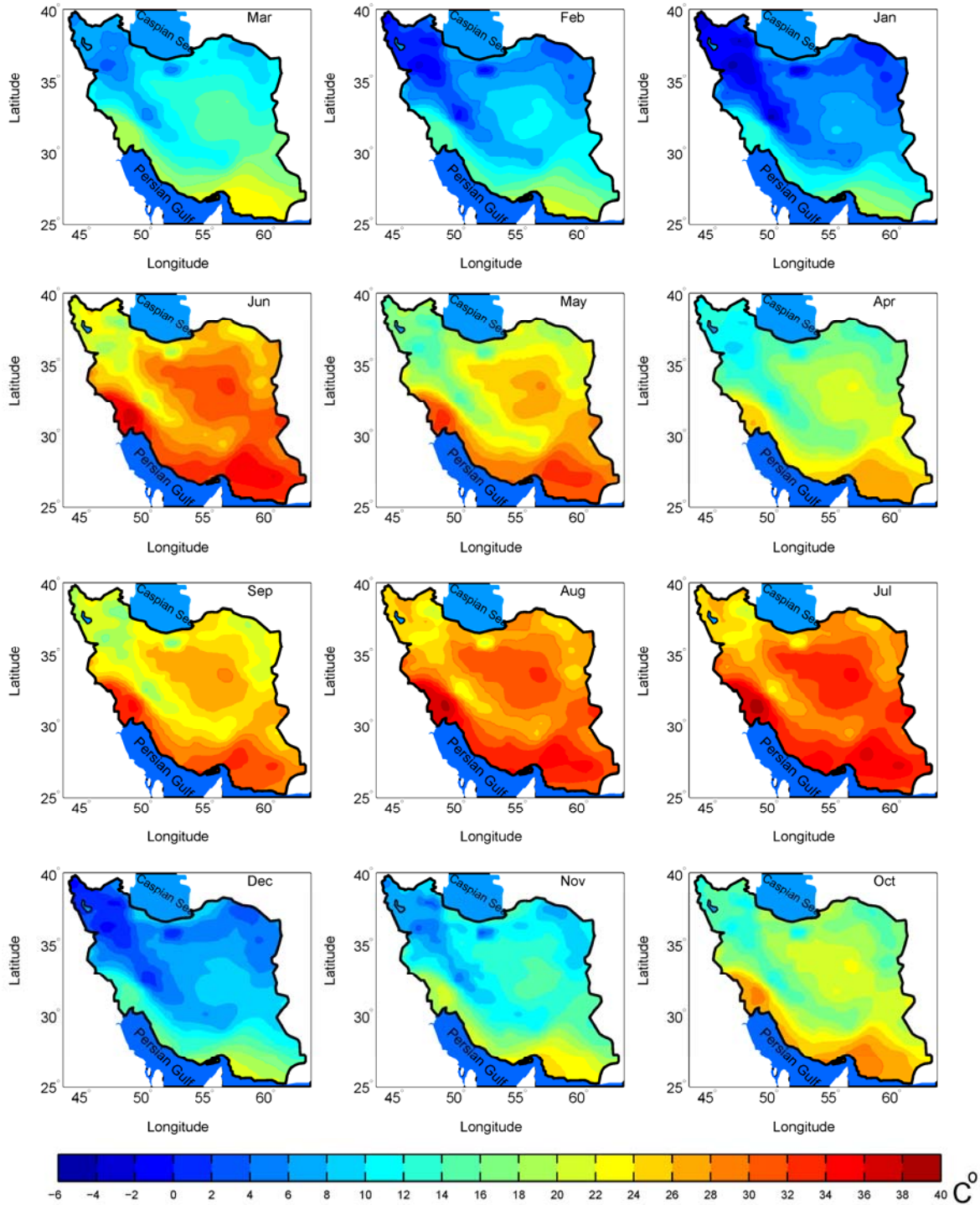
با توجه به توزیع تقریباً منظم ایستگاه‌ها در سطح کشور (شکل ۲-ب)، میانگین بارش و دمای ماهانه ایستگاه‌ها در ماه‌های مختلف سال و دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴ با

سال برای شبکه‌ای از نقاط با فاصله ۰/۱ درجه جغرافیایی، استخراج و گروه اقلیمی آن‌ها به روش کوپن-گایگر تعیین شد. همچنین با استفاده از داده‌های کوپن و GPCP نقشه اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر برای پنج دوره بیست و پنج ساله ۱۹۰۱-۱۹۲۵، ۱۹۲۶-۱۹۵۰، ۱۹۵۱-۱۹۷۵، ۱۹۷۶-۲۰۰۰ و ۲۰۰۱-۲۰۱۴ تهیه شد و تغییرات مناطق اقلیمی کشور در دوره‌های مختلف مقایسه شد.

شکل‌های ۳ و ۴ اثر ناهمواری‌های کشور، به‌ویژه رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز و نیز نقش دریای خزر در توزیع مکانی بارش و دما در ایران را برای ماه‌های مختلف سال به‌خوبی نشان می‌دهند. استفاده از نقشه‌های شکل‌های ۳ و ۴ می‌تواند مناطق اقلیمی ایران، به‌ویژه مناطق اقلیمی کوچکی را که تحت تأثیر ارتفاعات به وجود آمده‌اند، به‌خوبی نمایش دهد. از این رو با استفاده از شکل‌های ۳ و ۴ مقادیر بارش و دمای ماه‌های مختلف



شکل ۳. الگوی توزیع مکانی میانگین بارش ماهانه در گستره ایران برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴ (واحد: میلی‌متر).



شکل ۴. الگوی توزیع مکانی میانگین دمای ماهانه در گستره ایران برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴ (واحد: درجه سانتی‌گراد).

۳. نتایج

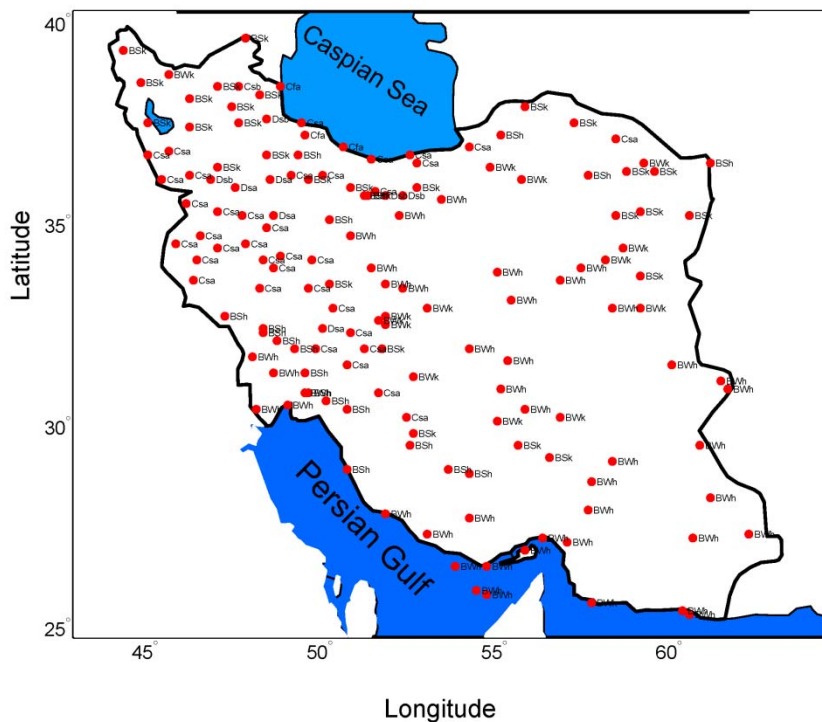
۳-۱. منطقه‌بندی اقلیمی ایران

شکل ۵-الف گروه اقلیمی ایستگاه‌های مورد استفاده را در روش کوپن-گایگر نمایش می‌دهد. با توجه به این نقشه بیشتر ایستگاه‌هایی که در مرکز، شرق و جنوب

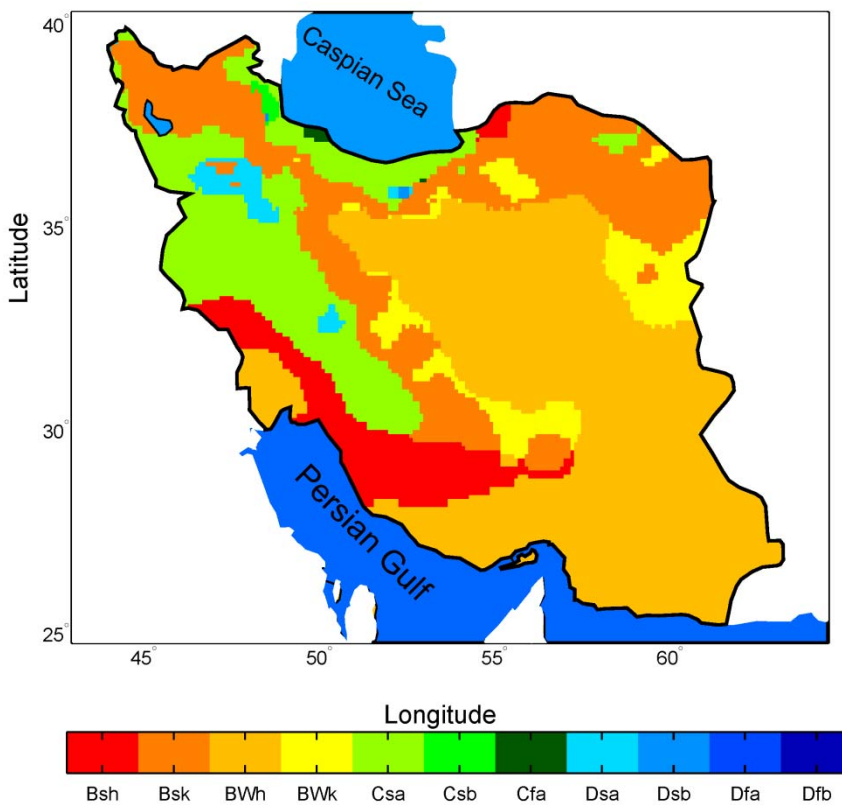
کشور پراکنده‌اند، دارای اقلیم بیابانی گرم یا BWh هستند. با کاهش دما در اثر افزایش ارتفاع، اقلیم برخی از ایستگاه‌های این منطقه به BWh تغییر پیدا می‌کند. برخی دیگر از ایستگاه‌های حاشیه اقلیم بیابانی گرم در جنوب کشور که از ارتفاع و بارش

بیشتری برخوردارند دارای اقلیم نیمه‌بیابانی گرم یا BSh هستند. بخش بسیار بزرگی از ایستگاه‌های کوهپایه‌ای کشور در منطقه کوهستانی زاگرس و البرز در غرب و شمال‌شرق کشور نیز از اقلیم نیمه‌بیابانی سرد یا BSk برخوردارند. تعداد بسیار زیادی از ایستگاه‌های کوهستانی زاگرس نیز دارای اقلیم معتدل مرطوب یا Csa هستند. اکثر ایستگاه‌های ناحیه خزری نیز در گروه اقلیمی Cfa یا معتدل بسیار مرطوب قرار دارند. کاهش دما در اثر ارتفاع سبب شده است که ایستگاه‌های پراکنده‌ای در منطقه زاگرس و البرز که دارای ارتفاع بسیار زیادی هستند، از اقلیم برفی Dsa و Dsb برخوردار شوند. با نگاهی به شکل ۵-الف می‌توان دریافت که اقلیم غالب در کشور اقلیم بیابانی (BW) و نیمه‌بیابانی (BS) است و اقلیم معتدل به بخشی از زاگرس و دامنه‌های شمالی البرز محدود می‌شود. شکل ۵-ب که با استفاده از نقشه‌های بارش و دمای ماهانه شکل‌های ۳ و ۴ تهیه شده است، مناطق اقلیمی ایران به شیوه کوپن-گایگر را بهتر نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵-ب مناطق کم‌ارتفاع داخلی ایران شامل دشت کویر و دشت لوت و همچنین نیمه جنوبی ایران و بخشی از استان خوزستان از اقلیم بیابانی گرم یا BWh برخوردارند که به دلیل تأثیر ارتفاع در برخی مناطق پیرامونی به اقلیم بیابانی سرد یا BWk تبدیل می‌شود. دامنه‌های شرقی زاگرس و دامنه‌های جنوبی البرز و همچنین مناطق کوهستانی شمال‌شرق کشور و بخش بسیار زیادی از شمال‌غرب ایران از اقلیم استپی یا نیمه‌بیابانی سرد (BSk) برخوردارند. اقلیم استپی گرم و یا نیمه‌بیابانی گرم (BSh) به دامنه‌های جنوبی زاگرس در استان خوزستان، فارس و بوشهر و همچنین بخش کوچکی از استان گلستان در شمال‌شرق کشور محدود می‌شود که تابستان‌های بسیار گرمی دارند. با توجه به شکل ۵-ب اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم (Csa) بخش

گسترده‌ای از منطقه کوهستانی البرز در شمال و زاگرس در غرب کشور را تشکیل می‌دهد. تحت تأثیر ارتفاع، اقلیم مناطق پر ارتفاع البرز و زاگرس به اقلیم Dsa یا اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم تبدیل می‌شود. گستره این اقلیم در زاگرس بسیار بیشتر از البرز است. شکل ۵-ب همچنین نشان می‌دهد که برخی نقاط البرز از اقلیم Dsb برخوردار است که در مقایسه با اقلیم Dsa تابستان‌های خنک‌تری دارند و سبب ماندگاری بیشتر برف در ارتفاعات می‌شود. بخش کوچکی از غرب گیلان دارای اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و گرم (Csb) است و بخش کوچک‌تری از مرکز گیلان از اقلیم معتدل پر باران (بدون فصل خشک) با تابستان‌های گرم (Cfa) برخوردار است. با توجه به شکل ۵-الف ایستگاه انزلی نیز دارای اقلیم Cfa می‌باشد ولی محل این ایستگاه در شکل ۵-ب با اقلیم Csa معرفی شده است. دلیل این ناهماهنگی نیز متفاوت بودن مقدار بارش و دمای این ایستگاه با ایستگاه‌های همسایه است که در اثر درونیایی مقادیر بارش و دمای این ایستگاه، از مقدار واقعی ایستگاه فاصله گرفته و به همین دلیل اقلیم این محل در شکل ۵-ب به اقلیم Csa تبدیل شده است. با توجه به شکل ۵-الف و ۵-ب، از ۳۱ گروه اقلیمی کوپن-گایگر بر روی کره زمین ۹ گروه اقلیمی آن را می‌توان در گستره ایران زمین یافت (جدول ۳). اما با توجه به شکل ۵-ب می‌توان گفت که از این ۹ گروه اقلیمی تنها چهار گروه اقلیمی BWh، BSk، CSa و BSh گروه‌های اقلیمی مهم ایران هستند که هر یک بخش بسیار بزرگی از کشور را در بر می‌گیرند و دیگر گروه‌های اقلیمی که به واسطه تأثیر شدید ارتفاع بر روی دما و بارش محل پدید آمده‌اند، بخش بسیار کوچکی از مساحت کشور را در بر می‌گیرند. برای هر یک از ۹ اقلیم شناسایی شده در کشور یک ایستگاه به عنوان ایستگاه معرف، انتخاب و اقلیم نمای آن در شکل ۶ نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

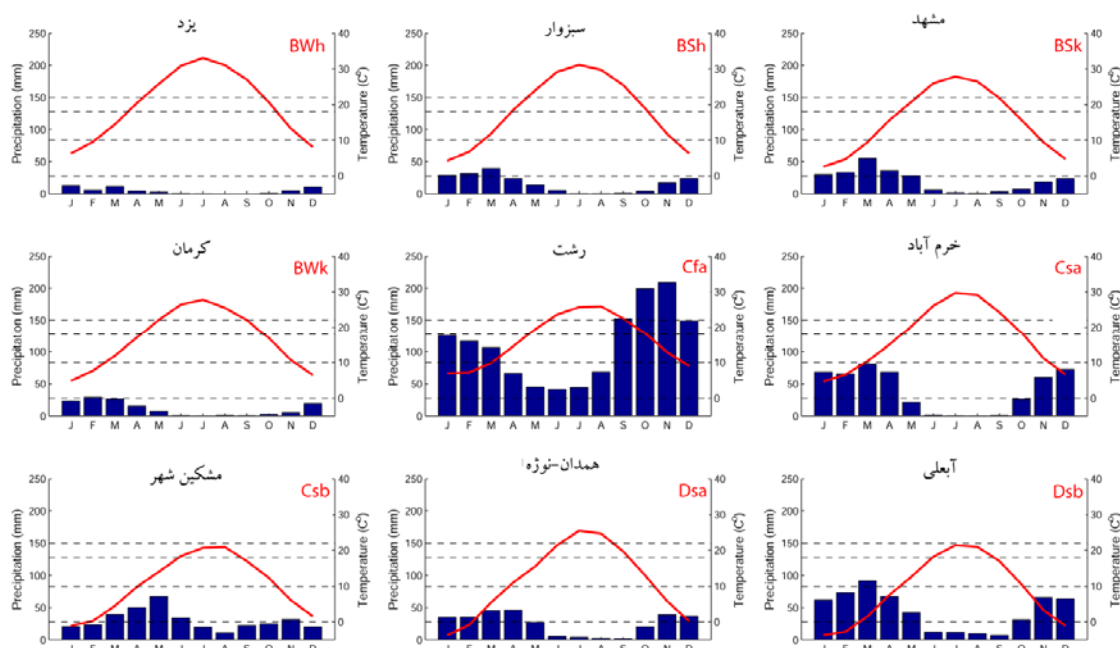
شکل ۵. الف) اقلیم ایستگاه‌های مورد مطالعه و ب) مناطق اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر (دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴).

جدول ۳. ویژه گی های گروه های اقلیمی کوپن-گایگر موجود در ایران.

شماره	کد یا نام اقلیم کوپن-گایگر	ویژگی ها
۱	BWh	بیابان خشک و بسیار گرم
۲	BWk	بیابان خشک و سرد
۳	BSh	نیمه بیابانی (استپ) خشک و بسیار گرم
۴	BSk	نیمه بیابانی (استپ) خشک و سرد
۵	Csa	معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم
۶	Csb	معتدل با تابستان های خشک و گرم
۷	Cfa	معتدل پر باران (بدون فصل خشک) با تابستان های گرم
۸	Dsa	اقلیم برفی با تابستان های خشک و بسیار گرم
۹	Dsb	اقلیم برفی با تابستان های خشک و گرم

اقلیم نما نموداری است که با استفاده از آن می توان رژیم دما و بارش یک ایستگاه را شناسایی و همچنین به وسیله آن اقلیم آن ایستگاه را به روش کوپن تعیین کرد. شکل ۶ اقلیم نمای ایستگاه های معرف هریک از مناطق اقلیمی ایران را که در شکل ۵-ب و جدول ۳ نشان داده شده است، نمایش می دهد. اقلیم نمای ایستگاه یزد نشان می دهد که مقدار بارش ماه های مختلف سال در این ایستگاه بسیار ناچیز و این ایستگاه دارای یک فصل طولانی خشک است که با دمای بسیار بالای هوا در تمام ماه های سال همراه است. با توجه به آستانه های دمایی کوپن-گایگر که بر روی اقلیم نماهای شکل ۶ نمایش داده شده است، ایستگاه یزد دارای اقلیم بیابانی گرم (BWh) است. با توجه به همین آستانه های دمایی ایستگاه کرمان از اقلیم بیابانی سرد (BWk) برخوردار است که در آن مقدار بارش در ماه های مختلف سال خیلی کم است و یک فصل طولانی خشک دارد ولی در مقایسه با ایستگاه یزد تابستان های بسیار خنک تر و زمستان های سردتری دارد. اقلیم نمای ایستگاه سبزوار که از اقلیم نیمه بیابانی گرم (BSh) برخوردار است، نشان می دهد که دمای هوا به ویژه در فصل سرد سال اندکی کمتر از ایستگاه یزد است و مقدار بارش آن نیز در مقایسه با یزد بسیار بیشتر است. شرایط جغرافیایی ایستگاه مشهد سبب شده است که این ایستگاه در مقایسه با سبزوار و یزد از بارش بیشتر و دمای کمتری در ماه های مختلف سال برخوردار باشد و در نتیجه این ایستگاه با اقلیم نیمه بیابانی سرد (BSk) مشخص شود.

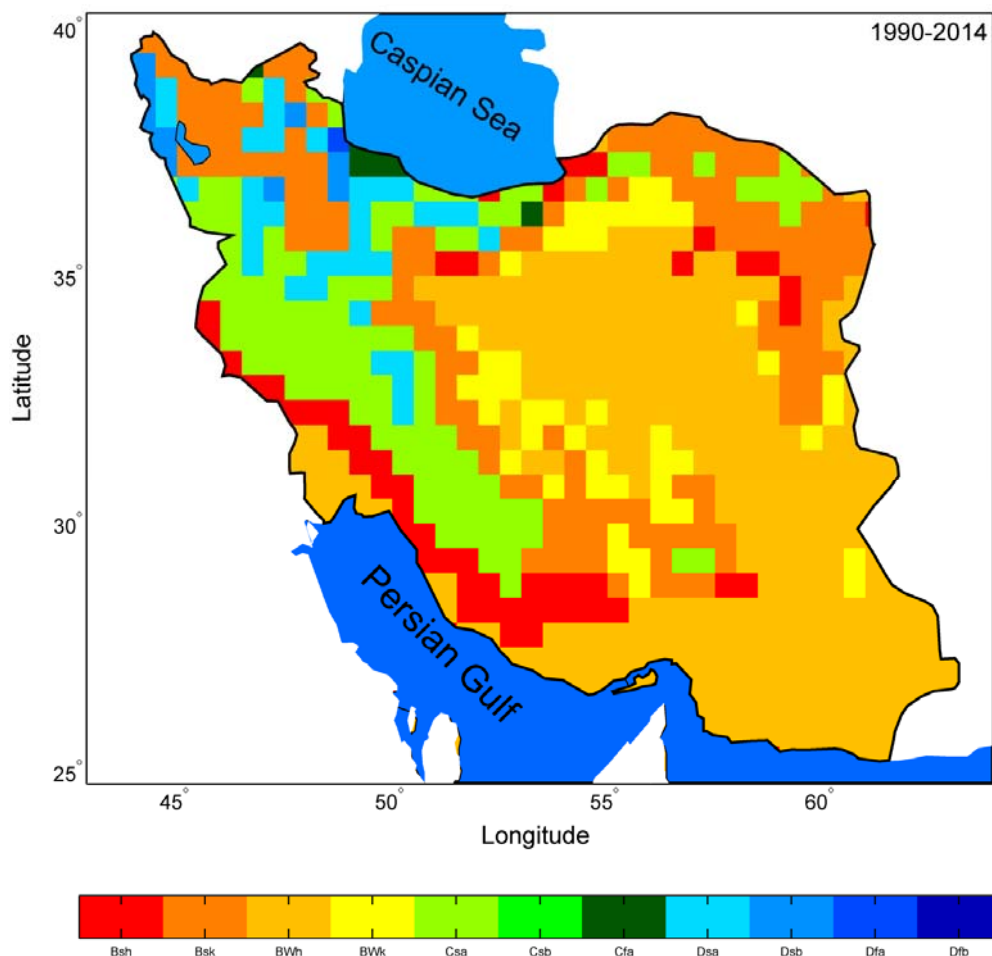
ایستگاه رشت معرف اقلیم معتدل پر باران با تابستان های گرم و بدون فصل خشک (Cfa) است. این نوع اقلیم در ایران تنها در نوار ساحلی دریای خزر دیده می شود. در این اقلیم بارش به طور تقریباً منظمی در همه ماه های سال توزیع شده است و در آن فصل خشک مطلق دیده نمی شود. به واسطه بارش های منظم طی سال این اقلیم دارای زمستان های معتدل ولی تابستان های گرم و شرجی است. ایستگاه خرم آباد نیز معرف اقلیم معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم (Csa) است که بخش زیادی از زاگرس، البرز و ناحیه خزری را در بر می گیرد. این اقلیم اگرچه از یک دوره خشک تابستانه برخوردار است ولی در اغلب ماه های سال بارش تقریباً خوبی دریافت می کند و تابستان های آن نیز خنک است. مشکین شهر معرف سومین اقلیم معتدل کشور یعنی اقلیم معتدل با تابستان های خشک و گرم (Csb) است که در مقایسه با اقلیم معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم (Csa) از زمستان های سردتر و تابستان های خنک تری برخوردار است و فصل خشک کوتاه تری نیز دارد. وسعت این اقلیم در کشور بسیار محدود است. ایستگاه همدان- نوژه معرف اقلیم برفی با تابستان های خشک و بسیار گرم (Dsa) است که در زمستان بسیار سرد است ولی تابستان های بسیار گرمی دارد. سرانجام ایستگاه آبعلی معرف اقلیم برفی با تابستان های خشک و گرم (Dsb) است که در مقایسه با اقلیم Dsa تابستان های خنک تری دارد و از بارش بیشتری نیز برخوردار است.



شکل ۶. اقلیم‌نمای کوپن برای ایستگاه‌های معرف گروه‌های اقلیمی موجود در ایران. خط‌چین‌های افقی در برابر دمای صفر، ۱۰، ۱۸ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد ایستگاه‌های دمایی کوپن-گایگر هستند که به کمک آن نوع اقلیم یک ایستگاه تعیین می‌شود.

سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۶۰ بسیار اندک است و هرچه به سال ۲۰۱۴ نزدیک می‌شویم بر تعداد آن‌ها افزوده می‌شود. همچنین همان‌گونه که در بخش ۱ گفته شد، دقت مکانی داده‌های CRU و GPCC که از آن‌ها برای تهیه شکل ۷ استفاده شده است، ۰/۵ درجه جغرافیایی و دقت مکانی داده‌های مورد استفاده برای تهیه شکل ۵-ب ۰/۱ درجه جغرافیایی است. از این رو تعداد متغیر ایستگاه‌های ایرانی مورد استفاده CRU و GPCC در درون‌یابی دما و بارش بر روی ایران و نیز تفاوت در دقت مکانی داده‌های مورد استفاده برای تهیه شکل‌های ۵-ب و ۷ می‌تواند اندک ناهماهنگی‌های موجود در این دو شکل را توجیه کند. وجود یاخته‌هایی با اقلیم برفی در شکل ۷ می‌تواند نتیجه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در تولید داده‌های CRU و GPCC باشد که سبب نمایش بهتر اقلیم ارتفاعات در مناطق شمالی و شمال غربی ایران شده است، در حالی که بیشتر ایستگاه‌های مورد استفاده برای تهیه شکل ۵-ب در نقاط کم‌ارتفاع (مناطق شهری) قرار دارد و به همین دلیل این شبکه ایستگاهی (شکل ۱-ب) اطلاعاتی از وضعیت دما و بارش نقاط مرتفع کوهستانی به دست نداده است تا اثر آن در شکل ۵-ب منعکس شود.

شکل ۷ مناطق اقلیمی ایران را که با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دمای CRU و بارش GPCC برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴ به دست آمده است، نشان می‌دهد. مقایسه شکل ۵ب و شکل ۷ نشان می‌دهد؛ اگرچه تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده (دقت مکانی داده‌ها) برای تهیه این دو شکل با یکدیگر متفاوت است ولی هر دو شکل در نمایش مناطق اقلیمی ایران تقریباً هماهنگ هستند. این هماهنگی به‌ویژه در نمایش مناطق اقلیمی بیابانی و نیمه‌بیابانی بیشتر است. بیشترین تفاوت میان این دو شکل در منطقه کوهستانی شمال و شمال غرب کشور دیده می‌شود. در شکل ۵-ب اقلیم منطقه شمال و شمال غرب کشور و نواری که آن را به مرکز کشور می‌رساند نیمه‌بیابانی خشک و سرد است در حالی که یاخته‌های پراکنده زیادی از این منطقه در شکل ۷ با گروه‌های مختلفی از اقلیم برفی نمایش داده شده است. از آنجایی که CRU و GPCC از تعداد ایستگاه‌های هواشناسی ایرانی بسیار کمتری برای درون‌یابی دما و بارش بر روی ایران استفاده کرده است، شاید مقایسه شکل ۵-ب و شکل ۷ کار درستی نباشد و بخش زیادی از این ناهماهنگی‌ها به تعداد ایستگاه‌های متفاوت برای تهیه این دو شکل مربوط باشد. تعداد ایستگاه‌های هواشناسی ایرانی مورد استفاده CRU و GPCC در



شکل ۷. همانند شکل ۵-ب ولی با استفاده از بارش ماهانه GPCC و میانگین دمای ماهانه CRU در دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴.

۳-۲. جابه‌جایی مناطق اقلیمی ایران

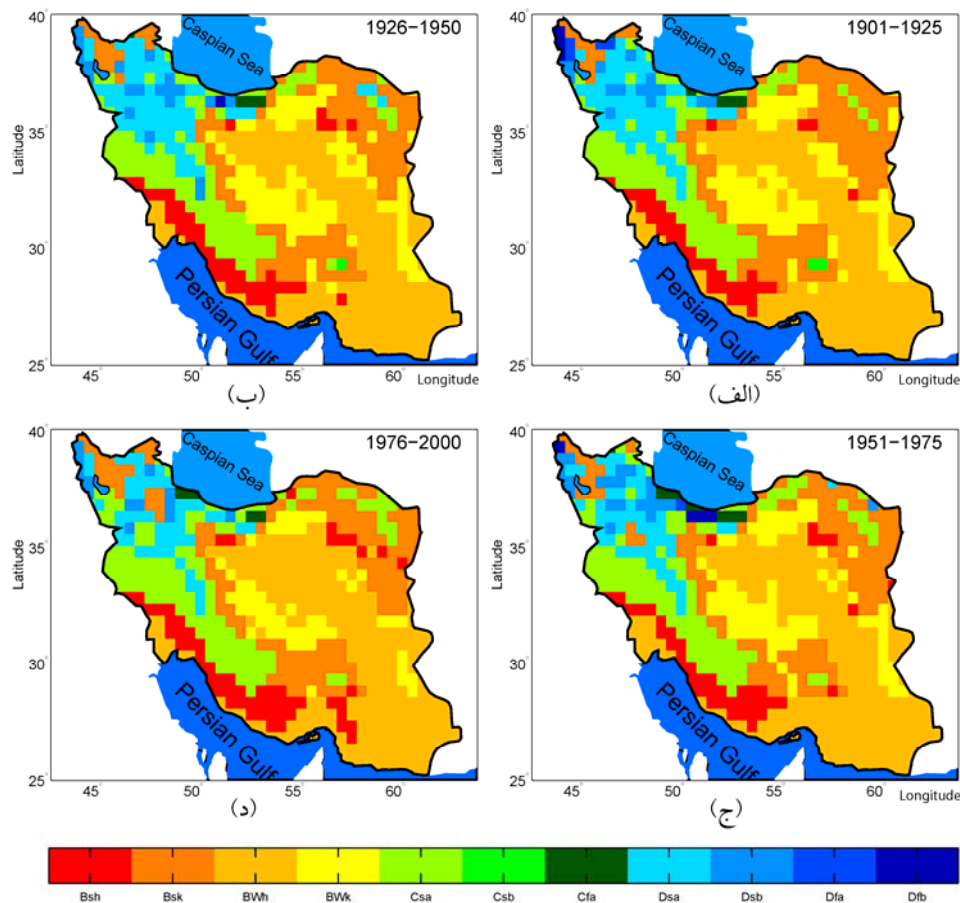
با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دمای CRU و بارش GPCC مناطق اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر برای پنج دوره بیست‌وپنج‌ساله (۱۹۲۵-۱۹۰۱، ۱۹۵۰-۱۹۲۶، ۱۹۷۵-۱۹۵۱، ۲۰۰۰-۱۹۷۶ و ۱۹۹۰-۲۰۱۴) محاسبه و در شکل ۸ نمایش داده شده است. مقایسه این نقشه‌ها با یکدیگر و نیز با شکل ۵-ب و ۷ می‌تواند به شناسایی روند تغییرات و جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در اثر تغییرات اقلیمی کمک کند. مقایسه شکل‌های ۵-ب، ۷ و ۸ نشان‌دهنده هماهنگی زیاد بین آن‌ها در نمایش مناطق اقلیمی ایران است. اگرچه دوره آماری مورد استفاده برای تهیه این نقشه‌ها با یکدیگر متفاوت است، ولی همگی آن‌ها در نمایش ساختار اصلی مناطق اقلیمی ایران هماهنگ هستند. با

این حال مقایسه دقیق این شکل‌ها نشان می‌دهد که تعداد گروه‌های اقلیمی ایران در شکل ۵-ب و نقشه‌های مختلف شکل ۸ با هم برابر نیستند. با توجه به شکل ۸ از ۳۱ گروه اقلیمی کوپن-گایگر ۱۱ گروه اقلیمی آن در ایران دیده می‌شود، در حالی که شکل ۵-ب که شرایط اقلیمی سه دهه اخیر را به تصویر می‌کشد، نشان می‌دهد که در ایران تنها ۹ گروه اقلیمی وجود دارد. مقایسه این دو شکل نشان می‌دهد که در سال‌های گذشته دو گروه اقلیمی Dfa و Dfb که در شکل ۸-الف دیده می‌شود، در ایران وجود داشته است که در اثر تغییرات اقلیمی ناپدید شده‌اند و اثری از آن‌ها در شکل ۵-ب دیده نمی‌شود. مقایسه نقشه‌های مختلف شکل ۸ با یکدیگر نیز این واقعیت را روشن می‌کند که با گذر زمان از گستره منطقه اقلیمی بیابانی سرد

نیمه‌بیابانی سرد (BSk) جای آن را گرفته است (شکل ۸-ج و ۸-د). شکل ۵-ب و ۷ نشان می‌دهد که این جابه‌جایی اقلیمی در دوره اخیر (۱۹۹۰-۲۰۱۴) با شدت بیشتری ادامه پیدا کرده است، به طوری که امروزه اقلیم نیمه‌بیابانی سرد بر بخش زیادی از منطقه شمال‌غربی کشور حاکم شده است و آن منطقه را در امتداد نواری که از استان‌های زنجان، قزوین و تهران می‌گذرد، به منطقه بیابانی گرم و خشک داخلی ایران پیوند داده است.

به طور کلی می‌توان گفت که با تغییراتی که در مقدار بارش و دمای ماهانه و سالانه برخی مناطق ایران ایجاد شده است، اقلیم آن‌ها جابه‌جا شده است. جابه‌جایی‌های اقلیمی، نه در گروه‌های اصلی اقلیمی بلکه اغلب در زیرگروه‌های اقلیمی صورت گرفته است که نتیجه تغییرات دمای ایستگاه‌هاست. از این رو همان‌گونه که پیش از این نیز گفته شد، در بسیاری از نقاط ایران مرکزی اقلیم BWk به اقلیم BWh و در غرب ایران اقلیم‌های برفی Dsa و Dsb که تابستان‌های گرم‌تر و خشک‌تری دارند، جایگزین اقلیم‌های برفی معتدل مرطوب (Dfa و Dfb) شده‌اند. البته جایگزینی اقلیم برفی Dsb و Dsa با اقلیم Csa و یا BSk در شمال‌غرب کشور نشان‌دهنده شدت تغییرات اقلیمی روی داده در این منطقه است که سبب یک جهش بلند در گروه‌های اقلیمی این منطقه شده است. جابه‌جایی در گروه‌های اصلی اقلیمی در این بخش از کشور نشان‌دهنده تغییرات شدید اقلیمی در این منطقه است که هم رژیم بارشی و هم رژیم دمایی منطقه را تغییر داده است. جابه‌جایی روی داده در گروه‌های اقلیمی منطقه شمال‌غرب کشور با نتایج پژوهش‌های اخیر که به روند شدید کاهش بارش (رضیئی و همکاران، ۲۰۱۴) و روند افزایشی دما (رحیم‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۱۵) در این منطقه اشاره دارند، هم‌راستا است.

و خشک (BWk) در ایران مرکزی کاسته شده و جای آن را منطقه بیابانی گرم و خشک (BWh) گرفته است. منطقه بیابانی سرد و خشک (BWk) که در دوره‌های ۱۹۲۵-۱۹۰۱ و ۱۹۵۰-۱۹۲۶ (شکل ۸-الف و ۸-ب) از گسترش زیادی در کشور برخوردار بوده است، در دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۶ (شکل ۸-د) به نوار بسیار باریکی در حاشیه منطقه بیابانی گرم و خشک (BWh) محدود شده است و در دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۰ (شکل ۵-ب) به صورت گسترده‌تری پس‌روی کرده است. مقایسه شکل‌های ۸-الف و ۸-ب با شکل‌های ۸-ج و ۸-د همچنین نشان‌دهنده کاهش شدید قلمرو اقلیم برفی Dfa و Dfb در منطقه کوهستانی غرب کشور و جایگزین شدن آن‌ها با اقلیم Dsa و Dsb در دوره‌های ۱۹۷۵-۱۹۵۱ و ۲۰۰۰-۱۹۷۶ است. مقایسه شکل‌های ۸-ج و ۸-د با نقشه‌های دو دوره پیش‌تر (شکل ۸-الف و ۸-ب) این واقعیت را نیز مشخص می‌کند که اقلیم برفی Dfa و Dfb در دوره‌های اخیر به طور کلی ناپدید شده است و از قلمرو اقلیم برفی Dsb نیز به شدت کاسته شده است. همچنین با نگاهی به نقشه‌های مختلف شکل ۸ ملاحظه می‌شود که بخش زیادی از قلمرو اقلیم برفی در منطقه کوهستانی غرب کشور در دو دوره بعدی (شکل ۸-ج و ۸-د) به سوی عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات بالاتر پس‌روی کرده و جای خود را به اقلیم معتدل با تابستان‌های گرم (Csa) داده است. شاید بتوان گسترش چشمگیر قلمرو اقلیم نیمه‌بیابانی سرد (BSk) در منطقه شمال‌غرب کشور را مهم‌ترین جابه‌جایی اقلیمی روی داده در کشور دانست که در اثر تغییرات اقلیمی دهه‌های گذشته صورت گرفته است. مقایسه نقشه‌های مختلف شکل ۸ نشان می‌دهد که پیش از سال ۱۹۵۰ بخش زیادی از شمال‌غرب کشور در قلمرو گروه‌های مختلفی از اقلیم برفی بوده است (شکل ۸-الف و ۸-ب) که به تدریج از گستره این گروه‌های اقلیمی کاسته شده و سپس اقلیم



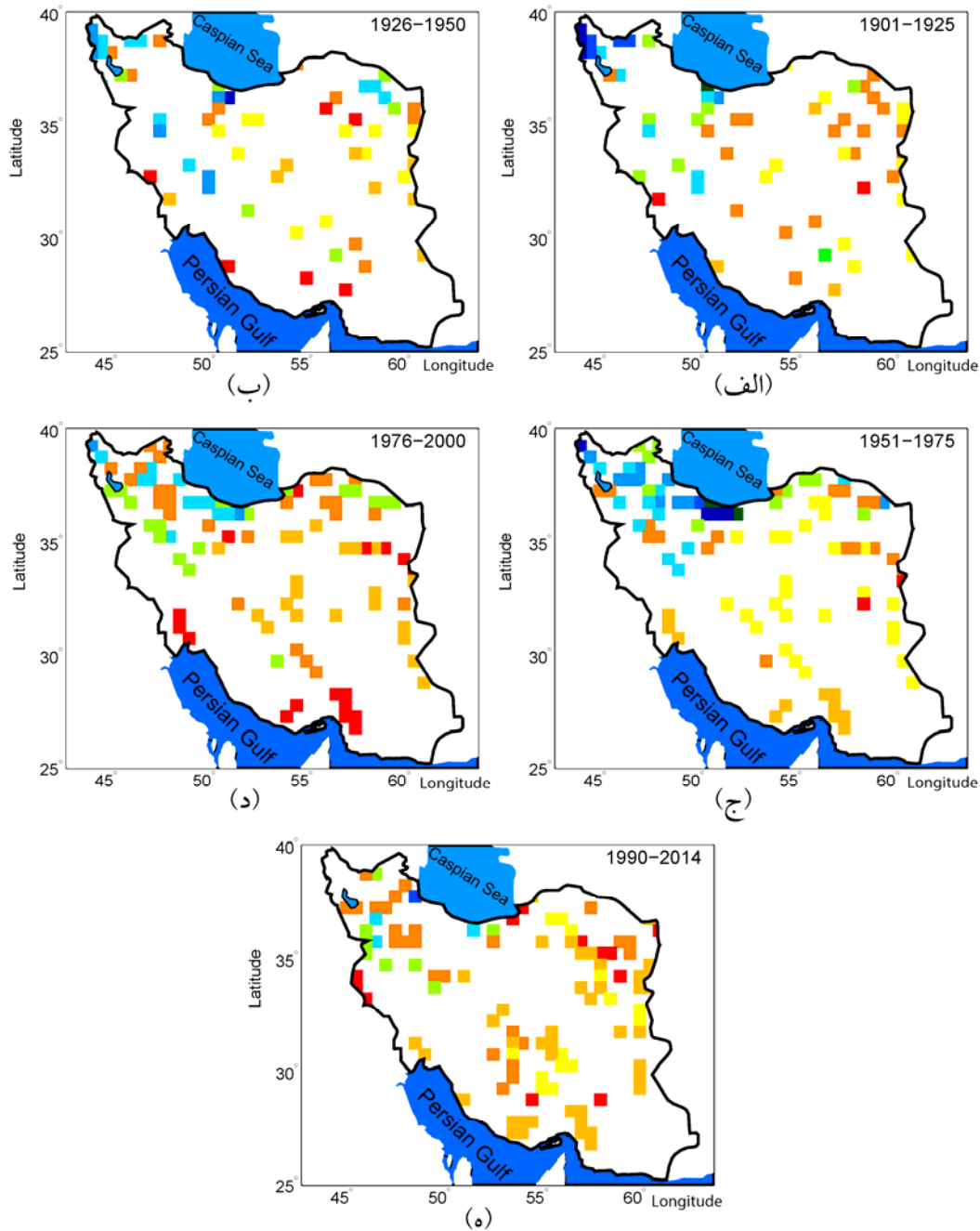
شکل ۸. مناطق اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر و تغییرات آن در دوره‌های مختلف آماری.

زیادی از مرکز و شرق کشور از نیمه‌بیابانی به بیابانی، و گروه اقلیمی پاره‌ای از نقاط شمال غربی کشور از اقلیم برفی با تابستان خشک به اقلیم برفی مرطوب‌تر تغییر کرده است. شکل ۹-د هم نشان می‌دهد که اقلیم نقاط زیادی از کشور در دوره بیست و پنج ساله ۱۹۷۶-۲۰۰۰ در مقایسه با دوره پیشین (شکل ۹-ج) تغییر یافته است. با مقایسه شکل ۹-ج و ۹-د دیده می‌شود که اقلیم نقاط زیادی از مرکز، شرق و جنوب کشور از بیابانی سرد (BWk) به بیابانی گرم (BWh) تغییر پیدا کرده است. گرایش به سوی بیابانی شدن در شکل ۹-د به‌ویژه در شمال‌غرب کشور به‌خوبی دیده می‌شود. شکل ۹-ه نیز نشان می‌دهد که جابه‌جایی در گروه اقلیمی نقاط مختلف کشور در دوره بیست و پنج ساله ۱۹۹۰-۲۰۱۴ با شدت و گستردگی بیشتری ادامه پیدا کرده است. مقایسه شکل ۹-ه با شکل‌های ۹-الف تا ۹-د نشان می‌دهد که در دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۴ اقلیم نقاط بیشتری از کشور دستخوش

به منظور ارائه نمایش بهتری از جابه‌جایی مناطق اقلیمی در کشور، در شکل ۹ تنها یاخته‌هایی نمایش داده شده است که گروه اقلیمی آن‌ها در مقایسه با دوره بیست و پنج ساله پیشین تفاوت کرده است. با مقایسه شکل ۹-الف و ۹-ب کاملاً پیداست که گروه اقلیمی یاخته‌های زیادی در شرق، مرکز و جنوب کشور از نیمه‌بیابانی (BSh و BSk) به بیابانی (BWh و BWk) یا از بیابانی سرد (BWk) به بیابانی گرم (BWh) تغییر کرده است. در پاره‌ای از نقاط شمال‌غربی و غربی کشور نیز اقلیم برفی مرطوب جای خود را به گروه‌هایی از اقلیم برفی با تابستان خشک‌تر و گرم‌تر، و اقلیم معتدل Csa جای خود را به اقلیم نیمه‌بیابانی یا اقلیم برفی با تابستان خشک (Dsa و Dsb) داده است. مقایسه شکل‌های ۹-ب و ۹-ج نشان می‌دهد که تعداد یاخته‌هایی که اقلیم آن‌ها در دوره ۱۹۵۱-۱۹۷۵ در مقایسه با دوره ۱۹۲۶-۱۹۵۰ تغییر کرده، بیشتر شده است. شکل ۹-ج نشان می‌دهد که اقلیم نقاط

گسترده‌ترین تغییرات اقلیمی در کشور در دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۴ روی داده است. بررسی این نقشه‌ها همچنین نشان می‌دهد که اغلب این تغییرات در مناطق مرزی گروه‌های اقلیمی روی داده است که نشان‌دهنده ناپایداری بودن گروه اقلیمی این مناطق است. با این حال، با نگاهی به این نقشه‌ها به روشنی پیداست که اقلیم بسیاری از نقاط کشور به‌ویژه شمال غرب ایران به شدت به بیابانی شدن گرایش دارد.

تغییر شده است. با توجه به شکل ۹-۹-۹ پیداست که گروه اقلیمی نقاط بسیار زیادی از شرق کشور به اقلیم بیابانی (BWk, BWh) و در شمال غرب ایران به اقلیم نیمه‌بیابانی سرد (Bsk) تغییر پیدا کرده است. به طور کلی، مقایسه نقشه‌های مختلف شکل ۹ نشان‌دهنده این واقعیت است که از ابتدای سده بیستم میلادی تا پایان آن پیوسته بر تعداد نقاطی از کشور که اقلیم آن تغییر کرده، افزوده شده است؛ به طوری که



شکل ۹. یاخته‌هایی از گستره ایران که مناطق اقلیمی آن در مقایسه با دوره بیست و پنج ساله آماری پیش‌تر تغییر کرده است.

۴. بحث

منطقه جنوب شرق کشور در این نقشه دور از واقعیت است. هم‌خوانی طبقه‌بندی اقلیمی به‌دست‌آمده در این پژوهش (شکل ۵-ب و شکل ۷) با نقشه طبقه‌بندی اقلیمی کوتک و همکاران (۲۰۰۶) که با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دمای CRU و بارش GPCC به دست آمده است، اعتبار آن را تأیید می‌کند. طبقه‌بندی اقلیمی به‌دست آمده در این پژوهش همچنین از هم‌خوانی بسیاری با طبقه‌بندی اقلیمی چن و چن (۲۰۱۳) برخوردار است که با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دانشگاه دلاور (Delaware) به دست آمده است. هم‌خوانی بسیار زیاد نقشه اقلیمی به‌دست‌آمده در این پژوهش با نقشه اقلیمی رحیمی و همکاران (۲۰۱۳) که بر اساس روش دمارتون اصلاح‌شده به دست آمده است نیز اعتبار نقشه اقلیمی این پژوهش را بیش از پیش تأیید می‌کند. از این رو، ناهماهنگی‌های موجود بین نقشه اقلیمی مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) و آنچه در این پژوهش به دست آمده است، می‌تواند نتیجه خطای درونیابی داده‌های شبکه‌بندی‌شده اسفزاری باشد که به وسیله مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) برای تهیه نقشه اقلیمی کوپن استفاده شده است.

مقایسه نقشه‌های منطقه‌بندی اقلیمی کشور برای دوره‌های مختلف نشان داد که اقلیم بسیاری از مناطق کشور در معرض تغییر است و احتمال جابه‌جایی مناطق اقلیمی در مناطق مرزی بین دو گروه اقلیمی متفاوت بسیار بیشتر است. این بررسی نشان می‌دهد که از ابتدای سده بیستم میلادی تا پایان آن پیوسته بر تعداد نقاطی از کشور که اقلیم آن تغییر کرده، افزوده شده است؛ به طوری که گسترده‌ترین تغییرات اقلیمی در کشور در دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۴ روی داده است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که بیشتر تغییرات دیده‌شده در مناطق مرزی گروه‌های اقلیمی روی داده است که نشان‌دهنده ناپایداری بودن گروه اقلیمی این مناطق است و نیز بسیاری از نقاط کشور به‌ویژه شمال غرب ایران به شدت به بیابانی شدن گرایش دارند. این مسئله نشان می‌دهد که با توجه به وجود مسئله گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی که نشانه‌های آن در نقاط مختلف کره زمین مشاهده

نقشه طبقه‌بندی اقلیمی به‌دست‌آمده در این پژوهش (شکل ۵-ب) در نمایش ساختار اصلی مناطق اقلیمی ایران با نتایج گنجی (۱۳۳۴، ۱۳۵۳)، عدل (۱۳۳۹) و مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) همانند است ولی با توجه با استفاده از شبکه‌ای از ایستگاه‌های همدیدی با پراکنش تقریباً منظم در سطح کشور نمایش بهتری از مناطق اقلیمی ایران ارائه می‌دهد. نقشه‌های طبقه‌بندی اقلیمی ایران که به وسیله گنجی (۱۳۳۴، ۱۳۵۳) و عدل (۱۳۳۹) تهیه شده‌اند با استفاده از نسخه‌های اولیه روش کوپن در ایستگاه‌های محدودی از کشور به دست آمده‌اند. برخی تفاوت‌های موجود بین نقشه طبقه‌بندی اقلیمی به‌دست‌آمده در این پژوهش و نتایج گنجی و عدل را می‌توان به تفاوت در روش طبقه‌بندی و تفاوت در تعداد ایستگاه‌های استفاده‌شده در این پژوهش‌ها ارتباط داد. استفاده از روش کوپن-گایگر و بهره‌گیری از ایستگاه‌های بسیار بیشتر و با پراکنش تقریباً منظم در سطح کشور سبب شده است تا نقشه اقلیمی به‌دست‌آمده در این پژوهش جزئیات بیشتری از مناطق اقلیمی کشور ارائه دهد. اگرچه مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) از ایستگاه‌های بسیار زیادی برای تهیه نقشه اقلیمی ایران استفاده کرده‌اند ولی مناطق اقلیمی ارائه‌شده به وسیله آن‌ها در برخی نقاط کشور، به‌ویژه در مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی بخش مرکزی و شرقی ایران تفاوت‌هایی با نقشه اقلیمی به‌دست‌آمده در این پژوهش دارد. نقشه اقلیمی مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) اگرچه گروه اقلیمی مناطق غربی و شمالی کشور را که از تراکم ایستگاهی خوبی برخوردارند، به‌درستی شناسایی کرده است ولی در شناسایی مناطق اقلیمی بخش مرکزی و شرقی کشور دقت لازم را نداشته است. با توجه به شکل ۱-ج به نظر می‌رسد که اقلیم بیابانی سرد (BWk) در بخش مرکزی ایران به شکل ناباورانه‌ای به سوی مناطق داخلی ایران مرکزی پیش‌تاخته و اقلیم بیابانی گرم (BWh) را پس رانده است. کاهش قلمرو اقلیم بیابانی گرم (BWh) به سود اقلیم بیابانی سرد (BWk) در ایران مرکزی و نیز نسبت‌دادن اقلیم معتدل مرطوب (Csa) به

استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دما و بارش، مناطق اقلیمی کره زمین را به روش کوپن-گایگر تعیین کردند. نقشه اقلیمی این پژوهش نشان داد که ۹ گروه از ۳۱ گروه اقلیمی روش طبقه‌بندی کوپن-گایگر در گستره ایران زمین وجود دارد. اما مقایسه نقشه اقلیمی به‌دست‌آمده در این پژوهش با نقشه‌های اقلیمی دوره‌های بیست‌وپنج‌ساله ۱۹۰۱-۱۹۲۵، ۱۹۲۶-۱۹۵۰، ۱۹۵۱-۱۹۷۵، ۱۹۷۶-۲۰۰۰ و ۲۰۱۴-۱۹۹۰ نشان داد که در گذشته تعداد گروه‌های اقلیمی موجود در ایران ۱۱ مورد بوده است که بر اثر تغییرات اقلیمی دهه‌های گذشته دو مورد از این گروه‌ها ناپدید شده‌اند و جای خود را به گروه‌های اقلیمی دیگر داده‌اند. این جابه‌جایی اقلیمی بیشتر در مناطق مرزی بین گروه‌های اقلیمی روی داده است، زیرا تغییرات دما در مناطق مرزی گروه‌های اقلیمی به‌آسانی می‌تواند اقلیم آن نقاط را از یک گروه به گروه دیگر جابه‌جا کند. نتیجه این بررسی نشان می‌دهد که گروه‌های مختلف اقلیم برفی بیشترین پس‌روی را در سال‌های گذشته داشته‌اند و بخش زیادی از مناطق کوهستانی کشور که پیش از این از اقلیم برفی برخوردار بودند، امروزه جای خود را به اقلیم معتدل تا تابستان‌های گرم داده‌اند. نتیجه این بررسی همچنین نشان داد که در مناطق مرکزی و شرقی کشور، از گستره مناطق بیابانی سرد به سود اقلیم بیابانی گرم به‌شدت کاسته شده است. اما آنچه بیش از همه به چشم می‌آید، گسترش منطقه نیمه‌بیابانی سرد به سوی مناطق کوهستانی شمال‌غربی ایران است که پیش از این دارای اقلیم برفی یا معتدل بوده است. از این رو، پس‌روی گسترده اقلیم برفی و معتدل در منطقه شمال‌غربی کشور و جایگزین شدن آن با اقلیم نیمه‌بیابانی سرد، نتیجه تغییرات شدید اقلیمی است که در دهه‌های گذشته روی داده و باعث جابه‌جایی مناطق اقلیمی در این بخش از کشور شده است. جابه‌جایی مناطق اقلیمی در شمال‌غرب کشور و گرایش این منطقه به سوی بیابانی شدن می‌تواند خشکسالی‌های پیاپی در این منطقه و مرگ دریاچه ارومیه در دهه گذشته را توجیه کند. نتیجه این بررسی همچنین نشان می‌دهد که اقلیم برخی از مناطق کشور

می‌شود، قلمرو و گستره مناطق اقلیمی کشور نیز پایدار نیست و در گذر زمان تغییر می‌کند. از این رو ضروری است تا منطقه‌بندی اقلیمی کشور هر ۱۰ سال یک بار به‌روزرسانی شود تا جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در اثر تغییرات اقلیمی، پایش شود و تغییرات ایجادشده در برنامه‌ریزی‌های محیطی و منطقه‌ای کشور مورد توجه و استفاده قرار گیرد.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش از میانگین بارش و دمای ماهانه ۱۵۵ ایستگاه همدیدی کشور در دوره بیست‌وپنج‌ساله آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ برای تهیه نقشه طبقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر استفاده شد. اندک آمار گم‌شده ایستگاه‌ها با استفاده از روش درون‌یابی کمترین فاصله وزنی برآورد و جایگزین شد. سپس مقدار بارش و دمای ماه‌های مختلف سال با استفاد از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی برای شبکه‌ای از نقاط با فاصله ۰/۱ درجه جغرافیایی، درون‌یابی و گروه اقلیمی هریک از نقاط شبکه به روش کوپن-گایگر تعیین شد. همچنین به منظور بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در اثر تغییرات اقلیمی رخ‌داده در دهه‌های گذشته، با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده دمای ماهانه واحد تحقیقات اقلیمی دانشگاه ایست آنجلیا (CRU) و بارش ماهانه مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC) نقشه اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر برای پنج دوره بیست‌وپنج‌ساله ۱۹۰۱-۱۹۲۵، ۱۹۲۶-۱۹۵۰، ۱۹۵۱-۱۹۷۵، ۱۹۷۶-۲۰۰۰ و ۲۰۱۴-۱۹۹۰ تهیه و با یکدیگر مقایسه شدند. نتیجه نشان داد که منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی کشور به دست آمده است، در مقایسه با نقشه‌های اقلیمی موجود که پیش‌تر به وسیله گنجی (۱۳۳۴)، عدل (۱۳۳۹) و مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷) تهیه شده‌اند، جزئیات بیشتری از مناطق اقلیمی ایران به دست می‌دهد. نقشه اقلیمی این پژوهش همچنین با نقشه طبقه‌بندی اقلیمی کوتک و همکاران (۲۰۰۶) و چن و چن (۲۰۱۳) هم‌خوانی بسیار زیادی دارد که با

- به‌ویژه در مناطق مرزی بین گروه‌های اقلیمی پایدار نیست و گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی می‌تواند این ناپایداری را شدت بخشد؛ البته یادآوری می‌شود که تعداد و تراکم فضایی ایستگاه‌های ایرانی استفاده‌شده برای تهیه داده‌های شبکه‌بندی‌شده استفاده‌شده در این پژوهش در همه سال‌ها یکسان نبوده است که این خود می‌تواند از کیفیت این داده‌ها در دوره‌های ابتدایی سده بیستم که در آن از تعداد ایستگاه‌های ایرانی کمتری استفاده شده است، بکاهد و در نتیجه کیفیت منطقه‌بندی اقلیمی این دوره‌ها را نیز کاهش دهد. از این رو، با توجه به وجود انکارناپذیر پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی ضروری است تا منطقه‌بندی اقلیمی کشور با استفاده از داده‌های یک شبکه متراکم از ایستگاه‌های زمینی هر ۱۰ سال یک بار به‌روزرسانی شود تا جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در اثر تغییرات اقلیمی پایش شود و تغییرات ایجادشده در برنامه‌ریزی‌های محیطی و منطقه‌ای کشور مورد توجه و استفاده قرار گیرد.
- سپاس‌گزاری**
- این پژوهش بخشی از دستاوردهای طرح تحقیقاتی «منطقه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما و بهره‌گیری از روش‌های چندمتغیره (با کد ۲۲-۸۷-۲۹-۲۹-۲)» است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور به انجام رسیده است. از سازمان هواشناسی کشور نیز که داده‌های این پژوهش را تأمین کرده‌اند، صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.
- مراجع**
- خلیلی، ع.، حجام، س. و ایران‌نژاد، پ.، ۱۳۷۰، تقسیمات آب‌وهوایی ایران، انتشارات وزارت نیرو، طرح جامع آب کشور (جاماب)، ۲۵۹ صفحه و یک نقشه با مقیاس یک میلیونیم.
- عدل، ا. ح.، ۱۳۳۹، آب‌وهوای ایران، انتشارات دانشگاه تهران.
- گنجی، م. ح.، ۱۳۳۴، تقسیمات اقلیمی ایران، نشریه دانشکده ادبیات دانشگاه تهران، سال سوم، شماره ۱.
- گنجی، م. ح.، ۱۳۵۳، میزان باران و منابع آب ایران، ۳۲ مقاله جغرافیایی، انتشارات موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی سحاب، صص ۲۵۸-۲۷۶.
- مسعودیان، س. ا. و کاویانی، م. ر.، ۱۳۸۷، اقلیم‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۱۷۹ صفحه.
- میری، م.، رضیعی، ط. و رحیمی، م.، ۱۳۹۵، ارزیابی و مقایسه با داده‌های GPCP و TRMM آماری داده‌های بارش مشاهده‌ای در ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۲، شماره ۳، صفحه ۶۵۷-۶۷۲.
- Chan, D., Wu, Q., Jiang, G. and Dai, X., 2016, Projected Shifts in Köppen Climate Zones over China and Their Temporal Evolution in CMIP5 Multi-Model Simulations, *Advances in Atmospheric Sciences*, 33, 283-293.
- Chen, D. and Chen, H. W., 2013, Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901-2010, *Environmental Development*, 6, 69-79.
- De Castro, M., Gallardo, C., Jylha, K. and Tuomenvirta, H., 2007, The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models, *Climate Change*, 81, 329-341.
- Diaz, H. F. and Eischeid, J. K., 2007, Disappearing alpine tundra Köppen climatic type in the western United States, *Geophysical Research Letters* 34, L18707, <http://dx.doi.org/10.1029/2007GL031253>.
- Djavadi, C., 1966, *Les climats de l'Iran*, Monographies de la météorologie nationale, France, No. 54, 103 pages.
- FAO-SDRN, 1997, Köppen's climate classification map 1997. <http://www.fao.org/sd/EIdirect/climate/EIsp0002.htm> (access February, 1st 2006).
- Fraedrich, K., Gerstengarbe, F. W. and Werner, P. C., 2001, Climate shifts during the last century, *Climatic Change*, 50, 405-417.
- Guetter, N. E. and Kutzbach, J. E., 1990, A modified Koeppen classification applied to model simulations of glacial and interglacial climates, *Climatic Change*, 16, 193-215.
- Kim, H. J., Wang, B., Ding, Q. and Chung, I. U., 2008, Changes in arid climate over North China detected by the Köppen climate classification, *Journal of Meteorological Society of Japan*, 86 (6), 981-990.
- Kleidon, A., Fraedrich, K. and Heimann, M., 2000, A green planet versus a desert world: Estimating the maximum effect of vegetation on the land surface climate, *Climate Change*, 44, 471-493.

- Koepfen, W., 1931, Grundriss der Klimakunde, Walter de Gruyter & Co: Berlin.
- Köppen, W., 1900, Versuche einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt, Geographische Zeitschrift, 6, 657–679.
- Köppen, W., 1936, Das geographische System der Klimate. In: Köppen W, Geiger R (eds) Handbuch der Klimatologie. Gebrüder Borntraeger, Berlin, p 1–44.
- Köppen, W. and Geiger, R., 1930, Handbuch der Klimatologie. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. and Rubel, F., 2006, World Map of the Köppen–Geiger climate classification updated, Meteorologische Zeitschrift, 15(3), 259–263.
- Lohmann, U., Sausen, R., Bengtsson, L., Cubasch, U., Perlwitz, J. and Roeckner, E., 1993, The Köppen climate classification as a diagnostic tool for general circulation models, Climate Res, 3, 177–193.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A., 2007, Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol. Earth Syst. Sci., 4, 439–473.
- Peel, M. C., McMahon, T. A., Finlayson, B. L. and Watson, F. G. R., 2001, Identification and explanation of continental differences in the variability of annual runoff, J. Hydrol., 250, 224–240.
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M. and Khalili, A., 2013, Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran, Theor Appl Climatol, 112, 409–418.
- Rahimzadeh, F., Asgari, A. and Fattahi, E., 2009, Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades, Int. J. Climatol., 29, 329–343.
- Raziei, T., Daryabari, J., Bordi, I. and Pereira, L. S., 2014, Spatial patterns and temporal trends of precipitation in Iran, Theor Appl Climatol, 115, 531–540.
- Rubel, F. and Kottek, M., 2010, Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen–Geiger climate classification, Meteorol. Z., 19, 135–141.
- Rudloff, W., 1981, Weltklimate, Naturwissenschaftliche Rundschau, 34, 443–450.
- Soltani, M., Laux, P., Kunstmann, H., Stan, K., Sohrabi, M. M., Molanejad, M., Sabziparvar, A. A., Ranjbar SaadatAbadi, A., Ranjbar, F., Rousta, I., Zawar-Reza, P., Khoshakhlagh, F., Soltanzadeh, I., Babu, C. A., Azizi, G. H. and Martin, M. V., 2015, Assessment of climate variations in temperature and precipitation extreme events over Iran, Theor Appl Climatol, DOI 10.1007/s00704-015-1609-5.
- Sparovek, G., De Jong Van Lier, Q. and Dourado Neto, D., 2007, Computer assisted Köppen climate classification: a case study for Brazil, Int. J. Climatol., 27, 257–266.
- Stern, H., de Hoedt, G. and Ernst, J., 2000, Objective classification of Australian climates, Australian Meteorological Magazine, 49, 87–96.
- Thornthwaite, C. W., 1948, An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38(1), 55–94.
- Trewartha, G. T., 1980, An introduction to climate, (5th Edn). McGraw-Hill Book Co., New York, London.
- Wang, M. and Overland, J. E., 2004, Detecting Arctic climate change using Köppen climate classification, Climate Change, 67, 43–62.

Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century

Raziei, T.*

Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREO), Tehran, Iran

(Received: 04 Apr 2016, Accepted: 18 Oct 2016)

Summary

Climate classification has a long history dating back to the ancient Greek scientists and philosophers, but the first quantitative classification of world climates was presented by the German scientist Wladimir Köppen (1846–1940) in 1900 (Kottek et al, 2006). Being trained as a plant physiologist and realizing that plants are indicators for many climatic elements; Köppen (1900) established a climate classification system which uses monthly temperature and precipitation to define boundaries of different climate types around the world, i.e., linking climate and natural vegetation. This system has been further developed (e.g. Köppen and Geiger, 1930; Stern et al., 2000) and widely used by geographers and climatologists around the world. Although there have been many efforts to find alternative ways to classify the climate, the Köppen system remains one of the most widely used climate classification systems. In this research, monthly precipitation and temperature of 155 Iranian synoptic weather stations with relatively regular distribution over the country were used to provide an updated map of climate classification for Iran which is one of the largest countries with diverse climates in the world. Missing values of the used data were estimated and replaced using inverse distance weighed method. Monthly averages of precipitation and temperature for the considered time period (1990-2014) were then interpolated at a network of grids with 0.1 spatial resolutions using ordinary Kriging method. Subsequently, the climate types of the used stations as well as of the predefined grid points were determined using Köppen-Geiger classification method (Kottek et al, 2006; Chen and Chen, 2013). Additionally, following Rubel and Kottek (2010), monthly mean temperature of the Climatic Research Unit (CRU) of the University of East Anglia and monthly total precipitation of the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), both covering 1901-2014 time period and having 0.5 spatial resolution were used for computing Köppen-Geiger climate classification for different time sections of present time, in order to examine if the Iranian climate types have experienced any shift due to global climate change.

Based on the observational data for 1990-2014 time section Iran composes of 9 climate types out of 31 possible Köppen-Geiger climate types. Most parts of central, eastern and southern Iran is characterized with BWh and BWk climate types. The coastal areas of the Caspian Sea and most parts of mountainous areas of Zagros and Alborz in west and north of Iran have moderate climate type (Csa). However, the eastern slope of Zagros and southern slope of Alborz that are connected to the central arid and semi-arid climate of central Iran are distinguished with BSk climate. The southern parts of Zagros region is mostly dominated by BSh climate. Dsa and Dsb climate types are found in some parts of mountainous areas of Zagros and Alborz, while Csb and Cfa are the localized climate types that can be found in coastal areas of the Caspian Sea. Using CRU and GPCC datasets for 1951-2000 time section the same climate types were found for Iran although the sources of the data and its spatial and temporal resolution differs from that of observational data. The identified climate types in this study using observational data are in agreement with those of Kottek et al. (2006) and Chen and Chen (2013) for Iran. The identified climate types for different time sections of 1901-1925, 1926-1950, 1951-1975, 1976-2000 and 1990-2014 revealed that some Iranian climate types were not stable during these five time periods. Comparison of climate classification using observational data for 1990-2014 with those of gridded datasets for 1901-1925, 1926-1950, 1951-1975, 1976-2000 and 1990-2014 revealed that Dfa and Dfb climate types have disappeared from Iran in the map of 1990-2014 climate classification, suggesting that the number of Iranian climate types have decreased from 11 to 9 in most recent years. It was found that the area of BWk climate in central-eastern Iran is continuously retreated by time and it replaced by BWh climate. The Ds climate types were found to be very vulnerable to change and shift. It was also found that the Dsb climate type tends to shift into Dsa climate types in recent years. Most importantly, it was observed that the Ds climate types in western Iran tend to be replaced by Csa climate type. However, the obvious shift from Ds or Csa climate types into BSk climate type is observed in northwestern Iran. This result indicates a rapid and widespread desertification in northwestern Iran due to global climate change.

Keywords: Climate classification, Köppen-Geiger, CRU, GPCC, climate change, Iran.