

جغرافیا و توسعه شماره ۴۷ تابستان ۱۳۹۶

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۲۴

تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۸/۱۷

صفحات: ۱۶۲-۱۴۹

بررسی الگوی نواحی هم شیب تغییرات میانگین دمای سالانه ایران

دکتر حسین عساکره^۱، مهدی دوستگامیان^۲

چکیده

دما یکی از عناصر مهم آب و هوایی است که از عوامل متعددی تأثیر می‌پذیرد. بررسی آن می‌تواند نقش عوامل مذکور را منعکس کند. هدف از این مطالعه، بررسی الگوی نواحی هم شیب تغییرات میانگین دمای سالانه ایران می‌باشد. بدین منظور میانگین دمای سالانه‌ی ایران طی دوره‌ی آماری ۵۰ ساله بررسی گردیده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که شیب تغییرات دمای ایران به پنج ناحیه‌ی تغییرات افزایشی شدید (ناحیه ۱)، تغییرات افزایشی متوسط (ناحیه ۲)، تغییرات کاهش‌ی (ناحیه ۳)، تغییرات افزایشی کم (ناحیه ۴) و تغییرات افزایشی بسیار شدید (ناحیه ۵) قابل تقسیم است. نواحی هم شیب تغییرات دمای ایران به جز در ناحیه‌ی سوم (تغییرات کاهش‌ی) در سایر نواحی از روند افزایشی برخوردار بوده است. تنوع و پراکندگی نواحی هم شیب تغییرات نشان داد که توزیع و پراکندگی نواحی هم شیب تغییرات به شدت تحت تأثیر عواملی محلی به ویژه ارتفاعات می‌باشند. به کمک روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، سلول نماینده برای هر ناحیه استخراج گردید. الگوسازی ARIMA برای نماینده‌ی هر ناحیه از هم شیب تغییرات انجام شد. نتایج بیانگر این بود که الگوی حاکم بر دمای سلول هر ناحیه بسیار ساده بوده است؛ بطوری که در هر پنج ناحیه با تقریب قابل قبولی دما تابعی از مؤلفه‌های تصادفی یک تا دوسال گذشته‌ی خود بوده است. برای مثال دو الگوی $ARIMA(0, 1, 1)$ و $ARIMA(1, 0, 1)$ بهترین الگوی برازش یافته بر میانگین دمای سالانه‌ی نواحی با شیب تغییرات افزایشی کم بوده است. کلیدواژه‌ها: میانگین دما، هم شیب تغییرات، تحلیل مؤلفه‌ها اصلی، مدل‌سازی آریمای ایران.

مقدمه

آب و هوا یکی از عوامل مهم و مؤثر در زندگی انسان است. دگرگونی‌های آب و هوایی در عصر حاضر یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی می‌باشد. این دگرگونی‌ها عمدتاً حاصل تأثیرات بشر روی محیط، بویژه از طریق افزایش گسیل گازهای گلخانه‌ای به جو است (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۰۸-۱۹۵).

دگرگونی‌های آب و هوایی بر زندگی انسان، چشم‌انداز و استراتژی اقتصادی-اجتماعی تأثیر ژرفی به جا می‌نهد. به همین دلیل انسان همواره در پی مطالعه‌ی چگونگی دگرگونی‌های آب و هوایی بوده است (عساکره، ۱۳۸۳: ۲۳۱-۲۱۳).

مطالعات زیادی نشان‌دهنده‌ی تغییر عناصر آب و هوایی، بویژه بارش و دما در سطح جهانی است. دما را می‌توان یکی از مهم‌ترین عناصر دستگاه آب و هوا دانست که دگرگونی‌های آن می‌تواند شرایط آب و هوایی هر محلی را دگرگون سازد (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۱۰۶). این تغییرات به دلیل توزیع ناهمگونی در دریافت انرژی گرمایی خورشید به وسیله‌ی سطح زمین، به شکل‌های گوناگونی رخ می‌دهد (ناظم‌السلطان، ۱۳۸۱: ۶۴). از آنجاکه دما از عناصر اساسی شکل‌گیری آب و هواست و تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر منطقه‌ای را دگرگون سازد، لذا بررسی روند دگرگونی‌های آن بخش بزرگی از پژوهش‌های آب و هواشناسی را به خود اختصاص می‌داده است (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۴۵-۴۳).

در ایران نیز مطالعات زیادی در زمینه‌ی دگرگونی‌های دما صورت گرفته است. برای مثال مطالعه‌ی روند نمایه‌های فرین دما و بارش در تهران نشان داد که یک روند کاهشی در نمایه‌های فرین سرد و یک روند کاملاً افزایشی در روند دماهای کمینه و متوسط روزانه

قابل مشاهده است (محمدی و تقوی، ۱۳۸۴: ۷۲-۵۱). در مطالعه‌ای دیگر عزیزی و همکاران (۱۳۸۴: ۴۳-۲۵) با بکارگیری روش‌های آماری چند متغیره و مدل‌های پیش‌بینی باکس جنکینز تغییر آب و هوا را از طریق بررسی داده‌های ماهانه‌ی ۱۶ متغیر آب و هوایی در قالب دو گروه متغیرهای دمایی و رطوبتی و طی دوره ۵۰ ساله ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که متغیرهای دمایی دارای روند تغییرات معنی‌دار ولی با جهت‌های متفاوت بودند، در حالی که مشاهدات رطوبت و بارش غالباً از روند تغییرات معنی‌داری برخوردار نبوده‌اند.

دما و دگرگونی‌های آن از عوامل متعددی (نظیر ناهمواری‌ها، عرض جغرافیایی محل، همسایگان و سامانه‌های گردش جوی و...) تأثیر می‌پذیرد. بررسی دما می‌تواند نقش و میزان بازیگری این عوامل آشکار و نهان و نیز روابط آنها را انعکاس دهد. یکی از نکات قابل توجه این است که تمامی عناصر آب و هوایی و از جمله دمای هر محل، با نواحی مجاور مشابه خواهد بود. این ویژگی به تعبیر عساکره و سیفی‌پور (۱۳۹۱: ۱۹) نمودی از یکی از قوانین جغرافیایی به نام "اصل نزدیکی همانندی" می‌باشد. در این حالت بدیهی است که تغییرات ایجاد شده در یک فضای معین و نیز تا فاصله‌ی معینی بر فضاهای نزدیک به خود تأثیر خواهند گذاشت. از این رو عوامل فاصله و فضا و روابط فضایی یکی از ویژگی‌های بنیادی در محاسبات و اکاوی‌های فضایی است (حسنی‌پاک، ۱۳۸۹: ۷۶).

واکاوی فضایی همگام با توسعه و گسترش الگوها و ابزارهای رایانه‌ای و نیز بر اساس مشخصات دراز مدت عناصر، پدیده‌ها و عوامل عمده آب و هوایی توسعه‌ی بسیاری یافت. این نوع مطالعات در سطح جهانی بطور گسترده انجام شده است. در این زمینه می‌توان به

کومار^۳ و همکاران (۲۰۰۹) جریان سطحی مناطق مرطوب جنب حاره را با استفاده از ARIMA الگوسازی نمودند. چاتوپاجیای و چاتوپاجیای^۴ (۲۰۱۰) سری‌های زمانی بارش‌های موسمی تابستانه را با استفاده از الگوی ARIMA و الگوی شبکه عصبی مصنوعی الگوسازی کرده و نتایج حاصل از این الگوسازی را مورد مقایسه قرار دادند. در ایران مطالعات چندانی در زمینه‌ی دما و الگوسازی آن با استفاده از ARIMA انجام نشده است و بیشتر مطالعات انجام شده مربوط به عنصر دمای ایستگاه‌ها آن هم به صورت موردی می‌باشد. برای مثال عساکره (۱۳۸۸: ۳۳-۲۴) در الگوسازی ARIMA برای میانگین سالانه دمای شهر تبریز یک الگوی آریمای ARIMA(0,1,2) را شناسایی کرده است.

با توجه به آنچه که قبلاً نیز اشاره شد مطالعات انجام شده بر روی الگوسازی دما عمدتاً به صورت اعمال الگوها بر مشاهدات ایستگاه‌های اندازه‌گیری عناصر جوی بوده است و الگوسازی عناصر اقلیمی به صورت پهنه‌ای کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش حاضر به منظور جبران این خلاء پژوهشی، الگوسازی پهنه‌ای مورد توجه بوده است. بدین ترتیب واکاوی و الگوسازی نواحی از ایران مورد توجه قرار خواهد گرفت که شیب تغییرات میانگین دمای سالانه آنها یکسان است. در این راستا از الگوسازی در خانواده ARIMA بهره گرفته شده است.

داده‌ها و روش شناسی

به منظور الگوسازی نواحی هم‌شیب تغییرات دمای سالانه‌ی ایران، پایگاه میانگین دمای سالانه ایران طی دوره‌ی آماری ۵۰ ساله استخراج گردیده است. این

تحلیل سری‌های زمانی اشاره کرد. تحلیل سری‌های زمانی معمولاً دو هدف درک یا الگوسازی فرایندهای به ظاهر تصادفی و پیش‌بینی مقادیر آینده بر مبنای گذشته آن را دنبال می‌کند (Kondrashov & Berloff, 2015:1543-1553; Michael et al, 2015:701-707) برای تحلیل یک سری زمانی فرض می‌شود این تغییرات در چهار مؤلفه‌ی اصلی روند، تغییرات فصلی، تغییرات دوره‌ای و تغییرات نامنظم تجلی می‌یابد. تجزیه مفهومی سری زمانی به اجزاء "روند"، "فصلی"، "دوره‌ای" و "نامنظم" ما را در توصیف بیشتر سری زمانی یاری خواهد کرد (بیات، ۱۳۸۹: ۶۸). این تحلیل‌ها معمولاً بر روی مشاهدات خودهمبسته (که از ویژگی عناصر آب و هوایی است)، قابل انجام است. همین وابستگی بین مشاهدات متوالی است که امکان پیش‌بینی را در تحلیل سری‌های زمانی میسر می‌سازد. یکی از این الگوها موسوم به الگوی ARIMA است. الگوی ARIMA ابتدا توسط باکس و جنکینز (۱۹۷۰) معرفی شد (Zahang et al, 2011: 2703-2683). در این نوع مدل‌سازی یک استراتژی سه مرحله‌ای شامل تشخیص (شناسایی)، برازش و آزمون صحت مدل و پیش‌بینی با حدود اطمینان مشخص در نظر گرفته می‌شود (عساکره، ۱۳۸۸: ۳۳-۲۴). برخی از پژوهشگران الگوی ARIMA را به تنهایی و برخی همراه با چند الگوی دیگر (مثلاً شبکه‌ی عصبی مصنوعی) به کار برده‌اند. برای مثال موهان و ودولا^۱ (۱۹۹۵) الگوسازی بارش هند را با استفاده از این نوع الگوها انجام داده‌اند. الفندی و همکاران^۲ (۱۹۹۴) الگوی ARIMA را برای الگوسازی بارش اتیوپی و سیلاب‌های رود نیل مورد استفاده قرار دادند.

پراش دما در امتداد زمان در نقطه‌ی \hat{t} و \hat{J} می‌باشد که به شرح رابطه‌ی ۲ به دست می‌آید:

$$S_{y,x} = \frac{[y'y - \hat{\beta}'_{(x_0, x_1; y)} \times (x'_{(x_0, x_1)} \times y)] / (df)}{\Sigma(x_i - \bar{x})^2} \quad 2$$

در رابطه‌ی ۲، $\hat{\beta}'_{(x_0, x_1; y)}$ شیب تغییرات میانگین دمای سالانه که برابر با $(\hat{\beta} = (x'x)^{-1} \times x'y)$ می‌باشد. همچنین $(y'y)$ را می‌توان معادل (Σy^2) دانست. به عبارتی دیگر در فرمول فوق اگر $(S_{y,x})$ معادل SSE بدانیم، آنگاه داریم:

$$(S_{y,x})_i, (S_{y,x})_j = \frac{(SSE)_i + (SSE)_j}{(df)_i + (df)_j} \quad 3$$

در فرمول ۳، SSE خطای الگوی برازش یافته (مجموع مجذورات باقیمانده) در نقطه \hat{t} و \hat{J} می‌باشد. درجه آزادی در این روش به شرح رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید:

$$df = (n_1) + (n_2) \quad 4$$

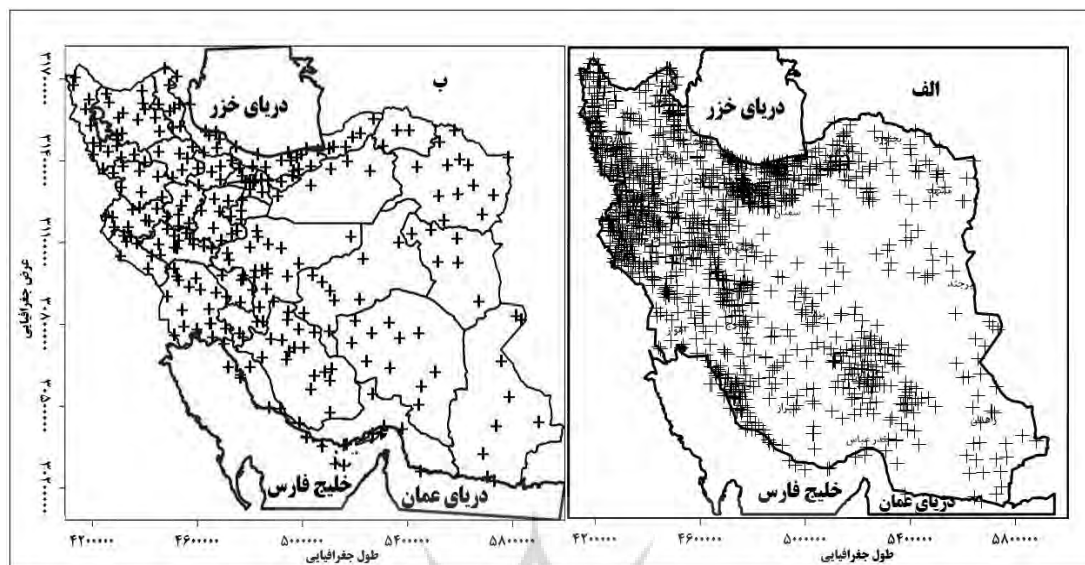
در صورتی که TR محاسبه شده از t جدول بزرگ‌تر باشد فرض صفر ($H_0 = b_1 = b_2$) رد می‌شود و فرض مقابل ($H_1 = b_1 \neq b_2$) پذیرفته می‌شود. بر اساس روش‌هایی که در بالا ذکر شد (پنج ناحیه هم شیب که شیب تغییرات آنها با هم تفاوت معنی‌داری نداشته‌اند)، تشخیص داده شد.

پایگاه داده از طریق میان‌یابی مقادیر دمای روزانه برای دوره‌ی آماری ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۰ به دست آمده است. این داده‌ها در دو گام تهیه شده‌اند: بخش اول، داده‌های میان‌یابی شده‌ی میانگین دمای روزانه‌ی ۱۴۳۷ ایستگاه برای دوره‌ی ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ می‌باشد که در سال ۱۳۸۳ توسط مسعودیان در دانشگاه اصفهان با عنوان پایگاه داده‌ی اسفزاری تولید شده است. داده‌های این پایگاه دارای تفکیک مکانی 15×15 کیلومتر بوده و در سیستم تصویر لامبرت مخروطی^۱ و در قالب یک ماتریس 7187×15992 با آرایش S (زمان در سطرها و مکان در ستون‌ها) تولید شده است. به منظور تکمیل دوره‌ی آماری و افزایش توان تفکیک زمانی، بخش دوم داده‌ها، شامل داده‌های میانگین دمای روزانه ۲۸۳ ایستگاه همدید و اقلیم‌شناسی از تاریخ ۱۳۸۳/۱۰/۱۲ تا ۱۳۹۰/۱۲/۲۹، مرتب و میان‌یابی شد. در شکل ۱ توزیع و پراکنش ایستگاه‌ها آورده شده است.

نواحی با شیب تغییرات یکسان به نواحی گفته می‌شود که تغییرات دما در آنها یکسان باشد و به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشته باشند. برای بررسی هم شیب تغییرات دما از آزمون TR به شرح رابطه‌ی ۱ استفاده شده است (Zar et al, 2009: 186-190):

$$TR = \frac{b_i - b_j}{\sqrt{(S_{y,x})_i - (S_{y,x})_j}} \quad 1$$

در این رابطه b شیب میانگین دمای سالانه در نقطه \hat{t} و \hat{J} می‌باشد به عبارت دیگر اختلاف شیب استاندارد در نقطه \hat{t} و \hat{J} می‌باشد. همچنین $S_{y,x}$



شکل ۱: توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه برای پایگاه اسفزاری (الف) توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه برای تکیل پایگاه اسفزاری (ب)
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

شود. به منظور رعایت ایجاز از بیان تفصیلی مراحل و روش‌های برازش این نوع الگوها پرهیز شده است. به منظور شناخت دقیق مراحل الگوسازی برای مثال به عساکره (۱۳۸۱: ۱۵۶۲۲-۱۵۶۰۱) مراجعه کنید. در ابتدا برای اینکه نمای کلی از دمای هر بخش به دست آید، مانایی یا نامانایی سری زمانی هر بخش که اولین گام در الگوسازی خانواده آریمای می‌باشد، برای هر ناحیه مورد بررسی قرار گرفت. برای ایستایی به لحاظ میانگین از آزمون الکساندرسون و به لحاظ ایستایی در پراش از آزمون وان نیومن استفاده شده است. نتایج حاصل از این دو آزمون بیانگر این است که در هر پنج بخش داده‌های ما به لحاظ پراش ایستا، ولی به لحاظ میانگین نایستا بوده است. به منظور کنترل مجدد متغیرها بعد از عملیات تفاضل‌گیری مجدد آماره الکساندرسون محاسبه شد. با تفاضل‌گیری مرتبه اول سری به لحاظ میانگین ایستا شد. بعد از انتخاب فراسنج‌های الگو جهت انتخاب مناسب‌ترین الگو از معیارهای مختلفی استفاده شده است که یکی از

بعد از مشخص شدن نواحی هم‌شیب تغییرات، به کمک تحلیل مؤلفه‌های اصلی (فرشادفر، ۱۳۸۹: ۳۵۸-۳۵۰) یاخته‌ای را که بیشترین پراش و در عین حال بیشترین ضریب همبستگی را با سایر یاخته‌های دیگر داشت، جهت الگوسازی آریمای، به عنوان نماینده‌ی آن ناحیه انتخاب گردید. بطور کلی در یک الگوی آریمای، تابع بر اساس سه مؤلفه پارامتریک خطی شکل گرفته است (عساکره ۱۳۸۱: ۱۵۶۰۱-۱۵۶۲۲):

خودهمبستگی P با (AR)	جمع بسته (I) با d	میانگین متحرک q با (MA)	ARIMA (p, d, q)
-------------------------	-------------------------	-------------------------------	--------------------

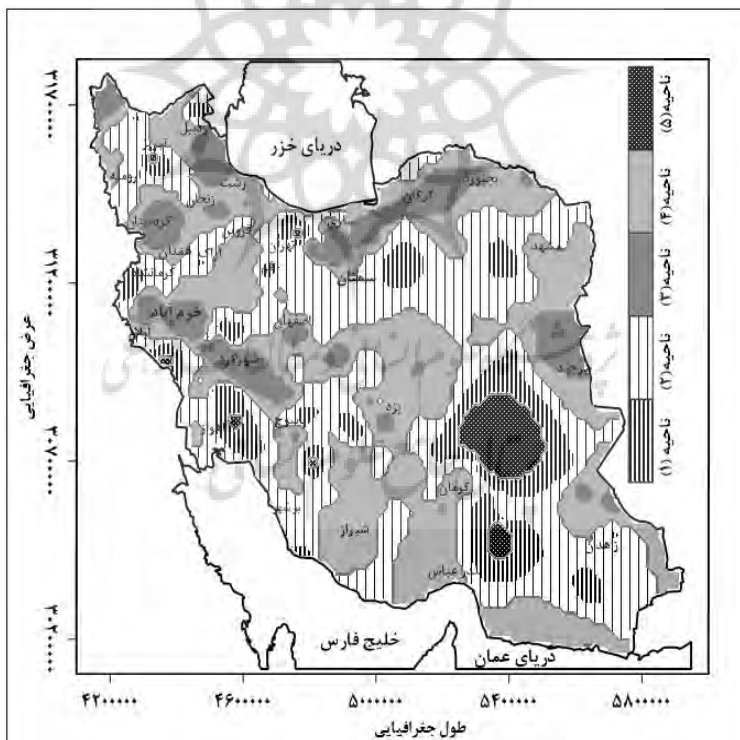
الگوی آریمای (که به الگوهای باکس- جنکینز نیز معروفند) از الگوهای پرکاربرد در واکاوی سری‌های زمانی است. در این الگوسازی تلاش بر این است که با تعیین فرایندهای مناسب میانگین متحرک، خودهمبستگی و نیز فرایند تفاضلی کردن، مناسب‌ترین و دقیق‌ترین الگو بر مشاهدات سری زمانی برازش داده

سری از معیار کمینه شدن ریشه میانگین مجذور خطاها (RMSE) بهره گرفته شد. علاوه بر این باقیمانده‌های الگو به لحاظ بهنجار و مستقل بودن بررسی و واریسی شد.

یافته‌ها

نتایج حاصل از واکاوی این نواحی هم شیب تغییرات نشان داد که میانگین دمای ایران دارای پنج ناحیه با شیب تغییرات همراستا می‌باشد. شکل ۲ نواحی با شیب تغییرات دمای همراستا را در ایران نشان می‌دهد.

رایج‌ترین و با اهمیت‌ترین آنها معیار AIC می‌باشد که نتایج ارزیابی آنها برای هر الگو و هر ناحیه در جدول ۳ ارائه گردیده است (برای آشنایی با این معیار برای مثال به وئی ۱۳۸۶ مراجعه کنید). این معیار بر اساس مفهوم آشفستگی (آنتروپی) بنا شده است و نشان می‌دهد که استفاده از یک الگوی آماری به چه میزان باعث از دست رفتن اطلاعات می‌شود. به عبارت دیگر، این معیار تعادلی میان دقت الگو و پیچیدگی آن برقرار می‌کند. با توجه به داده‌ها، چند الگوی رقیب ممکن است با توجه به مقدار AIC رتبه‌بندی شوند و الگوی دارای کمترین AIC بهترین است. علاوه بر معیار AIC برای انتخاب مناسب‌ترین الگو برای هر



شکل ۲: توزیع مکانی نواحی هم شیب تغییرات میانگین دمای سالانه ایران طی نیم سده‌ی اخیر تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

بیان داشته‌اند، دمای ایران به شدت تحت تأثیر عوامل آب و هوایی بویژه ارتفاع و عرض جغرافیایی قرار دارد.

همان‌گونه که قبلاً مسعودیان (۱۳۹۱: ۱۳۶)، علیجانی (۱۳۸۵: ۱۴۹-۱۴۸) و کاویانی و علیجانی (۲۰۱۶: ۴۳)

می‌شود که ناحیه پنج (ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و بسیار شدید) کمترین تنوع مکانی را در بین سایر نواحی دیگر دارند (شکل ۲)، درحالی که ناحیه‌ی یک (ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و شدید) با شیب $0/085$ از بیشترین تنوع مکانی برخوردار می‌باشد. در جدول ۱ هم شیب تغییرات و درصد سطح معنی‌داری آن برای هر بخش ذکر گردیده است؛ برای مثال در ناحیه‌ی چهار از ۳۹ درصد شیب مشترک تنها $25/11$ درصد آن در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنی‌دار می‌باشد و مابقی فاقد معنی آماری است.

پراکندگی نواحی هم شیب نیز این واقعیت را نشان می‌دهد. از این رو عدم پیوستگی مکانی نواحی هم شیب به وضوح قابل تشخیص است. تفاوت و تنوع مکانی شیب تغییرات دما می‌تواند منجر به تنوع مکانی پدیده‌های مرتبط با دما شود؛ برای مثال حجازی‌زاده و ناصرزاده (۱۳۸۴: ۱۵۹-۱۳۹) با بررسی یخبندان‌های استان لرستان، ارتفاع را مهمترین عامل در تعیین تنوع مکانی تعداد فراوانی یخبندان در استان ذکر کرده‌اند. همان گونه که دیده می‌شود، عواملی محلی بویژه ارتفاعات نقش بارزی در تنوع پراکندگی نواحی هم شیب تغییرات دما ایفا می‌کرده است بطوری که ناهمواری‌ها و ارتفاعات از هم شیب تغییرات مکانی یکسانی برخوردار می‌باشند. با این حال مشاهده

جدول ۱: مشخصات مکانی میانگین هم شیب تغییرات و درصد تحت پوشش

ناحیه	درصد پوشش	معادله هم شیب تغییرات	درصد پوشش معنی‌داری	
			معنی‌داری	عدم معنی‌داری
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و شدید (ناحیه ۱)	۹/۴۶	$T = 17.55 + 0.0853(t_i)$	معنی‌داری	۹/۴۶
			عدم معنی‌داری	۰
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و متوسط (ناحیه ۲)	۳۷/۷۱	$T = 17.29 + 0.0524(t_i)$	معنی‌داری	۳۷/۷۱
			عدم معنی‌داری	۰
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات کاهشی (ناحیه ۳)	۹/۳۱	$T = 14.87 - 0.0231(t_i)$	معنی‌داری	۲/۹۲
			عدم معنی‌داری	۶/۳۸
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی بسیار کم (ناحیه ۴)	۳۹/۹۷	$T = 16.99 + 0.0121(t_i)$	معنی‌داری	۲۵/۱۱
			عدم معنی‌داری	۱۴/۸۶
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و بسیار شدید (ناحیه ۵)	۳/۵۵	$T = 16.55 + 0.1461(t_i)$	معنی‌داری	۳/۵۵
			عدم معنی‌داری	۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

(کاروالیو^۱ و همکاران، ۲۰۰۷: ۷۲۳-۷۲۳). برای مثال و یاهونگ کیان^۲ و همکاران (۲۰۰۷: ۱۶۷-۱۱۹) وجود ناهنجاری‌ها و تنوع تغییرات مکانی در دما و بارش چین را ناشی از تغییرات رژیم آب و هوایی در چین و

برخی پژوهشگران براین باورند که تنوع تغییرات شیو دما علاوه بر عوامل محلی از ناهنجاریهای جوی در عرض‌های میانه و فرایندهای جوی در منطقه استوایی و عرض‌های میانه و همچنین تعامل پرفشار جنب‌حاره با جریان‌های اقیانوسی تأثیر می‌پذیرند

نواحی دارای شیب تغییرات افزایشی بوده است (شکل ۲). این افزایش طی سالیان اخیر پیامدهای بی‌سابقه‌ی زیادی نظیر کاهش یخبندان‌ها چه در سطح جهانی و چه در سطح ملی داشته است؛ برای مثال فرونفلد^۱ و همکاران (۲۰۰۷) نمایه‌های یخبندان در قرن بیستم را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که در سرتاسر آمریکای شمالی، کانادا و آلاسکا نمایه‌های یخبندان در فصل سرد روند کاهشی داشته‌اند.

الگوسازی نواحی هم شیب تغییرات دما

به منظور استخراج یاخته‌ی نماینده در هر ناحیه از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج حاصل از این واکاوی برای انتخاب یاخته‌ها در جدول ۲ نمایش داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود مقدار ویژه برای ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و شدید $۱۴۳۸/۳۰۴$ حاصل شده است که این عامل $۶۹/۵۲$ درصد از پراش را توجیه می‌کند. بالاترین درصد توجیه پراش با $۸۹/۷$ درصد مربوط به ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و بسیار شدید می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی این روز با روزهای دیگر در ناحیه، پیکسلی با هم شیب تغییرات افزایشی و بسیار شدید $۰/۶۹۳۷$ است. با این وجود بالاترین ضریب همبستگی با $۰/۷۷۱$ برای ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و شدید می‌باشد. کمترین درصد توجیه پراش با $۴۶/۶۵$ درصد مربوط به ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و کم با ضریب همبستگی $۰/۷۲۱$ است.

تعامل گردش جریان غربی و جریان‌های موسمی بهنگام عبور از فلات تبت در شرق آسیا می‌داند. همان‌طوری که در شکل ۲ دیده می‌شود، ناحیه‌ی چهار (ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی بسیار کم) که به صورت پراکنده شهرهایی نظیر شیراز، کرمان، یزد، مشهد و اراک را در خود جای می‌دهد با $۳۹/۹۷$ درصد و بطور متوسط با تغییرات افزایشی $۰/۰۱۲$ درجه سلسیوس در سال می‌باشد (جدول ۱). پس از ناحیه‌ی چهار ناحیه‌ی دو (هم شیب تغییرات افزایشی و متوسط) با $۳۷/۷۱$ درصد بیشتر نواحی شیب مشترک را به خود اختصاص داده است (جدول ۱). این ناحیه به صورت پراکنده عمدتاً در استان‌های بوشهر، سیستان و بلوچستان، سمنان، تهران، و بخش‌هایی از شمال غرب کشور پراکنده شده‌اند (شکل ۲). ناحیه‌ی سه (هم شیب تغییرات کاهشی) که با $۹/۳$ درصد کمترین مقدار مساحت هم شیب تغییرات را به خود اختصاص داده است، دارای شیب $-۰/۰۲۳۱$ منطبق بر ارتفاعات و ناهمواری‌ها بوده است (جدول ۱). بعضی از پژوهشگران (عباسی و ائمری، ۱۳۹۰: ۱۳-۷۰؛ عباسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۰-۹۱) نیز نشان داده‌اند که تغییرات دمای ارتفاعات و ناهمواری‌ها کاهشی بوده است.

شیب‌های تغییرات همراستا در ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و بسیار شدید که بیشتر به صورت هسته‌ای در جنوب شرق کشور را شامل می‌گردد (شکل ۲)، تقریباً ۹ درصد از مساحت ایران را به خود اختصاص داده است (جدول ۱). روند افزایشی در این بخش از کشور $۰/۰۸۵$ درجه سلسیوس در هر سال بوده است. بنابراین اگر دقت شود دما به جز در ناحیه‌ی سه (هم شیب تغییرات کاهشی) در سایر

جدول ۲: نتایج حاصل از اجرای تحلیل مؤلفه‌ها

روز نماینده	مقدار ویژه	درصد توجیه پراش	همبستگی
ناحیه‌ای با هم‌شیب تغییرات افزایشی و شدید (ناحیه ۱)	1438.304	69.52902	0.771
ناحیه‌ای با هم‌شیب تغییرات افزایشی و متوسط (ناحیه ۲)	2675.891	58.94801	0.612
ناحیه‌ای با هم‌شیب تغییرات کاهش‌شی (ناحیه ۳)	735.1466	59.15385	0.611
ناحیه‌ای با هم‌شیب تغییرات افزایشی و کم (ناحیه ۴)	1667.459	46.6574	0.721
ناحیه‌ای با هم‌شیب تغییرات افزایشی و بسیار شدید (ناحیه ۵)	1590.1	89.7	0.7937

مأخذ: نگارندگان ۱۳۹۵

در جدول ۳ مناسب‌ترین الگوی آریمای هر سری آورده شده است. اعدادی که در داخل پرانتز زیر برآورد فراسنج‌های هر الگو نوشته شده‌اند، مقادیر آماره t هستند که برای آزمون معنی‌دار بودن فراسنج‌ها بکار می‌روند. اگر قدر مطلق مقدار t بزرگتر یا مساوی $1/96$ باشد، در سطح معناداری ۹۵ درصد قضاوت می‌کنیم که فراسنج متناظر با آن بطور معنی‌دار با صفر تفاوت دارد.

جدول ۳: مدل‌های انتخابی برای ناحیه‌های هم‌شیب تغییرات

الگوی مناسب	باقیمانده‌ها	AIC	الگو
ناحیه‌ای با هم‌شیب تغییرات افزایشی و شدید			
	نرمال و ناهمبسته	137.9	2.134
	نرمال و همبسته	139.1	2.185
*	نرمال و ناهمبسته	135.6	2.04
$z_t = (0.39) z_{t-1} - (0.74) a_{t-1} - (0.33) a_{t-2} + a_t$ <p style="text-align: center;">(2.18) (5.93) (2.69)</p>			
ناحیه‌ای با هم‌شیب تغییرات افزایشی و متوسط			
*	نرمال و ناهمبسته	40.34	0.3285
$z_t = (0.3803) z_{t-1} - (0.9642) a_{t-1} + (0.021) a_t$ <p style="text-align: center;">(2.42) (11.28) (7.39)</p>			
	نرمال و ناهمبسته	42.43	0.3162
	نرمال و ناهمبسته	43.18	0.3296
ناحیه‌ای با هم‌شیب تغییرات کاهش‌شی			
	نرمال و ناهمبسته	57.38	0.4264
*	نرمال و ناهمبسته	51.53	0.3793
	نرمال و ناهمبسته	49.64	0.3201
$z_t = (-0.47) z_{t-1} - (0.33) z_{t-2}$ <p style="text-align: center;">(-3.42) (-2.62)</p>			
ناحیه‌ای با هم‌شیب تغییرات افزایشی و کم			
*	نرمال و ناهمبسته	71.30	0.5633
$z_t = (0.76) a_{t-1} + a_t$ <p style="text-align: center;">(8.08)</p>			
*	نرمال و ناهمبسته	71.29	0.5631

ادامه جدول ۳

الگوی مناسب	باقیمانده‌ها	AIC		الگو
$z_t = (0.76) a_{t-1} + a_t$ (8.08)				
*	نرمال و ناهمبسته	71.29	0.5631	
$z_t = (0.33) z_{t-1} - (0.7642) a_{t-1} + a_t$ (824.76) (7.88)				
	نرمال و ناهمبسته	73.18	0.5848	
	نرمال و ناهمبسته	73.32	0.5865	
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و بسیار شدید				
	نرمال و ناهمبسته	71.83	0.6548	
$z_t = (0.46) z_{t-1} - (0.95) a_{t-1} + (0.073) a_t$ (2.92) (10.52) (4.29)				
*	نرمال و ناهمبسته	73.00	0.7177	
	نرمال و ناهمبسته	90.63	0.8291	
	نرمال و ناهمبسته	82.00	0.6977	
	نرمال و ناهمبسته	82.01	0.6978	

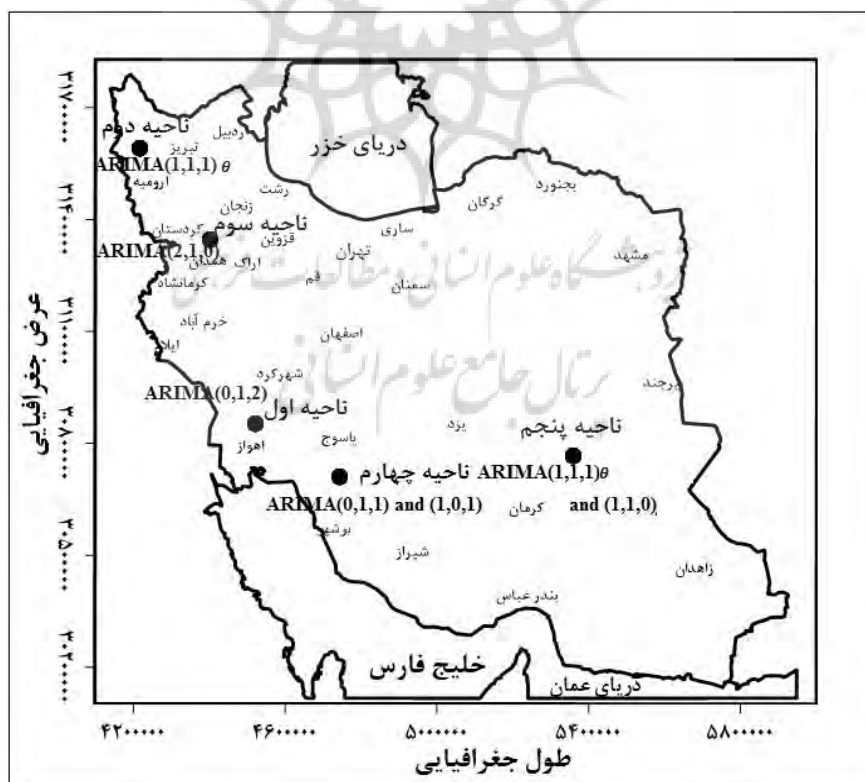
مأخذ: نگارندگان ۱۳۹۵

زمانی دما تابعی از بارش ۱ تا ۲ سال گذشته و مؤلفه‌های تصادفی ۱ تا ۳ سال گذشته می‌باشد. این امر گواهی بر سادگی الگوهای برازنده بر دمای نواحی هم‌شیب تغییرات افزایشی متوسط و کم می‌باشد، در حالی که دما در ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی شدید پیچیده‌تر بوده است؛ بطوری که دما در این نواحی تابعی از مؤلفه‌های تصادفی یک تا دو سال گذشته خود می‌باشد. همان‌طوری که مشاهده می‌شود در ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و شدید الگوی $ARIMA(1,0,2)$ باتوجه به مقداری خطای ۲/۰۴ در بین الگوهای دیگر مناسب‌تر می‌باشد. مرتبه ۲ میانگین متحرک بیانگر این است که دمای هر سال در ناحیه با هم شیب تغییرات افزایشی و شدید تابعی از مؤلفه‌های تصادفی یک تا دو سال گذشته خود می‌باشد. این وضعیت برای ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و متوسط تابعی از مؤلفه‌های تصادفی یک سال گذشته خود می‌باشد. بنابراین دما در ناحیه با هم

طی فرایند زیاد برازندن^۱ با تفاضل مراتب صفر و دو ($d=0$) و ($d=2$) مدل‌های متنوع مورد بررسی قرار گرفت و الگوهای مختلف آزمون گردید. برای مثال الگوهای $ARIMA(0,1,2)$ در ناحیه با هم شیب تغییرات افزایشی و شدید و $ARIMA(3,0,1)$ در ناحیه‌ای هم شیب تغییرات کاهشی دارای فراسنج‌های معنی‌دار بوده و به نظر می‌رسید که الگوهای مناسبی برای ناحیه یک هستند؛ ولی بررسی مانده‌های این دو الگو نشان داد که مانده‌های الگو دارای رفتار الگوپذیر هستند و دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی با توزیع بهنجار و مستقل نیستند. همین‌طور مشخصات الگوهای انتخابی برای سایر نواحی آورده شده است. مناسب‌ترین الگوی آریمای رابطه‌ی آن در کادر پایینی در جدول ۳ آمده است. الگوهای برازنده گویای روند بویژه در ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و متوسط و ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و کم می‌باشد. در هر پنج ناحیه رفتار گذشته سری‌های

شیب تغییرات افزایشی و شدید نسبت به سایر نواحی دیگر از الگو و رفتار گذشته خود تبعیت می‌کند. توزیع مکانی الگوهای انتخابی برای نماینده‌ی هر ناحیه در شکل ۳ آورده شده است. براساس شکل ۳ نقاط نماینده پهنه‌ها هم‌شیب تغییرات عمدتاً در نیمه غرب و شمال غرب ایران پراکنده شده‌اند. این وضعیت بیانگر این واقعیت است که تغییرات دما در نیمه غرب و شمال غرب ایران ارتباط قوی با تغییرات دمای سایر نواحی هم‌شیب تغییرات دمای ایران دارد. پس از انتخاب الگوی مناسب، دما برای یاخته‌ی نماینده‌ی ناحیه و در گام ۱۵ ساله پیش‌بینی شد. نتایج به صورت میانگین‌های ۵ ساله در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه‌ی ناحیه‌ها (به جز ناحیه‌ی با هم‌شیب تغییرات کاهش‌ی) روند افزایشی حاکم خواهد بود. در این بین ناحیه‌ای با هم

شیب تغییرات افزایشی و شدید نسبت به سایر نواحی دیگر از الگو و رفتار گذشته خود تبعیت می‌کند. توزیع مکانی الگوهای انتخابی برای نماینده‌ی هر ناحیه در شکل ۳ آورده شده است. براساس شکل ۳ نقاط نماینده پهنه‌ها هم‌شیب تغییرات عمدتاً در نیمه غرب و شمال غرب ایران پراکنده شده‌اند. این وضعیت بیانگر این واقعیت است که تغییرات دما در نیمه غرب و شمال غرب ایران ارتباط قوی با تغییرات دمای سایر نواحی هم‌شیب تغییرات دمای ایران دارد. پس از انتخاب الگوی مناسب، دما برای یاخته‌ی نماینده‌ی ناحیه و در گام ۱۵ ساله پیش‌بینی شد. نتایج به صورت میانگین‌های ۵ ساله در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه‌ی ناحیه‌ها (به جز ناحیه‌ی با هم‌شیب تغییرات کاهش‌ی) روند افزایشی حاکم خواهد بود. در این بین ناحیه‌ای با هم



شکل ۳: توزیع مکانی الگوهای انتخابی برای نماینده نواحی هم‌شیب تغییرات دما

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۴: پیش بینی میانگین دما براساس الگوی چند جمله ای آریمای برای نواحی پنجگانه هم شیب دمایی

ناحیه	۲۰۱۰-۱۹۶۱	۲۰۱۰-۲۰۱۵	۲۰۱۵-۲۰۲۰	۲۰۲۰-۲۰۲۵
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و شدید (ناحیه ۱)	17.81	17.83	17.87	17.98
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و متوسط (ناحیه ۲)	18.63	18.67	18.71	18.90
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات کاهشی (ناحیه ۳)	14.25	14.23	14.24	14.28
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و کم (ناحیه ۴)	17.61	17.62	17.76	17.93
ناحیه‌ای با هم شیب تغییرات افزایشی و بسیار شدید (ناحیه ۵)	24.04	24.42	24.47	24.83

مأخذ: نگارندگان ۱۳۹۵

نتیجه

- نواحی هم شیب تغییرات دمایی ایران از تنوع و پراکندگی بسیار زیادی برخوردار بوده است. در این میان ناحیه‌ی ۱ از تمرکز بیشتری برخوردار بوده است؛ بطوری‌که بیشتر روند افزایشی (۰/۱۴۶۱) درجه‌ی سلسیوس در سال) در نواحی مرکزی متمایل به شرق کشور متمرکز بوده است. غالب پژوهشگران در بررسی‌های خود روند افزایشی‌دمای را پیش‌بینی نمودند. - الگوسازی ARIMA برای سری زمانی نمایندگان هر یک از نواحی و براساس ملاک‌های مختلف (نظیر معنی‌داری ضرایب الگو، پراش کمینه‌ی مانده‌ها، کمینه معیار اطلاع آکائیک، استقلال و نرمال بودن باقی مانده‌های مدل) انجام شد. براین اساس دما در هر ناحیه تابعی از مؤلفه‌های تصادفی یک تا دو سال گذشته‌ی خود می‌باشد. ناحیه‌ی با هم شیب تغییرات افزایشی و کم دارای الگوهای متنوعی بوده است برای مثال دو الگوی $ARIMA(0,1,1)$ و $ARIMA(1,0,1)$ بهترین الگوی برازش یافته بر میانگین دمایی سالانه‌ی نواحی با هم شیب تغییرات افزایشی و کم بوده است.

- در همه نواحی به جز نواحی با هم شیب تغییرات کاهشی دما روند افزایشی داشته است.

عناصر اقلیمی در مقیاس زمانی و مکانی در حال تغییر می‌باشند. تغییرات اقلیمی یکی از ویژگی‌های طبیعی چرخه جوی می‌باشد که بر اثر ناهنجاری‌ها یا نوساناتی در روند فراسنج‌های جوی نظیر دما حاصل می‌شوند. روند یکی از مشخص‌ترین عواملی می‌باشد که باعث ناهماهنگی‌های سری‌های اقلیمی می‌شود. شناخت روند تغییرات اقلیمی گذشته می‌تواند به پیش‌بینی نوسانات اقلیمی در آینده کمک‌شایانی کند. بررسی تعدادی از فراسنج‌های آب و هوایی نظیر دما نقش مهمی را در آشکارسازی روند ایفا می‌کند. در پژوهش حاضر به منظور بررسی نواحی هم شیب تغییرات دمایی ایران، میانگین دمایی روزانه طی دوره ۵۰ ساله استخراج و الگوسازی شد. یافته‌های پژوهش حاضر را می‌توان بشرح زیر برشمرد:

- نواحی هم شیب تغییرات دمایی ایران به پنج ناحیه شامل ناحیه‌ی با هم شیب تغییرات افزایشی و شدید (ناحیه ۱)، ناحیه‌ی با هم شیب تغییرات افزایشی و متوسط (ناحیه ۲)، ناحیه‌ی با هم شیب تغییرات کاهشی (ناحیه ۳)، ناحیه‌ی با هم شیب تغییرات افزایشی و کم (ناحیه ۴) و ناحیه‌ی با هم شیب تغییرات افزایشی و بسیار شدید (ناحیه ۵) می‌باشد. هم‌راستایی مشترک تغییر دمایی ایران به جز در ناحیه‌ی سوم در سایر نواحی از روند افزایشی برخوردار بوده است. این نواحی به شدت تحت تأثیر عوامل آب‌وهوایی از جمله عرض جغرافیایی و بویژه ارتفاع قرار دارند.

منابع

- عزیز، قاسم؛ محمد کریمی احمدآبادی؛ زهرا سبک‌خیز (۱۳۸۴). روند دمایی چند دهه اخیر ایران و افزایش CO₂ جو، نشریه علوم جغرافیایی. دانشگاه تربیت‌معلم. جلد ۴. شماره ۵. پاییز و زمستان ۸۳. بهار و تابستان ۸۴. صفحه ۲۵.
- عساکره، حسین (۱۳۸۸). الگوسازی ARIMA برای میانگین سالانه دمای شهر تبریز، تحقیقات جغرافیایی. شماره ۹۳. صفحات ۲۴-۳.
- عساکره، حسین؛ زهره سیفی‌پور (۱۳۹۱). مدل‌سازی مکانی بارش سالانه‌ی ایران، جغرافیا و توسعه. شماره ۲۹. صفحات ۱۵-۳۰.
- عساکره حسین (۱۳۸۳). مدل‌سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی مطالعه‌موردی: بارش سالانه‌استان اصفهان، تحقیقات جغرافیایی. شماره ۳. صفحات ۲۳۱-۲۱۳.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۵). مبانی آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور
- علیجانی، بهلول؛ محمدرضا کاویانی (۱۳۸۶). مبانی آب و هواشناسی، انتشارات دانشگاه تهران.
- فرشادفر، عزت‌الله (۱۳۸۹). اصول و روش‌های آماری چندمتغیره، انتشارات طاق‌بستان.
- محمدی، حسین؛ فرید تقوی (۱۳۸۴). روند شاخص حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۳. ۱۷۲-۱۵۱.
- مسعودیان، ابوالفضل؛ محمد دارند (۱۳۹۰). شناسایی و پهنه‌بندی نواحی دمای فرین سرد ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. شماره ۲. ۴۳-۵۴
- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۳). بررسی دمای ایران در نیم سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۳. صفحات ۱۳۶-۸۹.
- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۹۱). آب هوای ایران، انتشارات شریعه توسعه مشهد. دانشگاه اصفهان.
- ناظم‌السادات، سیدمحمدجعفر (۱۳۸۸). مبانی هوا و اقلیم‌شناسی، مرکز نشر دانشگاهی. چاپ اول. تهران.
- باکس جی.ای. پی و جنکیز جی ام (۱۹۷۰). ترجمه محمدرضامشکینی، تحلیل سری‌های زمانی، پیش‌بینی و کنترل. جلد اول. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۲۴ صفحه
- بیات، علی (۱۳۸۹). تحلیل سری زمانی بارش سالانه شهر زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمای دکتر حسین عساکره. دانشگاه زنجان.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ محمدحسین ناصرزاده (۱۳۸۴). محاسبه و تحلیل یخبندان‌های توسط برنامه دلفی در استان لرستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۱. صفحات ۱۵۰-۱۳۹.
- حسنی‌پاک، علی‌اصغر (۱۳۸۹). زمین‌آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول.
- خلیلی، کیوان؛ محمد ناظری‌تهرودی؛ فرشاد احمدی (۱۳۹۴). کاربرد شاخص PCI در بررسی الگوی بارش ایران و تحلیل روند تغییرات آن در مقیاس سالانه و فصلی طی نیم قرن اخیر. نشریه‌ی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۹. صفحات ۲۰۸-۱۹۵.
- دوستی، مریم؛ محمود حبیب‌نژادروشن؛ کاکا شاهدی؛ میرحسین میریعقوب‌زاده (۱۳۹۲). بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل لارس. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۴. صفحات ۱۸۹-۱۷۷.
- عباسی، فاطمه؛ مرتضی اثمیری (۱۳۹۰). پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش طی دهه‌های اخیر با الگوی MAGIC-SCENGEN. مجله آب و خاک. شماره ۲۵. صفحات ۸۳-۷۰.
- عباسی، فاطمه؛ ایمان بابائیان؛ مجید حبیبی‌نوخندان؛ لیلا گلی‌مختاری (۱۳۸۹). ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با کمک مدل MAGICC-SCENGEN. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۲. صفحات ۱۱۰-۹۱.

- Michael P. Stockinger, Andreas Lücke, Jeffrey J. McDonnell, Bernd Diekkrüger, Harry Vereecken, Heye R. Bogaen (2015). Interception effects on stable isotope driven streamwater transit time estimates, Vol 10, PP: 701-704
- Mohan S, Vedula S (1995). Multiplicative seasonal ARIMA model for long term forecasting of inflow. Water Recur Manage Vol, 9. PP: 115-126
- Richard. k (2007). Information Flow in Ensemble Weather Predictions, JOURNAL OF THE ATMOSPHERIC SCIENCES, Vol, 16., PP:1006-1016
- Weihong Q., & Xiang L., & Yafen Z., & Yuan Xu., & Jiaolan Fu (2007). Climatic regime shift and decadal anomalous events in China, Vol, 84., PP: 167-189.
- Zar, Jerrold H. (2009). biostatistician Analysis (5th Edition), Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Zhang Q, Wang B, He B, Peng Y, Ren M (2011). Singular Spectrum Analysis and ARIMA Hybrid Model for Annual Runoff Forecasting. Water Resour Manag, Vol. 25, PP: 2683-2703.
- Carvalho, A. A. Toni's, C. Jones, H. R. Rocha, and P. S. Polito (2007). Anti-persistence in the global temperature anomaly field, Vol, 14. PP:723-733.
- Chattopadhyay S, Chattopadhyay G (2010). Univariate modelling of summer-monsoon rainfall time series: Comparison between ARIMA and ARNN. Computes Rendus Geoscience Vol, 342. PP: 100-107.
- El-Fandy M.G, Ashour Z. H, Taiel S. M (1994). Time series models adoptable for forecasting Nile floods and Ethiopian rainfalls. Bulletin of the American Meteorological Society. Vol, 75. PP: 83-94
- Frauenfeld, Oliver W, Zhang, Tingjun and McCreight James L (2007). Northern hemisphere freezing/thawing index variations over the twentieth century, Int. J. Climatology. Vol, 27. PP: 47-63.
- Kondrashov D., Berloff P (2015). Stochastic modeling of decadal variability in ocean gyres, Geophysical Research Letters, Vol, 42. PP: 1543-1553.
- Kumar M, Kumar A, Mahanti N.C., Mallik C. Shukla RK (2009). Surface flux modeling using ARIMA technique in humid subtropical monsoon area. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. Vol, 71, PP: 1293-1298