

واکاوی ساختار دمای ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim

محمود احمدی* - دانشیار آب‌وهواشناسی دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران
عباسعلی داداشی رودباری - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران
حمزه احمدی - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی کشاورزی، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، سبزوار، ایران
زهره علی‌بخشی - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۵

چکیده

هدف از این پژوهش پایش دمای هوا با رهیافتی آماری بر اساس برون‌داد پایگاه داده بازواکاوی شده (ECMWF) نسخه ERA Interim برای دوره زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۵ با تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه قوسی و هم‌سنجی آن با پایگاه ملی اسفزاری و پیمونگاه‌های همدید کشور است. از سنجه‌های RMSE و R^2 برای اعتبارسنجی نتایج و از بُعد فرکتالی برای دگرذیسی زمانی استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی پایگاه ECMWF نشان‌دهنده توانایی و دقت زیاد آن در برآورد دمای هوا بوده است. هم‌سنجی پایگاه ECMWF با پایگاه ملی اسفزاری و پیمونگاه‌های همدید از نتایج مطلوبی برخوردار است؛ این نتایج در شش‌ماهه دوم یا نیمه گرم سال، به سبب تباین کمتر دمایی، از نتایج بسیار مطلوب‌تری برخوردار است. بُعد فرکتالی دما در دوره گرم سال (دارای دگرگونی کوتاه‌مدت) افزایش یافته و در دوره سرد سال (دارای دگرگونی بلندمدت) کاهش یافته است. توزیع فضایی دمای هوا نشان داد در ایجاد الگوی دمای هوا در بام ایران عامل عرض جغرافیایی بیشترین نقش را ایفا می‌کند. کانون گرم‌ترین نواحی در مناطق کویر لوت، جنوب شرقی، و نوار جنوب کشور است. مناطق خنک و سرد نیز منطبق بر نواحی مرتفع و بیکربندی ناهمواری‌های بام ایران است.

کلیدواژه‌ها: ایران، بُعد فرکتالی، پایگاه داده بازواکاوی شده، دمای هوا، ECMWF ERA Interim.

مقدمه

دمای هوا یکی از مهم‌ترین سنجه‌های آب‌وهوایی در محیط زیست بشری به‌شمار می‌رود که به شکل مستقیم بر روند فیزیکی و بیولوژیکی زیست‌بوم تأثیر می‌گذارد (استال و همکاران، ۲۰۰۶؛ لی و همکاران، ۲۰۱۳). شناخت این سنجه آب‌وهوایی می‌تواند پایه‌ای برای درک بسیاری از فرایندهای آب‌وهوایی به‌خصوص تبخیر و تعرق (با توجه به وضعیت آب‌وهوایی ایران) باشد (تیرشورات و همکاران، ۲۰۱۱). دگرگونی دمایی همچنین بر کیفیت هوا در مناطق شهری کارایی مستقیم دارد؛ این امر از طریق دگرگونی در پایداری و تشدید جریان‌های هوا انجام می‌گیرد (الیسون و آپمانیس، ۲۰۰۰). بنابراین، شناخت دگرگونی فضایی دما در ارزیابی دگرگونی‌های اخیر آب‌وهوایی و اثر گازه‌ای گلخانه‌ای امری ضروری است. با وجود پویایی بی‌نظیر سامانه هواسپهری، میانگین زمانی سنجه‌های هواسپهری قابل پیش‌بینی و مدل‌سازی است

(کیم و همکاران، ۲۰۱۲). دگرگونی سنج‌های آب‌وهوایی به‌خصوص دما در پیمان‌های خرد و کلان اهمیت اجتماعی-اقتصادی چشم‌گیری دارد؛ زیرا با شناخت درست دگرگونی‌های زمانی- مکانی در گام نخست می‌تواند پیشرفت‌های شایان توجهی برای پیش‌بینی‌های محیطی و بسط مدل‌های آماری/ دینامیکی، اقیانوسی- هواسپهری به همراه داشته باشد (کریشنا کومار و همکاران، ۲۰۰۵؛ کوگ و همکاران، ۲۰۰۸). توزیع فضایی نامناسب پیمونگ‌های آب‌وهوایی به‌خصوص در مناطق کوهستانی و کویری به محدودیتی جدی در مطالعات دگرگونی‌های فضایی- زمانی مبدل شده است (رونالد، ۲۰۰۳). از این‌رو، تقاضا برای تولید و توسعه پایگاه‌های روزآمد داده با توزیع فضایی یاخته‌های منظم و با تفکیک‌پذیری بالا به‌عنوان نیازی جدی مطرح شده و در دهه‌های اخیر شاهد توسعهٔ بیش‌ازپیش این پایگاه‌ها هستیم. از این پایگاه‌ها، که با نام پایگاه‌های بازواکای شده^۱ شناخته می‌شوند، در سال‌های اخیر در بسیاری از مطالعات از جمله مطالعات مربوط به روند آب‌وهوایی (پودا و همکاران، ۲۰۰۶)، مدل‌سازی آب‌وهوایی (کیکارلی و همکاران، ۲۰۰۸)، و ارزیابی منابع تجدیدپذیر (هنفردسون و دیگران، ۲۰۰۷) استفاده شده و دقت بسیار زیاد آن‌ها مورد تأیید است.

داده‌های بازواکای شده محصول نهایی پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت شرایط هواسپهری (NWP)^۲ و داده‌های مشاهداتی پیمونگ‌های آب‌وهواشناسی (پیمونگ‌های همدید، پیمونگ‌های هواسپهر بالای^۳، و شناوه^۴ دریایی)، داده‌های ماهواره‌های هواشناسی، داده‌های سامانه‌های بین‌المللی کشتیرانی و هواپیمایی با در نظر گرفتن رابطهٔ فیزیکی- دینامیکی بین هواسپهر- اقیانوس و همچنین کارایی توپوگرافی پیچیدهٔ سطح زمین هستند (کانلی، ۲۰۰۳؛ هودگس و همکاران، ۲۰۱۱؛ اسمیت و همکاران، ۲۰۱۴).

اولین پروژهٔ پایگاه دادهٔ هواسپهری توسط مرکز ملی پیش‌بینی زیست‌محیطی/ مرکز ملی پژوهش هواسپهر ایالات متحدهٔ آمریکا (NCEP/NCAR) با تولید یک پایگاه بازواکای شدهٔ چهل‌ساله شروع شد که دورهٔ زمانی ۱۹۵۷ تا ۱۹۹۶ را دربر می‌گرفت (کانلی و همکاران، ۱۹۹۶). از آن زمان تاکنون مطالعات بسیاری آغاز به کار کرده‌اند و پایگاه‌های بسیاری تولید و تجاری‌سازی شده است؛ برخی از شناخته‌شده‌ترین پایگاه‌های بازواکای شده عبارت‌اند از: مرکز ملی پیش‌بینی زیست‌محیطی (NCEP) (سنتر، ۲۰۰۸) / مرکز ملی پژوهش‌های هواسپهری (NCAR) (کیهل و همکاران، ۲۰۰۰)، نسخهٔ ارتقا داده‌شدهٔ NCEP، NCEP/DOE (NNRP-2) (کانامیتسو و همکاران، ۲۰۰۲)، پایگاه دادهٔ مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه‌های ERA-40، ERA-15، و ERA-Interim (سیمونز و همکاران، ۲۰۱۰)، پایگاه دادهٔ بازواکای شدهٔ ژاپن JRA-55 (ایبیتا و همکاران، ۲۰۱۱)، و پایگاه روزانهٔ دورهٔ مدرن برای پژوهش‌های کاربردی (MERRA)^۵ (رینکر و همکاران، ۲۰۱۱).

در سطح جهان، مطالعات بسیاری کانون توجه خود را بر پایگاه‌های بازواکای شده قرار داده‌اند؛ فرانفلد و همکاران (۲۰۰۵) و وانگ و زنگ (۲۰۱۲) در ارزیابی شرایط آب‌وهوایی بام تبت به این نتیجه رسیدند که داده‌های بازواکای شده سطح بسیار زیادی از اطمینان را برای دگرگونی مکانی- زمانی ارائه می‌دهند و این امر برای دما با دقت بیشتری قابل ارائه است. در مطالعه‌ای دیگر (بائو و ژانگ، ۲۰۱۳)، که در بام تبت با استفاده از پایگاه‌های بازواکای شدهٔ NCEP-CFSR، ERA-40، ERA-Interim، و ERA-Interim انجام شده است، پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که برای دما و باد داده‌های بازواکای دقت بیشتری و برای رطوبت دقت کمتری دارند. همچنین، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که

1. Reanalysis

2. Numerical Weather Prediction (NWP)

3. Radio sonde

4. BUOYS

5. Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications (MERRA)

پایگاه‌های روزآمدتر همچون CFSR و ERA-Interim ضمن چشم‌پوشی از برخی خطاها نتایج قابل‌قبول‌تری ارائه می‌دهند.

مونی و همکاران (۲۰۱۱) برای ارزیابی دمای سطح زمین ایرلند به هم‌سنجی پایگاه‌های بازواکاوی‌شده ERA-40، ERA-Interim، و NCEP/NCAR پرداختند. آنان برای ارزیابی دقت داده‌های بازواکاوی‌شده از داده‌های مشاهداتی یازده پیمونگاه همدید طی دوره ۱۹۸۹-۲۰۰۱ استفاده کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که دمای زمستان به شکل چشم‌گیری افزایش یافته است و ERA-Interim نسبت به ERA-40 و NCEP/NCAR کمی بهتر توانسته است به مدل‌سازی بپردازد و بیشترین ضریب همبستگی با داده‌های مشاهداتی را ارائه داده است. برآورد دگرگونی فرکانس پایین و روند دما با استفاده از پایگاه بازواکاوی‌شده ERA-Interim (سیمونز و همکاران، ۲۰۱۴) نشان داد که برون‌داد این پایگاه در سطح قابل‌قبولی است و گرم‌شدن تدریجی زمین مطابق با برون‌داد پایگاه بازواکاوی‌شده ERA-Interim کمتر از حد انتظار است. لادر و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی دمای دومتری از سطح زمین و بارش منطقه آلاسکا داده‌های بازواکاوی‌شده NCEP-NCAR، NARR، CFSR، ERA-Interim، و MERRA را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که به‌منظور ارزیابی خطرهای طبیعی در آلاسکا پایگاه MERRA، مسائل مرتبط با فرسایش ساحلی پایگاه CFSR، و بارش‌های سنگین جنوب‌شرق آلاسکا پایگاه ERA-Interim نتایج قابل‌قبول‌تری ارائه می‌دهند.

در ایران تاکنون، در پژوهش مستقلی، دما با استفاده از پایگاه‌های بازواکاوی‌شده مورد مطالعه بررسی نشده است. به‌رغم پیشرفت‌های بسیار در تولید و بسط پایگاه‌های بازواکاوی‌شده، مطالعات بسیاری، به‌خصوص در داخل، نتایج خود را بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری‌شده از پیمونگاه‌های آب‌وهوایی قرار می‌دهند؛ درحالی‌که، همان‌طور که گفته شد، این داده‌ها به دلیل تفکیک و توزیع نامناسب برای ارزیابی‌های زمانی-مکانی کارایی مناسبی ندارند. با این حال، مسعودیان (۱۳۸۲)؛ (۱۳۸۳) پژوهش‌هایی با داده‌های یاخته‌ای پایگاه ملی اسفزاری روی دمای ایران انجام داده است که، نسبت به پژوهش‌های سنتی مبتنی بر پیمونگاه با توزیع فضایی نامنظم، تا به امروز، این پژوهشگر یکی از بهترین و دقیق‌ترین برآوردها را از دمای ایران ارائه کرده است.

به‌رغم استفاده از داده‌های بازواکاوی‌شده در سطح جهان، در ایران از این پایگاه‌ها کمتر استفاده شده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی میزان دقت داده‌های دمای پایگاه بازواکاوی‌شده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim با تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه قوسی در هم‌سنجی با داده‌های مشاهداتی پیمونگاه‌های آب‌وهواشناسی و پایگاه داده ملی اسفزاری طراحی و اجرا شده است؛ در این راستا، دگرگونی زمانی-مکانی دمای کشور نیز ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

الف) داده‌ها و پیش‌پردازش

۱. پیمونگاه‌های آب و هواشناسی همدید

در این پژوهش از داده‌های ۳۲ پیمونگاه آب و هواشناسی همدید (یاخته‌هایی با رنگ سرخ در شکل ۱ و جدول ۱) طی دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۵ به‌منظور صحت‌سنجی داده‌های مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF)

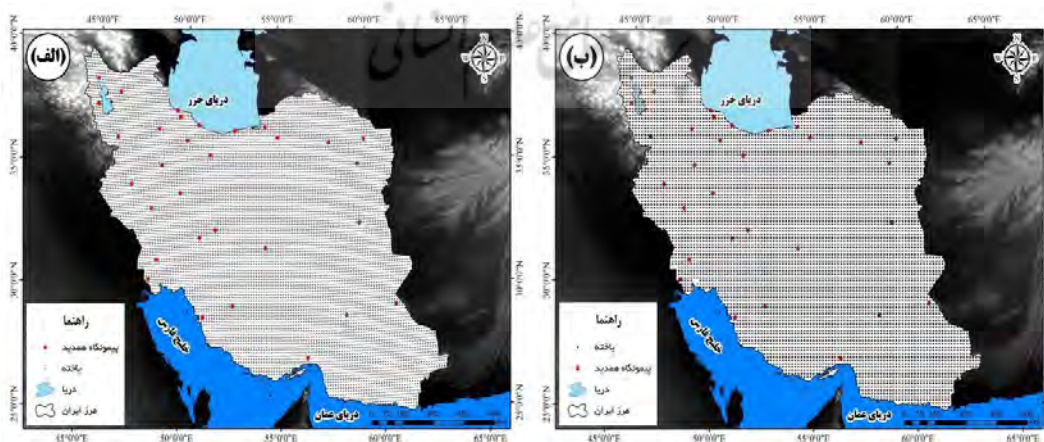
نسخه ERA-Interim استفاده شد. در انتخاب پیمونگاه‌ها، افزون بر لحاظ کردن مناطق آب‌وهوایی گوناگون کشور، سعی شد تا از هر استان یک پیمونگاه انتخاب شود.

۲. پایگاه ملی اسفزاری

دکتر سید ابوالفضل مسعودیان پایگاه داده اسفزاری را در دانشگاه اصفهان ایجاد کرده است. این پایگاه از داده‌های روزانه ۱۴۳۷ پیمونگاه همدید و آب و هواشناسی طی بازه زمانی ۱۹۶۱/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ فراهم شده است. درون‌یابی این پایگاه با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ بر روی یاخته‌ای به ابعاد 15×15 کیلومتر برای ایران اعمال شد (شکل ۱-الف). از داده‌های این پایگاه به منظور ارزیابی نموداری دقت پایگاه ECMWF نسخه ERA-Interim استفاده شد. صحت این پایگاه داده را مسعودیان (۱۳۸۳) و منتظری (۱۳۹۳) برای دمای ایران تأیید کرده‌اند.

۳. پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim

ERA-Interim را مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) تولید کرده و توسعه داده است. این پایگاه با ارزیابی پراش چهاربُعدی (4D) در یک شبکه طیفی با تسطیح مثلثی ۲۵۵ موجی (تقریباً ۸۰ کیلومتر) اجرا می‌شود و به بازپروسی فرآورده‌های گوناگون می‌پردازد. همچنین، سامانه قائم آن پیوندی و دارای ۶۰ سطح است. مدل جهانی ECMWF دارای ۱۲ ساعت است (سیمونز و همکاران، ۲۰۰۶). داده‌های این پایگاه به شکل ساعتی از سال ۱۹۷۹ در دسترس است که هرروزه توسط مرکز توسعه‌دهنده آن بهنگام می‌شود. تفکیک مکانی این پایگاه نیز بسیار متنوع است؛ به طوری که ۱۱ تفکیک مکانی مختلف از تارنمای این مرکز قابل سفارشی‌سازی و دریافت است که به ترتیب عبارت‌اند از: 3×3 ، 2.5×2.5 ، 2×2 ، 1.5×1.5 ، 1.25×1.25 ، 1×1 ، 0.75×0.75 ، 0.5×0.5 ، 0.4×0.4 ، 0.25×0.25 و 0.125×0.125 درجه قوسی. در این پژوهش داده‌هایی با تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه قوسی برای دوره زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۵ به شکل روزانه از تارنمای مرکز مربوطه بارگیری شد. پس از رمزگشایی داده‌ها در محیط *Matlab*، آرایه‌ای به ابعاد 13140×9966 ایجاد شد. در این آرایه، ۹۹۶۶ یاخته با فاصله نزدیک به 12.5 در 12.5 کیلومتر و 13140 تعداد روزهای مورد مطالعه‌اند. در گام بعدی ابعاد این آرایه به 12×9966 کاهش یافت که ۱۲ معرف ماه‌های سال است.



شکل ۱. الف) پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim با تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه قوسی؛ ب) پایگاه ملی اسفزاری با تفکیک مکانی 15×15 کیلومتر. یاخته‌هایی با رنگ سرخ: پیمونگاه‌های آب‌هواشناسی همدید

ب) ارزیابی دقت پایگاه بازواکاوی شده ECMWF نسخه ERA-Interim برای دمای ایران

عدم قطعیت مشخصه ذاتی در مدل هاست، بنابراین، بایسته است دقت و صحت فرآورده نهایی این دست از مدل ها و پایگاه های بازواکاوی شده ارزیابی شود (هودگس و همکاران، ۲۰۱۱). یکی از شناخته شده ترین روش ها برای کشف عدم اطمینان مدل ها جفت کردن داده های بازواکاوی شده با داده های به دست آمده از پیمونگه های آب و هواشناسی است (بنگستون و همکاران، ۲۰۰۴).

همان طور که گفته شد، برای اعتبارسنجی داده های دمایی پایگاه ECMWF نسخه ERA-Interim، یاخته های این پایگاه با داده های ۳۲ پیمونگه همدید منتخب کشور در بازه زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۵ راستی آزمایی شد. نزدیک ترین یاخته ها به پیمونگه های منتخب برای بررسی انتخاب شدند. برای راستی آزمایی دو گروه داده از شاخص های آماری ضریب تعیین^۱ (R^2) و ریشه متوسط مربع خطا (RMSE)^۲ استفاده شد. شاخص ضریب تعیین با استفاده از رابطه ۱ و شاخص ریشه متوسط مربع خطا با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2} \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2)$$

در رابطه های ۱ و ۲، n تعداد نقاط مشاهده ای است، y_i مقدار شبیه سازی شده برای نقطه i ام، \hat{y} مقدار مشاهده شده برای نقطه i ام.

ج) محاسبه بُعد فرکتالی^۳ دمای ماهانه ایران به منظور دگرذیسی زمانی

فرکتال شاخه ای از هندسه است که در آن پدیده ها و اجسام پیچیده و نامنظم مطالعه می شود. بر اساس فرکتال، اجسام و پدیده های طبیعی از بُدهای صحیح، منظم، و گسسته پیروی نمی کنند، بلکه دارای بُدهای اعشاری، نامنظم، و پیوسته اند (میرکتولی و همکاران، ۱۳۹۳). در واقع، هندسه اقلیدسی زبان دقیقی برای تفسیر اشکال طبیعی نیست و برعکس آن فرکتال از فرایندهای پویا به وجود می آید. درحقیقت، هندسه فرکتال تصویر ریاضی از بی نظمی است (سرورزاده و اشتیاقی، ۱۳۹۰).

برای توصیف خودتشابهی در این روش، از بُعد فرکتالی استفاده می شود. این عدد بین ۱ تا ۲ متغیر است و نشان دهنده دگرگونی کوتاه تا بلندمدت دامنه سنج در مکان یا زمان است. هر قدر این عدد به ۱ نزدیک تر باشد، نشان دهنده دگرگونی بلندمدت دامنه سنج و هر چه به عدد ۲ نزدیک تر باشد، نشان دهنده دگرگونی کوتاه مدت سنج است. هنگامی که موضوع سری زمانی در میان باشد، بُعد فرکتالی یک سری توصیف کننده رابطه بین پراش اختلاف مقادیر مورد بررسی- که در فاصله ای مشخص از یکدیگر واقع شده اند- و مقیاس فاصله زمانی خواهد بود. ابعاد فرکتال در واکاوی دگرگونی های فضایی به شرح رابطه ۳ محاسبه می شود (ترزی و کایا، ۲۰۰۸).

$$D = \frac{[\log N(2^{-(k+1)}) - \log N(2^{-k})]}{[\log 2^{k+1} - \log 2^k]} = \log_2 [N(2^{-(k+1)}) / N(2^{-k})] \quad (3)$$

1. Coefficient of Determination (R2)
2. Root Mean Square Error (RMSE)
3. Fractal

در این رابطه 2^k اندازه شبکه، N تعداد در هر شبکه، D بعد فرکتال، و k اعداد طبیعی است (قرخلو و زنگنه شهرکی، ۱۳۸۸).

یافته‌های پژوهش

صحت‌سنجی برون داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim از میانگین دمای هوا

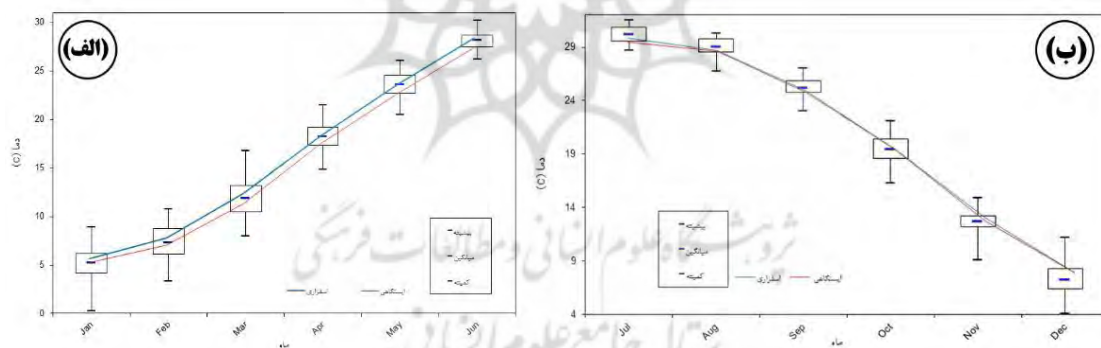
نتایج صحت‌سنجی بین پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim و پیمونگاه‌های همدید منتخب کشور برای دوره ۱۹۷۹-۲۰۱۵ در جدول ۱ به صورت ماهیانه مشخص شده است. علت هم‌سنجی داده‌های دمایی در مقیاس ماهیانه به سرشت آب و هوایی ایران مربوط است؛ زیرا در فضای پیچیده جغرافیایی ایران دگرگونی دما به تدریج عوض می‌شود؛ به طوری که اگر این هم‌سنجی در پیمانۀ فصلی و سالانه انجام می‌شد، این امکان وجود داشت که با توجه به میانگین‌گیری برخی رفتارهای خرد آب و هواشناسی دمای کشور متأثر از مقدار پارامتر آماری میانگین می‌شد. بنابراین، مطالعه ماهیانه می‌تواند رفتار دمایی کشور را بهتر نشان دهد و مقدار آماره‌های صحت‌سنجی نیز خطای کمتری را ناشی از میانگین‌گیری ارائه می‌دهند.

برای اعتبارسنجی از معیارهای ریشه میانگین مربع خطاها و ضریب تعیین استفاده شد. خروجی پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim برای دمای ایران در ماه‌های مختلف از عملکرد مناسبی برخوردار است؛ به طوری که در بیشتر پیمونگاه‌های مورد مطالعه در این بخش بیش از ۰/۹۸ ضریب تعیین بین داده‌های این پایگاه با داده مشاهده شده و ثبت شده در پیمونگاه‌های آب و هواشناسی همدیدی کشور مشاهده می‌شود. این نتایج حاکی از دقت بسیار زیاد این پایگاه در پیش‌بینی دمای هوا در ایران است. نتایج معیار ریشه میانگین مربع خطاها در بین پیمونگاه‌ها از ۰/۵۳۱ در شاهرود تا ۴/۵۹۳ در اصفهان متغیر است. نتایج معیار RMSE در پیمونگاه‌های مناطق کوهستانی و مرتفع از عملکرد کمتری نسبت به پیمونگاه‌های داخلی و کم‌ارتفاع برخوردار بوده است. به طور متوسط، نتایج RMSE بین ۰/۵ تا ۱/۵ است که این موضوع نشان می‌دهد عملکرد این پایگاه در پیش‌بینی دمای هوای ایران مطلوب است.

جدول ۱ مقادیر شاخص ریشه متوسط مربع خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) بین پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim و پیمونگاه‌های همدید منتخب کشور برای دوره ۱۹۷۹-۲۰۱۵

پیمونگاه	RMSE	R^2	پیمونگاه	RMSE	R^2	پیمونگاه	RMSE	R^2	پیمونگاه	RMSE	R^2
آبادان	۱/۶۴۱	۰/۹۹	مشهد	۰/۸۷۲	۰/۹۹	بوشهر	۲/۰۹۸	۰/۹۹	شاهرود	۰/۵۳۱	۰/۹۹
اهواز	۰/۹۶۸	۰/۹۹	ارومیه	۱/۱۶۹	۰/۹۹	اصفهان	۴/۵۹۳	۰/۹۸	شیراز	۱/۱۴۷	۰/۹۹
انزلی	۲/۹۶۸	۰/۹۷	رامسر	۲/۸۳۴	۰/۹۶	قزوین	۲/۰۴۱	۰/۹۹	تبریز	۲/۶۸۰	۰/۹۹
اراک	۱/۶۶۳	۰/۹۹	رشت	۲/۸۰۶	۰/۹۹	گرگان	۲/۵۲۹	۰/۹۹	تهران	۲/۴۳۱	۰/۹۹
بابلسر	۳/۷۳۲	۰/۹۹	سبزوار	۲/۶۳۴	۰/۹۹	همدان نوژه	۰/۷۷۸	۰/۹۹	تربت‌حیدریه	۰/۹۰۵	۰/۹۹
بم	۱/۶۲۷	۰/۹۹	سقز	۰/۷۷۰	۰/۹۹	کرمانشاه	۱/۴۴۹	۰/۹۹	یزد	۱/۱۰۳	۰/۹۹
بندرعباس	۱/۵۴۹	۰/۹۹	سنندج	۳/۳۳۵	۰/۹۰	خرم‌آباد	۲/۲۸۰	۰/۹۹	زاهدان	۲/۴۰۶	۰/۹۹
بیرجند	۰/۵۶۶	۰/۹۹	شهرکرد	۱/۳۲۲	۰/۹۹	خوی	۲/۸۷۹	۰/۹۹	زنجان	۳/۳۵۹	۰/۹۱

برای اطمینان بیشتر، برون داد دمای هوا با دمای مشاهده شده پیمونگاهی و همچنین پایگاه داده آب و هواشناسی ملی اسفزاری همسنگی و در شکل ۲ مشخص شده است. نتایج نشان می دهد که برون داد پایگاه ECMWF برای دمای هوا با نتایج پیمونگاهی (خط آبی) و پایگاه ملی اسفزاری (خط قرمز) از نتایج خوبی برخوردار است. در شش ماهه دوم سال یا نیمه گرم سال، نتایج همسنگی برون داد پایگاه ECMWF با داده های زمینی و پایگاه آب و هواشناسی اسفزاری از نتایج بهتری برخوردار است. در شش ماهه اول یا ایام سرد سال، داده های مشاهدات زمینی و پایگاه آب و هواشناسی اسفزاری و برون داد پایگاه ECMWF کمی از هم فاصله دارند؛ این موضوع می تواند ناشی از ناپایداری های زیاد و همچنین فرارفت های هوایی باشد که در ایام سرد سال در بیشتر مواقع مستولی است. در شش ماهه دوم یا ایام گرم سال نتایج برون داد پایگاه ECMWF و مشاهدات زمینی و پایگاه اسفزاری کاملاً بر همدیگر منطبق بوده اند؛ به طوری که بر روی یک خط پراکنش پیدا کرده اند. همان طور که پیداست، الگوی دمای ایران زنگدیس است. مسعودیان (۱۳۸۲) الگوی زنگدیس دگرگونی ماهانه دما را ناشی از زاویه تابش خورشید در طول سال و جابه جایی سامانه های همدید- که آب و هوای ایران را می سازد- مرتبط می داند. اکبری و مسعودیان (۱۳۸۸) با شناسایی رژیم دمایی و پهنه بندی نواحی آن در ایران با ۳۳۸ پیمونگاہ الگوی زنگدیس دما را تأیید کردند. آنان پیروی دمای ایران از چنین الگویی را ناشی از هسته، پوسته، و ماه های گذار هر فصل دانسته اند. این طبقه بندی نشان داد اوج خصوصیات دمایی هر فصل در هسته آن تجلی می یابد و ماه های دو طرف هسته در هر فصل پوسته فصل نامیده می شود؛ پوسته آغاز و پایان هر فصل را نشان می دهد؛ بازه زمانی ای را که یک فصل به فصل دیگر تغییر حالت می یابد ماه گذار نامیده اند که به هیچ یک از فصول سرد و گرم تعلق ندارد و شرایط معتدلی را نشان می دهد.



شکل ۲. همسنگی دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برون داد پایگاه پیش بینی میان مدت هوا سپهر اروپایی (ECMWF) نسخه - ERA-Interim و دمای پیمونگاهی و پایگاه ملی اسفزاری؛ الف) شش ماهه اول سال؛ ب) شش ماهه دوم سال

ماه های دسامبر تا فوریه DJF

نتایج مشخصات آماری دمای هوا در ماه های دسامبر تا فوریه مبتنی بر برون داد پایگاه داده مرکز پیش بینی میان مدت هوا سپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim در جدول ۲ مشخص شده است. در ماه های فصل سرد، از دسامبر تا مارس، میانگین دمای هوا به ترتیب از ۷٫۲ تا ۷٫۳ در نوسان است. کمینه دمای هوا به ترتیب از ۳- تا ۶- متغیر است و بیشینه دمای هوا از ۲۱٫۴ تا ۲۳ درجه سانتی گراد متغیر است. پراکندگی دماهای ماه دسامبر بیشتر از ماه های ژانویه و فوریه است. توزیع داده از طریق معیار چولگی در ماه دسامبر ۰٫۵۱، ژانویه ۰٫۴۱، و ماه فوریه ۰٫۳۰ به صورت چوله مثبت مشاهده شد. در ماه های سرد، توزیع دماها بیشتر از چوله مثبت برخوردارند. در واقع، مقادیر کمتر از میانگین از فراوانی

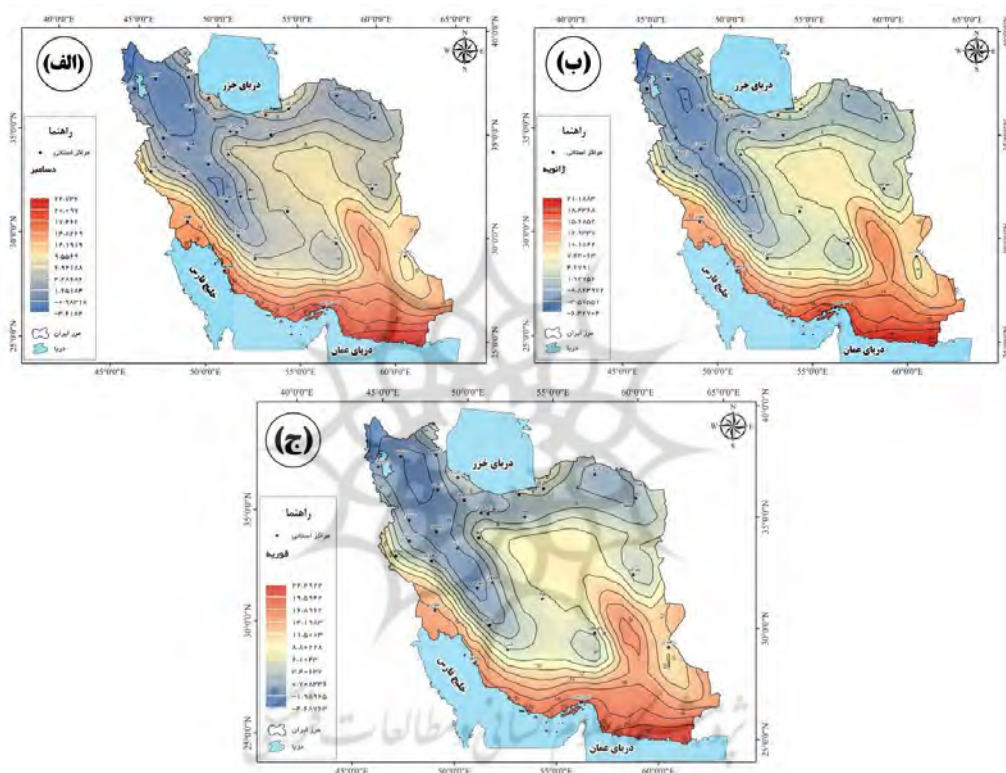
بیشتری برخوردارند. ارتباط بین دمای هوا و مؤلفه‌های مکانی (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) در جدول ۳ مشخص شده است. دمای هوا در ماه‌های سرد با پارامتر مکانی عرض جغرافیایی بیشترین ارتباط را داراست؛ میزان این ضریب بیش از ۰/۸۲- مشخص شد. پس از عرض جغرافیایی، عامل ارتفاع از سطح دریا از ارتباط بیشتری با میزان دمای هوا برخوردار است. ضخامت و ردسپهر نیز، به‌منزله عاملی کارساز، بر روی دمای ایران نقش آفرینی می‌کند؛ به‌طوری که در فصل سرد سال، که ضخامت و ردسپهر کاهش می‌یابد، به‌تبع آن افتاهنگ دما نیز افزایش می‌یابد. مسعودیان (۱۳۸۲) نیز در مطالعه ساختار دمای ماهانه ایران با استفاده از داده‌های مشاهداتی به چنین نتیجه‌ای رسیده است؛ در مقابل، در دوره گرم سال، که ضخامت و ردسپهر افزایش می‌یابد، افتاهنگ دما نیز کاهش می‌یابد. دگردیسی زمانی ماه‌های سپتامبر تا نوامبر مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim در جدول ۴ مشخص شده است. در ماه‌های دسامبر تا فوریه بُعد فرکتالی ۱/۴ و خطای استاندارد ۰/۰۹۲ و میزان ضریب تعیین $0.96R^2$ برای این ماه‌ها از سال در دمای هوا مشاهده می‌شود.

توزیع مکانی دمای هوا در ماه‌های سرد سال از دسامبر تا فوریه در شکل ۳ مشخص شده است. در حالت اولیه الگوی فضایی دمای هوا در ماه‌های سرد سال نشان‌دهنده نقش کارساز مؤلفه مکانی عرض جغرافیایی در توزیع و ساختار آن است؛ به‌طوری که در مناطقی با عرض‌های بالا و مرتفع دماهای بیشتر به کمتر از صفر درجه گرایش دارند؛ درحالی که در نیمه جنوبی و عرض‌های پایین‌تر دمای هوا تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد در تغییر است.

الگوی فضایی دما در ایران را می‌توان متأثر از مشخصه‌های جغرافیایی و آب و هوایی دانست. مشخصه‌های جغرافیایی مهم در دمای ایران به‌ترتیب اهمیت عبارت‌اند از: ۱. ارتفاع؛ ۲. عرض جغرافیایی؛ ۳. طول جغرافیایی. مشخصه‌های آب و هوایی را هم می‌توان با رطوبت جوی، ابرناکی، شفافیت جوی و مسیر ورود سامانه‌های توده‌های هوا مرتبط دانست. رطوبت جوی نیز یکی از مهم‌ترین پارامترهای آب و هوایی است که نقشی تعیین‌کننده در دما دارد؛ به‌طوری که دارند (۱۳۹۴)، که دگرگونی زمانی- مکانی رطوبت را با استفاده از پایگاه ECMWF برای ایران انجام داده است، به این نتیجه رسید که افزایش گازهای گلخانه‌ای بخار آب در جو در کرانه‌های جنوب کشور و جنوب غرب دریای خزر بیلان تابشی را دگرگون خواهد کرد و در پس‌خور مثبتی به افزایش دما منجر خواهد شد.

سامانه‌های همدیدی مؤثر در دمای ایران در فصول مختلف سال متفاوت‌اند. علیجانی (۱۳۸۹) موقعیت جغرافیایی ایران را عاملی مهم در بهره‌مندی از سامانه‌های همدیدی دانسته است. سامانه‌های مؤثر در دمای ایران عبارت‌اند از: پُرفشار سبیری، اقیانوس هند، پُرفشار عربستان، کم‌فشار سند، و دریای مدیترانه. مسعودیان (۱۳۹۰) نیز حاکمیت پُرفشار جنب حاره در دوره گرم سال به‌ویژه در عرض‌های جنوبی‌تر و حاکمیت پُرفشار سبیری در دوره سرد سال به‌ویژه در شمال شرق بر دمای ایران را مهم دانسته است. وی همچنین بیان کرده است که تنوع سامانه‌های همدید مؤثر در دوره سرد سال موجب تفاوت چشم‌گیر دمای نقاط مختلف کشور می‌شود. اهمیت پُرفشار سبیری در پراکنش دمای ایران باعث شده است تا پژوهش‌های بسیاری در کشور انجام شود؛ به‌طوری که حلبیان و شبانکاری (۱۳۹۱) نقش این پُرفشار حرارتی- دینامیکی را در دمای کمینه روزانه ایران قابل توجه دانسته‌اند؛ به‌طوری که ۹۳ درصد از پیمونگه‌های کشور (از ۴۲۳ پیمونگه موجود در آن پژوهش) از نظر دمای کمینه تحت تأثیر سامانه پُرفشار سبیری‌اند. درگاهیان و همکاران (۱۳۹۳)، با شناسایی الگوهای همدید سامانه‌های بندالی مؤثر بر دمای ایران، دریافته‌اند که دماهای بیش از نرمال یا کمتر از نرمال ناشی از رخداد سامانه بندالی، علاوه بر تداوم، با تأخیر زمانی یک‌روزه یا کمتر در سطح زمین مرتبط‌اند.

دمای هوا در ماه ژانویه از ۶- تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد در مناطق نیمه شمالی و جنوبی کشور متغیر است. اختلاف دمایی در این ماه ۲۷ درجه سانتی‌گراد است. الگوی فضایی دمای هوا در این موقع از سال نشان می‌دهد که از شمال به جنوب و از غرب به شرق دما افزایش می‌یابد و ناهمواری‌ها عامل بسیار مهمی در تفاوت مکانی دمای هوا به‌شمار می‌روند. رطوبتی (۱۳۹۶) دمای بیشتر منطقه ساحلی و جنوب را ناشی از اثر دریا و عرض جغرافیایی پایین دانسته و دمای بالای ناحیه ساحلی خزری را ناشی از اثر تعدیل‌کننده دریای خزر در دوره سرد سال دانسته است؛ با مقایسه توزیع فضایی دمای ماهیانه ایران در ماه‌های دسامبر تا فوریه مبتنی بر نتایج پایگاه ECMWF مشخص می‌شود که سواحل خزر، به‌رغم عرض جغرافیایی بالا، که باید دمای کمتری داشته باشد، به صورت یک ناحیه دمایی مجزا رخنمود داشته که ناشی از اثر تعدیلی دریاست.



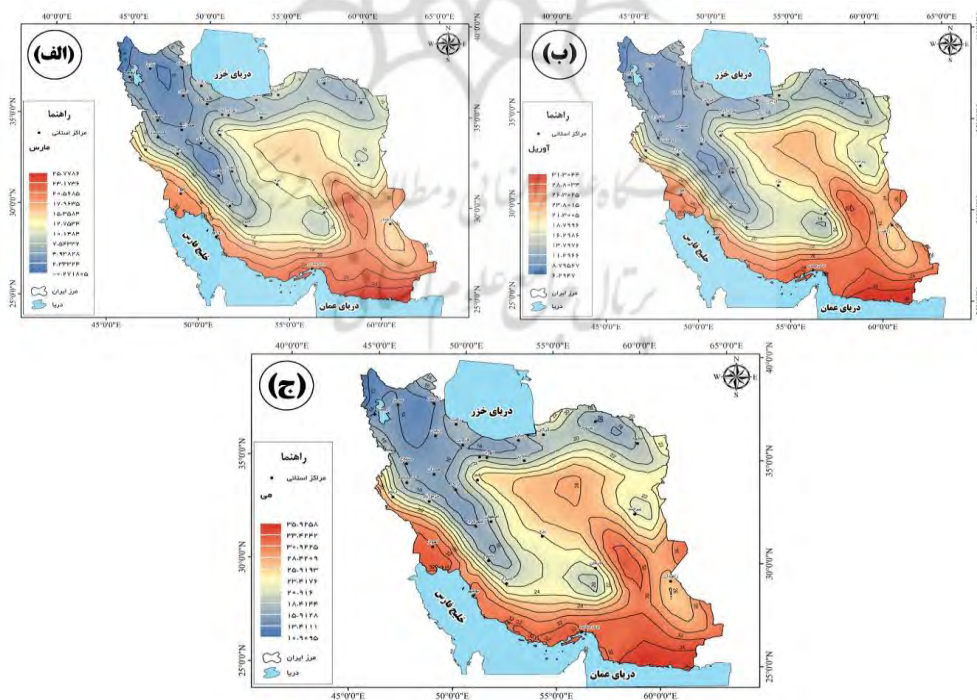
شکل ۳. دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برون داد پایگاه پیش‌بینی میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim (الف) ماه دسامبر؛ (ب) ماه ژانویه؛ (ج) ماه فوریه

ماه‌های مارس تا می MAM

در جدول ۲ نتایج مشخصات آماری دمای هوا در ماه‌های مارس تا می مبتنی بر برون داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim مشخص شده است. در این بازه زمانی از سال، میانگین دمای هوا از ماه مارس تا می به ترتیب برابر با ۱۱/۸، ۲۳/۶، و ۲۸/۲ مشاهده شد. دامنه دگرگونی ۲۳ تا ۲۵ و پراش داده‌ها در ماه‌های مارس و آوریل ۳۳ و در ماه می به میزان ۳۵ مشاهده شد. وضعیت توزیع داده از طریق معیار چولگی نشان می‌دهد که مقدار چولگی در ماه مارس ۰/۲۰، در ماه آوریل ۰/۱۱، و در ماه می ۰/۰۲ - است. هرچه از ایام سرد به سمت فصل بهار گذار صورت می‌گیرد از میزان چولگی داده کمتر می‌شود. در واقع، میزان چولگی داده‌های دما در ماه‌های سرد بیشتر از دیگر فصول سال به خصوص ایام گرم است؛ این شرایط می‌تواند در پیوند با فراوانی الگوهای جوی بزرگ مقیاس

و میان مقیاس، که وضعیت دمایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، باشد. بیشینه دما در ماه‌های مارس تا می به ترتیب از ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد در نوسان است و کمینه دما در این دوره از سال به ترتیب ۰/۳۷-، ۰/۶۲- و ۱۰/۹- است. همبستگی بین دمای هوا و مؤلفه‌های مکانی (جدول ۳) در ماه‌های مارس تا می به ترتیب ۰/۸۱-، ۰/۷۷-، و ۰/۷۸- مشاهده می‌شود. بُعد فرکتالی و خطای استاندارد و ضریب تعیین دمای هوا در این ماه‌ها در جدول ۴ مشخص شده است. بُعد فرکتالی در این ماه‌ها ۱/۴ و خطای استاندارد ۰/۱۰۶، ۰/۱۱۱، و ۱۰/۹ و R^2 ضریب تعیین برابر با ۰/۹۶ است.

توزیع فضایی دمای هوا در ماه‌های آوریل تا ژوئن در شکل ۴ مشخص شده است. در ماه مارس، توزیع دما از ۰/۲۷- تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد بین مناطق با عرض بالاتر و عرض‌های پایین‌تر در نوسان است. در ماه آوریل دما از ۶ درجه تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد در نوسان است و در ماه می وضعیت دماها بین مناطق شمالی و جنوبی از ۹ تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد است. توزیع فضایی دمای هوا در این بازه زمانی از عامل عرض جغرافیایی بیشترین تأثیر را می‌پذیرد و از شمال به جنوب و از غرب به شرق با کاهش چشم‌انداز ناهمواری‌ها دمای هوا افزایش می‌یابد. عوامل پایدار محلی به خصوص گستره جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در تنوع و تفاوت‌های مکانی دما نقش کارسازی ایفا می‌کند. علت اهمیت عامل عرض جغرافیایی در این بازه از سال بر ساختار دمایی ایران را می‌توان بر دگرگونی مقدار ابرناکی و آفتاب‌گیری مکان نسبت داد. همچنین، علیجانی (۱۳۸۹) به این نتیجه رسیده است که در دوره گرم سال در جنوب زاویه تابش بالاتر و در شمال کشور طول روز طولانی‌تر است. بنابراین، تفاوت انرژی تابشی روزانه، که عاملی مهم در گرمایش جو است، به کمترین مقدار ممکن می‌رسد. با شروع فصل بهار و افزایش نسبی هوا ناهمواری‌ها در جای‌جای مناطق کشور عامل اصلی تعدیل دمای هواست؛ به طوری که در ماه می (شکل ۴-ج)، ارتفاعات کرمان نسبت به مناطق مجاور خود دمای کمتری را نشان می‌دهد. خنکای سواحل خزری را نیز می‌توان متأثر از عامل تعدیل‌کننده رطوبت هوا دانست.



شکل ۴. دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه پیش‌بینی میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim: (الف) ماه مارس؛ (ب) ماه آوریل؛ (ج) ماه می

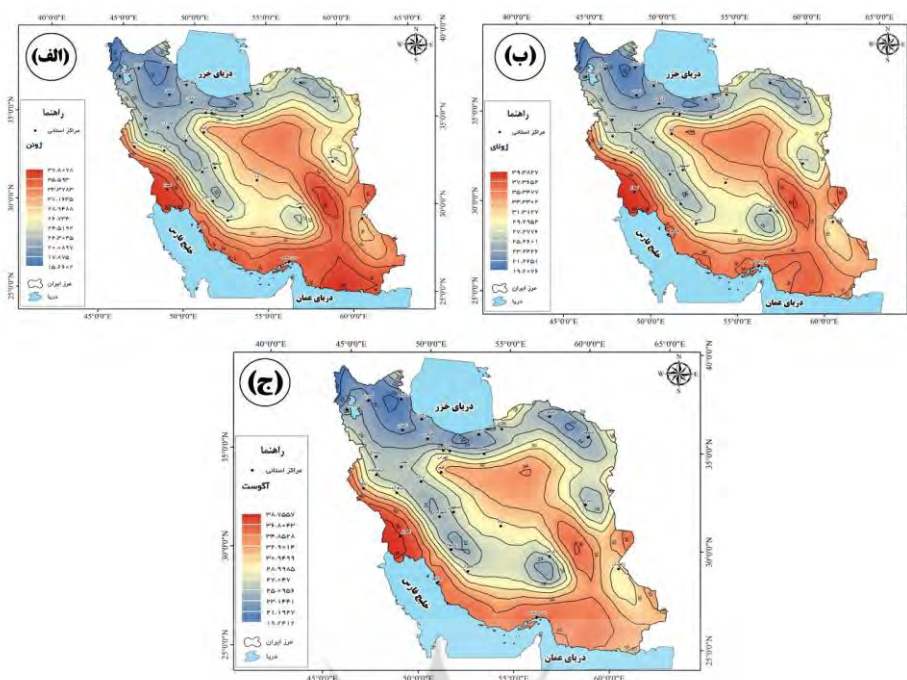
ماه‌های ژوئن تا آگوست JJA

نتایج مشخصات آماری دمای هوا در ماه‌های ژوئن تا آگوست در جدول ۲ مشخص شده است. میانگین دمای هوا در ماه‌های ژوئن تا آگوست به ترتیب ۲۸/۲، ۳۰، و ۲۹ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. دامنه دگرگونی در ماه‌های ژوئن، جولای، و آگوست به ترتیب ۲۲/۳، ۲۰/۳، و ۱۹/۶ و پراش دما در این ماه‌ها به ترتیب ۲۷/۹، ۲۰/۹، و ۱۸/۴ مشاهده شد. دامنه دگرگونی و پراش ماه‌های جولای و آگوست بیشتر از ماه سپتامبر است. توزیع داده‌های دما بر طبق شاخص چولگی در این ماه‌ها به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۲۳، و ۰/۰۷ - است. کمترین میزان چولگی در این بازه زمانی در ماه سپتامبر کمتر مشاهده می‌شود. همچنین، ماه‌های جولای و آگوست از چولگی بیشتری نسبت به ماه سپتامبر برخوردارند. همبستگی بین دمای هوا و مؤلفه‌های مکانی نشان می‌دهد که دمای هوا با عرض جغرافیایی برای ماه‌های ژوئن، جولای، و آگوست به ترتیب ۰/۷۴، -۰/۶۷، و -۰/۶۶ بوده است (جدول ۳). بُد فرکتالی دمای هوا در این ماه‌ها (جدول ۴) به ترتیب ۱/۵، ۱/۶، و ۱/۶ و میزان خطای استاندارد از ۰/۱۲، ۰/۱۱، و ۰/۱۴ و همچنین میزان ضریب تعیین R^2 مشاهده می‌شود.

توزیع فضایی ماه‌های ژوئن تا آگوست در شکل ۵ مشخص شده است. در این ماه‌ها، دمای هوا به اوج خود می‌رسد و در ماه‌های ژوئن، جولای، و آگوست به ترتیب دما در بالاترین حالت به ۳۷ تا ۳۹ درجه سانتی‌گراد در مناطق نیمه جنوبی و مرکز ایران می‌رسد و در کمترین حالت از ۱۹ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد در مناطق منطبق بر نواحی مرتفع نیمه شمالی و غربی کشور و ارتفاعات پراکنده شمال شرق و حاشیه مناطق مرکزی ایران است. در این ماه‌ها، عامل عرض جغرافیایی در وهله اول و بعد ارتفاع از سطح دریا در ایجاد الگوی فضایی دمای هوا نقش آفرینی می‌کنند. این بازه زمانی در طول سال گرم‌ترین شرایط دمایی را در ایران داراست. نواحی مرکزی در کویر لوت و نیمه جنوبی مجاور ساحل و همچنین منطقه خوزستان و شمال خلیج فارس کانون گرم‌ترین مناطق ایران زمین به‌شمار می‌روند. از یک طرف، سواحل جنوبی کشور کانون دمای بیشینه کشورند؛ از طرف دیگر، نیز تفاوت گرم‌ترین و سردترین ماه سال در این مناطق به سبب عامل تعدیل‌کننده دریا و عرض جغرافیایی پایین است. مقایسه الگوی دمایی سواحل خلیج فارس و دریای عمان یکی دیگر از رفتارهای آب و هوایی ایران را روشن می‌کند. در سواحل دریای عمان به علت عرض جغرافیایی پایین نسبت به سواحل خلیج فارس اختلاف کمتری در دمای آن مشاهده می‌شود. اما آنچه در این دو ناحیه از ایران در فصل گرم سال به‌خصوص در فصل تابستان نمود یافته؛ این است که دمای سواحل جنوب شرقی عمان در ماه‌های ژوئن (اواخر ماه) تا سپتامبر به شکل قابل توجهی کمتر از سواحل خلیج فارس است. این رفتار دمایی از یک سو می‌تواند ناشی از نقش آب هوای آزاد و تعدیل‌کنندگی دمایی و از سوی دیگر فعال شدن سامانه موسمی در جنوب شرق ایران باشد.

ماه‌های سپتامبر تا نوامبر SON

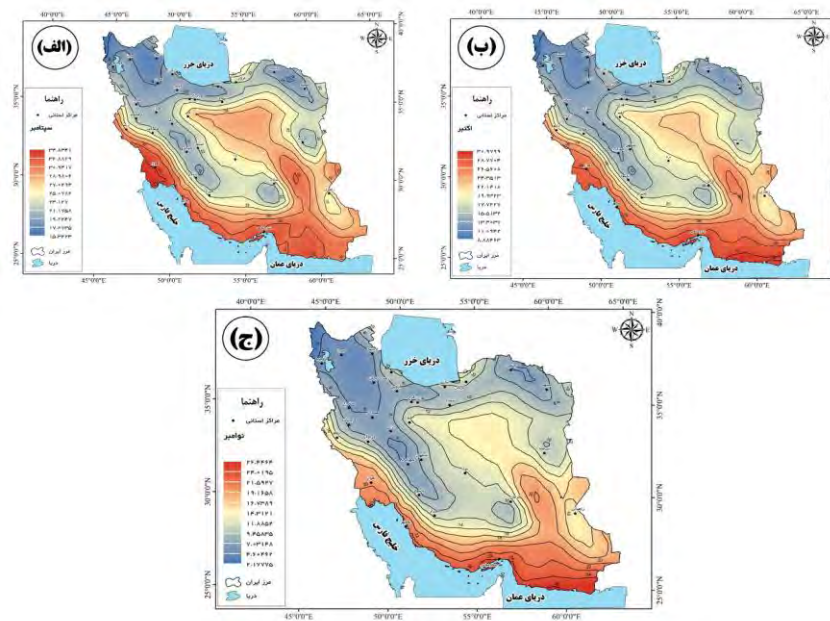
نتایج مشخصات آماری دمای هوا در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر مبتنی بر برون داد پایگاه داده بازاکاوی شده (ECMWF) نسخه ERA Interim در جدول ۲ مشخص شده است. در این بازه زمانی، میانگین دمای هوا در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر به ترتیب ۲۵، ۱۹، و ۱۲ درجه سانتی‌گراد در نوسان است. بیشینه دما در این ماه‌ها به ترتیب ۳۴، ۳۱، و ۲۶ درجه سانتی‌گراد و کمینه دماها نیز ۱۵، ۸، و ۲ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. پراش دماها از ماه سپتامبر به سمت ماه نوامبر افزایش می‌یابد؛ به طوری که این میزان پراش از ۲۰ به ۲۷ درجه سانتی‌گراد در ماه نوامبر می‌رسد. توزیع دماها در این بازه زمانی از ماه‌های گرم سال به سمت ماه‌های فصل پاییز افزایش می‌یابد؛ به طوری که از ماه سپتامبر تا نوامبر به ترتیب به میزان ۰/۰۶، ۰/۲۶، و ۰/۴۳ در نوسان است.



شکل ۵. دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برون داد پایگاه پیش‌بینی میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim؛ (الف) ماه ژوئن؛ (ب) ماه ژوئای؛ (ج) ماه آگوست

همبستگی میانگین دمای ایران در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر مبتنی بر برون داد پایگاه داده بازووکای شده (ECMWF) نسخه ERA Interim با ارتفاع، طول، و عرض جغرافیایی ($P-Value < 0.05$) در جدول ۳ مشخص شده است. در این بازه زمانی، یعنی ماه‌های سپتامبر تا نوامبر، میزان همبستگی بین مؤلفه‌های مکان و دمای هوا در سطح نسبتاً بالایی قرار دارد. بیشترین همبستگی بین دمای هوا در این ماه‌ها در عامل عرض جغرافیایی مشاهده می‌شود. میزان این همبستگی به ترتیب ۰/۷۳، ۰/۷۹، و ۰/۸۲- به صورت معکوس است. بُعد فرکتالی میانگین دمای ایران در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر نیز در جدول ۴ مشخص شده است. در این ماه‌ها، بُعد فرکتالی ۱/۵ تا ۱/۴ در تغییر است. خطای استاندارد در ماه‌های نوامبر و اکتبر کمتر از ماه سپتامبر است و میزان ضریب تعیین R^2 در این ماه‌ها برابر با ۰/۹۵ مشاهده می‌شود.

توزیع فضایی دمای هوا در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر در شکل ۶ مشخص شده است. توزیع دما در این ماه‌ها نشان‌دهنده گسترش دماهای خنک و سرد از عرض‌های بالا به سمت عرض‌های پایین‌تر است. به تدریج، از ماه سپتامبر میزان دماهای خنک و سرد افزوده می‌شود. کانون نواحی گرم به مناطق نوار جنوبی محدود می‌شود. توزیع دماها در گرم‌ترین و خنک‌ترین یا سردترین حالت در ماه سپتامبر از ۳۴ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد و در ماه اکتبر از ۳۰ تا ۸ درجه سانتی‌گراد و در ماه نوامبر از ۲۶ تا ۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از صفر تغییر می‌یابد. در این بازه زمانی، مانند دیگر ماه‌های سال، الگوی دمای هوا از عامل عرض جغرافیایی در وهله اول و سپس ارتفاعات بام ایران تبعیت می‌کند. توزیع فضایی دما در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر نشان می‌دهد که در مناطق پست مرکزی و شرق ایران و نواحی کوهپایه‌ای، که اثر ارتفاع کاهش می‌یابد، مناطق پست داخلی و شرقی، که می‌توان از آن‌ها با نام نواحی دشتی یاد کرد، اختلاف دمای چشم‌گیری با مناطق کوهستانی البرز و زاگرس دارند.



شکل ۶. دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برون داد پایگاه پیش بینی میان مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim: (الف) ماه سپتامبر؛ (ب) ماه اکتبر؛ (ج) ماه نوامبر

جدول ۲. مشخصات آماری میانگین دمای ایران مبتنی بر برون داد پایگاه داده مرکز پیش بینی میان مدت هواسپهر اروپایی ERA Interim نسخه (ECMWF)

مشخصه‌های آماری	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
میانگین	۵٫۲۳	۷٫۳۱	۱۱٫۸۷	۱۸٫۲۶	۲۳٫۶۱	۲۸٫۲۲
میانه	۴٫۵۵	۶٫۸۶	۱۱٫۴۴	۱۷٫۹۶	۲۳٫۵۵	۲۸٫۴۵
مد	-۰٫۷۰	-۴٫۷۱	۱۰٫۳۴	۱۰٫۳۰	۱۳٫۹۴	۲۱٫۴۳
دامنه دگرگونی	۲۷٫۸۴	۲۷٫۰۵	۲۶٫۱۸	۲۵٫۰۸	۲۵٫۰۹	۲۲٫۳۱
واریانس	۳۱٫۳۱	۳۴٫۱۵	۳۳٫۶۲	۳۳٫۳۶	۳۵٫۳۴	۲۷٫۹۷
انحراف معیار	۵٫۶۰	۵٫۸۴	۵٫۸۰	۵٫۷۸	۵٫۹۴	۵٫۲۹
کشیدگی	-۰٫۴۷	-۰٫۷۰	-۰٫۸۴	-۱٫۰۱	-۱٫۰۷	-۰٫۹۹
چولگی	۰٫۴۱	۰٫۳۰	۰٫۲۰	۰٫۱۱	-۰٫۰۲	-۰٫۲۲
چارک اول	۱٫۰۶	۲٫۶۶	۷٫۱۶	۱۳٫۳۱	۱۸٫۵۷	۲۳٫۹۱
چارک سوم	۹٫۰۸	۱۱٫۵۳	۱۶٫۱۸	۲۲٫۶۵	۲۸٫۲۶	۳۳٫۶۴
کران بالا و پایین	۲۱٫۴۹	۲۲٫۳۴	۲۵٫۸۰	۳۱٫۳۵	۳۵٫۹۹	۳۷٫۸۷
کمینه	-۶٫۳۵	-۴٫۷۱	-۰٫۳۷	۶٫۲۸	۱۰٫۹۰	۱۵٫۵۶
مشخصه‌های آماری	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین	۳۰٫۱۶	۲۹٫۰۳	۲۵٫۱۹	۱۹٫۴۷	۱۲٫۶۹	۷٫۲۹
میانه	۳۰٫۳۵	۲۹٫۰۰	۲۵٫۰۱	۱۸٫۹۸	۱۱٫۹۴	۶٫۴۸
مد	۲۱٫۹۰	۲۲٫۰۵	۲۰٫۱۸	۱۲٫۶۰	۷٫۶۸	۱۳٫۹۱
دامنه دگرگونی	۲۰٫۲۵	۱۹٫۶۱	۱۹٫۶۰	۲۲٫۲۲	۲۴٫۴۳	۲۶٫۷۱
واریانس	۲۰٫۹۶	۱۸٫۴۴	۲۰٫۵۰	۲۵٫۱۹	۲۷٫۲۸	۲۸٫۵۳
انحراف معیار	۴٫۵۸	۴٫۲۹	۴٫۵۳	۵٫۰۲	۵٫۲۲	۵٫۳۴
کشیدگی	-۰٫۹۰	-۰٫۹۲	-۱٫۰۳	-۰٫۸۷	-۰٫۵۷	-۰٫۳۴
چولگی	-۰٫۲۳	-۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۲۶	۰٫۴۳	۰٫۵۱
چارک اول	۲۶٫۵۰	۲۵٫۵۷	۲۱٫۳۸	۱۵٫۳۲	۸٫۶۲	۳٫۳۶
چارک سوم	۳۴٫۱۲	۳۲٫۶۱	۲۸٫۷۵	۲۲٫۸۸	۱۶٫۱۹	۱۰٫۸۵
کران بالا و پایین	۳۹٫۳۸	۳۸٫۷۶	۳۴٫۸۴	۳۱٫۰۱	۲۶٫۵۲	۲۳٫۰۰
کمینه	۱۹٫۱۳	۱۹٫۱۵	۱۵٫۲۳	۸٫۷۹	۲٫۰۹	-۳٫۷۱

جدول ۳. همبستگی میانگین دمای ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim با ارتفاع، طول، و عرض جغرافیایی ($P-Value < 0.05$)

آماره/ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
طول جغرافیایی	۰٫۵۴۶	۰٫۵۶۵	۰٫۵۸۹	۰٫۶۰۰	۰٫۵۷۶	۰٫۵۳۷
عرض جغرافیایی	-۰٫۸۲۶	-۰٫۸۳۴	-۰٫۸۱۱	-۰٫۷۷۶	-۰٫۷۸۱	-۰٫۷۴۵
ارتفاع	-۰٫۶۳۵	-۰٫۶۲۰	-۰٫۶۲۷	-۰٫۶۳۹	-۰٫۶۳۳	-۰٫۶۲۲
آماره/ماه	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
طول جغرافیایی	۰٫۴۲۹	۰٫۳۵۱	۰٫۳۸۹	۰٫۴۴۳	۰٫۵۰۷	۰٫۵۲۵
عرض جغرافیایی	-۰٫۶۷۹	-۰٫۶۶۶	-۰٫۷۳۵	-۰٫۷۹۶	-۰٫۸۲۰	-۰٫۸۳۴
ارتفاع	-۰٫۶۳۹	-۰٫۶۵۱	-۰٫۶۵۷	-۰٫۶۵۳	-۰٫۶۴۶	-۰٫۶۳۴

جدول ۴ بعد فرکتالی محاسبه شده را برای دمای ایران ارائه داده است. این ضریب بین ۱ و ۲ متغیر است و مبین دگرگونی کوتاه‌مدت و بلندمدت دامنه پارامتر در مکان و زمان است. بر این اساس، هر قدر این عدد به مقدار ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دگرگونی بلندمدت دامنه پارامتر و هر چه به ۲ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دگرگونی کوتاه‌مدت پارامتر است. همان‌طور که در جدول ۴ نیز آمده است، در تابستان بعد فرکتالی به مقدار بیشینه خود رسیده است. این مقدار در ماه آگوست به بیشینه خود در طول سال با مقدار ۱٫۶۳ رسیده است. در طول تابستان، به دلیل استقرار پرفشار جنب حاره و تابش شدید خورشید، تباین حرارتی به شدت کاهش می‌یابد (غیور و منتظری، ۱۳۸۳) و همگنی دمای ایران به بیشترین مقدار می‌رسد. بنابراین، با گرم‌تر شدن هوا، همگنی دمای کشور نیز افزایش می‌یابد (مسعودیان، ۱۳۸۲). در دوره سرد سال تنوع سامانه‌های همید کارساز بر آب‌وهوای ایران موجب تفاوت چشم‌گیر دمای ایران در نقاط مختلف کشور می‌شود (مسعودیان، ۱۳۹۰). بعد فرکتالی در دوره گرم سال افزایش یافته است؛ این افزایش نشان‌دهنده دگرگونی کوتاه‌مدت است؛ به تبع آن، خطای استاندارد نیز افزایش می‌یابد. یکی از دلایل افزایش مقدار بعد فرکتالی، هم‌دمایی بالای دما در این فصل است. ذکر این نکته ضروری است که ساختار فرکتالی تحت قراردادهای از پیش تعریف شده ظاهر نمی‌شود؛ بلکه این ساختار از تعدادی قوانین عملکردی همچون بهینه‌سازی تبادل منابع از طریق سطوح تماس و ارتباط پیروی می‌کند. بنابراین، این اصل را برای دمای ایران این‌گونه می‌توان بیان کرد: دمای شبانه‌روز در ایران همانند سامانه غیرخطی حساس نسبت به شرایط آغازین خود عمل می‌کند؛ زیرا آب‌وهوا سامانه‌ای پیچیده و غیرخطی است و از سنج‌های گوناگون و برهم‌کنش‌های متفاوتی تشکیل شده است. بعد فرکتالی ماه‌های سرد سال کمتر از ۱٫۵ است؛ بنابراین، مبتنی بر منطق فرکتال، این ماه‌ها دارای دگرگونی بلندمدت در دامنه دمایی می‌باشند. مسعودیان (۱۳۸۲) نیز بیان کرده است که در ماه‌های سردتر سال همگنی مکانی دما کمتر است و تباین دمای نقاط مختلف کشور با یکدیگر افزایش می‌یابد.

جدول ۴. بعد فرکتالی میانگین دمای ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim

آماره/ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
بعد فرکتالی	۱٫۴۳	۱٫۴۲	۱٫۴۳	۱٫۴۶	۱٫۴۷	۱٫۵۱
خطای استاندارد	۰٫۰۹۲	۰٫۰۹۲	۰٫۱۰۶	۰٫۱۱۸	۰٫۱۱۵	۰٫۱۲۹
ضریب تعیین	۰٫۹۶	۰٫۹۵	۰٫۹۵	۰٫۹۵	۰٫۹۵	۰٫۹۴
آماره/ماه	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
بعد فرکتالی	۱٫۵۹	۱٫۶۳	۱٫۵۷	۱٫۵۰	۱٫۴۵	۱٫۴۳
خطای استاندارد	۰٫۱۴۶	۰٫۱۱۵	۰٫۱۲۵	۰٫۱۰۹	۰٫۰۹۹	۰٫۰۹۰
ضریب تعیین	۰٫۹۳	۰٫۹۳	۰٫۹۵	۰٫۹۵	۰٫۹۶	۰٫۹۶

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، با هدف واکاوی، میانگین دمای هوا بر اساس پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim ارزیابی شد. نتایج نشان داد که پایگاه یادشده به‌خوبی قادر به سنجش دمای هوا در بلندمدت است. میانگین دمای هوا در همه ماه‌های سال با مؤلفه مکانی عرض جغرافیایی بیشترین ضریب همبستگی را داراست. بُعد فرکتالی دمای هوا در ماه‌های سرد سال از ماه‌های گرم سال کمتر است. بیشینه میزان بُعد فرکتالی در ماه‌های جولای و آگوست مصادف با گرم‌ترین ایام سال رخ می‌دهد که نشان‌دهنده دگرگونی کوتاه‌مدت به جهت ثبات سامانه‌های همدید در دوره گرم سال و دگرگونی بلندمدت به‌واسطه تنوع سامانه‌های کلان‌مقیاس در دوره سرد سال است. این آماره برای دمای ایران نشان داده است که آب‌وهوا و به‌طور مشخص‌تر، که این پژوهش بدان تیکه گردید، دما سامانه‌ای پیچیده و غیرخطی است و از سنجه‌های گوناگون و برهم‌کنش‌های متفاوتی تشکیل شده است.

از آنجا که بیشتر مطالعات بر روی پیمونگاه‌های زمینی انجام‌شده، استفاده از پایگاه‌های داده بازواکاوی‌شده مانند پایگاه داده میان‌مدت هواسپهر اروپایی در ارائه شناخت دقیق‌تر پارامترهای آب و هوایی حائز اهمیت است. خروجی پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim برای دمای ایران در ماه‌های مختلف از عملکرد بهتری برخوردار است؛ به‌طوری‌که در بیشتر پیمونگاه‌های مورد مطالعه، بیش از ۰/۹۸ ضریب تعیین بین داده‌های این پایگاه با داده مشاهده‌شده و ثبت‌شده در پیمونگاه‌های هواشناسی کشور مشاهده می‌شود. برون‌داد مدل از پیش‌بینی دمای هوا از نتایج بسیار قابل قبولی برخوردار است و این شرایط در مناطق مرتفع غرب و شمال شرق با تکیه بر پیمونگاه‌های مورد مطالعه در سطح بالاتری قرار دارد. خروجی پایگاه داده (ECMWF) نسخه ERA Interim با پایگاه ملی اسفزاری و داده‌های مشاهداتی زمینی از نتایج مطلوبی برخوردار بوده است. این شرایط در شش ماهه دوم سال یا ایام گرم سال از دقت بسیار زیادی برخوردار است؛ زیرا در این دوره از سال تباین دمایی اندک است و بهتر می‌توان به هم‌سنجی این پایگاه با دیگر پایگاه‌ها پرداخت.

توزیع فضایی میانگین دمای هوا حاصل از برون‌داد مدل پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim در ماه‌های مختلف سال نشان داد که در ایجاد الگوی میانگین دمای هوا در بام ایران عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بیشترین نقش را ایفا می‌کنند. کانون گرم‌ترین نواحی در مناطق کویر لوت، جنوب شرقی، و نوار جنوب کشور است. مناطق خنک و سرد منطبق بر نواحی مرتفع و ناهمواری‌های بام ایران است. ساختار دمای ایران، بسته به مشخصه‌های جغرافیایی، رفتار متفاوتی از خود نشان داده است. در رویکردی کلی، می‌توان دمای کشور را به پهنه‌های ساحلی، کوهستانی، و دشتی تقسیم کرد که هر یک از مناطق در دل خود خرد نواحی آب و هوایی مختلفی را به‌وجود آورده‌اند. در دیدگاهی کلان، می‌توان گفت آنچه باعث شکل‌گیری این نواحی کلان‌دمایی شده ارتفاع و عرض جغرافیایی است. عرض جغرافیایی مقدار آفتاب‌گیری مکان را مشخص می‌کند. از سوی دیگر، تابش دریافتی هر محل با شفافیت جو و مقدار ابرناکی در ارتباط است. سرانجام، میزان رطوبت جوی و مسیر سامانه‌های همدید همگی از عواملی هستند که برای دمای ایران نقش‌آفرینی می‌کنند. مسعودیان و همکاران (۱۳۸۷) حاکمیت سامانه‌های همدید، نظیر کم‌فشار گنگ و پُرفشار آزر، و محتوای رطوبتی جو را در شکل‌گیری نواحی دمایی ایران مهم دانسته‌اند و، در مجموع، ایران را از لحاظ دمایی به دو بخش سرد کوهستانی و گرم کم‌ارتفاع تقسیم کرده‌اند که با نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر همخوانی دارد. همچنین، منتظری (۱۳۹۳) به این نتیجه رسیده است که عوامل محلی، به‌ویژه ارتفاعات و عرض جغرافیایی، آرایش جغرافیایی نواحی حرارتی را شکل می‌دهند و عوامل بیرونی (سامانه‌های گردشی

عمومی هواسپهر) در تعیین رژیم حرارتی و آهنگ دگرگونی دما در طول زمان نقش دارد. آرایش جغرافیایی دما با پایگاه ECMWF، که در این پژوهش به شکل مستقیم بدان توجه شده است، با پژوهش منتظری (۱۳۹۳) همخوانی دارد که مبین دقت قابل قبول پایگاه ECMWF در برآورد دمای کشور است. همان‌طور که گفته شد، هر پهنه کلان دمایی خود به ریزپهنه‌هایی تقسیم می‌شود. مثلاً، پهنه دمای ساحلی در کشور را می‌توان به سه پهنه مجزای خزری، عمان، و خلیج فارس تقسیم کرد. پهنه خزری، به‌رغم عرض جغرافیایی بالا، باید دمای کمتری داشته باشد، اما به سبب اثر تعدیلی دریای خزر الگوی دمایی متفاوتی ارائه کرده است. سواحل دریای عمان، به‌رغم اینکه عرض جغرافیایی کمتری دارد، دمای آن نسبت به سواحل خلیج فارس کمتر است؛ زیرا در فصل تابستان این منطقه تحت تأثیر سامانه موسمی قرار دارد و، از طرف دیگر، به سبب اثر تعدیلی دریاهای آزاد مقدار دمایی کمتر از سواحل خلیج فارس دارد. در مقابل، سواحل خلیج فارس، به‌رغم آنچه گفته شد، در عرض جغرافیایی بالاتری از دریای عمان قرار گرفته است و تحت تأثیر بیابان‌های گرم جنوب و جنوب‌غرب ایران و وزش بادهای گرم این مناطق نیز قرار دارد. پُرفشار عربستان یکی از مراکز مهم فشار شبه‌ساکنی است که در ترازهای زیرین جو ویژگی‌های آب و هوایی قلمرو تحت اشغال خود را متأثر می‌کند. نقش این پُرفشار در مناطق جنوبی و جنوب‌غربی کشور بیشینه است. نتایج این پژوهش در تکمیل دیگر مطالعات همچون مسعودیان (۱۳۸۲، ۱۳۹۰)، علیجانی (۱۳۸۹)، و فلاح قاهری و داداشی رودباری (۲۰۱۶) در ارائه الگوی جامع‌تری از وضعیت دمای ایران در بلندمدت حائز اهمیت است.

بنا بر نتایج، می‌توان بیان کرد که نواحی جنوبی کشور در کرانه‌های دریای عمان و خلیج فارس و شمال خلیج فارس در استان خوزستان، از نظر درجه روزهای نیاز سرمایشی در ماه‌های گرم سال و در جهت تعدیل دمای هوا و فراهم‌کردن آسایش در این مناطق، نیاز به توجه بیشتری دارند. از طرفی دیگر، الگوی نقشه‌های هر ماه به‌تفکیک نشان داد که نواحی شمال‌غرب، زاگرس مرتفع، و نواحی شمال‌شرقی از نظر گرمایشی در ماه‌های سرد سال به توجه بیشتری نیاز دارند. نتایج و دستاوردهای این تحقیق در درک بهتر و جامع از وضعیت دمای کشور بر مبنای آمار بلندمدت حائز اهمیت است. نتایج مطالعه حاضر در تکمیل مطالعات دیگر، از نظر استفاده از پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی، به‌منزله یکی از پایگاه‌های روزآمد آب‌وهوایی، حائز اهمیت است.

منابع

- اکبری، ط. و مسعودیان، ا. (۱۳۸۸). شناسایی رژیم دمایی و پهنه بندی نواحی دمایی ایران، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۰(۱): ۵۹-۷۴.
- حلبیان، ا. و شبانکاری، م. (۱۳۹۱). نقش پُرفشار سبیری در پراکنش دماهای کمینه روزانه ایران، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۳(۴): ۱۵۱-۱۶۶.
- دارند، م. (۱۳۹۴). واکاوی وردایی زمانی- مکانی رطوبت جوی ایران زمین طی بازه زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۳، *پژوهش های جغرافیایی طبیعی*، ۴۷(۲): ۲۱۳-۲۳۹.
- درگاهیان، ف؛ علیجانی، ب. و محمدی، ح. (۱۳۹۳). شناسایی الگوی همبندی سامانه های بندالی مؤثر بر دمای ایران، *نشریه پژوهش های اقلیمی شناسی*، ۵(۱۹ و ۲۰): ۸۱-۹۲.
- رضیعی، ط. (۱۳۹۶). شناسایی رژیم های دمایی ایران با استفاده از روش های چندمتغیره، *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۱(۲): ۱۵-۳۵.
- سروزاده، ک. و اشتیاقی، ع. (۱۳۹۰). *تئوری شبکه ای و شهر فرکتال (دیدگاه های نوین در زمینه برنامه ریزی شهری)*، شیراز: شیراز. شیراز.
- علیجانی، ب. (۱۳۸۹). *آب و هوای ایران*، چ ۱۰، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- غیور، ح. و منتظری، م. (۱۳۸۳). پهنه بندی رژیم های دمایی ایران با مؤلفه های مینا و تحلیل خوشه ای، *مجله جغرافیا و توسعه*، ۲: ۲۱-۳۴.
- قرخلو، م. و زنگنه شهرکی، س. (۱۳۸۸). شناخت الگوی رشد کالبدی- فضای شهر با استفاده از مدل های کمی، *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۰(۲): ۱۹-۴۰.
- مسعودیان، س.؛ زینالی، ح. و حاجتی زاده، ر. (۱۳۸۷). نواحی دمایی ایران، *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۳(۲): ۳-۱۸.
- مسعودیان، س.؛ (۱۳۸۲). تحلیل ساختار دمای ماهانه ایران، *مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان*، ۱۵(۱ و ۲): ۸۷-۹۶.
- مسعودیان، س.؛ (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، *مجله جغرافیا و توسعه*، ۳۷(۵۴): ۲۹-۴۵.
- مسعودیان، س.؛ (۱۳۹۰). *آب و هوای ایران*، مشهد: شریعه توس مشهد.
- منتظری، م. (۱۳۹۳). نواحی حرارتی ایران، *فصل نامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲۹(۲): ۱۳۵-۱۴۴.
- میرکتولی، ج؛ بارگاهی، ر. و عقیلی، ز. (۱۳۹۳). تبیین ابعاد استفاده از هندسه فراکتال در تحلیل های جغرافیا و برنامه ریزی شهری، *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۴(۱۴): ۵۵-۸۲.
- Akbari, T. and Masoudian, A. (2009). Identification of temperature regime and zoning of temperature regions of Iran, *Geography and environmental planning*, 20 (1): 59-74 (in Persian).
- Alijani, B. (2010). *Climate Iran*, Payam Noor University Press, 10 Edition, Tehran, 221p (in Persian).
- Bao, X. and Zhang, F. (2013). Evaluation of NCEP-CFSR, NCEP-NCAR, ERA-Interim, and ERA-40 reanalysis datasets against independent sounding observations over the Tibetan Plateau, *Journal of Climate*, 26(1): 206-214.
- Bengtsson, L.; Hodges, K.I. and Hagemann, S. (2004). Sensitivity of large-scale atmospheric analyses to humidity observations and its impact on the global water cycle and tropical and extratropical weather systems in ERA40, *Tellus A*, 56(3): 202-217.

- Center, C.P. (2008). *National Centers for Environmental Prediction (NCEP), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, United of States Department of Commerce (USDA).
- Ciccarelli, N., Von Hardenberg, J., Provenzale, A., Ronchi, C., Vargiu, A., & Pelosini, R. (2008). Climate variability in north-western Italy during the second half of the 20th century. *Global and Planetary Change*, 63(2-3), 185-195.
- Darand, M. (2015). Analysis of Spatio-Temporal Variation of Atmospheric Humidity in Iran during 1979-2013. *Physical Geography Research Quarterly*, 47(2): 213-239. doi: 10.22059/jphgr.2015.54460 (in Persian).
- Dargahian, F.; Alijani, B. and Mohammadi, H. (2014). Identification of the Pattern of Blocking System Affecting Iran's Temperature, *Journal of Climate Research*, 5(19 and 20): 81-92 (in Persian).
- Ebita, A.; Kobayashi, S.; Ota, Y.; Moriya, M.; Kumabe, R.; Onogi, K. ... and Kamahori, H. (2011). The Japanese 55-year reanalysis "JRA-55": an interim report. *Sola*, 7: 149-152.
- Eliasson, I. and Upmanis, H. (2000). Nocturnal airflow from urban parks-implications for city ventilation, *Theoretical and Applied Climatology*, 66(1): 95-107.
- Fllah Ghalhari, G.F. and Dadashi Roudbari, A.D. (2016). An investigation on thermal patterns in Iran based on spatial autocorrelation, *Theoretical and Applied Climatology*, 1-12.
- Frauenfeld, O.W.; Zhang, T. and Serreze, M.C. (2005). Climate change and variability using European Centre for Medium-Range Weather Forecasts reanalysis (ERA-40) temperatures on the Tibetan Plateau, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D2).
- Gayour, H. and Montazarei, M. (2004). Classification of Temperature Regime of Iran Using PCA and CA., *Geography and Development Iranian Journal*, 2(4): 21-34. doi: 10.22111/gdij.2004.3882 (in Persian).
- Halabian, A. and Shabankari, M. (2013). The role of Siberian high in distribution of the daily minimum temperatures in Iran, *Geography and Environmental Planning*, 23(4): 151-166 (in Persian).
- Henfridsson, U., Neimane, V., Strand, K., Kapper, R., Bernhoff, H., Danielsson, O., ... & Bergman, K. (2007). Wave energy potential in the Baltic Sea and the Danish part of the North Sea, with reflections on the Skagerrak. *Renewable Energy*, 32(12), 2069-2084.
- Hodges, K.I.; Lee, R.W. and Bengtsson, L. (2011). A comparison of extratropical cyclones in recent reanalyses ERA-Interim, NASA MERRA, NCEP CFSR, and JRA-25, *Journal of Climate*, 24(18): 4888-4906.
- Kalnay, E. (2003). *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*, Cambridge University Press.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L. ... and Zhu, Y. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bulletin of the American meteorological Society*, 77(3): 437-471.
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S. K., Hnilo, J. J., Fiorino, M., & Potter, G. L. (2002). Ncep-doe amip-ii reanalysis (r-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(11), 1631-1644.
- Kanamitsu, M.; Ebisuzaki, W.; Woollen, J.; Yang, S.K.; Hnilo, J.J.; Fiorino, M. and Potter, G.L. (2002). Ncep-doe amip-ii reanalysis (r-2), *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(11): 1631-1643.
- Kharghloo M. and Zanganeh Shahraki, S. (2009). Understanding the Pattern of City-Based Growth by Using Quantitative Models, *Geography and Environmental Planning*, 20(2): 19-40 (in Persian).
- Kiehl, J.T.; Schneider, T.L.; Rasch, P.J.; Barth, M.C. and Wong, J. (2000). Radiative forcing due to sulfate aerosols from simulations with the National Center for Atmospheric Research Community Climate Model, Version 3, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D1): 1441-1457.

- Kim, H.M.; Webster, P.J. and Curry, J.A. (2012). Seasonal prediction skill of ECMWF System 4 and NCEP CFSv2 retrospective forecast for the Northern Hemisphere Winter, *Climate Dynamics*, 39(12): 2957-2973.
- Krishna Kumar, K.; Hoerling, M. and Rajagopalan, B. (2005). Advancing dynamical prediction of Indian monsoon rainfall, *Geophysical Research Letters*, 32(8).
- Kug, J.S.; Kang, I.S. and Choi, D.H. (2008). Seasonal climate predictability with tier-one and tier-two prediction systems, *Climate dynamics*, 31(4): 403-416.
- Lader, R.; Bhatt, U.S.; Walsh, J.E.; Rupp, T.S. and Bieniek, P.A. (2016). Two-meter temperature and precipitation from atmospheric reanalysis evaluated for Alaska, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55(4): 901-922.
- Lashkari, A.; Bannayan, M.; Koocheki, A.; Alizadeh, A.; Choi, Y.S. and Park, S.-K. (2016). Applicability of AgMERRA forcing dataset for gap-filling of in-situ meteorological observation, Case Study: Mashhad Plain, *Journal of Water and Soil*, 29(6): 1749-1758 (In Persian).
- Li, S.; Xie, Y.; Brown, D.G.; Bai, Y.; Hua, J. and Judd, K. (2013). Spatial variability of the adaptation of grassland vegetation to climatic change in Inner Mongolia of China, *Applied Geography*, 43: 1-12.
- Masoudian, A.S. (2003). Monthly Temperature Structure Analysis of Iran, *Research Journal of Isfahan University*, 15(1 and 2): 87-96 (In Persian).
- Masoudian, A.S. (2004). Trend of temperatures in Iran the last half century, *Journal of Geography and Development*, 37(54): pp. 29-45 (in Persian).
- Masoudian, A.S. (2011). *Iranian Climate*, Sharia Toos Publishing, Mashhad, First Printing, Mashhad, 288 p. (In Persian).
- Masoudian, A.S.; Zeinali, H. and Hojjatzadeh, R. (2008). Iranian Temperature Areas, *Geographic Research*, 23(2): 3-18 (in Persian).
- Mirkatouli, J.; Bargahi, R. and aghili, S.Z. (2014). Explanation of Fractal Geometry in Geography and Urban Planning, *Geographical Planning of Space*, 4(14): 55-82 (In Persian).
- Montazeri, M. (2014). Thermal Regions of Iran, *Geores*, 29(2) :135-144 (In Persian).
- Mooney, P.A.; Mulligan, F.J. and Fealy, R. (2011). Comparison of ERA-40, ERA-Interim and NCEP/NCAR reanalysis data with observed surface air temperatures over Ireland, *International Journal of Climatology*, 31(4): 545-557.
- Nikos Angelos Salingaros (2010). Network Theory and Fractal Town (New Approaches to Urban Planning), Translate By: Sid Kouros Sarangzadeh and Alireza Eshatighi, Islamic Azad University, Jahrom Branch, Navid Shiraz Publishers, 144p (In Persian).
- Poveda, G., Waylen, P. R., & Pulwarty, R. S. (2006). Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234(1), 3-27.
- Raziei, T. (2017). Identification of the temperature regimes of Iran using multivariate methods, *Iranian Journal of Geophysics*, 11(2): 15-35 (in Persian).
- Rienecker, M.M.; Suarez, M.J.; Gelaro, R.; Todling, R.; Bacmeister, J.; Liu, E. ... and Bloom, S. (2011). MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications, *Journal of climate*, 24(14): 3624-3648.
- Rolland, C. (2003). Spatial and seasonal variations of air temperature lapse rates in Alpine regions, *Journal of Climate*, 16(7): 1032-1046.
- Serv Zadeh, K. and Eshtiaghi, A.S. (2011). Network Theory and Fractal City (New Approaches to Urban Planning), Shiraz Navid Publications, Shiraz, 144 p (In Persian).

- Simmons, A. (2006). ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards, *ECMWF newsletter*, 110: 25-36.
- Simmons, A.J.; Poli, P.; Dee, D.P.; Berrisford, P.; Hersbach, H.; Kobayashi, S. and Peubey, C. (2014). Estimating low-frequency variability and trends in atmospheric temperature using ERA-Interim, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(679): 329-353.
- Simmons, A.J.; Willett, K.M.; Jones, P.D.; Thorne, P.W. and Dee, D.P. (2010). Low-frequency variations in surface atmospheric humidity, temperature, and precipitation: Inferences from reanalyses and monthly gridded observational data sets, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D1).
- Smith, C.A.; Compo, G.P. and Hooper, D.K. (2014). Web-Based Reanalysis Intercomparison Tools (WRIT) for analysis and comparison of reanalyses and other datasets, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(11): 1671-1678.
- Stahl, K.; Moore, R.D.; Floyer, J.A.; Asplin, M.G. and McKendry, I.G. (2006). Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density, *Agricultural and Forest Meteorology*, 139(3): 224-236.
- Terzi, F. and Kaya, H.S. (2008). *Analyzing urban sprawl patterns through fractal geometry: The case of Istanbul metropolitan area*.
- Trisurat, Y.; Shrestha, R.P. and Kjelgren, R. (2011). Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand, *Applied Geography*, 31(3): 1106-1114.
- Wang, A. and Zeng, X. (2012). Evaluation of multireanalysis products with in situ observations over the Tibetan Plateau, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D5).