

## بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی

فرحناز تقوی<sup>۱\*</sup>، حسین محمدی<sup>۲</sup>

۱-استادیار مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۲-دانشیار دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۴/۱۲/۲۰ . تاریخ تصویب: ۸۵/۰۸/۲۳

### چکیده

اکوسیستم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی با شرایط اقلیمی بهنجار تنظیم شده‌اند و در زمان رخداد پدیده‌های اقلیمی حدی، به‌ندرت می‌توانند خود را تجهیز و آماده کنند. در نتیجه تغییر در زمان وقوع رویدادهای حدی اغلب می‌تواند آثار چشمگیری بر اکوسیستم‌ها و جامعه نسبت به تغییر در شرایط متوسط جوی داشته باشد. در این بررسی رفتار و پیش بینی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی مانند خشکسالی و سیل و تجزیه و تحلیل شاخص‌های حدی که در شرایط دمایی و بارش‌های حدی رخ می‌دهند، در بسته نرم‌افزاری به نام شاخص‌های اقلیمی حدی ECIS مورد توجه قرار گرفت. در ECIS روند و دوره بازگشت شاخص‌های حدی در دوره آماری استاندارد (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دهه آخر قرن بیستم (۲۰۰۰-۱۹۹۰) تعیین شد و برای ارزیابی کمی، مقدار بارش در خشکسالی با دوره بازگشت ده ساله در ایستگاه‌های شاخص نواحی اقلیمی ایران محاسبه شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که دوره بازگشت شاخص‌های حدی گرم و بارش دهساله و دوره بازگشت شاخص‌های حدی سرد طولانی‌تر شده است و در نهایت فراوانی وقوع شاخص‌های حدی گرم و بارش بیشتر و شاخص‌های حدی سرد کمتر شده است.

### واژه های کلیدی: دوره بازگشت- رویداد حدی- اکوسیستم- شاخص های حدی

رویدادهای حدی می‌شود، بیشتر مورد توجه و دقت قرار گرفت. نتایج بسیاری از تحقیقات مبین این است که اقلیم قرن ۲۱ بسیار متفاوت‌تر از اقلیم قرن ۲۰ خواهد بود و این مسئله نقش فعالیت‌های انسانی<sup>۱</sup> در تغییر اقلیم را متذکر می‌شود.

از اثرات تغییر اقلیم، افزایش فرکانس رویدادهای حدی است. رویدادهای حدی اقلیمی در شرایط دمایی و بارش‌های حدی رخ می‌دهد. بنابراین تجزیه و تحلیل دما و بارش‌های حدی ضروری به نظر می‌رسد. یکی از عوامل مشخص‌کننده تغییرات اقلیمی، بروز تغییرات در پدیده‌های اقلیمی حدی از جمله تشدید چرخه هیدرولوژی، تغییر در فرکانس خشکسالی‌ها، سیل‌ها و گسترش تغییر دامنه تحت پوشش سیل و خشکسالی در مناطق جدید است.

آنچه مسلم است تغییرات در فرکانس و شدت رویدادهای حدی آثارشدیدتری بر فعالیت‌های انسانی و محیط زیست آن نسبت به تغییرات در متوسط اقلیمی در کوتاه مدت خواهد داشت، برای مثال سیل‌های اخیر (۲۰۰۳ و ۲۰۰۴) در کشورهای ایتالیا، سوئیس، فرانسه، انگلستان، تلفات انسانی و زیان‌های اقتصادی فراوانی به بار آورده است و امواج

### سر آغاز

رویدادهای اقلیمی حدی، پدیده‌هایی هستند که از نظر شدت و فراوانی کمیاب هستند و از آنجایی که اکوسیستم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی با شرایط اقلیمی بهنجار تنظیم شده‌اند، در زمان رخداد این پدیده‌ها، به‌ندرت می‌توانند خود را تجهیز و آماده کنند، در نتیجه تغییر در زمان وقوع رویدادهای حدی اغلب می‌تواند آثار چشمگیری بر اکوسیستم‌ها و جامعه نسبت به تغییر در شرایط متوسط جوی داشته باشد (MSC, 2004).

در سال‌های اخیر توجه به تغییرات اقلیمی به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده است. در اکثر مطالعات توجه به تغییر اقلیم فقط در صدد آشکارسازی نوسان در متوسط طولانی مدت نشانه‌های اقلیمی است، اما مطالعه تغییر پذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی اقلیمی نیز مهم است (Abaurrea and Cebrian, 2001). این مسئله از زمانی که برخی مدل‌های اقلیمی (Karl, et al, 2000) نشان دادند که تغییرات اقلیمی در قرن ۲۱ سبب افزایش در فراوانی

دقیقا مشخص نیست که تغییر اقلیم چه تأثیری بر دامنه تغییرات درجه حرارت خواهد گذاشت، حتی اگر هیچ تغییری در این زمینه صورت نگیرد باز متوسط درجه حرارت، به دلیل افزایش فراوانی درجه حرارت‌های بالاتر از آستانه‌های ویژه، افزایش خواهد یافت. تغییرات فراوانی و توزیع بارندگی کمتر قابل پیشگویی است، ولی ترکیب درجه حرارت‌های بالا و خشکی یا سیل احتمالاً باعث می‌شود که تغییر اقلیم جهانی در برخی مناطق بیشترین مخاطره را به دنبال داشته باشد.

با وجود اینکه تغییرات درازمدت در متوسط درجه حرارت و نزولات، الگوی تجمعی نسبتاً آهسته‌ای را دنبال خواهد کرد، آثار کوتاه‌مدت ممکن است تغییرات ناگهانی در فرکانس و دامنه رویدادهای اقلیمی غیر عادی مانند خشکسالی، سیل و طوفان ایجاد کند (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۷).

علاوه بر این پیامدهایی چون خشکسالی‌ها، سیل‌های شدید و ناگهانی، امواج ناگهانی هوای سرد و گرم از جمله آثار و شواهد ناهنجاری‌های اقلیمی است که اقلیم مناطق دنیا را به جهتی سوق می‌دهد که قابل تشخیص نیست (کوچکی، ۱۳۷۵).

بررسی‌ها در ایران نشان می‌دهد که فراوانی وقوع سیل در کشور از روندی فزاینده برخوردار است به گونه‌ای که از ۳۹ مورد در سال ۱۳۵۰ به ۲۷۶ مورد در سال ۱۳۷۷ فزونی یافته است و خسارات ناشی از سیل در طی ۵ دهه گذشته در کشور ۲۵۰ درصد رشد داشته است و روزانه به‌طور متوسط در حدود ۳ میلیارد ریال خسارت از سیل به کشور تحمیل می‌شود.

برای نمونه در استان گلستان وجود سیل‌های غیر قابل تصور در طی سالهای اخیر مبین تغییرات شگرف در شرایط بروز سیل در منطقه می‌باشد. ۷۰ درصد خسارات بلایای طبیعی در ایران ناشی از سیلاب‌هاست به طوری که رشد سالانه حوادث سیل در طی دوره های ۱۳۳۰ تا ۱۳۷۰ حدود ۴ درصد و رشد سالیانه خسارات مالی ۶ درصد بوده است.

در یک دوره ۲۳ ساله (۱۳۵۳ تا ۱۳۷۵) کشور با ۹۶۷ سیل روبه‌رو بوده که از آن میان ۱۱۷ سیل مهیب، با خسارات و تلفات فراوان همراه بوده که بیش از ۹۱۶ میلیارد تومان خسارت به کشور وارد آمده است (پور احمد، ۱۳۷۸). از طرف دیگر وقوع خشکسالی‌های شدید در بسیاری از استان‌های کشور در سالهای اخیر روند افزایشی داشته است به طوری که در سه سال اخیر وقوع خشکسالی در مقایسه با گذشته خسارات بیشتری را به تأسیسات زیر بنایی روستایی وارد آورده و این به علت عدم انطباق این فعالیت‌ها با اقلیم منطقه بوده است.

گرمایی شدیدی که در قسمت‌های شرقی مدیترانه در تابستان‌های سالهای فوق رخ داده است، خطرهای زیادی برای سلامتی افراد به علت حدهای دمایی کوتاه مدت به وجود آمده است (Goodes, 2004).

گرمایش پیش‌آمده، روند افزایشی دارد و به نظر می‌رسد که همراه با تغییرات در وضعیت‌های حدی جوئی و رویدادهای اقلیمی باشد (Houghton, et al, 2001). تاکنون به طور کلی اطلاعات کمی از ماهیت این تغییرات به دست آمده است. مطالعات دیگری که به بررسی تأثیر گرمایش پیش‌بینی شده بر رخداد حدهای دمایی می‌پردازد نیز در چند سال اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است اگرچه تغییرات در رویدادهای دما و بارش‌های حدی به‌طور جداگانه و انفرادی در کشورهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (Yan, et al, 2002, Moberg, et al, 2000; Klein Tank, et al, 2002; Haylock and Nicholls, 2000; Frich, et al, 2002; Brunetti, et al, 2000).

در سالهای اخیر تلاش زیادی به منظور درک و یافتن تغییرات در سامانه اقلیم و آثاری که در نتیجه واداشت فعالیت‌های انسانی در اقلیم زمین به وجود آمده، صورت گرفته است. این آثار بر پویایی سامانه‌های اقتصادی، سیاسی و محیطی تأثیر بسزایی داشته است (تقوی، ۱۳۸۴).

روند تغییرات کوچک در شرایط متوسط می‌تواند منجر به تغییرات بزرگ در فراوانی رویدادهای حدی شود. تغییرات در تغییرپذیری و فراوانی رویدادهای حدی می‌تواند آثار و آسیب‌های شدیدتری را نسبت به تغییرات در متوسط ویژگی‌های اقلیمی داشته باشد (IPCC, 1995). رویدادهای حدی زیادی در مقیاس منطقه‌ای رخ می‌دهد (در مقیاس ۱۰ کیلومتر، یا کمتر) و به‌طور مناسبی به وسیله مدل‌های اقلیمی جاری توجیه و تفسیر نمی‌شود، اما تا به حال هیچ تصویر واضحی از وقوع و گسترش چنین رویدادهای اقلیمی حدی در آینده وجود ندارد (Von Storch, 1993). در عرض‌های میانه به احتمال زیاد رویدادهای اقلیمی حدی که می‌تواند آثار مهمی بر اکوسیستم جنگل‌ها بگذارد، افزایش می‌یابد. آنها با سیکلون‌های جنب حاره، طوفانهای باران و تگرگ محلی، زمستان‌های غیر معمول، خشکی تابستانه گسترده و مکرر طوفان‌های تندری، برف و بوران، سیل‌ها و دیگر رویدادهای اقلیمی همراه هستند. در طی تغییرپذیری اقلیمی شدیدتر رویدادهای جوئی مهم دیگر (مانند دوره‌های گرم ناگهانی زمستانه، یا رویدادهای مربوط به تأخیر زود هنگام یخبندان) می‌تواند آشکار شود (Puhe and Ulrich, 2001).

شبیه‌سازی CGCM1 نشان می‌دهد که بارندگی به‌طور میانگین تقریباً در همه مناطق دنیا شدت بیشتری داشته باشد، اگرچه بزرگی این تغییرات هنوز به‌طور دقیق مشخص نیست، بیشترین افزایش در مناطق استوایی روی اقیانوس آرام حاره‌ای پیش‌بینی شده است.

در این مناطق CGCM1 میزان بارش برای حدهای با دوره بازگشت ۲۰ ساله را تا سال ۲۰۵۰ در حدود ۵۰ میلی‌متر در روز و به مقدار ۷۰ میلی‌متر در روز تا انتهای قرن پیش‌بینی کرده است (MSC, 2004). اکثر مدل‌های اقلیمی افزایش چرخه هیدرولوژی متوسط جهانی و افزایش بارش از عرض‌های بالا به عرض‌های میانه در طی زمستان را با احتمال زیاد پیش‌بینی کرده‌اند (IPCC, 1996a).

گرمایش جوّی منجر به افزایش بخار آب و انتقال بیشتر آن در عرض‌های بالای نیمکره شمالی می‌شود (بنابراین همگرایی بخار آب و بارش بیشتر می‌شود). به‌طور میانگین، بارش جهانی پیش‌بینی شده، افزایش می‌یابد و به مرتبه ۲ تا ۴ در ۱ درجه گرمایش می‌رسد.

در مناطق عرض‌های میانه، ترازهای بالاتر بارش در فصل زمستان پیش‌بینی شده است و افزایش در مرتبه ۱۰ تا ۲۰ درصد بین ۲۵ تا ۵۰ درجه شمالی در بارش سالانه پیش‌بینی می‌شود. مناطق اروپای مرکزی الگوهای بارش فعلی، بیشینه محلی در نواحی ساحلی غربی و نواحی کوهستانی را نشان می‌دهند، گرادیان عمومی جنوب به شمال افزایش بارش نشان دهنده این است که بارش در اثر شارش‌های در مقیاس بزرگ و منابع رطوبتی محلی ایجاد می‌شود.

در نتیجه گرمایش گلخانه‌ای، مدل‌های اقلیمی زیادی، افزایش بارش زمستانه در غرب، مرکز و نواحی شرقی اروپا را نشان می‌دهد، در حالی که کاهش بارش در این مدل‌ها در شمال اسکانندیناوی منطقه مدیترانه پیش‌بینی می‌شود.

تغییرات در محدوده از ۰/۲۵ میلی‌متر تا ۲ میلی‌متر در طی ماه‌های زمستان پیش‌بینی شده است (Puhe and Ulrich, 2001). اگر انتشار اُتروسل‌ها بیشتر شود، افزایش بارش متوسط جهانی می‌تواند خیلی کوچک باشد. در طی زمستان نیمکره شمالی، بارش با شدت کمتری افزایش می‌یابد، در حالی که در نیمکره جنوبی تغییرات بارش تقریباً در مقایسه با زمانی که انتشار اُتروسل‌ها تغییر نکند مثبت خواهد بود (IPCC, 1996a).

با وجود این، هنوز تصویر روشنی از تغییرات بارش در آینده وجود ندارد. علاوه بر مفاهیم پراکنده ویژگی‌های ابرناکی، عوامل محلی و منطقه‌ای (مانند پوشش گیاهی، مراتع و غیره) اثر مهمی بر الگوهای بارش دارند و تاکنون در مدل‌های اقلیمی در نظر گرفته نشده‌اند

کردوانی (۱۳۸۰) نمونه‌های زیادی از خشکسالی و اثرهای آن در کشورهای دیگر که از لحاظ اقلیمی شرایطی بهتر از کشور ما دارند، مانند کوبا، تایلند، اسپانیا، روسیه، امریکا، چین، کشورهای مرکز و جنوب‌افریقا ذکر کرده است. او از خشکسالی‌های منطقه‌ای در کشورمان - به خشکسالی‌های منطقه زابل در سال‌های اخیر بخصوص سال ۱۳۷۸ اشاره کرده است و می‌گوید که در این منطقه در یک دوره تقریباً ۳۰ ساله در سالهای ۱۳۲۷، ۱۳۱۸، ۱۳۲۸، ۱۳۴۹ تقریباً هر ده سال، یک سال خشکسالی به صورت کشنده تکرار شده است و در اظهار نظر کارشناسان نیز ذکر شده خشکسالی در منطقه سیستان طی ۱۰۰ سال گذشته کم سابقه بوده است و کشور ایران در ۲۲ سال گذشته شاهد ۱۳ سال خشکسالی بوده است و به‌طور کلی در سالهای اخیر منتهی به سال ۲۰۰۱ در نه استان کشور، از جمله سیستان و بلوچستان، فارس، کرمان، یزد، خوزستان، هرمزگان، بوشهر، خراسان و اصفهان خشکسالی وجود داشته است.

افزایش، یا کاهش بارش و یا تغییر چشمگیر در رخداد موارد حدی که منجر به بروز سیل یا خشکسالی می‌شود، مسلماً می‌تواند تأثیر بسزایی در برنامه‌ریزی‌های کلان کشورها داشته باشد. تغییرات دما در دنیا آثار متفاوتی بر بارش داشته است. به عنوان مثال در اکثر مناطق قاره آسیا افزایش دما در جهت کاهش بارش عمل کرده و این درحالی است که در نیمکره شمالی به طور کلی افزایش دما در جهت افزایش بارش به وقوع پیوسته است (Hardy, 2003).

برای ارزیابی و تعیین اینکه چه رویدادی حدی است، اقلیم‌شناسان از مجموعه متفاوت معیارهای آماری استفاده می‌کنند. یکی از عمومی‌ترین مفاهیم، دوره بازگشت است. در حال حاضر مدل‌هایی مانند CGCM1<sup>۲</sup> می‌توانند پاسخ‌های کوتاهی به سؤالات راجع به رویدادهای حدی بدهند

بهترین اطلاعات که می‌تواند تغییرات در حدها که در مقیاس فضایی بزرگ رخ می‌دهد را نشان دهد، مانند آنهایی که مربوط به دما، یا سرعت‌های باد است، می‌تواند اطلاعات مفیدی راجع به جهت تغییرات در حدهای متغیرهای اقلیمی و دیگر را نیز فراهم کند. مدل‌های جاری به علت قدرت تفکیک پایین بندرت می‌توانند اطلاعات مسوسطی راجع به آنها، به ویژه در سطح منطقه‌ای، یعنی جایی که این رویدادها با فراوانی بیشتری رخ می‌دهد، را بدهند. علاوه بر این از آنجایی که حدها به‌طور اتفاقی رخ می‌دهند، دوره‌های شبیه‌سازی بلند-برای تحلیل آنها مورد نیاز است (Klien Tank and Konnen 2003). تجزیه و تحلیل دوره‌های بازگشت رویدادهای بارش حدی در

شده است و این، امکان مقایسه همه ایستگاه‌ها در کشورهای مختلف را بوجود می‌آورد. شاخص‌های دمایی، حدهای سرد و حدهای گرم را نشان می‌دهد و شاخص‌های بارش، فقط روزهای تراز بر دارد. بیشتر شاخص‌ها برحسب شمارش روزهایی است که آستانه‌ها را قطع می‌کنند (جدول شماره ۱).

### بررسی دوره بازگشت شاخص‌ها و رویداد های حدی

افزایش وقوع سالهای بسیار گرمتر از میانگین در مناطق مختلف و گسترش این سالها، شاهدهی بر تغییر اقلیم است. با بررسی روند این پدیده‌های حرارتی می‌توان، تأثیرات آینده اقلیمی آنها را بررسی و در واقع واکنش تغییر اقلیمی را پیش‌بینی نمود. در بسته نرم‌افزاری ECIS نیز پدیده‌های حدی با استفاده از تعاریف شاخص‌های دما و بارش حدی که در جدول شماره (۱) آورده شده است، بررسی و با استفاده از توابع تعریف شده روش‌های درونیابی و برازش منحنی در زبان برنامه نویسی مطلب، روند شاخص‌های دما و بارش حدی در ایستگاه‌های شاخص سینوپتیکی (تقوی، ۱۳۸۴) محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در زیر برنامه‌های به نام دوره بازگشت<sup>۷</sup> شاخص‌های حدی دما و بارش در دوره‌های آماری محاسبه شد.

علاوه بر این برای ارزیابی کمی، مقدار بارش در خشکسالی با دوره بازگشت دهساله در ایستگاه‌های شاخص نواحی اقلیمی ایران تعیین گردید. برای بررسی دوره بازگشت شاخص‌ها و رویدادهای اقلیمی حدی ۵ شاخص که شامل شاخص حدی سرد (FD ID) شاخص حدی گرم (SU, T40) و بارش (WD) است، انتخاب شد. متوسط شاخص‌ها در دوره آماری استاندارد ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و دهه آخر قرن بیستم ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ (جدول‌های شماره ۲، ۳) محاسبه شد سپس متوسط دوره بازگشت شاخص‌های حدی در دوره استاندارد ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ (جدول شماره ۴) و در دهه آخر قرن بیستم (جدول شماره ۵) نیز محاسبه شد. در این بررسی دوره بازگشت (Tret) شاخص با فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$Tret = \frac{365}{\bar{X}}$$

در این فرمول  $\bar{X}$  متوسط شاخص در طول دوره آماری است. مقایسه جدول‌های شماره (۳ و ۲) نشان می‌دهد که متوسط شاخص حدی سرد FD (تعداد روزهایی که دمای حداقل زیر صفر درجه است) و ID مانند (تعداد روزهایی که دمای حداکثر زیر صفر درجه است) در دو دوره کاهش یافته است. برای مثال متوسط شاخص حدی سرد ID در ایستگاه ارومیه از ۲۱ روز در سال به ۱۰/۳ روز در سال کاهش پیدا کرده

(Baskin, 1993). گرمایش جهانی بر حدهای دمایی تأثیر می‌گذارد. بزرگترین تغییرات دماهای مطلق در نواحی که پوشش برف و یخ در سطح آن وجود دارد، رخ می‌دهد در نتیجه کاهش رطوبت خاک، تغییرات بزرگتر ۴ تا ۶ درجه با دوره بازگشت ۱۰ ساله در دماهای حداکثر روزانه در سراسر خشکی‌ها ممکن است رخ دهد. حتی تغییرات بزرگتری (تا ۱۰ درجه سانتیگراد) در مقادیر دمای حداقل روزانه با دوره بازگشت ۱۰ ساله به علت کاهش پوشش برف در عرض‌های میانه نیمکره شمالی ممکن است بوجود آید و در سطحی که در فصل زمستان عاری از برف است، این تغییرات ملایم تر خواهد بود (Zwiers, 1994).

بنا به میزان انرژی دمای متوسط جهان در مقیاس منطقه‌ای افزایش چشمگیری در روزهای گرم سال (برای مثال روزهایی که دمای بیش از ۳۵ درجه سانتیگراد) و کاهش تعداد روزهای سرد (برای مثال کمتر از صفر درجه سانتیگراد) پیش‌بینی می‌شود در نتیجه تعداد دوره‌های دماهای حدی (برای مثال ۵ روز) احتمالاً زیاد می‌شود تحقیقات دیگری نیز پیش‌بینی می‌کند که افزایش گسترده و جهانی از خشکسالی‌ها و دوره‌های با بارش خاص و بسیار زیاد شامل سیل‌ها رخ می‌دهد (Puhe and Ulrich, 2001).

امروزه در اکثر طرح‌های زیست‌محیطی سعی بر شناخت تغییرات اقلیمی و کاهش آثار آن دارند. به همین منظور در این بررسی پس از پیش‌بینی دوره بازگشت شاخص‌ها و رویداد های حدی که از نشانه‌های تغییرات اقلیمی است، شناخت پیامدهای زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفت.

### داده و روش پردازش

در این مطالعه برای اولین بار در ایران از داده‌های روزانه دما و بارش ۱۶ ایستگاه سینوپتیکی ایران که دارای آمار ۵۳ ساله بودند، برای بررسی رویدادهای حدی اقلیمی استفاده شده است و برای پیش‌بینی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی مانند خشکسالی و سیل، تجزیه و تحلیل شاخص‌های حدی که در شرایط دمایی و بارش‌های حدی رخ می‌دهند، مورد توجه قرار گرفت. به همین منظور بسته نرم‌افزاری به نام شاخص‌های اقلیمی حدی<sup>۳</sup> ECIS در محیط مطلب<sup>۴</sup> تحت ویندوز برای بررسی رفتار رویدادهای اقلیمی حدی با استفاده از شاخص‌های دما و بارش حدی تهیه شد. (تقوی، ۱۳۸۴). شاخص‌های مورد نظر در این تحقیق از لیست شاخص‌های استاندارد توصیه شده توسط کمیته اقلیم شناسی سازمان هواشناسی جهانی<sup>۵</sup> و برنامه تحقیقاتی تغییر پذیری و پیش‌بینی اقلیم<sup>۶</sup>، انتخاب

حدی سرد طولانی تر شده است. برای مثال متوسط شاخص حدی سرد در تهران در دوره سی ساله ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰، ۵۰ روز در سال و دوره بازگشت آن در حدود ۷ روز بوده است در حالی که متوسط این شاخص در دهه ۱۹۹۱-۲۰۰۰ به تعداد ۳۰/۴ روز در سال و دوره بازگشت آن به ۱۲ روز رسیده است و دوره بازگشت شاخص حدی گرم SU از ۲/۲۳ به ۲/۲ و شاخص حدی بارش WD از ۶/۲۷ به ۵/۹۹ روز در سال رسیده است.

است و متوسط شاخص حدی گرم مانند T40 (تعداد روزهایی که دمای حداکثر بالاتر از ۴۰ درجه است) و SU (تعداد روزهایی که دمای حداکثر بالاتر از ۲۵ درجه است) و شاخص WD (تعداد روزهای تر) در ایستگاه‌های شاخص اقلیمی افزایش یافته است. سپس دوره بازگشت شاخص‌ها محاسبه شد. با مقایسه جدول‌های شماره (۵ و ۴) دیده می‌شود که دوره بازگشت شاخص‌های حدی گرم و بارش کوتاه و دوره بازگشت شاخص‌های

### جدول شماره (۱): تعاریف شاخص‌های حدی دما و بارش

کد	نام شاخص	تعریف
FD	Frost Day	تعداد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صفر درجه است
SU	Summer Day	تعداد روزهایی که دمای حداکثر بزرگتر از ۲۵ درجه است.
ID	Icing Day	تعداد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صفر درجه است.
T40	Tmax >=40	تعداد روزهایی که دمای حداکثر بزرگتر یا مساوی ۴۰ درجه است.
MIN21	TMIN>21	تعداد روزهایی که دمای حداقل بزرگتر از ۲۱ درجه است.
HWDI	Heat Wave Duration	تعداد روزهایی که دمای حداکثر بزرگتر از دمای متوسط +۵ است.
CWDI	Cold Wave Duration	تعداد روزهایی که دمای حداکثر کوچکتر از دمای متوسط -۵ است.
TR	Tropical Day	تعداد روزهایی که دمای حداقل بزرگتر از ۲۵ درجه است.
RR1	Rain>=1mm	تعداد روزهایی که بارش بیش از یک میلی‌متر است.
RR5	Rain>=5mm	تعداد روزهایی که بارش بیش از پنج میلی‌متر است.
RR10	Rain>=10mm	تعداد روزهایی که بارش بیش از ده میلی‌متر است.
RR20	Rain>=20mm	تعداد روزهایی که بارش بیش از بیست میلی‌متر است.
CDD	Cold Degree- Day	جمع تعداد روزهایی که دمای متوسط روزانه است. (-۲۱)
HDD	Heat Degree- Day	جمع تعداد روزهایی که دمای متوسط روزانه است. (۱۸-)
GDD	Growing Degree- Day	تعداد روزهایی که دمای متوسط روزانه به مدت پنج روز در فصل بهار و پاییز بزرگتر از ۵/۵ درجه است.
SDII	Simple Daily Intensity	شاخص ساده بارش (نسبت بارش سالانه به روزهای تر)
ETR	Extreme Temp Range	اختلاف دمای حداکثر از دمای حداقل روزانه
PER10 TMIN	10 <sup>th</sup> percentile Tmin	تعداد روزهایی که دمای حداقل از صدک اوّل کوچکتر است.
PER90 TMIN	90 <sup>th</sup> percentile Tmin	تعداد روزهایی که دمای حداقل از صدک نهم بزرگتر است.
PER10 TMAX	10 <sup>th</sup> percentile Tmax	تعداد روزهایی که دمای حداکثر از صدک اوّل کوچکتر است.
PER90 TMAX	90 <sup>th</sup> percentile Tmax	تعداد روزهایی که دمای حداکثر از صدک نهم بزرگتر است.
PER10 RR1	10th Percentile RR1	تعداد روزهایی که بارش از صدک ده بارش یک میلی‌متر بیشتر است.
PER90 RR1	90th Percentile RR1	تعداد روزهایی که بارش از صدک ۹۰ بارش یک میلی‌متر بیشتر است.
PER95 RR1	95th Percentile RR1	تعداد روزهایی که بارش از صدک ۹۵ بارش یک میلی‌متر بیشتر است.
WD	Wet Day	تعداد روزهای تر
DD	Dry Day	تعداد روزهای خشک

جدول شماره (۲): متوسط شاخص های حدی در دوره آماری قرن بیستم ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰

FD	ID	T40	SU	WD	شاخص شهر
۱/۸	۰	۱۳۰	۲۵۰/۴	۲۹/۷	آبادان
۱۱۲	۲۱	۰	۱۰۹/۸	۷۲/۷	ارومیه
۹	۰/۱	۰	۱۰۸/۵	۱۳۰/۹	انزلی
۵۱/۶	۱/۷	۵/۲	۱۶۳/۵	۵۸/۲	تهران
۵۸/۶	۰/۱	۸/۲	۲۰۹/۷	۲۲/۲	زاهدان
۵۵/۲	۰/۰۳	۷/۵۳	۱۸۷/۵	۴۰	شیراز
۹۸/۲	۸/۲۶	۰/۵۳	۱۵۳/۸	۶۱/۲	مشهد
۹۲/۳	۵/۱	۱۰/۶	۱۵۵/۷	۷۲	کرمانشاه
۵۸/۶	/۵	۳۰/۸	۱۹۷/۷	۲۰/۴	یزد

جدول شماره (۳): متوسط شاخص های حدی در دهه آخر قرن بیستم ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰

FD	ID	T40	SU	WD	شاخص شهر
۰/۱	۰	۱۳۴/۷	۲۵۲/۲	۳۴/۵	آبادان
۱۱۱/۲	۱۰/۴	۰	۱۱۳/۴	۷۳	ارومیه
۱/۶	۰	۰	۹۵/۶	۱۳۴/۶	انزلی
۳۰/۴	۰/۲	۴/۶	۱۶۵/۲	۶۰/۹	تهران
۴۷/۱	۰/۱	۷/۳	۲۰۷/۱	۲۶	زاهدان
۲۴/۷	۰	۱۰/۷	۱۸۷/۵۲	۴۹	شیراز
۷۱	۴/۴	۱/۲	۱۵۳/۶	۷۱	مشهد
۸۲/۱	۲	۱۷/۷	۱۶۷/۴	۷۷/۳	کرمانشاه
۴۲/۸	۰/۶	۲۷/۱	۲۰۱/۹	۲۵/۵	یزد

جدول شماره (۴): میانگین دوره بازگشت شاخص های حدی دوره استاندارد ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰

FD	SU	WD	دوره بازگشت شاخص ایستگاه
۲۰۲	۱/۴۵	۱۲/۲۸	آبادان
۳/۲۵	۳/۳۲	۴/۹۵	ارومیه
۴۰/۵	۳/۳۶	۲/۷۸	انزلی
۷	۲/۲۳	۶/۲۷	تهران
۶/۲	۱/۷۴	۱۶/۴۱	زاهدان
۶/۶۱	۱/۹۴	۹/۱۲	شیراز
۳/۷۱	۲/۳۷	۵/۹۶	مشهد
۳/۹۶	۲/۳۴	۵/۱	کرمانشاه
۶/۲۲	۱/۸۴	۱۷/۹	یزد

جدول شماره (۵): میانگین دوره بازگشت شاخص های حدی در دوره استاندارد ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰

FD	SU	WD	دوره بازگشت شاخص ایستگاه
۳۶۵۰	۱/۴۴	۱۰/۵۷	آبادان
۳/۲۸	۳/۲	۵	ارومیه
۲۲۸	۳/۸	۲/۷۱	انزلی
۱۲	۲/۲	۵/۹۹	تهران
۷/۷۴	۱/۷۶	۱۴/۰۳	زاهدان
۱۴/۸	۱/۹	۷/۴۴	شیراز
۵/۱	۲/۳۷	۵/۱۴	مشهد
۴/۴۵	۲/۱۸	۴/۷	کرمانشاه
۸/۵	۱/۸	۱۴/۳۱	یزد

جدول شماره (۶): مقدار بارش در خشکسالی با دوره بازگشت ده ساله

ایستگاه	بارش (میلیمتر)
آبادان	۱۳۰/۹
اهواز	۱۳۹/۷
انزلی	۲۰۶
ارومیه	۴۰۷
بابلسر	۷۹۳
بوشهر	۳۰۴
تبریز	۲۹۴/۷۵
تهران	۱۴۵/۹
شاهرود	۱۰۸/۶
شیراز	۵۴۱/۷
زاهدان	۹۹
کرمان	۲۰۰/۲۵
کرمانشاه	۳۰۰/۹
مشهد	۲۸۰/۶
همدان	۳۱۰/۸
یزد	۴۱/۸

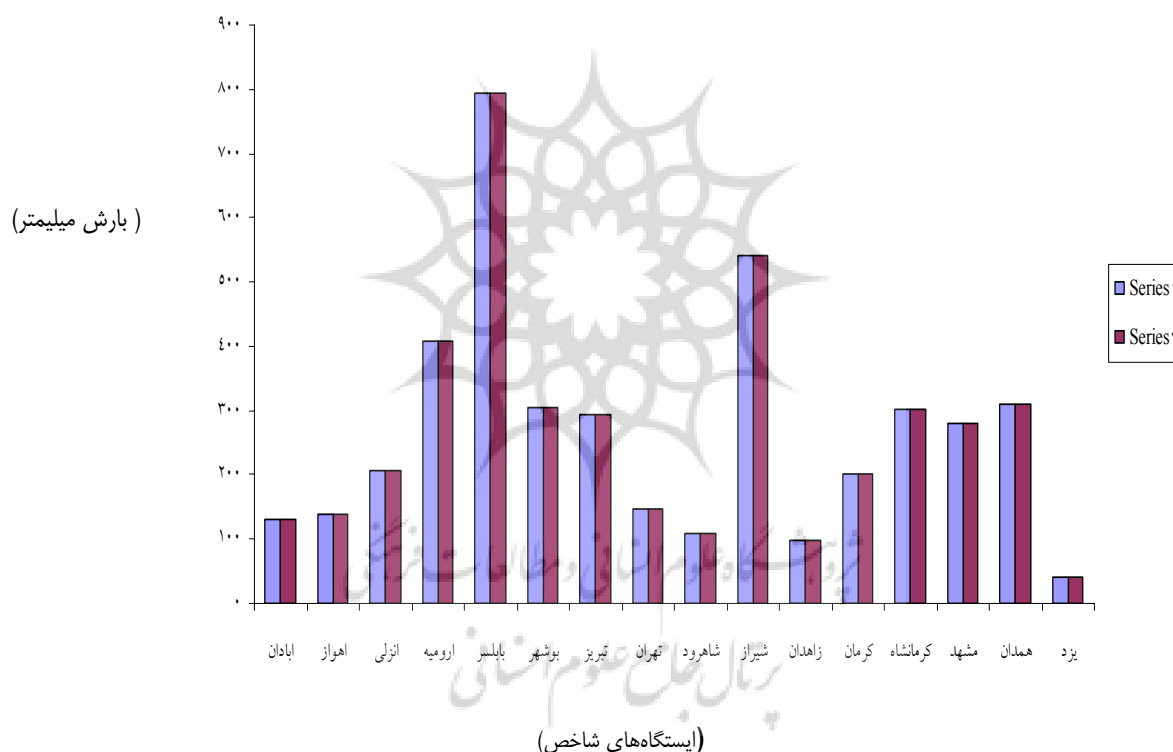


۵/۳ مقدار بارش سالانه در صورت وقوع خشکسالی برای هر شهر در نظر گرفته شده است. برای مثال بارش سالانه شهر یزد در دوره خشکسالی دهساله ۴۱/۸ میلیمتر خواهد بود درجدول شماره (۶) بارندگی سالانه هر ایستگاه در صورت خشکسالی دهساله پیش بینی شده است و برای تر سالی ها نیز می توان مشابه این روش عمل کرد. برای مقایسه ایستگاهها از نظر رویداد خشکسالی، هیستوگرام مقادیر بارش در نمودار شماره (۱) رسم شده است

### تعیین مقدار بارش در دوره های خشکسالی

در این بخش، مقادیر بارش در خشکسالی ها با دوره بازگشت دهساله برای ۱۶ ایستگاه سینوپتیکی ایران که دارای آمار ۵۳ ساله بودند، محاسبه شد. برای تعیین مقدار بارش در خشکسالی با دوره دهساله، ابتدا مقادیر بارش سالانه به ترتیب صعودی رتبه بندی شد سپس به هر یک از مقادیر در هر شهر یک رتبه اختصاص داده شد. در این بررسی، بارش سالانه در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳ به مدت ۵۳ سال در ۱۶ ایستگاه شاخص مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین رتبه

### نمودار شماره (۱) : مقدار بارش در خشکسالی با دوره بازگشت دهساله در ایستگاه های شاخص نواحی اقلیمی ایران



SU (تعداد روزهایی که دمای حداکثر بالاتر از ۲۵ درجه است) و شاخص WD (تعداد روزهای تر) در ایستگاه های شاخص اقلیمی افزایش یافته است. برای مثال متوسط شاخص حدی سرد ID (تعداد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صفر درجه است) در ایستگاه ارومیه از ۲۱ روز در سال به ۱۰/۳ روز در سال کاهش پیدا کرده است. سپس دوره بازگشت شاخص ها محاسبه شد.

با مقایسه جدول های شماره (۵ و ۴) دیده می شود که دوره بازگشت شاخص های حدی گرم و بارش کوتاه تر و دوره بازگشت شاخص های حدی سرد طولانی تر شده است

### بحث و نتیجه گیری

مقایسه جدول های شماره (۳ و ۲) نشان می دهد که شاخص حدی گرم، روند افزایشی و شاخص های حدی سرد روند کاهشی دارند و شاخص روزهای تر در دهه آخر قرن بیستم، روند افزایشی نسبت به متوسط دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ دارد. جدول های شماره (۳ و ۲) نشان می دهد که متوسط شاخص حدی سرد مانند FD (تعداد روزهایی که دمای حداقل زیر صفر درجه است) و ID (تعداد روزهایی که دمای حداکثر زیر صفر درجه است) در دو دوره کاهش یافته است و متوسط شاخص حدی گرم مانند T40 (تعداد روزهایی که دمای حداکثر بالاتر از ۴۰ درجه است) و



Abaurrea . J and Cebrian . 2001. trend and Variability Analysis of Rainfall series and their Extreme Events , indicting and Brunet India,M,andLope,Bolino,D.2001.(eds)Detecting and Modeling Regional ClimateChang, Springer Verlage, Germany, 191-201 pp.

Baskin,B.1993. Ecologists Put Some Life into Models of a Changing World, Science.25, 1694-1696.

Brunet India, M., Lopez Bonilo, D .2001. Detecting and Modeling Regional climate change Springer – Verlage . Germany.

Brunetti, M.et al.2000. Pricipitation intensity trends in Northern Italy. Int. J. Climatol., 20.

Frich, P. et al.2002.Observed coherent changes in climatic extremes during 2nd half of the 20th century. Climate Res., 19, 193-212.

Goodes, C.2004. Statistical and Rgioinal dynamical Downscaling of Extremes for Europian regions, second annual February 2003 to January 2004, climatic research unit, university of East Angelia, Norwich, NR4 7TG, UK.

Hardy , J.T.2003. Climate change , Causes , Effects and Solutions John wiley – Sons . Ltd pp. 39.

Haylock, M., and N. Nicholls.2000.Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality dataset for Australia, 1910-1998. Int. J. Climatol., 20, 1533-1541.

Houghton, et al.2001. Climate Change , The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, 944 pp.

IPCC.1996a.ClimateChange1995, The Science of Climate Change,In : Houghten JT,Meira Filno ,L.G.Callender,B.T.,Harris

و از آنجایی که فرکانس دوره بازگشت نسبت معکوس با هم دارند، نتایج مبین افزایش فرکانس شاخص‌های حدی گرم و بارش است و اگر این روند در سالهای آینده تکرار شود، شاهد تغییرات وسیع‌تر خواهیم بود این تغییرات منجر به کوتاه شدن دوره های بازگشت خشکسالی و سیل خواهد شد و در نهایت فرکانس رویدادهای اقلیمی حدی بیشتر می شود. برای ارزیابی کمی مقدار بارش در خشکسالی با دوره بازگشت دهساله در ایستگاه‌های شاخص، واحی اقلیمی ایران تعیین شد. برای مثال بارش سالانه شهر یزد در دوره خشکسالی دهساله ۴۱/۸ میلیمتر خواهد بود. آنچه مسلم است تغییر در فرکانس و شدت رویدادهای حدی آثار شدیدتری بر فعالیت‌های انسانی و محیط زیست آن نسبت به تغییر در متوسط اقلیمی در کوتاه مدت خواهد داشت. در این صورت، نیاز به تهیه سناریوهای حدی به منظور کمک به حل مسائل زیست محیطی و اقلیمی و ضرورت معرفی راهکارهای مناسب برای پیشگیری از خسارات وجود دارد

#### یادداشت‌ها

- 1-Anthropogenic
- 2-Canadian General Circulation Model1
- 3-Extreme Climate Index Software
- 4-Matlab
- 5-World Meteorological Organization-Commision for Climatology(WMO-CCL)
- 6-Research Program on Climate Variability and Predictability(CLIVAR)
- 7-Return Period

#### منابع مورد استفاده

- پوراحمد، ا. ۱۳۸۱. نقش ساختار جغرافیای در سیل مردادماه ۱۳۷۸ شهر نکا، مجله محیط شناسی شماره ۲۹، صفحات ۵۹-۷۰
- تقوی، ف. ۱۳۸۴. روند شاخص‌های حدی دما و بارش در ایران پایان نام دکتری اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- کردوانی، پ. ۱۳۸۰. خشکسالی و راههای مقابله با آن در ایران، موسسه انتشارات و چاپ تهران، صفحات ۲۸-۳۳
- کوچکی، ع.، شریفی ح. ر. زند، ا. ۱۳۷۷. پیامدهای اکولوژیکی تغییر اقلیم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۶۴-۶۵

Moberg, A. and Coauthors.2000. Day-to-day temperature variability trends in 160- to 275-year-long European instrumental records. *J. Geophys. Res.*, 105, 22 849–22 868.

MSc .2004. [http : //WWW . MSC – smc . ec . gc . Ca](http://WWW.MSC-smc.ec.gc.ca)

Puhe, J. and Ulrich ,B.2001. Global climate change and Human impacts on Forest Ecosystems, springer–VerlageBerlin eidolberg Germany, 592pp.

STARDEX second annual report.2004.[http : // www. cru.uea .ac.uk/cru/projects / stardex](http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/stardex)

Yan, Z.and Coauthors.2002.Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations. *Climatic Change*,53, 355–392.

Zweirs, F.1994.changes in screen temperature extreme under a doubling of co2In: Boer GJ ed Research activities in atmospheric and oceanic modeling, World Meteorological Organization technical document 592, World Meteorological Organization ,Genva,744-746

IPCC.1995.ClimateChange1994,In: Houghten JT,Meira Filno LG,Bruce JP, Lee H, Callender,B.T.,Haites EF,Harris

Karl, k. and B., Baker.2000. The record breaking global temperature of 1997 and 1998: Evidence for an increase in the rate of global warming? *Geophys. Res. Lett.*, 27, 719–72

KleinTank, A. M. G., and Coauthors.2002. Daily dataset of 20<sup>th</sup> century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.*, 22, 1441–1453

Klien.Tank.A.M.G .and.Konnen G.P.2003. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe,1946–99, *J.Climate* ,16,3665-3680.

Meehl, G. A.and Coauthors.2000.An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 413–416