مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره هشتم، تابستان ۱۳۹۵
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۹/۲۳
صفحات: ۱۲۲-۹۷

دورنمای اثر گرمایش جهانی بر تغییرات مکانی– زمانی یخبندان‌های کشور

کمال امیدوار*[۱]، رضا ابراهیمی[۲]، مرضیه جمشیدی مطلق[۳]، قاسم لکزاشکور[۴]

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی یخبندان‌های کشور تحت اثر گرمایش جهانی طی دهه‌های آتی می‌باشد . جهت این امر نخست داده‌های دمای حداقل هوا در دو بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ و ۲۰۵۰-۲۰۳۹ از پایگاه داده EH5OM واقع در موسسه ماکس پلانک آلمان تحت سناریو A1B استخراج شد. سپس با استفاده از مدل دینامیکی اقلیم منطقه‌ای دمای حداقل در دو بازه زمانی مذکور در ابعاد ۰/۲۷×۰/۲۷. درجه طول و عرض جغرافیایی که حدوداً نقاطی با ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر مساحت ایران را پوشش می¬دهند ریزمقیاس گردید. هر بازه زمانی ۱۲ سال با ابعاد یاخته‌ای (۲۱۴۰*۴۳۸۰) است که سطرها بیانگر زمان(روز) و ستون‌ها بیانگر مکان(یاخته) می‌باشند.سپس از طریق کد نویسی در نرم‌افزار MATLAB روزهای با دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد استخراج و ضمن پهنه‌بندی روزهای یخبندان کشور در ماه‌های سرد سال ،روند و شیب روند این فرا سنج توسط آزمون‌های من کندال و شیب سنس محاسبه و نقشه‌های آن در نرم‌افزار سور فر ترسیم گردید. نتایج نشان داد که اکثر ماه‌های سرد سال در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ از روزهای یخبندان بیشتری نسبت به بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ برخوردار می‌باشند. بیشترین روزهای یخبندان کشور در ماه فوریه و در نوار کوهستانی زاگرس،آذربایجان و بلندی‌های البرز و خراسان با ۳۰۰ روز نمایان است. بیشترین وسعت مکانی روند منفی روزهای یخبندان کشور نیز در ماه فوریه و در ۱۶ درصد وسعت کشور عمدتاً در نوار کوهستانی مشاهده می‌شود که شیب روند مناطق دارای روند منفی به میزان ۲- روز و مناطق دارای روند مثبت به میزان ۲ روز در سال است.

واژگان کلیدی: روند، شیب روند، مدلEH5OM ، سناریوA1B، ایران

[۱]- استاد اب وهواشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران komidvar@yazd.ac.ir
[۲]- دانشجوی دکتری مخاطرات آب وهواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران ebrahimireza7679@yahoo.com
[۳]- دانشجوی کارشناسی ارشد آب وهواشناسی کاربردی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
[۴]- دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات آب و هواشناسی، دانشگاه گلستان

مقدمه

یکی از چالش‌های قرن ۲۱ میلادی موضوع نوسانات و تغییرات اقلیمی است. دما یکی از عمده‌ترین و اساسی‌ترین عناصر اقلیمی است که به علت اهمیت آن از دیرباز موردتوجه اقلیم شناسان بوده است (عساکره،۱۳۸۸). بر اساس گزارش هیأت بین‌الدول تغییرات اقلیمی دمای سطح کره زمین در فاصله زمانی ۲۰۰۰-۱۸۶۰ میلادی حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش‌یافته است(اگیولرا[1] و همکاران،۲۰۰۸). این در حالی است که رفتار فرا سنج دمای حداقل و حداکثر با یکدیگر متفاوت بوده و دمای حداقل به‌طور آشکاری نرخ افزایشی داشته و باوجود افزایش دمای حداکثر، نرخ آن از نرخ دمای حداقل کمتر بوده است (قهرمان و همکاران،۱۳۹۲). تغییرپذیری اقلیم می‌تواند با استفاده از روش‌های دیرینه اقلیم‌شناسی،تحلیل همدید و مدل‌های آماری،مدل‌های قیاسی و شناسایی علل دینامیکی یک پدیده صورت پذیرد(استانفورد[2]،۲۰۰۷).تغییرات اقلیم آینده عمدتاً از طریق مدل‌های ترکیبی جو اقیانوس[3] و از طریق تخمین میزان خروجی انتشار گازهای گلخانه‌ای و سناریوهای مرتبط با این انتشار که توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (وایلد[4]،۲۰۱۲). در این رابطه، برای شناخت جامع اثرات گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در دوره‌های زمانی آینده، می‌توان از خروجی مدل‌های گردش عمومی (GCM) استفاده کرد که بهترین مطالعات را درباره تغییرات اقلیم در دوره‌های زمانی آینده با توجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای ارائه می‌کنند. تمامی این مدل‌ها وابسته به زمان و دارای شبیه‌سازی‌های عددی سه ّ بعدی شامل حرکات جوی، تبادلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی هستند.(برنستین وهمکاران،۲۰۰۷)[5]. یکی از فراسنج های جوی متأثر از گرمایش جهانی دما و به‌ویژه یخبندان می‌باشد. یخبندان به وضعیتی گفته می‌شود که در آن دمای سطح زمین و اشیایی که در تماس با آن قرار دارند، به صفر یا کمتر از صفر درجه سلسیوس کاهش یابد. در زمینه مطالعات انجام‌شده درباره این فرا سنج می‌توان به مواردی در خارج از کشور اشاره داشت.

کواین ولین[6] (۲۰۰۴)در تحقیقی روند شاخص‌های دمایی کشور چین را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد یک کاهش در طول دوره یخبندان در این کشور رخ‌داده، به نحوی‌که به تبع افزایش دمای حداقل طول روزهای همراه با یخبندان در نواحی شمالی و طول دوره یخبندان‌در بخش‌های شمال بخش‌های جنوبی منطقه جنوب شرقی با کاهش مواجه است. اینساف و همکاران (۲۰۱۲)[7] ، با بررسی روندهای اقلیمی در نیویورک به این نتیجه رسیدند که تعداد روزهای یخبندان ۰/۹۷ روز در هر دهه در این منطقه با کاهش مواجه است. داشخو و همکاران[8](۲۰۱۵) در پژوهشی نشان دادند که یک افزایش حدود ۱۵روزه در ۵۰ سال گذشته در تعداد روزهای یخبندان کشور مغولستان رخ‌داده

[1]- Aguilera et al
[2]- Stanford
[3]- Aogcms
[4]- Vaild
[5]- Bernstein et al.
[6]- Qian. and Lin
[7]- Insaf et al.
[8]-Dashkhuu et al.

است. از مطالعات داخلی نیز می‌توان به مواردی اشاره داشت. بابائیان و همکاران (۱۳۸۴) به مدل‌سازی اقلیم ایران در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰برای چهل‌وسه ایستگاه سینوپتیک با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین دما در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰میلادی به طور متوسط ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ افزایش خواهد یافت. حجار پور و همکاران(۱۳۹۳) به بررسی آزمون دقت شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در سه اقلیم مختلف پرداخته‌اند.در این مطالعه از سه مدل CLIMGEN، LARS-WG و Weatherman برای پیش‌بینی در مقیاس ریز و در حد ایستگاه‌های هواشناسی برای متغیرهای اقلیمی حداکثر دما، حداقل دما، بارندگی و تابش خورشیدی برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ در سه منطقه گرگان، گنبد و مشهد انجام شد نتایج این مطالعه نشان داد در بین مدل‌ها، مدل LARS-WG بیشترین توانایی را برای شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما در منطقه‌های گرگان و مشهد دارد. عباس نیا وهمکاران(۱۳۹۴) تغییرات دمای حداکثر روزانه بر روی کشور ایران در دو دوره زمانی ۷۰-۲۰۴۱ و۹۰-۲۰۷۱را بر اساس خروجی دو مدل گردش عمومی جو Hadcm3 و CGCM3 تحت سناریوهای انتشار موجود B2 , B1 ,A1B, A2 موردبررسی مقایسه‌ای قراردادند. یافته‌های پژوهش نشان داد که دمای ایران به‌طور متوسط در دهه‌های میانی و پایانی قرن بیست و یکم، بین ۱ تا ۲ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد، که البته این افزایش دما بر اساس سناریوهای مختلف مدل Hadcm3 نسبت به مدل CGCM3 شدیدتر بوده است. نظری پور و زهرایی(۱۳۹۲) در پژوهشی تغییرات مؤلفه‌های دمایی استان فارس برای دهه‌های آینده با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی جو شبیه‌سازی و اجرا نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که در دوره اقلیمی آینده تمامی عناصر اقلیمی تغییرات محسوسی را تجربه خواهند کرد. مؤلفه‌های دمایی شبانه و روزانه افزایش می‌یابند. میزان افزایش برای دمای شبانه بیش از دمای روزانه است. محمودی و همکاران(۱۳۹۲) در تحقیقی ویژگی‌های روزهای یخبندان را در ایران بر اساس شاخص‌های میانگین شروع و پایان یخبندان، فراوانی روزهای یخبندان، طول فصل یخبندان و طول فصل رشد بررسی کردند. آن‌ها بر اساس این شاخص‌ها ایستگاه‌های ایران را به شش خوشه متمایز تقسیم‌بندی نمودند که هر خوشه ویژگی‌های خاص خود را ازنظر یخبندان دارد. احمدی و زهرایی(۱۳۹۳) در پژوهشی به بررسی شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر یخبندان‌های زاهدان با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی جو پرداختند. در این پژوهش تعداد ده مدل گردش عمومی جو بررسی شد. نتایج نشان داد ،تعداد یخبندان‌های سالانه در آینده حدود ۱۸ روز نسبت به دوره حاضر کاهش خواهد یافت. بازه زمانی یخبندان‌های شدید و خیلی شدید از هفت ماه در دوره آماری حاضر به پنج ماه در دوره آماری آینده تقلیل خواهد یافت. مرادیان و همکاران(۱۳۹۳) به ارزیابی توان مدل اقلیمی- منطقه‌ای RegCM4 در شبیه‌سازی یخبندان فراگیر منطقه ایران در دسامبر۲۰۰۳ پرداخته‌اند. در این پژوهش شبیه‌سازی باقدرت تفکیک افقی x45 KM۴۵ و گام زمانی ۶ ساعته، برای دوره ۲۰ نوامبر تا ۲۰ دسامبر ۲۰۰۳ میلادی، صورت گرفته است نتایج مقایسه از نقشه خروجی مدل RegCM4 و نقشه دمای ایستگاهی، مشابهت میدان دمایی درروند وقوع یخبندان را جز در نواحی مرکزی ایران، در نواحی شمال، شمال غرب، غرب، جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق منطقه ایران نشان می‌دهد. به‌طورکلی مدل RegCM4 از توانمندی نسبتاً زیاد و خوبی در شبیه‌سازی میدان میانگین دما برخوردار است. خسروی و همکاران(۱۳۹۴) در پژوهشی تحلیل همدید یخبندان زمستانه منطقه سیستان پرداخته‌اند. روش مورداستفاده در این تحلیل رویکرد

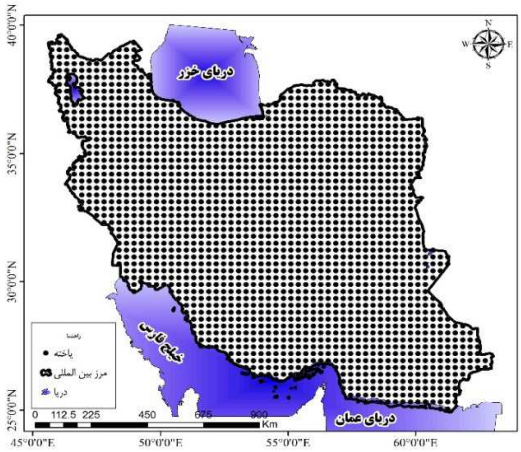
محیطی به گردشی می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که افت فشار منطقه در اثر فعالیت سامانه چرخندی بالخاش و همچنین نفوذ هم‌زمان فرود ناشی از جریان‌های غربی به نواحی غرب ایران عامل ایجاد یخبندان و تداوم آن در منطقه سیستان می‌باشد. محمدی و همکاران(۱۳۹۴) به بررسی روند روزهای یخبندان در ایران پرداختند. جهت انجام این کار از داده‌های روزانه دمای حداقل هوا مربوط به ۴۴ ایستگاه سینوپتیک کشور استفاده شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد در دوره مطالعاتی، بیشتر ایستگاه‌های کشور روند روزهای همراه با یخبندان دارای شیب منفی است.همچنین باوجود کاهش روزهای یخبندان در بیشتر ایستگاه‌ها، در برخی از ایستگاه‌ها نیز یک شیب ملایم مثبت در تعداد روزهای یخبندان وجود داد. بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه سمنان با ۵/ روز افزایش در هر سال می‌باشد. مسعودیان و دارند(۱۳۹۴)به بررسی روند تعداد روزهای یخبندان ایران پرداختند در این پژوهش به کمک داده‌های میانیابی شده‌ی دمای کمینه‌ی ایران روند تعداد روزهای یخبندان بررسی‌شده است. برای شناسایی روند از آزمون نا پارامتری من- کندال و برای محاسبه‌ی شیب روند از آزمون خطی رگرسیون به روش حداقل مربعات استفاده‌شده است نتایج پژوهش نشان داد که در بیشتر گستره‌ی ایران، روند تعداد روزهای یخبندان رو به کاهش است. این مناطق بر روی شمال غرب و مناطق پست و هموار نواحی جنوبی، مرکزی و شرق ایران قرار دارد.

امروزه در بحث شبیه‌سازی فراسنج های جوی به‌ویژه یخبندان با مدل‌های اقلیمی اندک مطالعاتی در کشور انجام‌شده که ازنظر بازه زمانی و مکانی محدود و اغلب یک استان را شامل شده و مدل ریزمقیاس نمایی داده‌ها نیز از نوع آماری استفاده گردیده است لذا با توجه به اینکه یخبندان به‌ویژه در فصول بهار و پاییز در زمینه کشاورزی و در فصل زمستان در زمینه مصرف انرژی جهت گرمایش ساختمان‌ها دارای کاربرد اساسی است و مدل‌های دینامیکی جهت ریزمقیاس نمایی داده‌ها از برتری نسبی به مدل‌های آماری برخوردار می‌باشند، یخبندان کشور و تغییرات مکانی زمانی و شبیه‌سازی آن با مدل‌های دینامیکی عمده‌ترین هدف ما را در این پژوهش به خود اختصاص داد.

داده‌ها و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه کشورایران است. کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع میان ۲۵ تا ۴۰ درجهٔ عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجهٔ طول شرقی واقع شده است.



شکل۱: محدوده مورد مطالعه (پاخته‌ها با ابعاد ۳۰*۳۰)

توصیف و برتری مدل EH5OM نسبت به مدل‌های دیگر

تجزیه و تحلیل تغییرات آب و هوایی در اغلب موارد بر اساس یک مدل انجام می‌گیرد که دارای نقطه‌ضعف در مقایسه با رویکرد چند مدلی است (روکنر و همکاران،۲۰۰۳)[1]. لذا جهت بهترشدن عملکرد شبیه‌سازی در پژوهش‌ها از مدل‌های ترکیبی استفاده می‌گردد. مدل‌ترکیبی EH5OM یکی از موفق‌ترین مدل‌های CMIP3 در شبیه‌سازی آب‌وهوا نسبت به مدل‌های قرن بیستم است.EH5OM یکی از مدل‌های ترکیبی جو- اقیانوس می‌باشد(AOGCMs) که ECHAM5 مربوط به مدل اتمسفری وMPI-OM مربوط به مدل اقیانوسی است.ECHAM با هسته دینامیکی طیفی و قدرت تفکیک T63L31 است(ریچارد وکیم،۲۰۰۸؛ روکنر و همکاران،۲۰۰۳). طرح‌واره‌های مورد استفاده در مدل EH5OM در جدول شماره (۱) ارائه‌شده است.

جدول ۱: طرح‌واره‌های مورداستفاده در مدل EH5OM (*منبع: نیلی وهمکاران،۲۰۱۰*)[2]

نام مدل	ارائه‌دهنده
شرایط ثانویه مرزی	Holtslag PBL (1990)
شرایط اولیه مرزی	Holtslag PBL (1990)
شرایط همرفتی	Emanuel (1991)
گرل، طرح خوشه‌بندی (کومولوس)	Arakawa & Schubert(1974)
رطوبت	Subex, pal et al. (2000)
نیروی گرادیان فشار	Arakawa & Schubert(1974)

[1] - Roeckner et al.

[2] - Nellie et al

همان‌گونه که در جدول(۲) که توسط موسسه ماکس پلانک انتشار یافته مشاهده می‌شود سناریوهای این مدل تحت شرایط گازهای گلخانه‌ای(دی‌اکسید کربن وسولفورجو) برای دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۰۰ شبیه‌سازی شده‌اند. که در این پژوهش از داده‌های سناریوA1B طی دو بازه زمانی ۲۰۲۶- ۲۰۱۵ و ۲۰۵۰-۲۰۳۹ استفاده گردید. این سناریو بر این عقیده است که در آینده، میزان سوخت‌های فسیلی با حفظ تعادل مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین در کنار آن از سوخت‌های غیر فسیلی استفاده شود.

جدول ۲: میزان شبیه‌سازی‌شده خروج دی‌اکسید کربن و سولفور جو طبق سناریوهای انتشار دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۰۰(*روکنر وهمکاران،۲۰۰۶*)

	CO_2-Emissions (PgC/Year)			SO_2-Emissions (TgS/Year)		
Year	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1
2000	8	8	8	69	69	69
2020	12	13	11	100	100	75
2040	16	15	12	109	69	79
2060	19	16	10	90	47	56
2080	23	15	7	65	31	36
2100	29	13	4	60	28	25

گام زمانی داده‌های این مدل به صورت شش‌ساعته می‌باشد. ابعاد شبکه داده‌های مدل گردش عمومی مورد استفاده ۱/۷۵*۱/۷۵ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد.با توجه به اینکه این پژوهش بعد منطقه‌ای(ایران) دارد و مدل‌های گردش عمومی هوا کل سیاره زمین را در برمی‌گیرند و قدرت تفکیک پایینی دارند(۲۰۰*۲۰۰ کیلومتر). لذا قادر به آشکارسازی رفتار اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای نیستند. بدین‌جهت در این پژوهش جهت ریزمقیاس نمایی داده‌ها از مدل اقلیم منطقه‌ای[1] استفاده شد.

خصوصیات مدل ریزمقیاس نمایی اقلیم منطقه‌ای(RegCM4)

مدل اقلیم منطقه‌ای در آغاز کار خود جهت شبیه‌سازی‌های بلندمدت به‌کاربرده می‌شد . این مدل توسط بسیاری از متخصصان کشورهای صنعتی جهت پیشبرد اهداف کشورشان در مرکز بین‌المللی فیزیک نظری عبدالسلام[2] طراحی گردید(پال وهمکاران[3]،۲۰۰۷). اولین نسخه مدل اقلیم منطقه‌ای در سال ۱۹۸۰ توسعه یافت(RegCM1,دیکنسون و همکاران،۱۹۸۹). نسخه دوم این مدل در اواخر سال ۱۹۹۰ ، سومین نسخه مدل اقلیم منطقه‌ای در سال ۲۰۰۰ (RegCM3،پال و همکاران ۲۰۰۷) و سرانجام جدیدترین نسخه مدل اقلیم منطقه‌ای در سال ۲۰۱۰ با عنوان RegCM4 در مرکز این مرکز منتشر شد. مدل مورداستفاده در این پژوهش، نسخه چهارم مدل اقلیم منطقه‌ای است. این مدل از معادلات هیدروستاتیک استفاده می‌کند، سیستم مختصات آن همانند مدل هواشناسی

1- Regional Climate Model

2- http://users.ictp.it/RegCNET

3- Pal et al

میان‌مقیاسMM4، سیگما است(پال وهمکاران،۲۰۰۶؛ انتس وهمکاران[1]،۱۹۸۷). قدرت تفکیک قائم مدل شامل ۱۸ سطح است که ۷ سطح آن زیر لایه ۸۰۰ هکتو پاسکال قرار دارد. مدل برای اجرا، به داده های توپوگرافی (GTOPO)، پوشش سطح زمین(GLCC)، دمای سطح دریا(SST) و شرایط اولیه و مرزی نیاز دارد. داده‌های GLCC با استفاده از سنجندهAVHRR از آوریل ۱۹۹۲ تا مارس ۱۹۹۳ موجود است و بر اساس نوع پوشش گیاهی و سطح زمین، توسط طرح‌واره BATS تعیین می‌شود. مبادله انرژی رطوبت، اندازه حرکت بین سطح زمین و اتمسفر با استفاده از مدلBATSE محاسبه می‌شود(دیکنسون وهمکاران[2]،۱۹۹۳). از طرح‌واره لایه‌مرزی سیاره‌ای که توسط هالتسلاگ و همکارانش تدوین شده، استفاده می‌کند.(هولتسلگ وهمکاران[3]،۱۹۹۰).

بعد از ریزمقیاس نمایی، دمای حداقل هوا با ابعاد ۰/۲۷*۰/۲۷. درجه که حدوداً نقاطی با ابعاد ۳۰*۳۰ کیلومتر مساحت ایران را پوشش می‌دهند در دو بازه زمانی ۱۲ ساله(۲۰۵۰-۲۰۵۰،۲۰۱۵-۲۰۳۹) در ماتریسی به ابعاد ۲۱۴۰*۴۳۸۰ تحت سناریو A1B استخراج شد. در این ماتریس سطرها(۴۳۸۰) نشان‌دهنده زمان(هر روز، هر سال) و ماتریس ستون‌ها یاخته‌ها(نقاط میان یابی شده با ابعاد ۳۰*۳۰ کیلومتر) برای هر دوره می‌باشند. جهت محاسبه روزهای یخبندان نخست روزهای با دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد در دو بازه زمانی مذکور در نرم‌افزار متلب مشخص گردید و جمع ماهانه روزهای یخبندان طی دو دوره مورد نظر در ماتریسی به ابعاد ۲۱۴۰*۱۲محاسبه که عدد ۱۲ هر یک از ماه‌های سال است و نقشه جمع ماهانه یخبندان ماه‌های سرد سال در نرم‌افزار سور فر ترسیم گردید. سپس از طریق آزمون من کندال روند ماهانه روزهای یخبندان در همان ماتریس و ابعاد محاسبه و نقشه‌های آن ترسیم گردید که فرمول محاسبه آن به شرح زیر می‌باشد.

آزمون من کندال

آزمون روند چندین دهه است که توسط آبشناسان و پژوهشگران جهت شناسایی رفتار متغیرهای هیدرولوژیکی – هواشناسی مانند بارش ،دما و موارد دیگر استفاده می‌شود(کین وهمکاران،۲۰۱۰). در ابتدا من(Mann) در سال ۱۹۴۵این آزمون را ارائه کرد و سپس توسط کندال(Kendall) به صورت آزمون آماری بسط و گسترش یافت. این آزمون بدون توجه به خطی یا غیرخطی بودن روند، جهت شناسایی معنی‌داری روند به لحاظ آماری هر سری زمانی کاربرد دارد. امروزه این آزمون توسط سازمان هواشناسی جهانی برای شناسایی روند پیشنهاد می‌گردد(مسعودیان،۱۳۹۳).

الف) ابتدا بر اساس آماره S اختلاف بین تک تک مشاهدات(روزهای یخبندان) را با همدیگر محاسبه می‌کنیم.

---

[1]- Anthes et al

[2]- Dickinson et al

[3]- Holtslag et al

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{i=k+1}^{n} sgn(xj - xk) \quad (۱)$$

ب)که $j > i$ است و n تعداد کل مشاهدات ،x_j وx_k به ترتیب مقادیر j و k سری می‌باشد. خروجی تابع بالا علامت هر سری را بصورت زیر روشن می‌کند.

$$sgn(xj - xk) = \begin{cases} +1 (xj - xk) > \\ 0. (xj - xk) = 0 \\ -1 (xj - xk) < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

پ)بعد از تعیین علامت، واریانس هر کدام از مشاهدات را با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌کنیم. تعداد مشاهدات باید بزرگ‌تر از ۱۰ باشد($n > 10$).

$$V(S) = \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad (۳)$$

ج)مرحله بعد محاسبه آماره Z است.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{var}} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{var}} & s < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

د)مرحله بعد آزمون فرض است .فرض صفر برعدم وجود روند و تصادفی بودن آن دلالت دارد و بدین معنی است که Z آماری معنی‌داری نیست(برای مثال دما و دوره‌ی تر و خشک وجود ندارد). زمانی این فرض تأیید می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد.

$$-Z\alpha/2 < Z < Z\alpha/2 \quad (۵)$$

مقادیر $Z\ \alpha/2$ انحراف نرمال استاندارد(Z جدول) است. فرض مقابل یا فرض یک‌بر وجود روند دلالت دارد و بدین معنی است که Z به لحاظ آماری معنی‌دار است. زمانی این فرض تأیید می‌شود که $Z < -Z\alpha/2$ است. در برخی پیمان گاه‌ها روند دما مثبت (گرمایش) و در برخی دیگر از آن‌ها روند دما منفی (سرمایش) یا برخی ماه‌ها مرطوب و برخی دیگر خشک هستند. بنابراین فرضیه‌ها در چنین مواردی دوطرفه انتخاب می‌شوند سطح معنی‌داری در این پژوهش α=۰/۰۵ می‌باشد بنابراین با توجه به دوطرفه بودن آزمون میزان z جدول برابر ۱/۹۶خواهد بود(مسعودیان وهمکاران،۱۳۹۳). درنهایت از طریق شیب سن میزان شیب روند روزهای یخبندان محاسبه گردید و نقشه آن ترسیم شد.

شیب سنس

جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک روند در یک سری زمانی، استفاده از روش ناپارامتریک سنس می‌تواند یکی از روش‌های مناسب در این زمینه باشد. این روش ابتدا توسط تیل در سال ۱۹۵۰ ارائه و سپس توسط سن در سال

۱۹۶۸ بسط و گسترش داده شد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های نا پارامتریک همچون من – کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری استوار است. اگر روند در سری داده‌ها مشاهده شد، شیب واقعی(میزان تغییر در واحد زمان) را می‌توان با استفاده از روش نا پارامتری ساده سنس توسعه داده شد برآورد نمود(ویو کاناندان[1]،۲۰۰۷).ابتدا باید شیب هر جفت داده‌ی متوالی سری را از رابطه زیر به دست آورد:

$$\text{for i=1,2…..n } Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j-k} \quad (۱)$$

که در این رابطه x_j و x_k به ترتیب مقادیر داده‌ها در زمان j و k است که با هم یک واحد زمانی اختلاف دارند. مقدار میانه n برآورد شده شیب نمودار سنس است. اگر n فرد باشد، برآورد کننده شیب سنس به این صورت محاسبه خواهد شد:

$$Q_{med} = Q_{(n+2)/2} \quad (۲)$$

و اگر n زوج باشد، برآورد کننده شیب سنس از این رابطه به دست می‌آید:

$$Q_{med} = (Q_{(n)/2} + Q_{(n+2)/2})/2 \quad (۳)$$

اگر مقدار Q_{med} را با آزمون دوطرفه در سطح اطمینان ٪ (۱-α)۱۰۰ بررسی می‌شود. شیب واقعی نمودار روند را می‌توان به دست آورد(ویو کاناندان،۲۰۰۷:۱۰۵). اگر عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج‌شده قرار بگیرد فرض صفر تأیید شده و درنتیجه بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ روندی را در سطح اطمینان مورد نظر نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطح اطمینان مورد آزمون است.

نتایج و بحث

واکاوی مکانی زمانی جمع ماهانه روزهای یخبندان شبیه‌سازی‌شده تحت مدل EH5OM

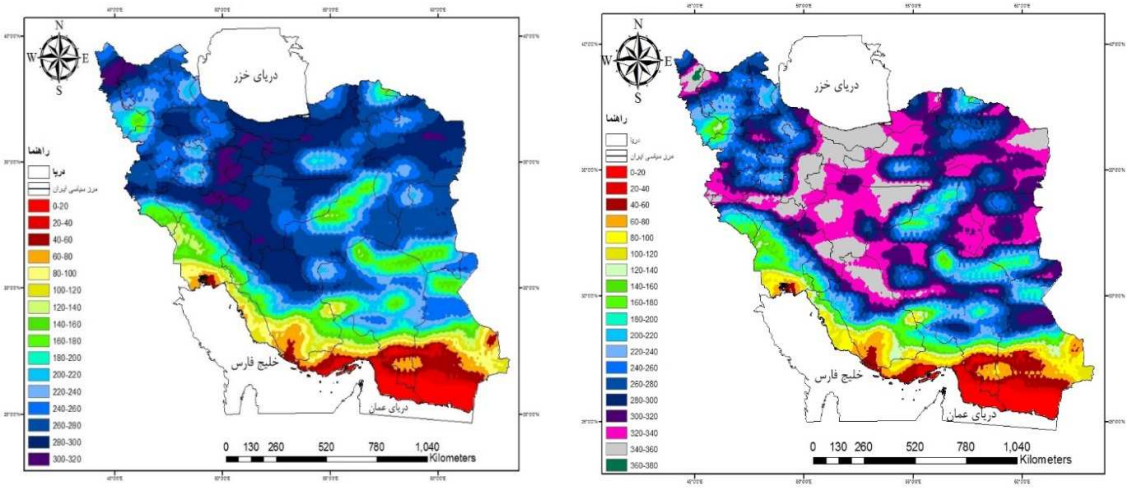
جمع ماهانه تعداد روزهای یخبندان کشور در دو بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ و ۲۰۵۰-۲۰۳۹ توسط مدل **EH5OM** تحت سناریو **A1B** در ماه‌های سرد سال شبیه‌سازی شد. از آنجا که سناریوهای این مدل دارای حجم سنگینی از داده‌ها است و جهت ریزمقیاس نمایی آن‌ها نیاز به سیستم‌های پیشرفته می‌باشد لذا به دلیل محدودیت بر آن شدیم که در این پژوهش تنها سناریو A1B را که نزدیک‌تر به نتایج تعهدات، نشست‌ها و کنفرانس‌های تغییر اقلیم بوده و بر این عقیده است که در آینده، میزان سوخت‌های فسیلی با حفظ تعادل استفاده گردد و در کنار آن از سوخت‌های غیر فسیلی استفاده شود را بکار گیریم. همچنین جهت دست‌یابی به یک دورنمایی از تغییرات روزهای یخبندان و به

[1]- Vivekanadan

دلیل محدودیت‌های ذکرشده بالا در این پژوهش به عنوان نمونه از دو بازه زمانی ۱۲ ساله جهت واکاوی و تحلیل مقایسه‌ای روزهای یخبندان و تغییرات آن بر روی گستره ایران به شکل یاخته‌ای استفاده گردید. همان‌گونه که در شکل‌های (۱تا ۷) مشاهده می‌شود تعداد روزهای یخبندان کشور در ماه‌های سرد سال در هر دو بازه زمانی۲۰۲۶-۲۰۱۵ و۲۰۵۰-۲۰۳۹ در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای دارای فراوانی بیشتری نسبت به سایر نقاط کشور می‌باشد. همچنین کمترین تغییرات در روزهای یخبندان کشور را در هردو بازه زمانی ماه‌های مارس،آوریل، اکتبر و نوامبر دارا می‌باشند که روزهای یخبندان مناطق مختلف در هر دو بازه زمانی تقریباً به یک اندازه می‌باشند. البته در ماه‌های ژانویه،فوریه و دسامبر بعضاً در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای کشور روزهای یخبندان در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ از فراوانی بیشتری نسبت به بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ البته برحسب تخمین سناریو این مدل می‌باشد که ناشی از تغییرات دمای حادث‌شده در این دوره است. این در حالی است که دشت‌ها ،چاله‌های داخلی و بیرونی از کمترین تغییرات در تعداد روزهای یخبندان طی دو بازه زمانی برخوردار می‌باشند.

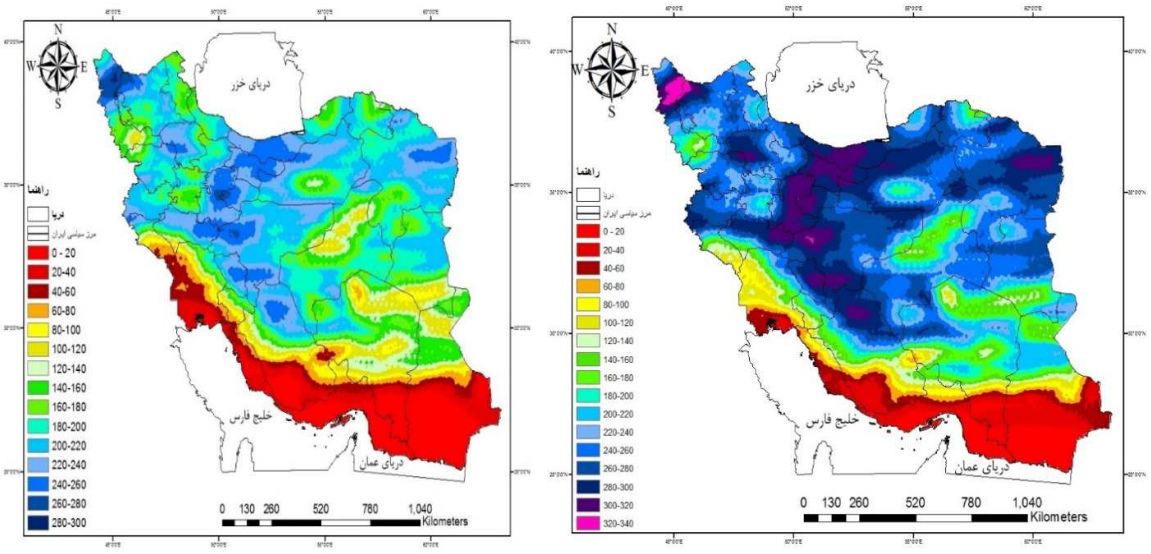
در ماه ژانویه جلگه‌ها و سواحل جنوبی کمترین روزهای یخبندان را در کشور طی بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ به میزان ۲۰ روز داشته که طی دوره دوم از روزهای یخبندان این منطقه به شکل قابل‌ملاحظه‌ای کاسته شده است. در بقیه ماه‌های سال نیز این منطقه فاقد روزهای یخبندان در هر دو دوره می‌باشد. در واقع به نظر می‌رسد بیشترین گرم شدگی هوا در جلگه‌ها و سواحل جنوبی کشور اتفاق افتد به‌گونه‌ای که این نتایج با نتایج روشن و همکاران در سال ۲۰۱۲ که با استفاده از مدل HadCm3 درجه روزهای سرمایش کشور را محاسبه و به این نتیجه رسیدند که طی دهه‌های آتی بیشترین گرم شدگی هوا در نوار جنوبی است هم‌راستاست. همچنین در این ماه در بازه زمانی دوم از روزهای یخبندان نوار کوهپایه و دشت‌های داخلی و بیرونی و جنوب شرق کشور به میزان ۲۰ تا ۴۰ روز کاسته شده است . درکل در ماه ژانویه به‌ویژه در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ دمای هوای برخی از مناطق گرم کشور روندی افزایشی داشته است. این در حالی است که در این ماه شاهد افزایش نسبی روزهای یخبندان در مناطق کوهستانی زاگرس،البرز و خراسان می‌باشیم شکل (۱). در ماه فوریه جلگه‌ها و سواحل جنوبی فاقد روزهای یخبندان می‌باشند . بیشترین روزهای یخبندان را در هر دو دوره نوار کوهستانی زاگرس، آذربایجان، البرز و خراسان خواهند داشت. روزهای یخبندان با ارتفاع رابطه مستقیم دارد به‌گونه‌ای که مناطق مرتفع‌تر از روزهای یخبندان بیشتری برخوردار می‌باشند در این ماه دشت‌های داخلی و توده‌های کوهستانی از بیشترین تغییرات افزایشی در میزان روزهای یخبندان نسبت به سایر نقاط کشور در دوره آماری ۲۰۵۰-۲۰۳۹ به نسبت به دوره اول برخوردار می‌باشند شکل(۲). در ماه‌های مارس، آوریل، اکتبر و نوامبر شاهد کمترین تغییرات مکانی در تعداد روزهای یخبندان درطی دو بازه زمانی در کشور می‌باشیم. نوار یک‌سوم جنوبی و سواحل خزر در طی ماه‌های ذکرشده فاقد روزهای یخبندان خواهند بود که این نتایج با نتایج پژوهش فرج زاده و حسینی(۱۳۸۹) که بیان داشتند جلگه‌ها و سواحل جنوبی فاقد یخبندان در طول ماهای سرد سال می‌باشد دردهه‌های آینده نیز صدق کرده و هم‌راستاست. بلندی‌های زاگرس و آذربایجان با ۲۸۰ روز بیشترین یخبندان‌های کشور را خواهند داشت که بیشینه آن در شمال کردستان و تبریز با ۳۰۰ روز می‌باشد . به‌جز مناطق ارتفاعی که شاهد افزایش جزئی در روزهای یخبندان می‌باشند چاله‌های داخلی و سواحل تغییراتی در میزان روزهای یخبندان در هر دو دوره نخواهند داشت شکل(۳). در میان ماه‌های سرد سال آوریل و

اکتبر کمترین روزهای یخبندان را در کشور خواهند داشت. در ماه آوریل یخبندان کشور محدود به نوار کوهستانی زاگرس، بخش‌هایی از یزد و کرمان، فلات آذربایجان و ارتفاعات خراسان رضوی و جنوبی می‌باشد و بقیه نقاط کشور در هردو بازه زمانی فاقد یخبندان می‌باشند که بیشینه یخبندان در این ماه را بلندی‌های زاگرس و آذربایجان به میزان ۸۰ روز خواهند داشت. همچنین طی این ماه بلندی‌های شمال کردستان و همدان در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ شاهد کاهش ۱۰ تا ۱۵ روزی روزهای یخبندان نسبت به دوره اول می‌باشند شکل (۴). در ماه اکتبر در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵یخبندان کشور محدود به استان یزد و خراسان جنوبی شده که روزهای یخبندان به‌جز بلندی‌های یزد که ۴۰ روز می‌باشد در بقیه مناطق این دو استان ۲۰ روزه خواهد بود. این در حالی است که در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ این ماه علاوه بر اینکه تعداد روزهای یخبندان افزایش می‌یابد مناطق وسیع‌تری از این دو استان و حتی شمال کرمان ، شهرکرد و غرب زنجان را نیز یخبندان فراگرفته که بیشترین میزان را بلندی‌های خراسان جنوبی و یزد به میزان ۴۰ روز خواهند داشت شکل (۵). این نتایج با نتایج پژوهش مسعودیان و همکاران(۱۳۹۳) که بیان داشتند نوار کوهستانی خراسان جنوبی در طی دوره ۱۳۸۴-۱۳۴۰ روند افزایشی نیاز گرمایش و سردتر شدن هوا را در پاییز تجربه می‌کند هم‌راستاست. در ماه نوامبر پهنه وسیع‌تری از کشور درگیر یخبندان شده به‌گونه‌ای که بخش‌های کوهستانی کشور در این ماه با روزهای یخبندان ۱۸۰-۱۰۰ روز بیشترین میزان را در کشور خواهند داشت که بیشینه آن در بلندی‌های زاگرس جنوبی در شمال یاسوج، شمال فارس و بخش‌های جنوبی یزد به میزان ۱۸۰ روز خواهد بود. بلندی‌های کوهستانی زاگرس ، نوار کوهپایه‌ای کشور و توده‌های کوهستانی خراسان در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره اول با افزایش ۴۰ روزی روزهای یخبندان مواجه شده است شکل(۶). در ماه دسامبر نیز در هر دو بازه زمانی نوار کوهستانی کشور به‌ویژه بلندی‌های این نقاط از بیشترین روزهای یخبندان برخوردار می‌باشند در این ماه نیز نوار کوهستانی و کوهپایه‌ای کشور در بازه زمانی دوم شاهد افزایش ۴۰ روزی میزان یخبندان می‌باشند شکل(۷).



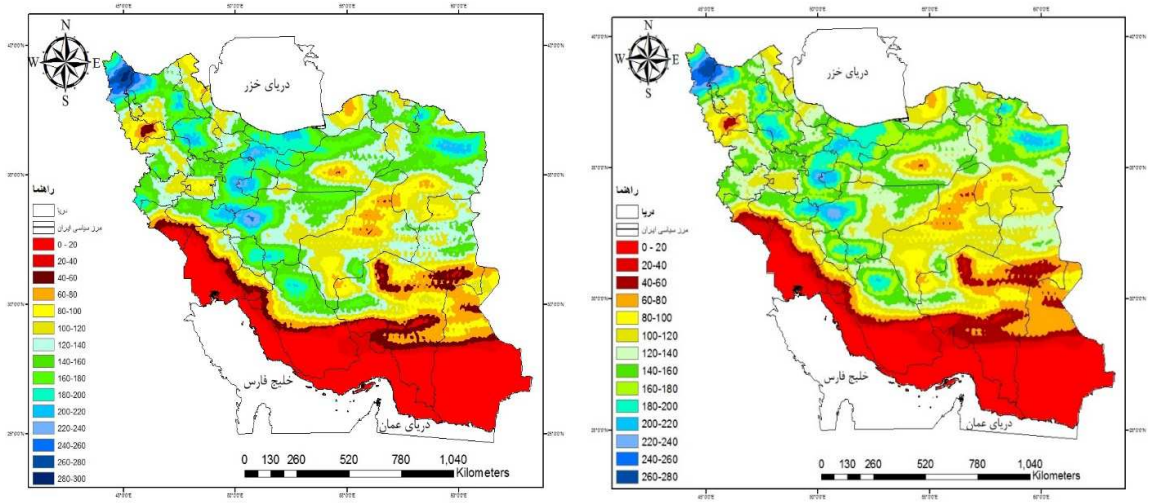
مجموع روزهای یخبندان ماه ژانویه طی دوره آماری۲۰۵۰-۲۰۳۹ مجموع روزهای یخبندان ماه ژانویه طی دوره آماری۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۱: (*منبع نگارندگان*)



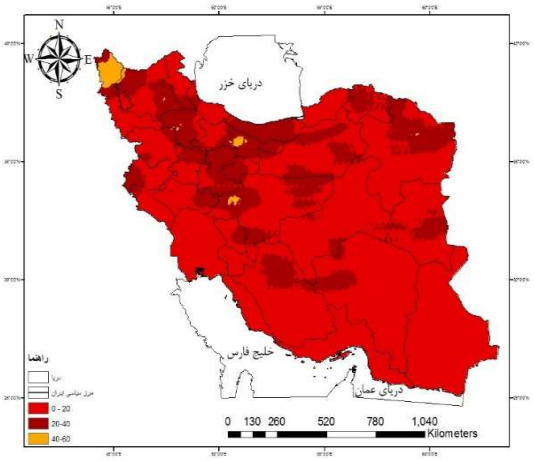
مجموع روزهای یخبندان ماه فوریه طی دوره آماری۲۰۵۰-۲۰۳۹ مجموع روزهای یخبندان ماه فوریه طی دوره آماری۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۲: (*منبع نگارندگان*)

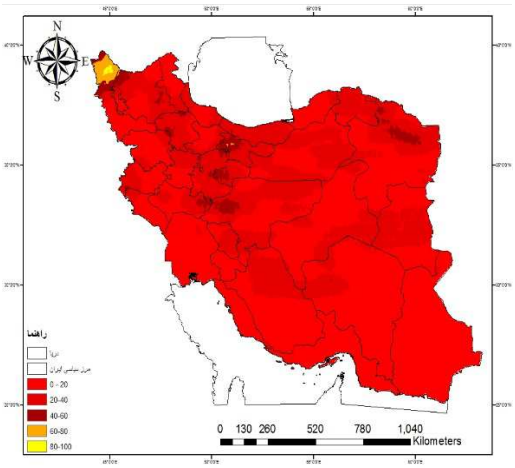


مجموع روزهای یخبندان ماه مارس طی دوره آماری۲۰۵۰-۲۰۳۹ مجموع روزهای یخبندان ماه مارس طی دوره آماری۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۳: (*منبع نگارندگان*)

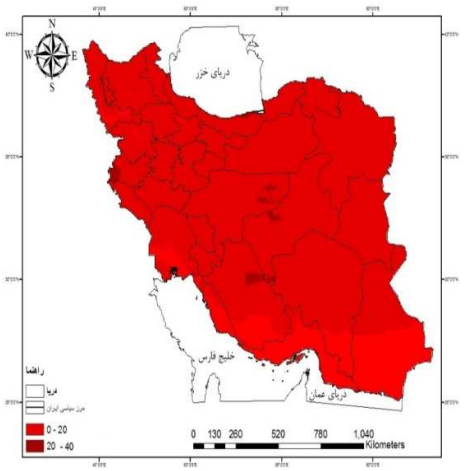


مجموع روزهای یخبندان ماه آوریل طی دوره آماری ۲۰۵۰-۲۰۳۹

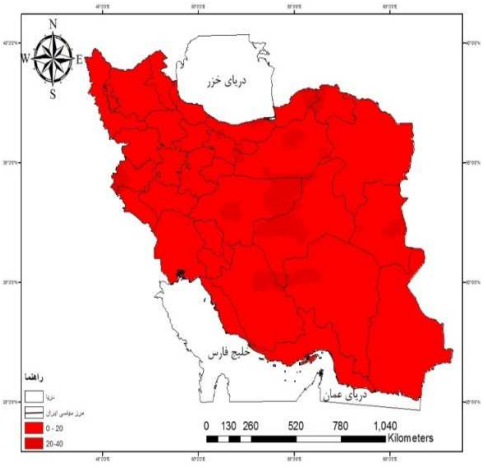


مجموع روزهای یخبندان ماه آوریل طی دوره آماری۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۴: (*منبع نگارندگان*)

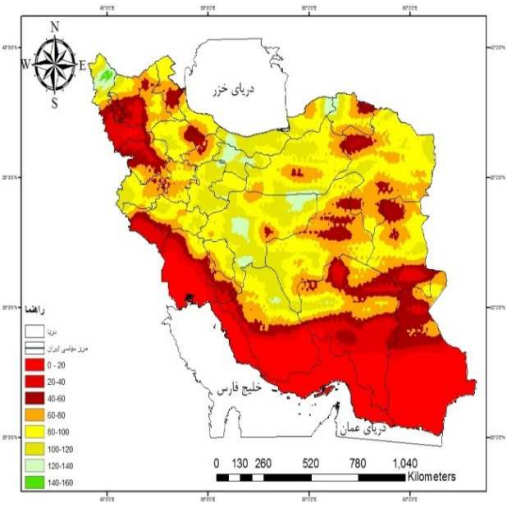


مجموع روزهای یخبندان ماه اکتبر طی دوره آماری ۲۰۵۰-۲۰۳۹

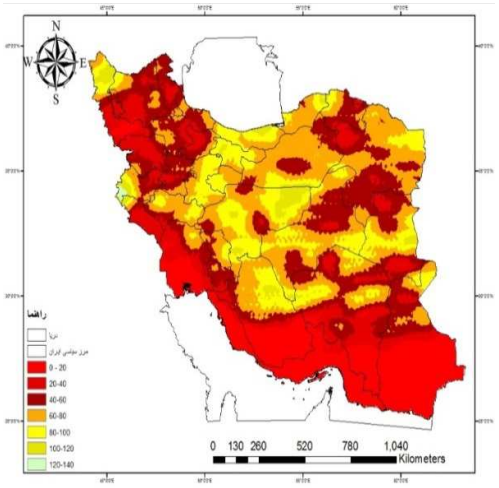


مجموع روزهای یخبندان ماه اکتبر طی دوره آماری۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۵: (*منبع نگارندگان*)

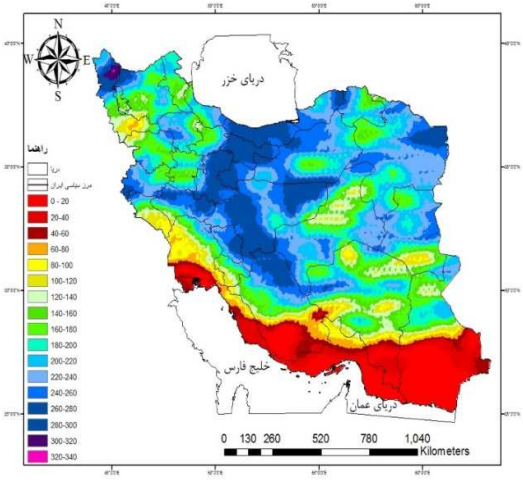


مجموع روزهای یخبندان ماه نوامبر طی دوره آماری ۲۰۵۰-۲۰۳۹

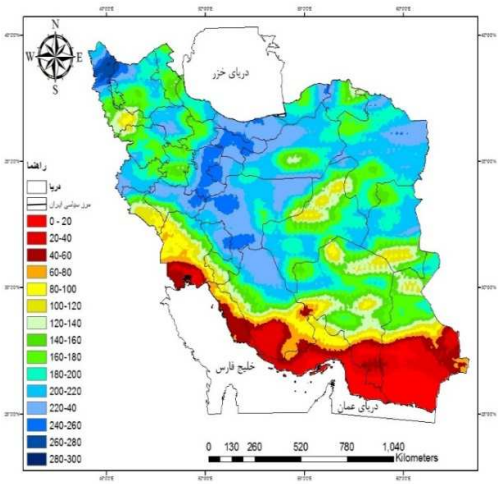


مجموع روزهای یخبندان ماه نوامبر طی دوره آماری۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل۶: (*منبع نگارندگان*)



مجموع روزهای یخبندان ماه دسامبر طی دوره آماری ۲۰۵۰-۲۰۳۹



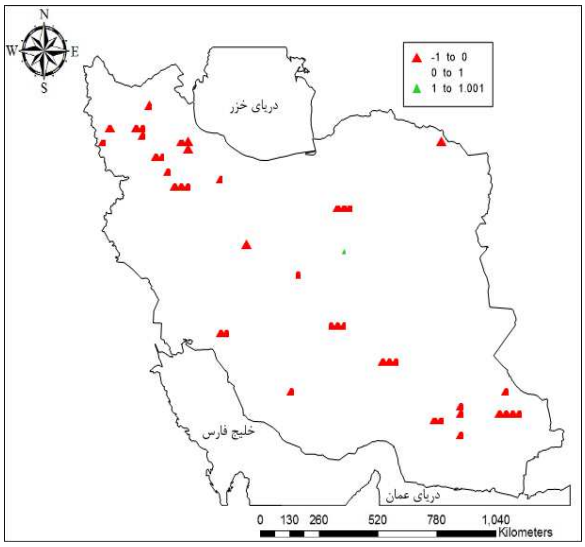
مجموع روزهای یخبندان ماه دسامبر طی دوره آماری۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۷: (*منبع نگارندگان*)

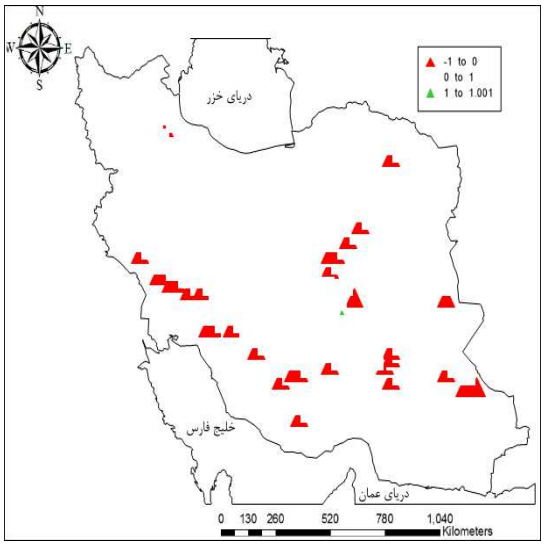
واکاوی مکانی زمانی روند ماهانه روزهای یخبندان شبیه‌سازی‌شده تحت مدل EH5OM

تغییرات مکانی زمانی تعداد روزهای یخبندان ماهانه در طی دو بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ و ۲۰۵۰-۲۰۳۹ با استفاده از سناریو A1B مورد واکاوی قرار گرفت. در ماه ژانویه در هر دوِ بازه زمانی نزدیک به ۹۸ درصد وسعت کشور در تعداد روزهای یخبندان تغییراتی دارا نمی‌باشند. بخش‌هایی از شمال غرب و باریکه جنوب شرق با ۲ درصد وسعت

کشور در بازه زمانی اول و بخش‌هایی از خوزستان، بوشهر، هرمزگان و طبس با ۴ درصد وسعت در بازه زمانی دوم روند روزهای یخبندان آن‌ها منفی است شکل(۸). در ماه فوریه در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ نزدیک به ۱۶ درصد وسعت کشور که عمدتاً باریکه‌هایی از نوار کوهستانی زاگرس،البرز،خراسان به همراه بخش‌هایی از شمال اردبیل و بلوک لوت می‌باشند در روزهای یخبندان روند منفی و ۸۴ درصد مابقی وسعت کشور فاقد روند خواهند بود این در حالی است که در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ در ماه مذکور در کشور ازلحاظ تعداد روزهای یخبندان روندی مشاهده نمی‌شود شکل (۹). درواقع می‌توان بیان کرد که علت وجود روزهای یخبندان بیشتر مناطق کوهستانی و سرد کشور در ماه‌های ژانویه و فوریه طی بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ نسبت به بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ به خاطر تغییر در میزان خروجی گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن لحاظ شده در سناریو این مدل می‌باشد. به‌گونه‌ای که طبق برآورد این سناریو، میزان خروج گازهای گلخانه‌ای در بازه زمانی ۲۰۲۰تا۲۰۴۰ روند صعودی و از سال ۲۰۴۰تا ۲۰۶۰ روند نزولی قابل‌ملاحظه‌ای داراست. در ماه مارس تغییرات روزهای یخبندان این بار در بازه زمانی دوم روی‌داده و ۱۱ درصد وسعت کشور که شامل بلندی‌های زاگرس ،البرز،خراسان و آذربایجان می‌باشند شاهد کاهش نسبی این فراسنج در دهه‌های آتی خواهند بود و بقیه مناطق کشور در این ماه فاقد روند می‌باشند شکل(۱۰). در ماه آوریل به‌جز بخش کوچکی از بلندی‌های زاگرس که در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ دارای روند مثبت در روزهای یخبندان با ۲ درصد وسعت کشور می‌باشند روندی در کشور مشاهده نمی‌شود شکل(۱۱). در ماه اکتبر بخش کوچکی از جنوب یزد و دشت کویر در بازه زمانی اول روندی منفی در روزهای یخبندان را خواهند داشت. در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ نیز روندی مشاهده نمی‌شود. در ماه دسامبر در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ بخش‌هایی از بلوک لوت و دشت کویر با ۲درصد وسعت کشور روندی منفی در میزان یخبندان را دارا می‌باشد. در کل می‌توان بیان کرد که از لحاظ روزهای یخبندان تغییراتی زیادی را در کشور طی این دو بازه زمانی شاهد نخواهیم بود و عمده تغییرات هم حاکی از روند کاهشی روزهای یخبندان در مناطق سرد و کوهستانی کشور می‌باشد. شایان ذکر است ماه‌هایی که در این دو بازه زمانی دارای روند از لحاظ تعداد رویداد یخبندان بوده روند منفی داشته‌اند که عمدتاً مناطق شمال غرب ،چاله‌های داخلی و جنوب شرق را شامل شده که این نتیجه با نتایج مسعودیان و دارند(۱۳۹۴) که با تجزیه داده‌های ایستگاهی بازه زمانی گذشته بیان داشتند یخبندان‌های نوار شمال غرب، مرکز و جنوب شرق عمدتاً در ماه‌های سرد دارای روند منفی است هم‌راستاست.

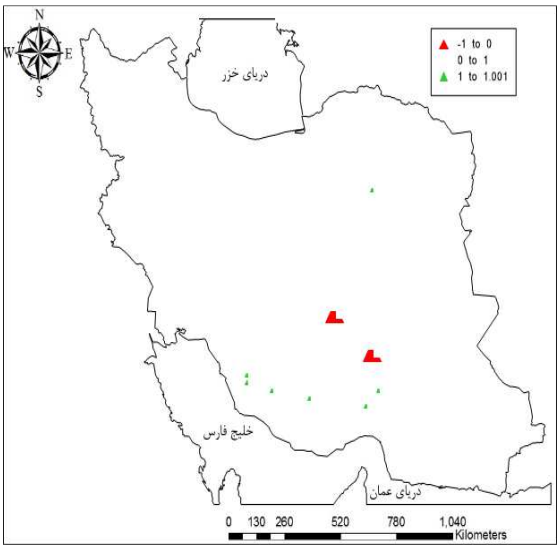


روند روزهای یخبندان ماه ژانویه در بازه زمانی ۲۰۵۰- ۲۰۳۹

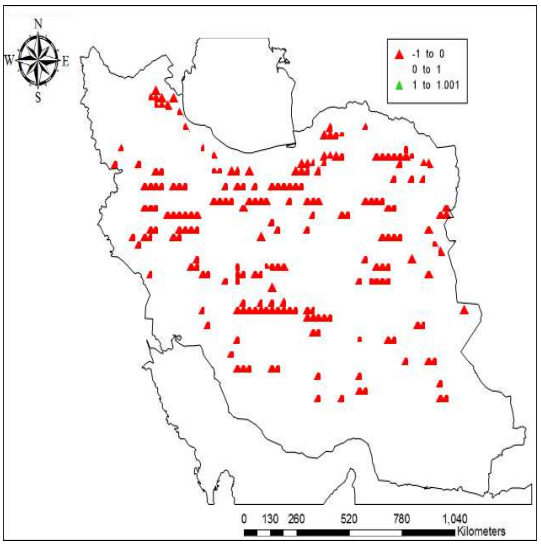


روند روزهای یخبندان ماه ژانویه در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۸: (*منبع نگارندگان*)

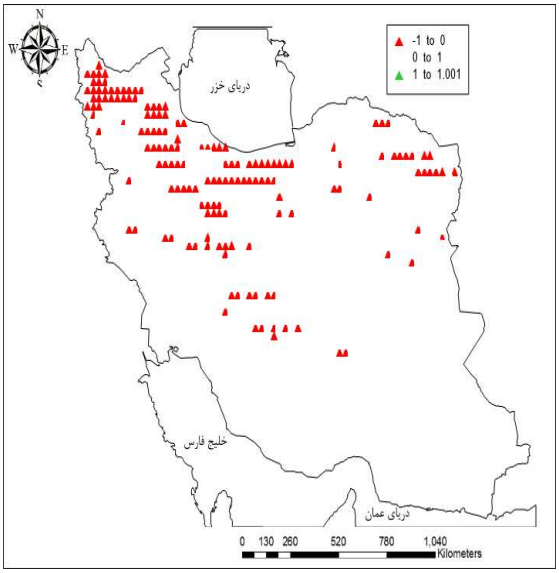


روند روزهای یخبندان ماه فوریه در بازه زمانی۲۰۵۰-۲۰۳۹

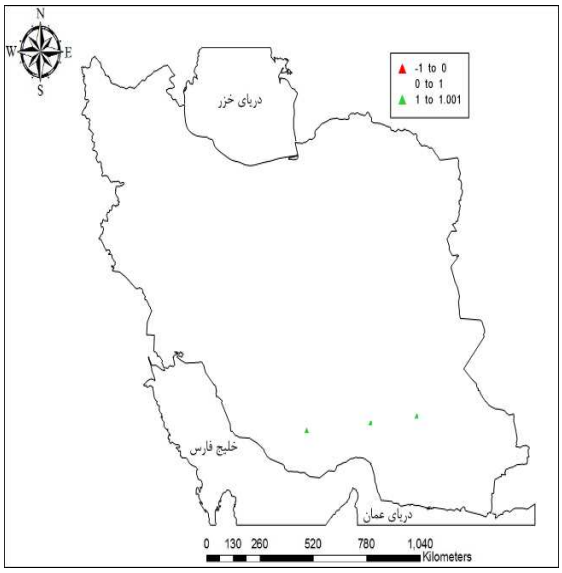


روند روزهای یخبندان ماه فوریه در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۹: (*منبع نگارندگان*)

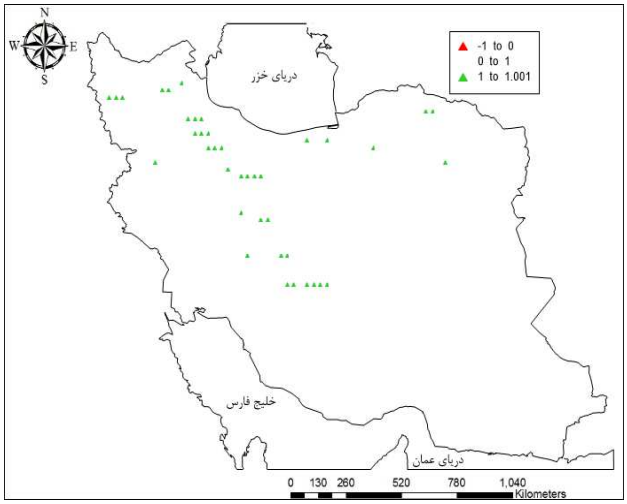


روند روزهای یخبندان ماه مارس در بازه زمانی۲۰۵۰-۲۰۳۹

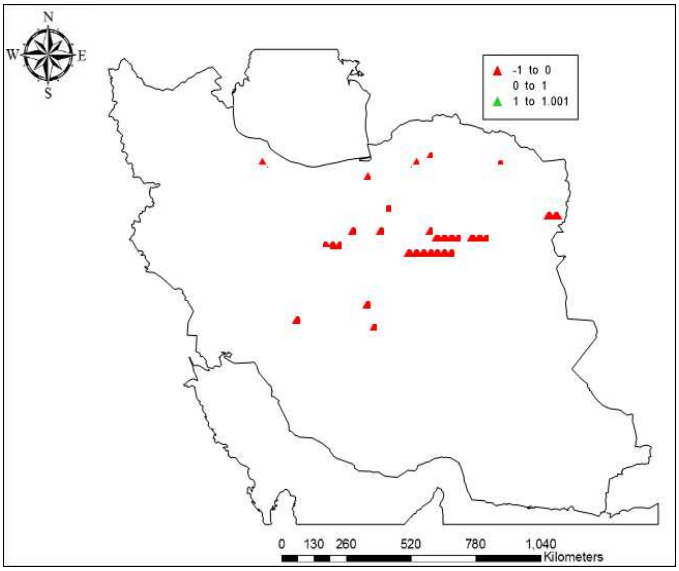


روند روزهای یخبندان ماه مارس در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵

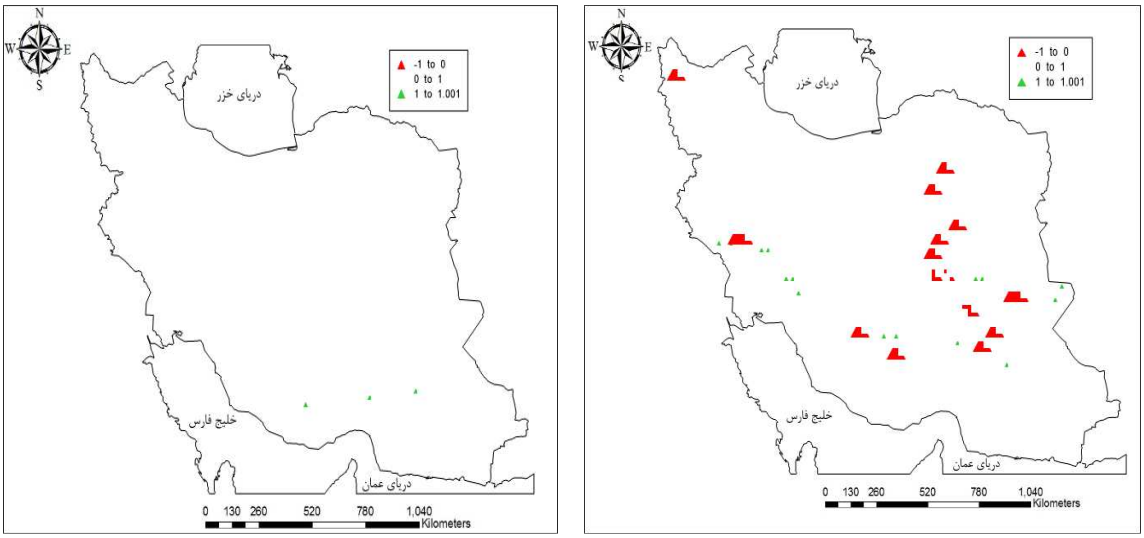
شکل ۱۰: (*منبع نگارندگان*)



شکل ۱۱: روند روزهای یخبندان ماه آوریل در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵(*منبع نگارندگان*)



شکل ۱۲: روند روزهای یخبندان ماه اکتبر در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵(*منبع نگارندگان*)



روند روزهای یخبندان ماه دسامبر در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ روند روزهای یخبندان ماه دسامبر در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۱۳: (*منبع نگارندگان*)

جدول‌های (۳) و(۴) درصد مساحت مناطق دارای روند یخبندان را طی بازه‌های زمانی مذکور نشان می‌دهد. در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ بیش از ۹۰ درصد از وسعت مناطق کشور در ماه‌های سرد سال را مناطق فاقد روند ازلحاظ تعداد روزهای یخبندان تشکیل می‌دهند تنها در ماه‌های ژانویه و به‌ویژه فوریه روند یخبندان به ترتیب با ۴ و ۱۶ درصد

وسعت کشور منفی است. در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ نیز به‌جز ماه مارس که ده درصد وسعت کشور روندی منفی در روزهای یخبندان خواهند داشت در بقیه ماه‌های سال روندی مشاهده نمی‌شود.

جدول ۳: درصد مساحت مناطق دارای روند(مثبت،منفی و فاقد روند) یخبندان در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵

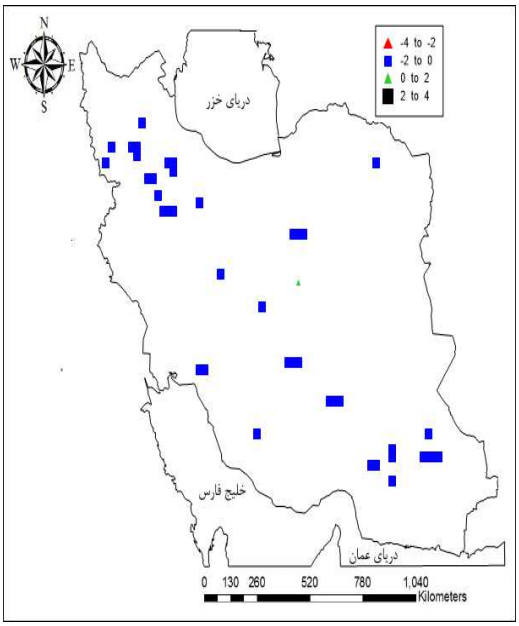
ماه‌های سال	روندمثبت	روندمنفی	فاقد روند
ژانویه	۰	۴	۹۶
فوریه	۰	۱۸	۸۴
مارس	۱	۰	۹۹
آوریل	۲	۰	۹۸
اکتبر	۰	۲	۹۸

جدول۴: درصد مساحت مناطق دارای روند(مثبت، منفی و فاقد روند) یخبندان در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹

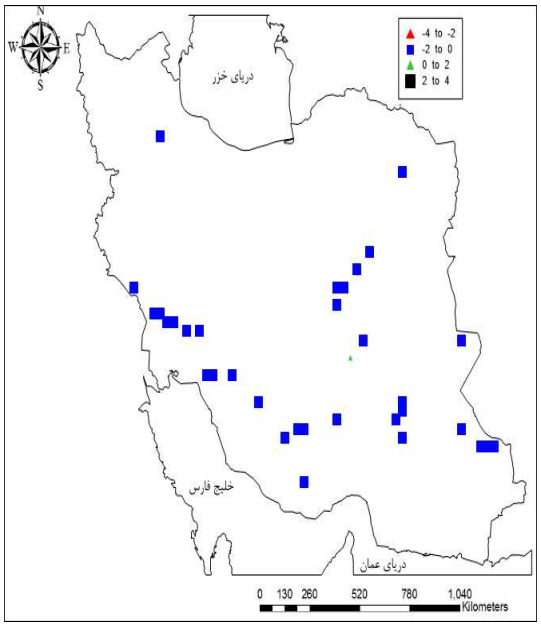
ماه‌های سال	روندمثبت	روندمنفی	فاقد روند
ژانویه	۰	۲	۹۸
فوریه	۰	۱	۹۹
مارس	۰	۱۰	۸۹
آوریل	۰	۰	۹۲
دسامبر	۰	۲	۹۸

واکاوی مکانی زمانی شیب روند ماهانه روزهای یخبندان شبیه‌سازی‌شده تحت مدل EH5OM

میزان شیب تغییرات روزهای یخبندان برحسب روز در دهه توسط آزمون شیب سن برای هر دو بازه زمانی محاسبه گردید. در ماه ژانویه مناطقی که دارای روند منفی می‌باشند شیب آن‌ها ۲- روز در دهه می‌باشد به‌عبارتی‌دیگر در هر دهه دو روز از روزهای یخبندان این مناطق کاسته می‌شود شکل(۱۳). در ماه فوریه نیز که بیشترین وسعت مناطق دارای روند منفی یخبندان را در بازه زمانی ۲۰۲۶- ۲۰۱۵ داراست شیب روند منفی آن‌ها به میزان ۲- روز در دهه می‌باشد در همین ماه در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ شیب روند در هرمزگان و بخش کوچکی از شرق بوشهر که با ۲ درصد وسعت کشور روندی مثبت رادار است ۲ روز در سال می‌باشد شکل(۱۴). در ماه مارس تنها در بازه زمانی دوم روند منفی مشاهده می‌شود که میزان شیب آن‌ها به میزان ۲- روز در دهه کاهشی خواهد بود شکل(۱۶).لازم به ذکر است شیب روند مناطقی که در ماه‌های اکتبر و دسامبر دارای روند مثبت می‌باشند نیز دارای افزایش ۲ روزی یخبندان در هر دهه می‌باشد شکل‌های(۱۷و۱۸).

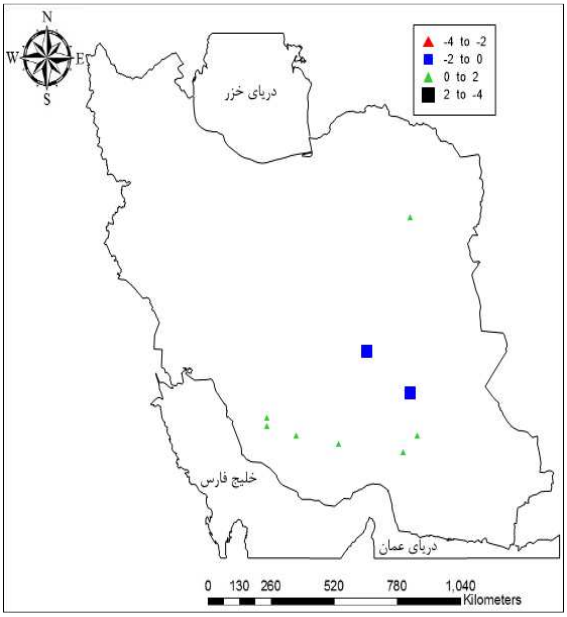


شیب روند روزهای یخبندان ماه ژانویه در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹

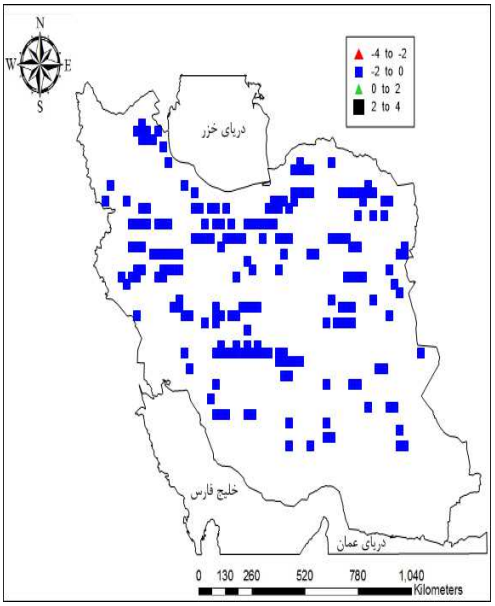


شیب روند روزهای یخبندان ماه ژانویه در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵

شکل ۱۴: (*منبع نگارندگان*)

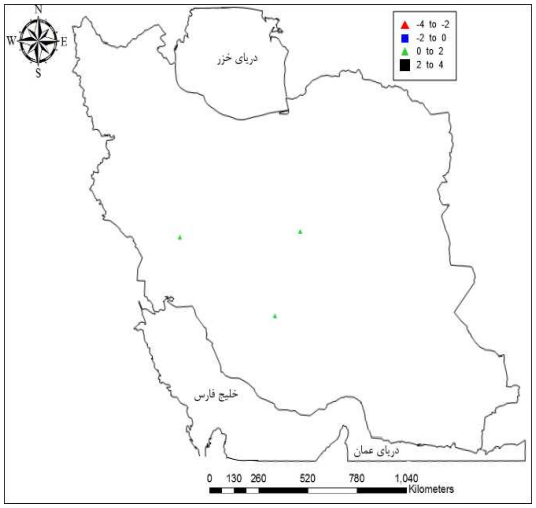


شیب روند روزهای یخبندان ماه فوریه در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹

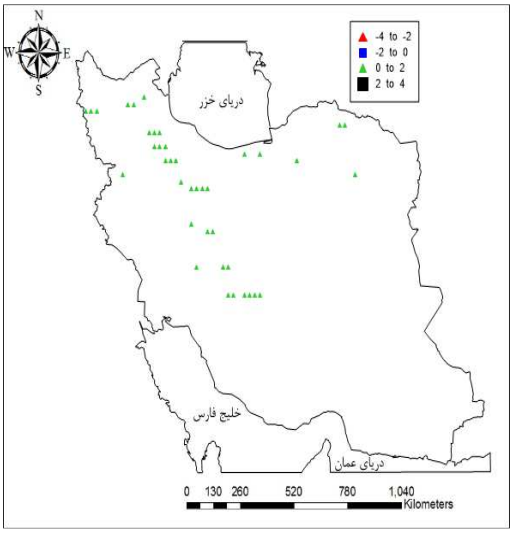


شیب روند روزهای یخبندان ماه فوریه در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵

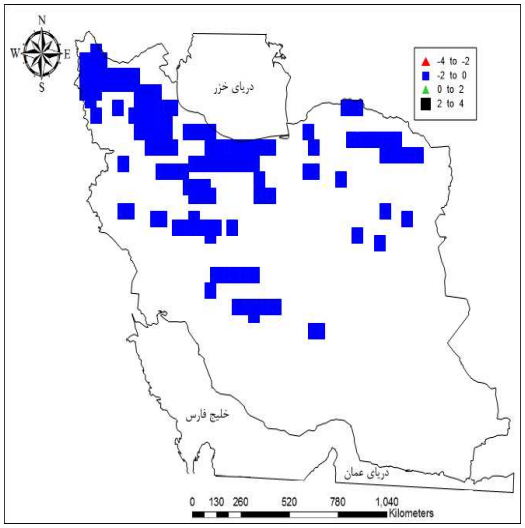
شکل ۱۵: (*منبع نگارندگان*)



شکل ۱۶: شیب روند روزهای یخبندان ماه مارس در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ (*منبع نگارندگان*)

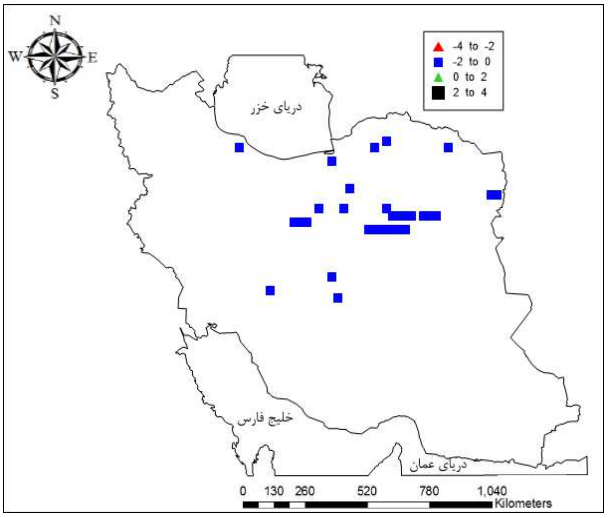


شیب روند روزهای یخبندان ماه آوریل در باز ه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹

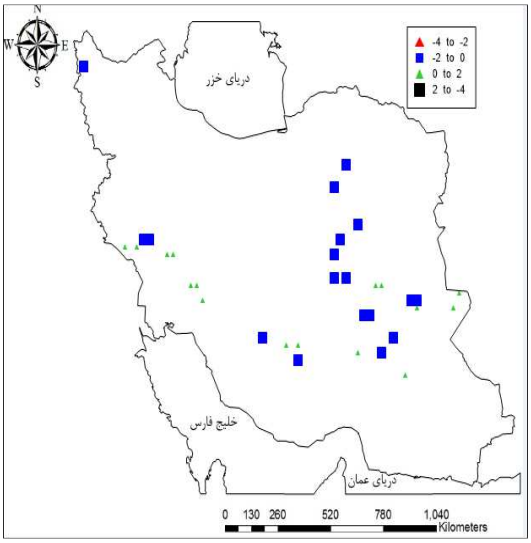


شیب روند روزهای یخبندان ماه آوریل در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵

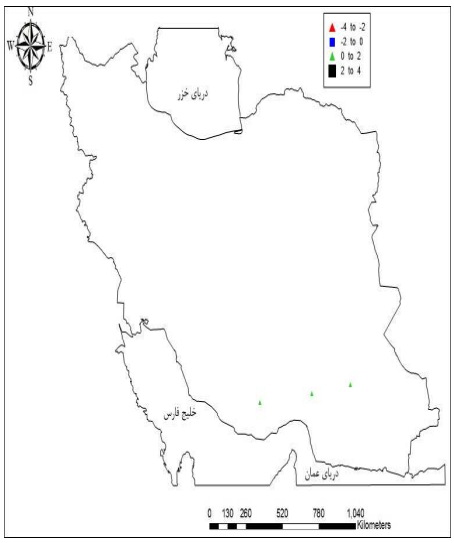
شکل ۱۷: (*منبع نگارندگان*)



شکل۱۸: شیب روند روزهای یخبندان ماه اکتبر در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ (*منبع نگارندگان*)



شیب روند روزهای یخبندان ماه دسامبر در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵



شیب روند روزهای یخبندان ماه دسامبر در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹

شکل ۱۹: (*منبع نگارندگان*)

جدول‌های (۵) و(۶) درصد مساحت مناطق دارای شیب روند یخبندان را طی بازه‌های زمانی مذکور نشان می‌دهد. نتایج بیانگر این نکته می‌باشد که بیشترین شیب روند مناطق دارای روند منفی یخبندان به میزان ۲- روز در دهه و بیشترین شیب روند مناطق دارای روند مثبت یخبندان نیز به میزان ۲ روز در دهه خواهد بود.

جدول ۵: درصد مساحت مناطق دارای شیب روند(مثبت، منفی و فاقد روند) یخبندان در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵

	شیب روند منفی	شیب روند مثبت	
ماه‌های سال	۰ - ۲-	۰-۲	۲-۴
ژانویه	۹۷	۳	۰
فوریه	۲۳	۷۷	۶۴/۵
مارس	۰	۰	۰
آوریل	۱۰۰	۰	۰
اکتبر	۰	۰	۰
دسامبر	۵۳	۴۷	۰

جدول ۶: درصد مساحت مناطق دارای روند(مثبت، منفی و فاقد روند) یخبندان در بازه زمانی۲۰۵۰-۲۰۳۹

	شیب روندمنفی	شیب روندمثبت	
ماه‌های سال	۰ - ۲-	۰-۲	۲-۴
ژانویه	۹۷	۳	۰
فوریه	۱۰۰	۰	۰
مارس	۰	۱۰۰	۰
آوریل	۰	۱۰۰	۰
اکتبر	۱۰۰	۰	۰
دسامبر	۰	۱۰۰	۰

نتیجه‌گیری:

تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن خصوصاً گرم شدن کره زمین، به عنوان بزرگ‌ترین معضل قرن بیست و یکم شناخته شده است. به عنوان نمونه در ماه‌های سرد سال که بسیاری از درختان در مناطق مختلف به ویژه در نقاط کوهستانی به وجود دماهای پایین جهت از بین بردن آفات و گیاهان نیاز دارند تغییرات دما باعث شیوع آفات و مسلماً از بین رفتن و خشک شدن درختان خواهد شد. همچنین این تغییرات دمایی باعث ذوب سریع یخ‌ها و برف‌های مناطق کوهستانی می‌شود. لذا به دلیل اهمیت این موضوع در این پژوهش به پهنه‌بندی مجموع روزهای یخبندان کشور با استفاده از داده‌های دمای حداقل مدل EH5OM برگرفته از موسسه ماکس پلانک آلمان در دو بازه‌های زمانی ۱۲ ساله در دو دوره (۲۰۲۶-۲۰۱۵ و ۲۰۵۰-۲۰۳۹) تحت سناریو A1B پرداخته شد.

همچنین در ادامه روند و شیب روند ماهانه روزهای یخبندان کشور برای دو بازه زمانی مذکور برای ماه‌های سرد سال ترسیم و تفسیر گردید. به دلیل بزرگ مقیاس بودن داده‌ها از مدل دینامیکی اقلیم منطقه‌ای جهت ریزمقیاس نمایی استفاده گردید. بیشترین تعداد روزهای یخبندان کشور متعلق به توده‌های کوهستانی است که در این بین نوار بلندی‌های زاگرس، فلات آذربایجان و بلندی‌های خراسان در ماه فوریه با ۳۰۰ روز یخبندان در هر دو بازه زمانی

بیشترین تعداد را در یک دوره ۱۲ ساله به خود اختصاص می‌دهند. همچنین جلگه‌ها و سواحل جنوبی و باریکه ساحلی شمال در ماه‌های سرد سال اغلب فاقد یخبندان می‌باشند.

این نتایج با نتایج پژوهش فرج زاده و حسینی(۱۳۸۹) که بیان داشتند در دوره گذشته جلگه‌ها و سواحل جنوبی فاقد یخبندان در طول ماهای سرد سال می‌باشند هم‌راستاست و در دهه‌های آتی نیز این فرضیه صدق می‌کند. نتایج نشان داد که در برخی ماه‌های سرد سال روزهای یخبندان در بازه زمانی دوم به نسبت بازه زمانی اول(۲۰۲۶-۲۰۱۵) بیشتر است. در واقع می‌توان بیان کرد که علت وجود روزهای یخبندان بیشتر مناطق کوهستانی و سرد کشور در ماه‌های ژانویه و فوریه طی بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ نسبت به بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ به خاطر تغییر در میزان خروجی گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن لحاظ شده در سناریو این مدل می‌باشد. به‌گونه‌ای که طبق برآورد این سناریو، میزان خروج گازهای گلخانه‌ای در بازه زمانی ۲۰۲۰تا۲۰۴۰ روند صعودی و از سال ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۰ روند نزولی قابل ملاحظه‌ای داراست.

بیشترین گستره مکانی مناطق دارای روند منفی روزهای یخبندان را نوار کوهستانی در ماه فوریه با ۱۶ درصد وسعت کشور در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۹ داراست. شایان‌ذکر است مناطقی که در این دو بازه زمانی دارای روند می‌باشند، عمدتاً روند آن‌ها منفی است که مناطق شمال غرب، چاله‌های داخلی و جنوب شرق را شامل شده و این نتیجه با نتایج مسعودیان و دارند(۱۳۹۴) که با تجزیه داده‌های ایستگاهی بازه زمانی گذشته بیان داشتند یخبندان‌های نوار شمال غرب، مرکز و جنوب شرق عمدتاً در ماه‌های دارای روند منفی است هم‌راستاست.

پیشنهادات:

در این پژوهش جهت شبیه‌سازی روزهای یخبندان از پایگاه داده EH5OM انتشار یافته در موسسه ماکس پلانک آلمان استفاده گردید با توجه به اینکه مدل‌های متعدد در پایگاه داده‌ای مختلف ازجمله مرکز هدلی انگلیس یا کانادا نیز موجود می‌باشند لذا میزان شبیه‌سازی‌شده این فرا سنج می‌تواند بر طبق مدل‌ها و سناریوهای گوناگون متفاوت باشد.

منابع

احمدی، محمود؛ زهرایی، اکبر (۱۳۹۳). شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر یخبندان‌های زاهدان با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی جو فصلنامه پژوهش‌های دانش زمین. شماره ۲۰. صص ۴۴-۲۹.

بابائیان، ایمان؛ رضایی پور، آذر؛ آهنگر زاد، زهرا (۱۳۹۳). شبیه‌سازی نمایه آسایش اقلیمی در استان خراسان رضوی تحت سناریوهای تغییر اقلیم، م، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک‌سال پنجم، شماره هجدهم، زمستان ۱۳۹۳. صص ۱۱۲ -۹۵.

سروی، محمود؛ صفرزائی، نعمت‌الله؛ آرامش، محسن (۱۳۹۴). تحلیل همدیدی یخبندان‌های زمستانه منطقه سیستان (مورد یخبندان ژانویه سال ۲۰۰۸). نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی. شماره ۵۲. صص ۱۴۰-۱۱۳.

عساکره، ح (۱۳۸۸). الگوسازی ARIMA برای میانگین سالانه دمای شهر تبریز. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. صص ۲۴-۳. ۹۲.

فرج زاده، منوچهر؛ حسینی، سید امیر (۱۳۸۹). تحلیل و پهنه‌بندی مکانی زمانی یخبندان در ایران. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای.شماره پانزدهم، پاییز و زمستان ۱۳۸۹. صص ۹۰،۶۵

قهرمان، بیژن؛ جباری، مهدی؛ نوقابی، محمد؛ موسوی، بایگی؛ بهاره، شعبانی (۱۳۹۲). مدل‌سازی و پیش‌بینی دمای حداکثر و حداقل ماهانه دشت مشهد با استفاده از مدل‌های سری زمانی. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۷. شماره ۵. آذر – دی ۱۳۹۲، صص ۸۹۶-۹۰۶.

محمدی مرادیان، جمیله؛ سید رضا، حسین زاده و محسن، شهریسوند (۱۳۹۳). ارزیابی توان مدل اقلیمی- منطقه‌ای RegCM4 در شبیه‌سازی یخبندان فراگیر منطقه ایران در دسامبر ۲۰۰۳، دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در جغرافیا و گردشگری، تهران، دانشگاه جامع علمی کاربردی.

محمدی، حسین؛ عزیزی، قاسم؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ رنجبر، فیروز (۱۳۹۴). روند روزهای یخبندان در ایران (۱۹۸۲-۲۰۱۲). فصلنامه جغرافیا. شماره ۴۶. صص ۱۱۹-۱۰۰.

محمودی، پیمان؛ خسروی، محمود؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ علیجانی، بهلول (۱۳۹۴). رابطه بین الگوهای پیوند از دور و یخبندان‌های فراگیر ایران. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۴۰. صص ۱۹۴-۱۷۵.

مسعودیان، ابوالفضل؛ دارند، محمد (۱۳۹۴). بررسی روند تعداد روزهای یخبندان ایران. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۳۹. صص ۶۰-۴۹.

ناصرزاده، محمدحسین (۱۳۸۲). "تجزیه‌وتحلیل یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره در استان لرستان". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما دکتر زهرا حجازی زاده. دانشگاه خوارزمی (تربیت‌معلم تهران).

نظری پور، حمید و اکبر زهرایی (۱۳۹۲). ارزیابی توان مدل‌های سیاره‌ای آب‌وهوا در شبیه‌سازی تغییرات مؤلفه‌های دمایی استان فارس، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، http://www.civilica.com/Paper-COLIMACONF01-COLIMACONF01_016.html

Aguilera A.M. Escabias, M. Valderrama M.J.(2008) Forecasting binary longitudinal data by a Functional PCARIMA model Computational Statistical & Data Analysis.52: 3187-3197.

Bernstein, L. Bosch, P., Canziani, O. Chen, Z Christ, R. & Davidson, O. (2007). Climate change 2007: synthesis report. Summary for policymakers. In Climate change 2007: synthesis report. Summary for .policymakers. IPCC.300-318.

Dashkhuu,D. Jong, PilKim. Jong, Ahn Chun. Woo-Seop Lee (2015). Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia, Weather and Climate Extremes, vol8, pp26–33.

Giorgi, F. Marinucci, MR. Bates, G. DeCanio, G. (2006). " Development of a second generation regional climate model",National Researce Modle.,pp.1:40,.

Ginn, E.W.L. Lee, T.C, Chan, K.Y," Past and Future Changes in the Climate of Hong Kong", Accepted for publication in Acta Meteorologica Sinica, pp.1:20,2010.

Giorgi, F. (1996). Development of a second generation regional climate model (RegCM2). I. Boundary layer and radiative transfer processes. MonWeather Rev 121: 2794–2813.

Giorgi, F. Marinucci ,MR. Bates, G, "Development of a second generation regional climate model (RegCM2)", I. Boundary layer and radiative transfer processes. MonWeather Rev., vol.121,pp. 2794–2813, 1999.Insaf, T.Z, Lin, S. Sheridan, S.C. (2012), climate trends in indices for temperature and precipitation across New York State, 1948-2008, Air QualAtmos Health, Volume 1, N. 1, June 2008, DOI 10.1007/s11869-011-0168-x.

Qian. W and Lin .X (2004) Regional trends in recent emperature indices in China, CLIMATE RESEARCH, Vol. 27, pp 119–134.

Reichler, T. & Kim, J. (2008). How well do coupled models simulate today's climate?. Bulletin of the American Meteorological Society, 89(3), 303-311.

Watkins, S. C. (1991), "The annual period of freezing temperatures in Central England 1850-1959", Inter. J. Climatology, 11(8). 889-896.

Waylen, P. R. and Leboutillier, D. W. (1988), Stochastic analysis of cold spells"J. Appl. Meteor, 27(1): 67-76.

The prospect of the effects of global warming on the ice the country changes

Kamal Omidvaar[*1], Reza Ebrahimi[2], Marzieh Jamshidi[3], Ghasem Lakzashakour[4]

1- Assistant Prof., Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Yazd

Email: komidvar@yazd.ac.ir

2- PhD Student of Climatology, University of Yazd, Yazd, Iran

3- MSc. Student of Climatology, University of Yazd, Yazd, Iran

4- MSc. Student of Climatology, Golestan University, Golestan, Iran

Received: 2016.04.22 Accepted: 2016.07.27

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effects of global warming over the coming decades is frost country. For this, the first two time periods 2015-2026 and 2039-2050 in the minimum temperature data from the database at the Max Planck Institute in Germany EH5OM was extracted under A1B scenario. Then, using a dynamic model of regional climate temperature in at least two time periods mentioned in size 0/27 × 0/27 Degrees latitude areas with dimensions of approximately 30 × 30 km, covering an area of deals were downscaled. Each period of 12 years with cell size (2140 * 4380), the rows indicate the time (days) and columns represent the location (cell) via code in MATLAB days with temperatures below zero degrees Celsius, while mining and Zoning days Ice in the cold months, the slope of the trans-detector computed by Mann-Kendall and tilt sensing and maps that were drawn in the oven software. The results showed that most cold months in the period 2050-2039 of frost days over the period 2026-2015 are entitled. Most of frost days in February and in the mountainous Zagros and Alborz heights of Azerbaijan and Khorasan with 300 days appear.

Keywords: Process, Process Slope, the EH5OM, Scenario A1B, Iran