

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره چهاردهم، تابستان ۱۳۹۴

صص ۲۱-۳۴

واکاوی روند گستره متاثر از تغییر اقلیم در ایران طی دهه‌های اخیر

فاطمه رعیت پیشه - دانش آموخته‌ی دکتری دانشگاه اصفهان، دانشکده‌ی علوم جغرافیا و برنامه ریزی، گروه جغرافیای طبیعی
سید ابوالفضل مسعودیان^۱ - استاد، دانشگاه اصفهان، دانشکده‌ی علوم جغرافیا و برنامه ریزی، گروه جغرافیای طبیعی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۱/۲۷

چکیده

در دهه‌های اخیر شواهد روشنی از افزایش دما در مقیاس سیاره‌ای و منطقه‌ای وجود دارد. این شواهد نشاگر جابه‌جایی یا ایز بین رفتن نواحی آب‌وهوایی به دلیل تغییرات آب‌وهوایی است که همواره بستری برای پرسش‌های بی‌شماری پیرامون چگونگی سازگاری انسان با این تغییرات ایجاد می‌کند. در این پژوهش برای واکاوی مساحت متاثر از تغییر آب‌وهوایی نمایه‌ای با عنوان نمایه‌ی مساحتی (AI)، بر مبنای دمای کمینه، بیشینه و میانگین معرفی و تغییرات زمانی آن طی سال‌های اخیر واکاوی شده‌است. برون‌داد این پژوهش نشان داد که این نمایه به طور متوسط با مقدار ۰/۵۴ در سال در حال افزایش است. افزون بر این، افزایش میزان این نمایه بر مبنای دمای کمینه بیش از دمای بیشینه است.
کلیدواژه‌ها: ایران، دما، تغییر آب‌وهوا، مساحت، روند.

۱. مقدمه

مسئله‌ی تغییر آب‌وهوا دامنه‌ی گسترده‌ای از پرسش‌ها در مورد چگونگی تاثیرگذاری این گونه تغییرات و سازواری انسان با تغییرات به همراه داشته است. این نیاز همواره روندی رو به رشد برای دریافت اطلاعات کاربردی پیرامون اثرات تغییر آب‌وهوا در بخش‌های مختلف سیاره و کانون‌های گوناگون زندگی انسان داشته است. متوسط دمای نیمکره‌ی شمالی طی نیمه‌ی دوم سده‌ی بیستم با ضریب احتمال بسیار زیادی (بیش از ۹۰ درصد ضریب اطمینان) بالاتر از هر دوره‌ی ۵۰ ساله در ۵۰۰ سال اخیر و با ضریب اطمینان بیش از ۶۶ درصد بالاترین مقدار، حد اقل در ۱۳۰۰ سال گذشته بوده است (Jones&etal;2009,3). همزمان با تغییرات آب‌وهوایی در این سده، چیدمان شرایط آب‌وهوایی در این سده نیز تغییر خواهد یافت، برخی نواحی آب‌وهوایی به طور کلی از بین خواهند رفت، و انتظار می‌رود

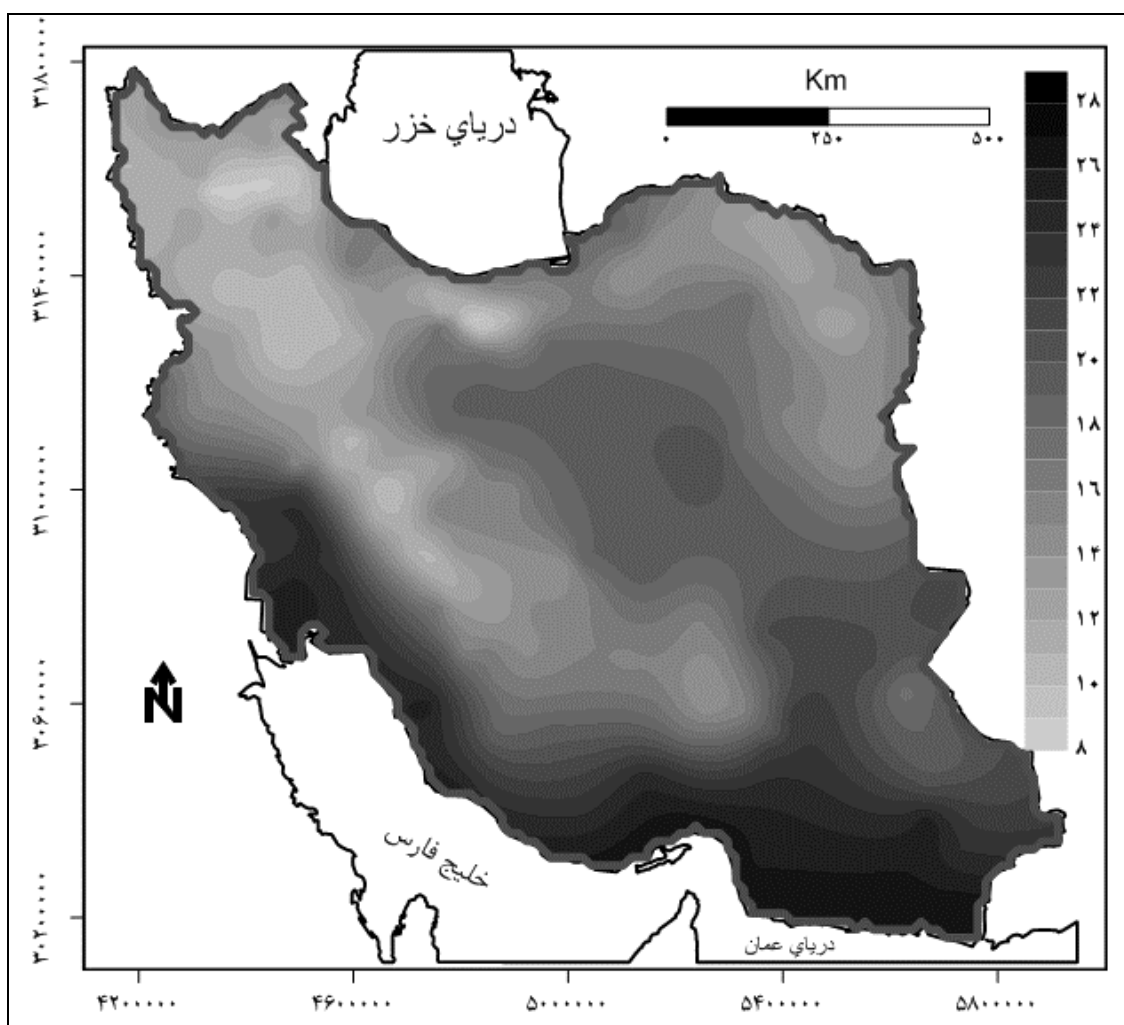
شرایط نوین آب‌وهوایی در مناطق گسترده‌ای به حاکم شود (Loarier&etal;2009,1052) برای گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری تنها مهیا بودن شرایط آب‌وهوایی مناسب کافی نیست، بلکه آن‌ها نیازمند تطابق خود همزمان با جابه‌جایی‌های آب‌وهوایی‌اند (Loarier&etal; 2009, 1053). برآوردها نشانگر این است که با اطمینان بسیار بالا تغییرات منطقه‌ای اخیر دما اثرات آشکاری بر سیستم‌های زیست‌محیطی داشته است (IPCC;2007,1). بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که واکاوی حساسیت‌های ابر دستگاه آب‌وهوا بیش از آن است که به سادگی از توزیع مقدار متوسط عناصر آب‌وهوایی به دست آید (Katz & brown, 1984; Easterling&etal,2000; Tank & konnen, 2003; Roberson,2004; Kharin & Zwier,2005; Tebaldi& etal,2006) از این رودر سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی بر پایه‌ی واکاوی‌های دماهای روزانه‌ی فرین و وردش‌پذیری‌های آن در مقیاس‌های منطقه‌ای و سیاره‌ای انجام گرفته است. واکاوی‌ها در مقیاس سیاره‌ای. نشانگر روند افزایشی دماهای بیشینه و کمینه همراه با تفاوت‌های منطقه‌ای‌اند (Caesar&etal;2006,1). برای نمونه در امریکای جنوبی واکاوی‌ها نشانگر گرمایش کلی در منطقه است (Aguialar;2005,14). هم‌چنین واکاوی برون‌دادها نشان می‌دهد که هیچ‌گونه تغییر پایداری در نمایه‌های مبتنی بر دمای بیشینه وجود ندارد، در حالی که روندهای معناداری در نمایه‌هایی مبتنی بر دمای کمینه‌ی روزانه دیده شده است (Vincent&etal,2005,5012). در اروپا دما در بیشتر مناطق، طی سده‌ی اخیر افزایش یافته است؛ واکاوی‌ها نشان داده است که گرمایش زمستانه در اروپا طی دوره‌ی ۹۹-۱۹۷۶ در بسیاری از ایستگاه‌ها همراه با روند مثبت در شمار امواج گرمایی بوده است؛ اما هیچ‌گونه روند منفی در شمار امواج سرمای‌ی مشاهده نشده است (Klein Tank&etal,2002). دیگر برون‌دادها نیز نشانگر گرمایش نظام‌مند در مقدارهای فرین کمینه و بیشینه‌ی دمای روزانه‌اند (KleinTank& Können;2003,3665). برون‌داد واکاوی‌های غرب اقیانوس هند نشانگر گرمایش است، افزایش یکسان میزان میانگین دمای سالانه و دمای شبانه نشانگر این است که تغییرات چشمگیری در دامنه‌ی دمای روزانه رخ نداده است (Vincent;2011,11). در خاورمیانه روندی افزایشی با همگنی مکانی بالا در نمایه‌های دمایی وجود دارد (Zhang&etal;2005,5). در شرق مدیترانه بیشتر روندهای معنادار دمایی، مربوط به فصل تابستان‌اند که دمای فرین کمینه و بیشینه روند معنادار گرمایشی نشان می‌دهند. روند منفی در فراوانی شب‌های سرد در زمستان و به خصوص تابستان دیده شده است (Kostopoulou and Jones, 2005) در کانادا نتایج نشانگر این است که میانگین سالانه‌ی دما در نواحی جنوبی کشور افزایش یافته است و بیشترین افزایش در فصل زمستان و بهار بوده است (Zhang&etall,2000, 425)؛ و کمترین تغییرات در شمار روزهای گرم تابستانی رخ داده است (Bonsal&etal, 2001). در ژاپن افزایش دما با بیشترین مقدار در

فصل زمستان و بهار همراه بوده است (Yue & Hashino, 2003, 69). در ایران گرمایش سیاره‌ای با روند کاهشی شمار روزهای سرد و روند افزایشی شمار روزهای گرم و کاهش دامنه‌ی دمای روزانه و در نتیجه حرکت دستگاه آب و هوا به سمت شرایط حاره‌ای همراه شده است (رعیت‌پیشه، ۱۳۹۳: ۱۱۰). از این رو برای پژوهشگران گرمایش دستگاه آب‌وهوایی مسئله‌ای روشن و بدون تردید است، از این رو بعد از شناخت این گونه تغییرات بیشترین تلاش پژوهشگران بر روی چگونگی اثرات این گونه تغییرات بر چیدمان زندگی انسان است. با وجود مشاهدات فصلی و ماهانه‌ی دما و دیگر متغیرهای آب‌وهوایی که اطلاعات بنیادی را از چگونگی تغییرات آب‌وهوایی برای ما فراهم می‌آورند، این گونه مشاهدات توانایی به تصویر کشیدن اثرات این تغییرات را ندارند. در سال‌های اخیر نیاز برای اطلاعات بیشتر از اثرات مستقیم این تغییرات منجر به ساخت نمایه‌های آب‌وهوایی گسترده‌ای شده است. در واقع اینگونه نمایه‌ها توان ساده‌سازی اثرات پیچیده‌ی تغییر آب‌وهوا را دارند. توانایی اینگونه نمایه‌ها در بازنمایی آستانه‌ی حساسیت دستگاه آب‌وهوا نسبت به تغییرات است. با وجود اینکه مشاهدات فصلی و ماهانه‌ی دما و دیگر متغیرهای آب‌وهوایی که اطلاعات بنیادی از چگونگی تغییرات را برای ما فراهم می‌آورند، این گونه مشاهدات توانایی به تصویر کشیدن و ردش‌ها در مقیاس‌های خردتر آب‌وهوای را ندارند. از این رو در این پژوهش نمایه‌ای نوین برای نشان دادن روند گسترده‌ی متاثر از تغییر آب‌وهوا در ایران با استفاده از داده‌های روزانه معرفی و تغییرات زمانی آن واکاوی شده است.

۲. منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد بررسی در این پژوهش تمامی ایران را در بر می‌گیرد (25° تا 39° عرض شمالی، و 44° تا 64° طول شرقی). بر طبق پایگاه داده‌ی اسفزاری مقدار میانگین دمای کمینه و بیشینه‌ی ایران به ترتیب ۱۱ و ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد؛ و دمای میانگین ایران ۱۸ درجه سلسیوس است که نسبت به میانگین جهانی (۱۵ درجه‌ی سلسیوس) در منطقه‌ی گرمی واقع شده است. دمای میانگین ایران در ۶۲ درصد از مساحت ایران روندی افزایشی نشان می‌دهد. حضور نوارهای ناهمواری در غرب ایران و ناهمواری‌های پراکنده‌ی مرکزی نقش مهمی در تعدیل دمای ایران ایفا می‌کنند. میانگین مجموع بارش سالانه‌ی این کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که در مقایسه با مقدار جهانی آن (۹۶۰ میلی‌متر) دریافت بارشی اندک دارد. موقعیت و گستردگی ایران زمین از یک سو و تراکم پایین پیمونگه‌های سنجش دما به ویژه در ارتفاعات ما را بر آن داشته است که به جای داده‌های پیمونگه‌ای از داده‌های شبکه‌ای استفاده کنیم. در این پژوهش داده‌های دمای پایگاه داده‌ی اسفزاری به کار گرفته شده است. تقویم این داده‌ها از ۱۳۴۰/۱/۱ خورشیدی (۱۹۶۱/۵/۲۳ میلادی) تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ خورشیدی (۲۰۰۴/۱۲/۳۱ میلادی) را شامل می‌شود. داده

های شبکه‌ای دمایی این پایگاه بر اساس دیده‌بانی‌های ۶۲۲ ایستگاه آب‌وهوایی و هم‌دید تهیه شده است. این شبکه با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ حاصل شده است. در این پایگاه برای هر عنصر آب‌وهوایی شبکه‌ای با ابعاد ۱۵۹۹۲×۷۱۸۷ تعریف شده است که در آن سطرها نشانگر یاخته‌های مکانی و ستون‌ها نماینده‌ی زمان (بر حسب روز) می‌باشد. سیستم مختصات این پایگاه داده لامبرت مخروطی هم‌شکل است و ابعاد هر یاخته ۱۵×۱۵ کیلومتر است^۱



شکل ۱ دمای میانگین ایران بر حسب درجه‌ی سلسیوس در هر یک از یاخته‌ها
با استفاده از پایگاه داده‌ی اسفزاری

۱ در ایران پایگاه داده شبکه‌ای برای سنج‌های هواشناسی نظیر دما، بارش و رطوبت جوی و برخی عناصر آب‌وهوای دیگر توسط مسعودیان تهیه شده است. این پایگاه داده به افتخار آب‌وهواشناس برجسته ایرانی حکیم ابوحاتم اسفزاری نامگذاری شده است.

۳. مواد و روش‌ها

درک این مسئله، پیش از هر چیز نیازمند به دست آوردن تصویری روشن از ساختار دمایی ایران است. شکل (۱)، نمایانگر دمای میانگین ایران است، همانگونه روشن است بخش زیادی از ایران مقدار دمای بیش از دمای میانگین دارند، نقش تعدیلی نوارهای کوهستانی در این شکل کاملاً مشخص است. و مسئله در اینجا با دانستن اینکه ساختار دمایی در بیشتر یاخته‌ها روند افزایشی دارد روشن‌تر خواهد شد. برای اثبات این ادعا، روند دمای هر یاخته با به استفاده از روش منکدال به دست آمده است که در شکل (۲) به تصویر کشیده شده است. روش آزمون روند مان-کندال می‌تواند روندها را در سری زمانی بدون نیاز به نرمال سازی یا خطی بودن به دست دهد، و به این دلیل توسط سازمان هواشناسی جهانی برای استفاده‌های همگانی توصیه شده است. این روش در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی به شکلی گسترده استفاده می‌شود.

در اینجا فرض صفر مبنی بر این است که سری زمانی $(X-1,2,3,\dots,n)$ مستقل است و توزیع متغیرهای تصادفی یکسان است، و فرض ۱، در سری زمانی روند وجود دارد پارامتر آماری، S_0 به صورت زیر توصیف می‌شود:

$$S_i = \sum_{k=1}^{i-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sng}(x_j - x_k)$$

که n طول سری ($n > 40$) و $K=1,2,3,\dots,n$ و $j=2,3,\dots,n$

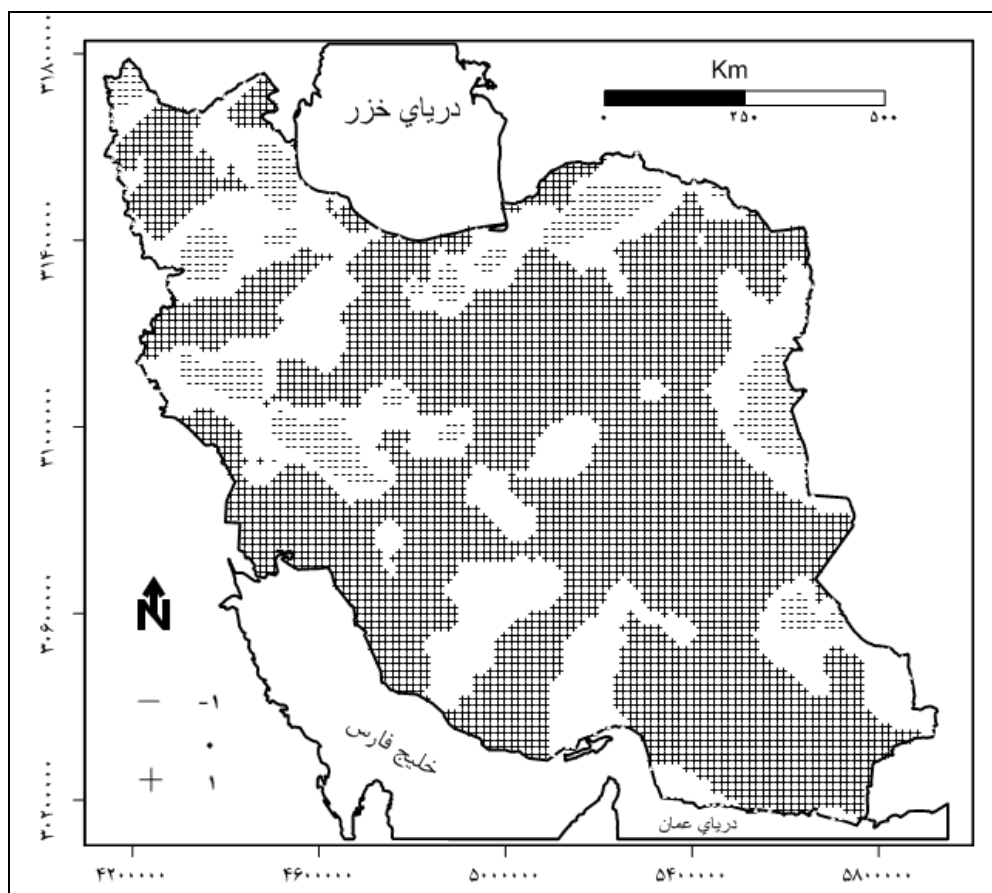
$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

این ثابت شده است که هنگامی که $n \geq 8$ ، S_0 توزیع نرمال با میانگین ۰ و پراش :

$$\text{Var}(S_i) = [n(n-1)(2n+1)]/18$$

نمایه Z استاندارد هم از طریق:

$$z = \begin{cases} \frac{s_i - 1}{\sqrt{\text{Var}(s_i)}} s_i > 0 \\ \cdot & s_i = 0 \\ \frac{s_i + 1}{\sqrt{\text{Var}(s_i)}} s_i < 0 \end{cases}$$



شکل ۲ روند دمای میانگین در ایران طی دوره ی آماری مورد مطالعه

جدول ۱ روند دمای میانگین در ایران

۶۲ درصد	روند مثبت
۳۰ درصد	بدون روند
۸ درصد	روند منفی

روند دمایی در ایران روشن‌گر این واقعت است که طی دوره ی آماری بررسی شده، دمای میانگین بیش از نیمی از وسعت ایران در حال افزایش است. با مشاهده ی این برونداد و توزیع مکانی آن (شکل ۲) روشن است که دمای بیشتر نواحی داخلی و پایکوهی در حال افزایش است. بدون در نظر گرفتن سرعت این تغییرات، این بدان معناست که نواحی بسیار گرم داخلی دمای بالاتری در آینده ی نزدیک خواهند داشت و نواحی کوهپایه‌ای که تعادل خود رو مدیون همجواری با ارتفاعات هستند، در سال های اخیر به سمت شرایط گرم تر در حال حرکت اند. نواحی مرتفع بر ناهمواری های غرب و شمال غرب ایران و به صورت پراکنده

در شرق و شمال شرق است روندی منفی نشان می‌دهند. در ۳۰ در صد گستره‌ی کشور که به طور عمده حواشی نوارها یا کوهستان‌ها را در بر می‌گیرد، دما هیچگونه روندی را نشان نداده است.

برای پاسخ گویی به این سوال که افزایش دما با چه سرعتی پیش می‌رود و تغییرات آن در هر دوره چه مساحتی را در بر می‌گیرد؟ سه گام زیر انجام گرفت:

نخست تعریف گرمایش؛ در این پژوهش گرمایش، به عنوان افزایش دما نسبت به میانگین بلند مدت منطقه‌ای تعریف شده است، از آنجا که مبنای داده‌های به کار گرفته شده در این پژوهش یاخته‌ای است، میانگین بلند مدت هر یاخته به عنوان متوسط منطقه‌ای در نظر گرفته شده است، و بالابود دما از مقدار این میانگین مبنایی برای سنجش گرمایش در نظر گرفته شده است.

در گام دوم برای هر روز تعداد یاخته‌هایی که مقداری بیش از میانگین بلند مدت همان یاخته در همان روز داشته‌اند شمارش شده و درصد تعداد این یاخته‌ها محاسبه گردید.

در گام آخر روند خروجی‌های حاصل از مرحله‌ی دوم واکاوی شد.

در گام نخست برای هر یاخته یک میانگین بلند مدت روزانه محاسبه شد. یعنی برای هر روز یک مقدار میانگین بلند مدت با استفاده از دمای آن روز در طول دوره‌ی آماری به دست آمد (برای نمونه مقدار دمای میانگین اول فروردین حاصل میانگین دمای ۴۳ سال گذشته در این روز است) بدین ترتیب ۳۶۶ میانگین برای هر یاخته به دست آمد، و با توجه به ابعاد مکانی داده‌های مورد استفاده خروجی حاصل آرایه‌ای با ابعاد 7187×366 است (یعنی برای هر یاخته ۳۶۶ میانگین روزانه به دست آمده است).

پس از آن در گام دوم مقدار دمای روزانه‌ی هر یاخته در 15991 روز، یعنی آرایه‌ای با ابعاد 7187×15991 با میانگین بلند مدت همان روز که در گام اول به دست آمد، سنجیده شد (روزهای اول فروردین با میانگین بلند مدت همان روز مقایسه شدند) و درصد تعداد یاخته‌هایی که در هر روز بالاتر از مقدار میانگین بلند مدت همان یاخته بودند به دست آمد.

این مراحل برای دمای کمینه، بیشه و متوسط روزانه به طور جداگانه محاسبه گردید. از آنجا که برونداد این روش درصد مساحتی را که دمای آن در هر روز بالاتر از میانگین بلند مدت هر یاخته است را به دست می‌آورد نمایه‌ی مساحتی^۱ نامیده شده است. و در پایان تغییرات زمانی برونداد به دست آمده در گام پیشین به دست آمد.

. در این گام برای انجام آزمون روند دما فرض شده‌است که دما تابعی خطی از زمان است بنابراین مدل

تغییرات به صورت زیر خواهد بود:

$$Temperature = a + \beta Time$$

روشن است که یک مقدار مثبت برای β نشانگر افزایش دما با زمان و یک مقدار منفی برای β نشانگر کاهش دما با زمان است برای $\beta = 0$ فرض وجود روند تایید نمی‌شود. اما از آنجا که مقدار β نامعلوم است یک برآورد از β با اطمینان ۹۵ درصد از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\beta \mp t_{\alpha, n-2} \frac{S}{Sx}$$

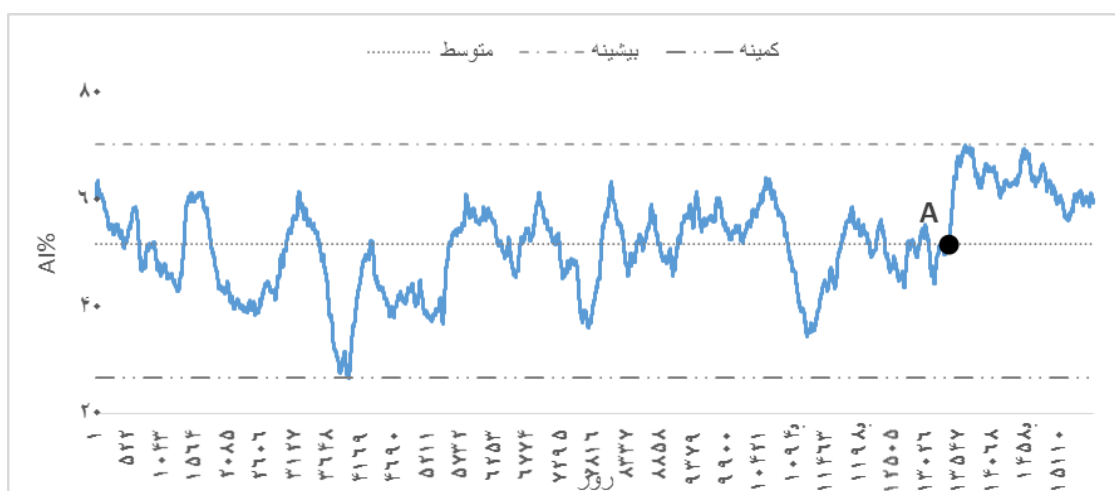
اگر حد بالا و پایین β که به این ترتیب به دست می‌آیند هر دو مثبت باشند فرض وجود روند افزایش در دما را رد نمی‌کنیم. اگر حد بالا و پایین β هر دو منفی باشند فرض وجود روند کاهشی در دما را رد نمی‌کنیم و اگر حد بالا و پایین مختلف‌العلامت باشند فرض وجود روند را تایید نمی‌کنیم (مسعودیان، ۱۳۸۳، ۹۲-۹۳).

۴. بحث و نتایج

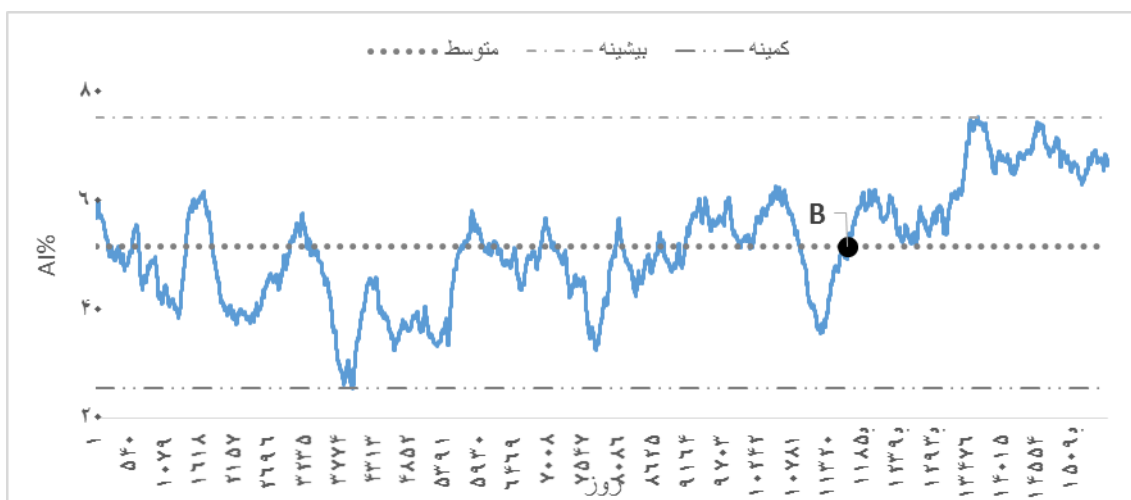
در این پژوهش ساختار تغییرات دمایی ایران با تاکید بر دمای کمینه و بیشینه (که هر یک نماینده‌ای متفاوت از ساختار حرارتی آب‌وهوا یک منطقه اند) واکاوی شد. دمای شبانه نتیجه‌ی ترازمندی تابش‌های خروجی و دمای روزانه نتیجه‌ی ترازمندی تابش‌های ورودی است. از سوی دیگر گازهای گلخانه‌ای مانند بخار آب و دی اکسید کربن از عوامل اساسی موثر بر ترازمندی تابش‌های خروجی است، در حالی که تابش‌های ورودی به ویژگی‌های تابشی جو از جمله شفافیت جو بستگی دارد. بنابراین دمای شبانه و دمای روزانه از عوامل متفاوتی تاثیر می‌پذیرند و ممکن است رفتار روند آن‌ها با یکدیگر متفاوت باشد. دمای متوسط هر منطقه نیز می‌تواند خلاصه‌ای از ساختار تغییرات و رفتار دما را در طول زمان و مکان مهیا کند. با وجود تمام شواهد مبنی بر افزایش دما در مقیاس سیاره‌ای و منطقه‌ای، این پرسش بدون پاسخ مانده است که آیا مساحتی که هر ساله تحت تاثیر تغییر آب‌وهوا قرار می‌گیرد نیز رو به افزایش است و یا اینکه تغییرات و بردش‌های آب‌وهوایی تنها در مناطق فعالیت خود قوت یا ضعف می‌یابند؟ و در صورت افزایش، مقدار آن چقدر است؟ برونداد محاسبات نشان داد مقدار این نمایه در حال افزایش است. تفاوت تغییرات این نمایه در طول زمان بر روی دمای کمینه و بیشینه شایان توجه است. بررسی روند AI نشان می‌دهد که وسعت قلمروهایی که دمای شبانه‌ی آن‌ها افزایش یافته بیش از قلمروهایی است که دمای بیشینه‌ی آن‌ها افزایش یافته است. نمودار سری زمانی این نمایه نشان می‌دهد که میانگین آن به طور متوسط بیش از ۵۰ درصد مساحت ایران را در دوره‌ی مورد بررسی در بردارد (همواره اندکی بیش از نیمی از گستره‌ی ایران دمای بیش از میانگین منطقه‌ای دارند) هر چند که افت‌وخیزهای زیادی در سری زمانی دیده می‌شود. به طور کلی روند چشمگیر و معنادار افزایشی در سطح ۹۵ درصد در این نمایه طی سال‌های اخیر دیده می‌شود. مقدار این روند برای متوسط دما ۰/۵۴ در سال است، یعنی در هر سال ۵۴ درصد به مساحت نمایه‌ی AI در ایران افزوده

می‌شود (شکل ۳). روند این نمایه برای دمای بیشینه ۰/۳ است (شکل ۴). و دمای کمینه ۰/۶۴ است (شکل ۵). بروندادها روشن کننده‌ی این واقعیت‌اند که افزایش این نمایه بر اساس دمای متوسط بیش از آن که ناشی از افزایش دمای بیشینه باشد متکی بر افزایش دمای کمینه است که بر اساس پژوهش‌های گذشته چندان دور از انتظار نیست. در مجموع دمای شبانروزی ایران دو درجه در هر صد سال افزایش داشته است. بررسی دمای شبانه‌ی ایران در پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که در مجموع دمای روزانه‌ی ایران با آهنگ یک درجه در هر صد سال رو به افزایش بوده است در مقایسه با آهنگ افزایش دمای شبانه روشن می‌شود که روندهای افزایشی دمای شبانه سه بار قوی‌تر از آهنگ افزایش دمای روزانه بوده‌اند. نتیجه آن که افزایش دمای ایران در نیم سده‌ی گذشته معلول عواملی بوده که خروج تابش‌های بلند زمینی را کنترل می‌کرده‌اند. در عین حال این افزایش همانند دمای شبانه عمدتاً در مناطق غیر کوهستانی دیده می‌شود و روی کمربندهای کوهستانی کشور روند کاهش دما دیده می‌شود (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۹۴).

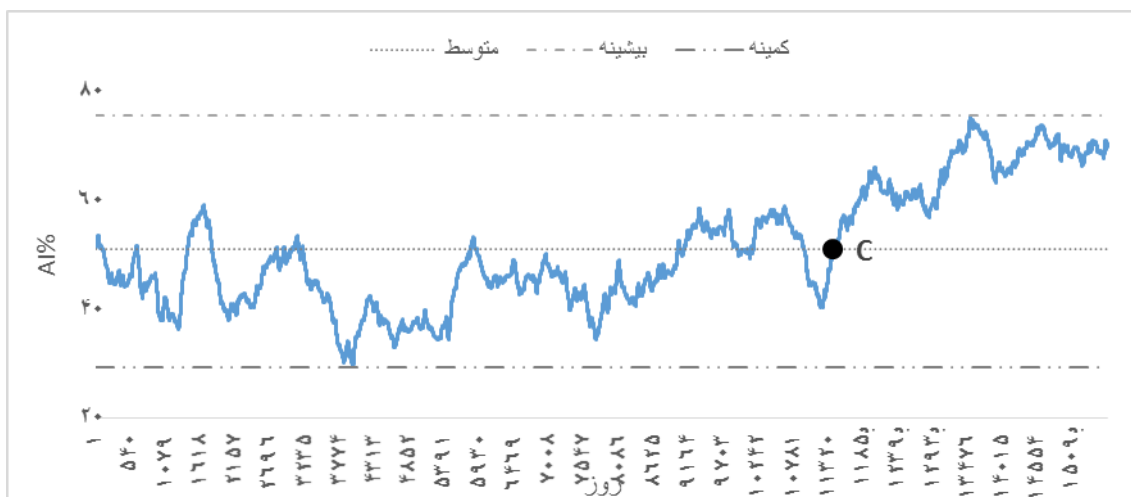
به طور کلی با چیدمان این نتایج و پژوهش‌های پیشین روشن می‌شود علاوه بر روند افزایشی دما در طول دوره‌ی آماری، گستره‌هایی که دمای آن‌ها بیش از میانگین بلند مدت است نیز روندی پیش‌رونده دارند. دقت در شکل (۵)، به عنوان اصلی‌ترین برونداد در این پژوهش واقعیت‌های زیادی را برای ما روشن می‌کند، نقطه‌ی C در اینجا برای ما یک نقطه‌ی بنیادین است یعنی جایی که مقدار نمایه افزایش یافته و دیگر بازگشتی به سمت میانگین خود نداشته است. شکل افزایشی آن هم نشان از این دارد که اگر داده‌های سال‌های اخیر را هم به آن اضافه کنیم، به احتمال زیاد این روند افزایشی ادامه خواهد داشت. تاخیر این تاریخ برای دمای بیشینه نسبت به دمای کمینه نیز قابل تامل است (دمای بیشینه در تاریخ ۱۳۷۶/۲/۲۰ شروع به افزایش کرده و دیگر بازگشتی در نمودار آن مشاهده نشده و دمای کمینه در تاریخ ۱۳۷۱/۲/۱۸).



شکل ۳ مقدار نمایه‌ی AI بر مبنای دمای بیشینه



شکل ۴ مقدار نمایه‌ی AI بر مبنای دمای میانگین



شکل ۵ مقدار نمایه‌ی AI بر مبنای دمای کمیته

طی دوره‌های قبل از تاریخ فوق همواره این نمایه دارای افت و خیزهای زیادی بوده است اما این تاریخ آغازگر مرحله‌ای تازه در آب‌وهوای کشور است که با توجه به آنچه پیش از این در باره‌ی ساختار آب‌وهوای ایران بیان شد از اهمیت زیادی برخوردار است. روشن است که نوسان همواره بخشی از رفتار ابردستگاه آب‌وهوا بوده است، اما و عدم بازگشت این گونه نوسان‌ها به میانگین پیشین خود نشانی از تغییر بنیادین دارد. پیشی گرفتن زمان افزایش این نمایه بر اساس دمای کمیته نسبت به دمای پیشینه نیز شایان توجه است. مقدار پیشینه‌ی این نمایه نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. چنانچه مقدار آن برای دمای کمیته ۷۶ درصد است که گواهِ بر این دارد که ۷۶ درصد از مساحت ایران در این تاریخ دمایی بیش از میانگین منطقه‌ای خود داشته‌اند. اگر میزان افزایش این نمایه با همین سرعت ادامه یابد در کمتر از ۵ دهه، گرمایش تمام وسعت

ایران را در برخواهد گرفت. در این پژوهش گرمایش تنها بالابود دمای هر یاخته از میانگین بلند مدت منطقه‌ای تعریف شده است و مقدار این بالابود در این محاسبه اثری نداشته است، از این رو با توجه به این نکته که مقدار دما نیز در حال افزایش است و چیدمان این مسئله در کنار روند افزایشی AI اهمیت را دو چندان خواهد کرد و نیاز به برنامه‌ریزی‌های سنجدیده‌تر در راستای این تغییرات اجتناب‌ناپذیر می‌سازد.

۵. نتیجه گیری

بررسی روند AI نشان می‌دهد که وسعت قلمروهایی که دمای شبانه‌ی آن‌ها افزایش یافته بیش از قلمروهایی است که دمای بیشه‌ی آن‌ها افزایش یافته است. نمودار سری زمانی این نمایه نشان می‌دهد که میانگین این نمایه به طور متوسط بیش از ۵۰ درصد مساحت ایران را در دوره‌ی مورد بررسی در بردارد. به بیان دیگر دمای شبانروزی ایران در حال حاضر یک درجه گرم‌تر از پنجاه سال پیش شده است. بنابراین افزایش دمای ایران نسبت به میانگین گرمایش جهانی نزدیک دو برابر است با توجه به این که با افزایش هر یک درجه، مرز برف‌های دایمی در ایران حدود ۱۶۰ متر بالاتر می‌رود (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۹۵). دماهای کمینه و بیشه در جنبه‌های مختلف حیات انسان از جمله کشاورزی و مسائل اجتماعی و زیربنایی اهمیت زیادی دارد و به عنوان آستانه‌های تحریک پذیر برای کلیه‌ی فعالیت‌های مربوط به انسان محسوب می‌شوند از این رو با توجه به تغییر آن‌ها برای سیاست‌مداران و برنامه‌ریزان امری گریز ناپذیر است. در پژوهش‌هایی که پیرامون تغییر آب‌وهوا انجام شده است، روشن است که زیستگاه‌های جانوری و گیاهی بیش از زیست‌گاه‌های انسانی دست‌خوش این تغییرات‌اند. افزایش ۵۴ درصدی میانگین AI زنگ خطری است برای زیست بوم‌ها و منابع طبیعی در کشوری چون ایران که ساختار آب‌وهوایی آن، حساسیت این ابردستگاه را فزونی ساخته است. طبق پژوهش‌های گذشته این تغییرات مناطق کوهستانی را کمتر تحت تاثیر قرار می‌دهد از این رو توجه برنامه‌ریزان برای آینده باید بیشتر به این سمت معطوف شود. اهمیت این مسئله با توجه به تغییر در شدت و مقدار بارش نیز دو چندان می‌شود. به نظر می‌رسد روند افزایشی دما در ایران با محدودتر شدن انباره‌های آبی کشور همراه باشد و با وجود این واقعیت که بارش ایران در مجموع متمرکز است و روند تمرکز آن نیز افزایشی است، کاهش وسعت انباره‌های آبی به معنای تشدید کم آبی در ماه‌های گرم و بدون بارش خواهد بود. از این رو چنین به نظر می‌آید که آب و هوای ایران رو به سوی آب‌وهوای گرم‌تر و کم بارش‌تر در حرکت است. با توجه به تغییرات دمای کمینه و افزایش آن بیش از دمای بیشه و در نتیجه کاهش دامنه‌ی دمای روزانه ابردستگاه آب‌وهوای ایران به سمت شرایط حاره‌ای پیش می‌رود.

کتابنامه

- رعیت‌پیشه، فاطمه (۱۳۹۳)، واکاوی وردش‌های آب‌وهوایی ایران در دهه‌های اخیر، پایان‌نامه‌ی دکتری، دانشگاه اصفهان، استاد راهنما دکتر سید ابوالفضل مسعودیان.
- عساکره، حسین، (۱۳۸۷)، کاربرد روش کریجینگ در میانمایی بارش مطالعه موردی: میانمایی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ ایران زمین، جغرافیا و توسعه، ۲۵-۴۲.
- عساکره، حسین، (۱۳۸۶)، تغییر اقلیم، انتشارات دانشگاه زنجان.
- عساکره، حسین، (۱۳۹۰)، مبانی آب‌وهوا شناسی آماری، زنجان، انتشارات دانشگاه زنجان.
- مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۹۰) آب و هوای ایران، مشهد، انتشارات شریعی توس.
- مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۸۳) واکاوی روند دمای ایران در نیم سده‌ی اخیر، پژوهش‌های جغرافیایی و توسعه، شماره ۳، ۱۰۶-۸۹.
- Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M, ... & Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D23).
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., & Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, 111(D5).
- Bonsal, B. R., Zhang, X., Vincent, L. A., & Hogg, W. D. (2001). Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada. *Journal of Climate*, 14(9), 1959-1976.
- Caesar, J., Alexander, L., & Vose, R. (2006). Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres 111 (D5)*, 1-10.
- Dunlop, M., & Brown, P. (2008). Implications of climate change for Australia's national reserve system: a preliminary assessment, Report to the Department of Climate Change, Canberra
- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068-2074.
- Folland, C. K., & Co authors, (2001). Observed climate variability and change. In: *Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 99–181). , Cambridge: Cambridge University Press.
- Jones, P. D., Briffa, K. R., Osborn, T. J., Lough, J. M., Van Ommen, T. D., Vinther, B. M., ... & Xoplaki, E. (2009). High-resolution paleoclimatology of the last millennium: a review of current status and future prospects. *The Holocene*, 19(1), 3-49.

- Kharin, V. V., & Zwiers, F. W. (2005). Estimating extremes in transient climate change simulations. *Journal of Climate*, 18(8), 1156-1173.
- Klein Tank, A. M. G., & Können, G. P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, 16(22), 3665-3680.
- Klein Tank, A. M. G., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., ... & Petrovic, P. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *International Journal of Climatology*, 22(12), 1441-1453.
- Kostopoulou, E., & Jones, P. D. (2005). Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89(1-4), 69-85.
- Loarie, S. R., Duffy, P. B., Hamilton, H., Asner, G. P., Field, C. B., & Ackerly, D. D. (2009). The velocity of climate change. *Nature*, 462(7276), 1052-1055.
- Meehl, G. A., Zwiers, F., Evans, J., Knutson, T., Mearns, L., & Whetton, P. (2000). Trends in extreme weather and climate events: Issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 427-436.
- Pearson, R. G. (2006). Climate change and the migration capacity of species. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(3), 111-113.
- Rayatpisheh, F. (2015). *The analysis of climate variability over Iran in recent decades*. Unpublished doctoral dissertation, University of Isfahan, Isfahan, IRAN. [(in Persian)]
- Robeson, S. M. (2004). Trends in time-varying percentiles of daily minimum and maximum temperature over North America. *Geophysical Research Letters*, 31, 1-4.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., & Miller, H. L. (2007). IPCC, 2007: summary for policymakers. *Climate Change*, 93-129.
- Tank, A. M. G. K., & Konnen, G. P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation, Extremes in Europe, 1946-99. *J. Clim.* 16, 3665-3680.
- Tebaldi, C., Hay Hoe, K., Arblaster, J. M., & Meehl, G. A. (2006). Going to the extremes. *Climatic Change*, 79(3-4), 185-211.
- Vincent, L. A., Aguilar, E., Saindou, M., Hassane, A. F., Jumaux, G., Roy, D., & Montfraix, B. (2011). Observed trends in indices of daily and extreme temperature and precipitation for the countries of the western Indian Ocean, 1961-2008. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, 116(D10).
- Vincent, L. A., et al. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *J. Clime*, 18, 5011-5023.
- Williams, J. W., Jackson, S. T., & Kutzbach, J. E. (2007). Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(14), 5738-5742.
- Yue, S., & Hashino, M. (2003). Temperature trends in Japan: 1900-1996. *Theoretical and Applied Climatology*, 75(1-2), 15-27.

- Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., & Wallis, T. (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110(D22).
- Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W. D., & Niitsoo, A. (2000). Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere-Ocean*, 38(3), 395-429.