

پیش‌نگری کمی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر شاخص گرمایی (THI) تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) در ایران

سجاد عسگری^۱، نودز قهرمان^{۲*}، ایمان بابائیان^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران، کارشناس هواشناسی اداره کل هواشناسی استان زنجان

۲. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

۳. عضو هیات علمی پژوهشکده اقلیم‌شناسی - مشهد

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۱

چکیده

شاخص دما - رطوبت (THI)، معرف تاثیرات توامان این دو کمیت بر موجودات زنده و بروز تنشهای محیطی است. با توجه به پیامدهای گرمایش جهانی، انتظار می‌رود مقدار این شاخص در دهه‌های آتی دچار تغییر شود. مطالعه حاضر به منظور کمی‌سازی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر شاخص THI، به عنوان یک شاخص اقلیمی - کشاورزی مؤثر در تولید دام‌ها انجام شده است. در این پژوهش با توجه به رویکرد جدید در گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC AR5, 2014) از خروجی‌های ریزمقیاس شده دو مدل جهانی CNRM-CM5 و EC-EARTH تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. برای این منظور ابتدا برای دوره اقلیمی پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) داده‌های ۸۶ ایستگاه هواشناسی در سطح کشور، معرف اقلیم‌های گوناگون کشور که سال تأسیس آن‌ها ۱۹۸۶ و یا ماقبل بوده، گردآوری و کنترل کیفی شد. سپس به منظور بررسی تغییرات سطوح مختلف تنش گرمایی ابتدا پهنه‌بندی‌های اقلیمی در مقیاس فصلی در دوره اقلیمی پایه و در سه دوره اقلیمی آتی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، میانی (۲۰۴۵-۲۰۶۵) و دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) تا پایان قرن بیست و یکم انجام گرفت. در ادامه مساحت پهنه‌های سطوح مختلف تنش گرمایی محاسبه گردید. نتایج کلی نشان از افزایش مساحت پهنه‌های توأم با تنش گرمایی $(THI \geq 72)$ و متقابلاً کاهش مساحت پهنه‌های فاقد تنش گرمایی $(THI < 72)$ ؛ مناطق مستعد پرورش و تولید دام در اقلیم آتی در فصول بهار و تابستان داشت، به طوری که مناطق مستعد تولید دام که در دوره اقلیمی پایه در فصول بهار و تابستان به ترتیب ۸۶/۹ و ۴۹ درصد از مساحت کل کشور را در قلمرو خود داشت، به تدریج تا پایان قرن بیست و یکم با توجه به گرمایش جهانی رو به کاهش بوده، و در اقلیم آتی دور تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به حدود ۶۶/۴ و ۵۴/۲ در فصل بهار و ۲۲/۴ و ۶/۸ درصد در فصل تابستان کاهش خواهد یافت. شایان ذکر است در فصول پاییز و زمستان با وجود افزایش در میانگین فصلی شاخص THI، شاخص تا پایان قرن بیست و یکم از حد آستانه خود $(THI=72)$ بیشتر نخواهد شد، به بیان دیگر، در این دو فصل با وجود گرمایش جهانی، احتمالاً دام تا پایان قرن بیست و یکم در گستره ایران دچار تنش‌های گرمایی محسوس نخواهد شد.

واژگان کلیدی: ایران، تغییر اقلیم، تنش گرمایی، سناریو

مقدمه

می‌یابد. جدول (۱) چشم‌اندازی از تغییرات متوسط دمای کره زمین در دهه میانی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) و پایانی قرن بیست و یکم (۲۱۰۰-۲۰۸۱) را نسبت به دوره اقلیمی پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) تحت سناریوهای جدید در گزارش پنجم IPCC نشان می‌دهد (IPCC AR5, 2014).

تغییر اقلیم به‌عنوان پدیده‌ای که طیف وسیعی از جنبه‌های زندگی بشر را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد، به یکی از اصلی‌ترین موضوعات مورد تحقیق در چند سال اخیر تبدیل شده است. با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص گاز CO₂، میانگین دمای کره زمین نیز متقابلاً افزایش

جدول ۱ - چشم‌انداز تغییرات میانگین جهانی دما (°C) در اواسط (۲۰۶۵-۲۰۴۶) و پایانی قرن بیست و یکم (۲۱۰۰-۲۰۸۱). نسبت به دوره اقلیمی پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) تحت سناریوهای جدید در گزارش پنجم (IPCC AR5)

دوره اقلیمی	2046-2065	2081-2100
سناریوهای انتشار میانگین و فاصله اطمینان در سطح اعتماد 95%	میانگین و فاصله اطمینان در سطح اعتماد 95%	
RCP2.6	1.0 (0.4 - 1.6)	1.0 (0.3 - 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 - 2.0)	1.8 (1.1 - 2.6)
RCP6.0	1.3 (0.8 - 1.8)	2.2 (1.4 - 3.1)
RCP8.5	2.0 (1.4 - 2.6)	3.7 (2.6 - 4.8)

مرور نتایج مطالعات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که با افزایش شاخص THI عملکرد تولید در دام‌ها کاهش می‌یابد که شدت افت بستگی به شدت تنش گرمایی، نوع اقلیم منطقه، تغذیه دام، ژنتیک دام و غیره متفاوت است از جمله مطالعات داخلی مرتبط در این زمینه می‌توان به حسین زاده و اردلان (Hossein-Zadeh and Ardalan, 2011)، تقوی و ناصریان (۱۳۹۱)، حسین زاده و همکاران (Hossein-Zadeh et al., 2013)، تقوی و همکاران (۱۳۹۳) و دشتی و همکاران (۱۳۹۵) را نام برد و از مطالعات خارجی نیز می‌توان به کولیر و همکاران (Collier et al., 2006)، ولادوت (Vladut, 2011)، نابیشی و همکاران (Nabenishi et al., 2011)، داش و همکاران (Dash et al., 2016)، ال. دیموف و همکاران (Dimov et al., 2017) و ککانا و همکاران (Kekana et al., 2018) قابل ذکر است. که در مجموع مویند روند افزایشی این شاخص و کاهش تولیدات دامی بوده است. با اینکه در این مطالعات اثر تغییرات شاخص THI بر عملکرد دام بررسی شده است، ولی تأثیرات تغییر اقلیم بر شاخص THI به‌ویژه در اقلیم آبی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. گرچه آشکارسازی روند متغیرهای دخیل در محاسبه آن (دما و رطوبت نسبی) موضوع تحقیقات متعددی بوده است (از جمله، قره خانی و

میانگین جهانی دما تحت سناریوهای مختلف و بسته به منطقه جغرافیایی در اواسط قرن بیست و یکم (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در محتمل‌ترین شرایط تحت سناریوهای مختلف بین ۰/۴ الی ۲/۶ درجه سلسیوس و در اواخر قرن (۲۱۰۰-۲۰۸۱) بین ۰/۳ تا ۴/۸ درجه سلسیوس (°C) نسبت به میانگین دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) افزایش خواهد یافت (IPCC AR5, 2014). در این میان انتظار می‌رود شاخص دما-رطوبت (THI) یا شاخص تنش گرمایی که صرفاً مبتنی بر عوامل هواشناسی بوده و باعث تغییر دمای بدن نسبت به شرایط عادی آن می‌گردد (Thom, 2003; Dikmen et al., 2009). در اقلیم آبی دچار تغییرات اساسی گردد. تغییر در شاخص یاد شده می‌تواند تأثیرات سوء بر موجودات زنده اعم از گیاهی، جانوری و انسان داشته باشد که تأثیرات عمده به خصوص بر فرآیندهای فیزیولوژیکی (لقاح و باروری) و متابولیسمی دام و نیز ترکیبات شیمیایی خون و میزان تولیدات شیر است. (دیموف و همکاران Dimov et al., 2017; ککانا و همکاران Kekana et al., 2018).

¹ Temperature-Humidity Index (THI)

شرقی انگلستان تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی (THI) ≥ 72 به بیش از ۲۰ روز در سال خواهد رسید.

ماگر و همکاران (Mauger et al., 2015) تأثیر تغییر اقلیم بر شاخص THI و تولیدات دامی در ایالات متحده آمریکا را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنها نشان داد که این شاخص، طی قرن بیست و یکم با شدت‌های متفاوت، بسته به اقلیم‌های گوناگون در گستره این کشور افزایش خواهد یافت؛ که این افزایش تأثیرات قابل‌توجه و معنی‌داری بر تولیدات دامی بخصوص بر تولید شیر خواهد داشت.

سینها و همکاران (Sinha et al., 2017) در بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر زادآوری و تولید دام در هند، به این نتیجه رسیدند که گرمایش جهانی موجب افزایش شاخص THI با شدت‌های مختلف تأثیرات سوء بر تولید و نرخ باروری دام‌ها شده است. بر اساس یافته‌های این تحقیق، تولید لبنیات در این کشور در چشم انداز آینده به شدت در معرض تهدید است و اتخاذ راهبردهای مدیریتی، از جمله اصلاح دام، مدیریت تغذیه، و تلقیح مصنوعی به منظور تعدیل اثرات نامطلوب تنش گرمایی بایستی مد نظر باشد. نتایج مشابهی توسط بالاموروگان و همکاران در بررسی تأثیر گرمایش جهانی بر عملکرد دام گزارش شده است.

(Balamurugan et al., 2018)

در مطالعه حاضر با پهنه‌بندی سطوح مختلف شاخص THI (تنش گرمایی ملایم و شدید) در دوره اقلیمی پایه و اقلیم آتی تحت سناریوهای مختلف RCP تغییرات سطوح مختلف تنش گرمایی در اقلیم آتی در مقایسه با دوره اقلیمی پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) در گستره ایران مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با محاسبه مساحت پهنه‌های فاقد تنش گرمایی و یا مناطق مستعد برای پرورش و تولید دام (THI < 72)، تنش گرمایی ملایم ($72 \leq \text{THI} < 78$) و تنش گرمایی شدید ($78 \leq \text{THI} < 89$) تغییرات سطح مناطق تحت پوشش مقادیر مختلف شاخص در اقلیم آتی تعیین شد. تا بدین‌صورت مناطق مستعد تولید دام به‌ویژه مناطق مناسب احداث گاوداری‌ها از لحاظ اقلیمی در هر یک دوره‌های اقلیمی آتی نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱)، میانی (۲۰۶۵-۲۰۴۵) و دور (۲۱۰۰-۲۰۸۱) تا پایان قرن بیست و یکم معین شد.

قهرمان ۱۳۸۹، کتیرایی بروجردی و همکاران (۱۳۹۰). از آنجایی که شاخص THI، مؤلفه مهمی در تولید و امنیت غذایی محسوب می‌شود و می‌تواند به عنوان سنجی از راهبردهای سازگاری با تغییرات اقلیم و ارزیابی تأثیرات مد نظر باشد. با این وجود مطالعات محدودی در ایران با استفاده از سناریوهای RCP بخصوص در زمینه ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر کشاورزی انجام شده است، از جمله این مطالعات داخلی می‌توان به طباطبایی و همکاران (۱۳۹۴)، قهرمان و همکاران (۱۳۹۵)، قهرمان و همکاران (Ghahreman et al., 2015) اشاره کرد. همچنین مطالعات آمن هوفر و همکاران (Ummerhofer et al., 2015)، آریا و همکاران (Araya et al., 2015) و کارتسچال و همکاران (Kartschall, et al., 2015) قابل‌ذکر است. با توجه به اینکه تأثیر تغییر اقلیم بر شاخص THI محتمل به نظر می‌رسد و احتمال افت تولیدات دامی در دهه‌های آتی با افزایش این شاخص وجود دارد، به همین دلیل طی سال‌های اخیر بررسی تغییرات این شاخص در اقلیم آتی به‌عنوان یک مبحث اساسی در مطالعات راهبردی مورد توجه محققین کشورهای مختلف بوده است.

سلوموسی و همکاران (Solymosi et al., 2010)، روند سالانه شاخص THI و تعداد روزهای عبور شاخص THI از حد آستانه ($\text{THI} \geq 72$) در دوره اقلیمی پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و آتی (۲۰۵۰-۲۰۲۱) در کشور مجارستان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد، روند سالانه شاخص THI و تعداد روزهای توأم با تنش گرمایی در سراسر مجارستان افزایش خواهد یافت، ولی شدت افزایش با توجه به اقلیم هر منطقه متفاوت خواهد بود به طوری که در دوره اقلیمی مورد بررسی نسبت به دوره پایه، افزایشی بین ۱ تا ۲۷ روز در سال خواهد داشت.

دان و همکاران (Dunn et al., 2014) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر شاخص THI در انگلستان، روند تعداد روزهایی از سال که در آن میانگین روزانه شاخص THI از سطح آستانه خود ($\text{THI} \geq 72$) بالاتر می‌گردد را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنها نشان داد، روند تعداد روزهای تنش گرمایی در مقیاس سالانه در همه مناطق مورد مطالعه، افزایشی است، به طوری که در اواخر قرن بیست و یکم در بخش‌های

مواد و روش‌ها

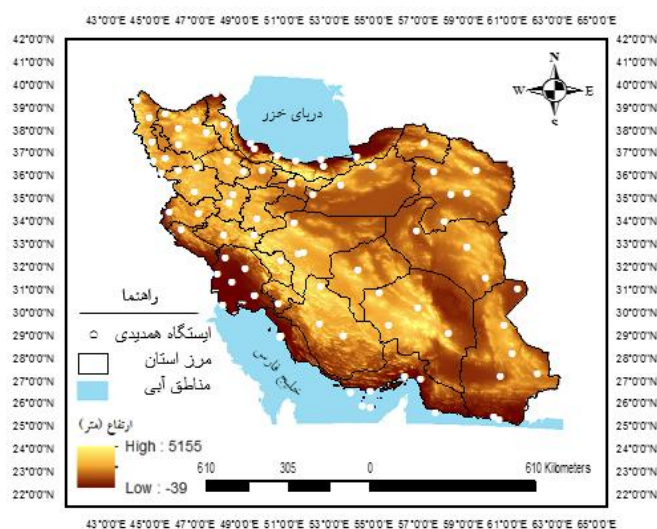
منطقه مطالعاتی

محدوده مطالعاتی این پژوهش کل پهنه ایران است. متوسط درازمدت بارش کشور حدود ۲۵۴ میلی‌متر است. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن گسترش یافته از مساحت کل کشور، حدود ۳۶ درصد از آن دارای اقلیم فراخشک، ۲۹ درصد خشک بیابانی، ۲۰ درصد نیمه‌خشک و ۱۵ درصد اقلیم مدیترانه‌ای و بسیار مرطوب می‌باشد. بر همین اساس، حدود ۶۵ درصد از کل مساحت کشور تحت پوشش اقلیم خشک قرار دارد. رحیمی و همکاران (Rahimi et al., Khalili and Rahimi, 2010)، خلیلی و رحیمی (2014).

داده‌های اقلیمی مورد استفاده

در مطالعه حاضر از میان ایستگاه‌های همدیدی موجود در

سطح کشور، ۸۶ ایستگاه، به‌عنوان ایستگاه‌های شاخص در سطح کشور انتخاب شدند. با توجه به اینکه دوره تاریخی مجموعه مدل‌های اقلیمی CMIP5 از ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ است و دوره اقلیمی پایه در مطالعه حاضر از ۱۹۸۶-۲۰۰۵ است، بنابراین معیار انتخاب ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه داشتن حداقل بیست سال هم‌پوشانی با دوره تاریخی مدل‌های اقلیمی بوده است؛ بنابراین ایستگاه‌هایی که تاریخ تأسیس آنها ۱۹۸۶ و یا قبل از آن بوده به‌عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شدند. داده‌های اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق شامل کمیت‌های میانگین روزانه دما و رطوبت نسبی است. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را همراه با پراکندگی ایستگاهی هواشناسی در گستره کشور را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه

محاسبه شاخص THI

در این مطالعه شاخص THI با استفاده از یکی از معادلات استاندارد پیشنهادی دیکمن و هاسن (Dikmen and Hansen, 2009) محاسبه شد.

$$THI = (1.8T + 0.32) - (0.55 - 0.0055RH)(1.8T - 26.8) \quad (1)$$

در این رابطه، T دما برحسب درجه سانتی‌گراد، RH رطوبت نسبی برحسب درصد است. سطوح مختلف شاخص THI مطابق جدول (۲) تقسیم‌بندی می‌گردد. (Moran, 2005).

جدول ۲- سطوح مختلف شاخص THI

تنش منجر به مرگ حیوان	تنش خیلی شدید	تنش شدید	تنش خفیف	سطح تنش
$THI \geq 98$	$89 \leq THI < 98$	$78 \leq THI < 89$	$72 \leq THI < 78$	محدوده THI

ایران بر اساس روش لایه خطا محاسبه شد. به‌طورکلی اساس این روش بر جستجوی یک معادله با مؤلفه‌های طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها به صورت معادله $P(\theta) = \alpha + \beta X + \gamma Y + \lambda Z + \varepsilon$ است که در آن $P(\theta)$ ویژگی موردنظر است که در اینجا مقصود میانگین دوره‌ای شاخص THI در دوره اقلیمی پایه و دوره‌های اقلیمی آتی نزدیک، میانی و دور است. β ، α و λ ضرایب معادله هستند. X ، Y و Z مختصات جغرافیایی (طول و عرض و ارتفاع) و همین‌طور ε خطای برآورد است که به روش ایجاد و اعمال لایه خطا بر معادله اضافه می‌گردد (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۳).

به منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر تغییر اقلیم بر هر یک از سطوح مختلف شاخص THI و مقایسه آن با وضعیت دوره اقلیمی پایه، مساحت پهنه‌های نقشه‌های ترسیم‌شده دوره اقلیمی پایه و آتی را با استفاده از محیط نرم‌افزار GIS در هر یک از سناریوهای مورد مطالعه محاسبه و به صورت درصد از کل مساحت کشور بیان می‌گردد؛ و از آنجایی که در فصل‌های پاییز و زمستان علیرغم افزایش در شاخص THI طی قرن بیست و یکم، میانگین فصلی آنها در گستره ایران در هیچ از مدل‌ها و سناریوهای مورد مطالعه از مقدار آستانه خود ($THI=72$) بالاتر نرفت، لذا از آوردن تحلیل‌ها و نقشه‌های مربوطه صرف‌نظر شده و فقط نتایج آنها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد، همین‌طور در ارائه و تفسیر نتایج تحقیق این مطالعه به دلیل اینکه در مطالعات مشابه و اخیر در ایران، از خروجی‌های مدل اقلیمی EC-EARTH تحت سناریوهای RCP در گستره ایران (قهرمان و همکاران (۱۳۹۵)، قهرمان و همکاران (Ghahreman et al., 2015)) استفاده شده است، نتایج خروجی‌های این مدل بیشتر مورد توجه قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از این پژوهش در دو بخش ارائه می‌گردد، در

پس پردازش خروجی‌های مدل اقلیمی

در مطالعه حاضر جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی از تصحیح میانگین و انحراف معیار داده‌ها استفاده شد. این روش به عنوان روش پایه برای پس پردازش داده‌های اقلیمی در نرم‌افزار LARS-WG نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش با محاسبه میانگین و انحراف معیار دوره اقلیمی پایه، داده‌های اقلیمی آتی مدل‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم پس پردازش می‌گردد. در مطالعه حاضر پس پردازش روی میانگین و انحراف معیار خروجی‌های مدل طبق روابط (۲) و (۳) انجام می‌شود.

$$Mean_{fut} = (Mean_{base}^{GCM} - Mean_{base}^{obs}) + Mean_{base}^{GCM}$$

که در آن $Mean_{fut}$ میانگین داده‌های آینده اقلیمی، $Mean_{base}^{GCM}$ میانگین خروجی مدل برای دوره اقلیمی پایه، $Mean_{base}^{obs}$ میانگین داده‌های مشاهده شده در دوره پایه و $Mean_{base}^{GCM}$ میانگین داده‌های برآورد شده توسط مدل برای دوره اقلیمی آینده است.

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{obs}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM}$$

که در آن STD_{fut} انحراف معیار داده‌های آینده اقلیمی، STD_{base}^{obs} انحراف معیار داده‌های مشاهده شده در دوره اقلیمی پایه،

STD_{base}^{GCM} انحراف معیار خروجی مدل برای دوره اقلیمی پایه و STD_{fut}^{GCM} انحراف معیار داده‌های برآورده شده توسط مدل برای دوره اقلیمی آینده است (Babaeian and Kwon 2004; de Carvalho et al., 2015)

پهنه‌بندی شاخص گرمایی THI

در این مطالعه شاخص THI در دوره اقلیمی پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و دوره اقلیمی آتی در مختصات فضایی (X, Y, Z)

گرمایی THI در گستره ایران انجام گرفت، بدین منظور با محاسبه معیارهای RMSE، CVRMSE، MBA و R^2 به مقایسه خروجی مدل‌های اقلیمی قبل (برونداد مستقیم مدل) و بعد پس پردازش با مقادیر مشاهداتی پرداخته شد. جداول (۳) و (۴) به ترتیب نتایج راست آزمایی مدل‌های اقلیمی در پیش‌بینی فصلی شاخص THI در فصل‌های بهار و تابستان را نشان می‌دهد.

بخش اول به پهنه‌بندی شاخص گرمایی در دوره اقلیمی پایه و در سه دوره اقلیمی آتی ذکر شده تا پایان قرن بیستم و یکم پرداخته می‌گردد و در ادامه به منظور کمی سازی تغییرات شاخص THI تحت شرایط تغییر اقلیم، مساحت پهنه‌های هر یک از سطوح تنش گرمایی محاسبه می‌گردد.

راستی آزمایی روش ریزمقیاس نمایی

در این پژوهش با معیارهای استاندارد، کارایی مدل‌های اقلیمی مبنی بر میزان دقت پیش‌بینی میانگین فصلی شاخص

جدول ۳- کارایی مدل‌های اقلیمی در پیش‌بینی فصلی شاخص THI قبل و بعد پس پردازش (فصل بهار)

مدل‌های اقلیمی	معیارها	برون داد مستقیم مدل	برون داد پس پردازش شده مدل
EC-EARTH	RMSE	4.4	1.9
	CVRMSE	5.9%	2.6%
	MBA	-3.7	0.86
	R^2	0.809	0.902
CNRM-CM5	RMSE	4.4	2
	CVRMSE	5.9%	2.6%
	MBA	-3.7	0.9
	R^2	0.813	0.902

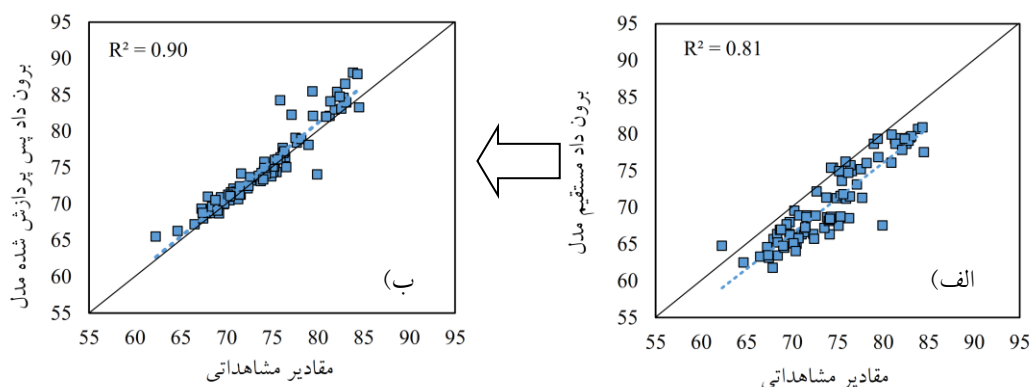
جدول ۴- کارایی مدل‌های اقلیمی در پیش‌بینی فصلی شاخص THI قبل و بعد پس پردازش (فصل تابستان)

مدل‌های اقلیمی	معیارها	برون داد مستقیم مدل	برون داد پس پردازش شده مدل
EC-EARTH	RMSE	6	2.1
	CVRMSE	9.2%	3.2%
	MBA	-4.9	1.2
	R^2	0.807	0.942
CNRM-CM5	RMSE	6.5	1.9
	CVRMSE	9.9%	2.8%
	MBA	-5.3	0.6
	R^2	0.806	0.941

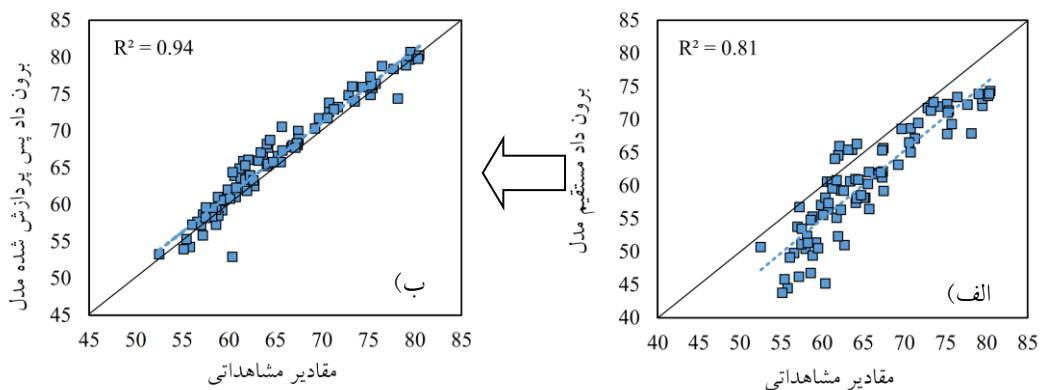
بالا بودن مقادیر R^2 در برون داد مستقیم مدل افت‌وخیزهای آن قابل پذیرش است، فلذا با اعمال پس پردازش روی انحراف معیار مدل‌های اقلیمی این معیار به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته است. برای نمونه شکل‌های (۲) و (۳) به خوبی این موضوع را قبل و بعد پس پردازش برون داد مستقیم مدل EC-EARTH به ترتیب برای فصل‌های بهار و تابستان نشان می‌دهد.

همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد با اعمال پس پردازش روی میانگین برون داد مستقیم مدل میزان خطا در پیش‌بینی شاخص THI به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر می‌گردد که مقایسه مقادیر معیار RMSE قبل و بعد پس پردازش به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد.

در ادامه به منظور بررسی افت و خیزهای مدل با مقادیر مشاهداتی، معیار R^2 نیز محاسبه گردید. هرچند با توجه به



شکل ۲- مقایسه میانگین و افت خیزهای مقادیر مشاهداتی و خروجی مدل (فصل بهار)؛ الف) قبل پس پردازش ب) بعد پس پردازش



شکل ۳- مقایسه میانگین و افت خیزهای مقادیر مشاهداتی و خروجی مدل (فصل تابستان)؛ الف) قبل پس پردازش ب) بعد پس پردازش

نمایه THI در اقلیم پایه و چشم‌انداز آتی

به منظور ترسیم نقشه‌های شاخص گرمایی THI ابتدا معادلات تغییرات متوسط شاخص THI با مختصات جغرافیایی در گستره ایران برای هر یک از دوره‌های اقلیمی پایه و آتی مطابق جدول (۵) و (۶) برای فصول بهار و تابستان به دست آمد.

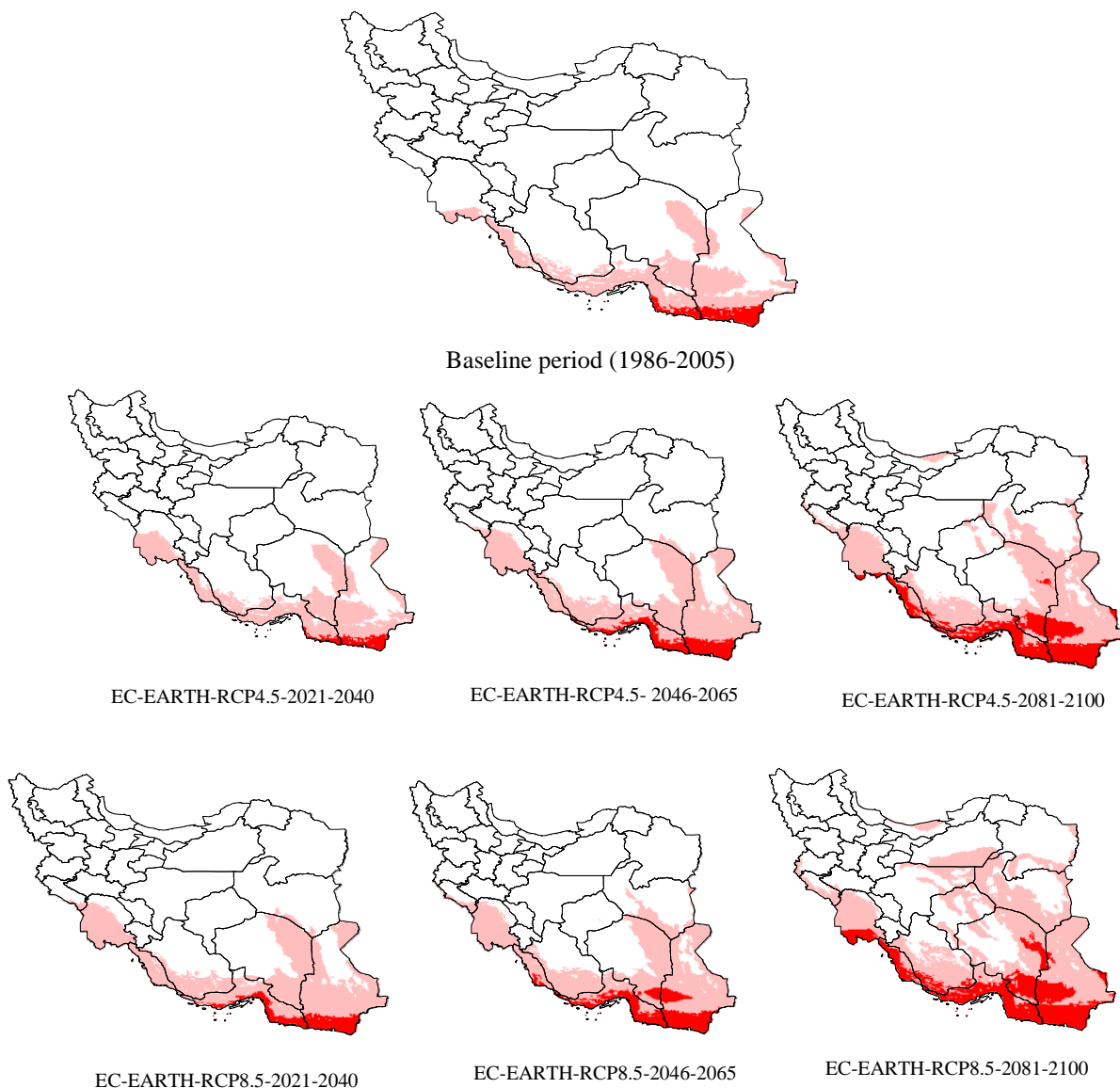
با توجه به مقادیر CVRMSE که در حد ۴۰٪ قابل قبول و بالاتر از ۷۰٪ به معنی عدم دقت خروجی‌های مدل است (Hengl et al., 2004). همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد مدل‌های اقلیمی مورد مطالعه در سطح خوبی قابل پذیرش است. با این وجود نتایج بررسی راست آزمایی مدل‌ها نشان داد که در فصول گرم دقت پیش‌بینی فصلی شاخص THI بالاتر است، به طوری که به ترتیب در فصول تابستان، بهار، پاییز و زمستان دقت پیش‌بینی در هر دو مدل بالاتر است.

جدول ۵ - معادلات فضایی شاخص THI در دوره اقلیمی پایه و چشم انداز آبی در گستره ایران (فصل بهار)

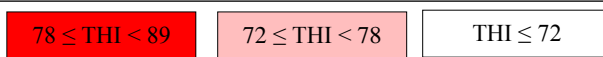
مدل و سناریو	دوره اقلیمی	معادله	R ²
دوره اقلیمی پایه	1986-2005	THI= 94.75 - 0.005820 z - 1.0451 Y + 0.2301 X	92.4
EC-EEARTH-RCP4.5	2021-2040	THI= 93.33 - 0.004967 z - 0.8702 Y + 0.1508 X	89.2
EC-EEARTH-RCP4.5	2046-2065	THI= 94.15 - 0.004818 z - 0.8524 Y + 0.1461 X	88.8
EC-EEARTH-RCP4.5	2081-2100	THI= 96.09 - 0.004923 z - 0.8406 Y + 0.1073 X	88.7
EC-EEARTH-RCP8.5	2021-2040	THI= 90.29 - 0.004446 z - 0.7746 Y + 0.1452 X	83.9
EC-EEARTH-RCP8.5	2046-2065	THI= 95.06 - 0.004191 z - 0.8234 Y + 0.1089 X	82.8
EC-EEARTH-RCP8.5	2081-2100	THI= 98.31 - 0.004149 z - 0.7997 Y + 0.0785 X	82
CNRM-CM5-RCP4.5	2021-2040	THI= 95.08 - 0.005227 z - 0.8301 Y + 0.0901 X	86.6
CNRM-CM5-RCP4.5	2046-2065	THI= 95.38 - 0.005028 z - 0.8329 Y + 0.0945 X	85.9
CNRM-CM5-RCP4.5	2081-2100	THI= 96.52 - 0.005146 z - 0.7985 Y + 0.0695 X	85.4
CNRM-CM5-RCP8.5	2021-2040	THI= 100.25 - 0.004120 z - 0.9459 Y + 0.0280 X	83.8
CNRM-CM5-RCP8.5	2046-2065	THI= 99.97 - 0.004173 z - 0.8808 Y + 0.0224 X	83.7
CNRM-CM5-RCP8.5	2081-2100	THI= 102.53 - 0.004066 z - 0.8600 Y + 0.0003 X	82.3

همان‌طور که به‌وضوح معلوم است در هر سه دوره اقلیمی آبی تا پایان قرن بیست و یکم مرتب شاخص THI افزایش پیدا می‌کند و بدین‌صورت از مساحت پهنه‌های فاقد تنش گرمایی کاسته شده و بر مساحت پهنه‌های تنش گرمایی ملایم و شدید افزوده می‌گردد. ضمن اینکه در سناریو RCP8.5 شدت افزایش بیشتر است. مساحت پهنه‌های سطوح مختلف شاخص THI در دوره اقلیمی پایه و در سه دوره اقلیمی آبی محاسبه گردید.

در معادلات بالا THI، متوسط شاخص گرمایی در هر یک از دوره‌های اقلیمی پایه و آبی است، Z ، Y ، X و R^2 به ترتیب ارتفاع، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ضریب تبیین است. همه معادلات در سطح معنی‌داری ۰.۰۵٪ معنی‌دار هستند. نقشه‌های میانگین شاخص THI بر اساس معادلات فضایی جداول (۵) و (۶) در دوره اقلیمی پایه و سه دوره اقلیمی آبی تحت دو سناریو اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 از مدل EC-EARTH به ترتیب برای فصل‌های بهار و تابستان ترسیم شد. شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب نقشه‌های ترسیم‌شده برای فصل‌های بهار و تابستان را نشان می‌دهد.



راهنما

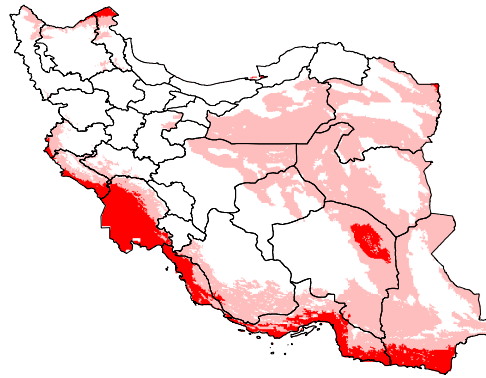


تنش گرمایی شدید

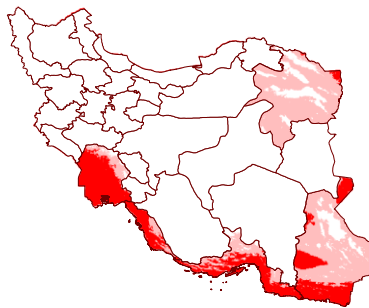
تنش گرمایی ملایم

عدم تنش گرمایی

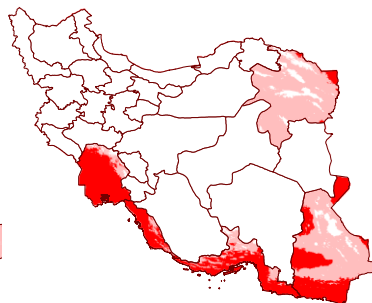
شکل ۴- تغییرات پهنه‌های سطوح مختلف شاخص THI تحت سناریوهای مختلف RCP، با استفاده از خروجی‌های مدل EC-EARTH (فصل بهار)



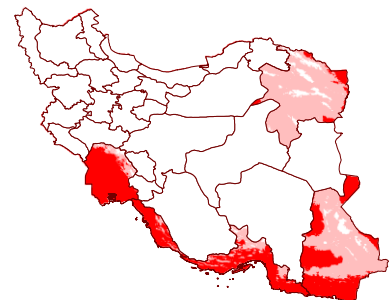
Baseline period -1986-2005



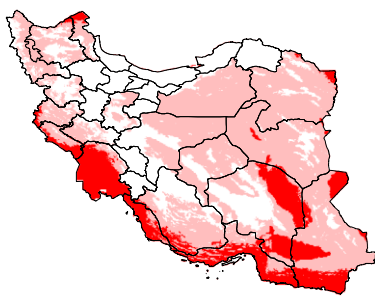
EC-EARTH -RCP4.5 2021-2040



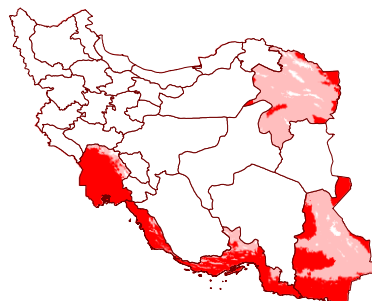
EC-EARTH -RCP4.5 2046-2065



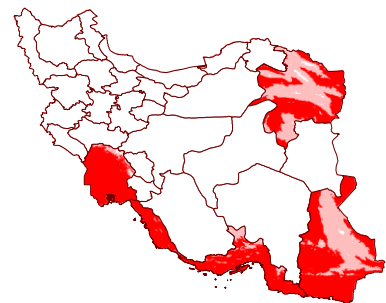
EC-EARTH -RCP4.5 2081-2100



EC-EARTH -RCP8.5 2021-2040

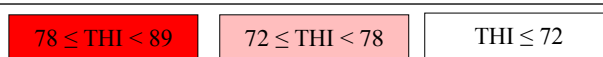


EC-EARTH -RCP8.5 2046-2065



EC-EARTH -RCP8.5 2081-2100

راهنما



تنش گرمایی شدید

تنش گرمایی ملایم

عدم تنش گرمایی

شکل ۵- تغییرات پهنه‌های سطوح مختلف شاخص THI تحت سناریوهای مختلف RCP، با استفاده از خروجی‌های مدل EC-

EARTH (فصل تابستان)

جدول ۶ - معادلات فضایی شاخص گرمایی THI در دوره اقلیمی پایه و چشم انداز آتی در گستره ایران (فصل تابستان)

مدل و سناریو	دوره اقلیمی	معادله	R ²
دوره اقلیمی پایه	1986-2005	THI= 114.18 - 0.005228 Z -0.8644 Y -0.1012 X	89.9
EC-EEARTH-RCP4.5	2021-2040	THI= 110.87 -0.004728 Z -0.6993 Y -0.1445 X	84.4
EC-EEARTH-RCP4.5	2046-2065	THI=111.89 - 0.004636 Z - 0.7229 Y - 0.1340 X	83.9
EC-EEARTH-RCP4.5	2081-2100	THI=115.30 - 0.004601 Z - 0.7654 Y - 0.1621 X	83.9
EC-EEARTH-RCP8.5	2021-2040	THI=111.76 - 0.004262 Z - 0.6809 Y - 0.1773 X	76.9
EC-EEARTH-RCP8.5	2046-2065	THI=112.05 - 0.004172 Z - 0.6972 Y - 0.1437 X	77.3
EC-EEARTH-RCP8.5	2081-2100	THI=118.14 - 0.004445 Z - 0.7137 Y - 0.2066 X	79.2
CNRM-CM5-RCP4.5	2021-2040	THI=110.37 - 0.005017 Z - 0.5986 Y - 0.1982 X	78.6
CNRM-CM5-RCP4.5	2046-2065	THI=109.98 - 0.005012 Z - 0.5664 Y - 0.1970 X	78
CNRM-CM5-RCP4.5	2081-2100	THI=111.59 - 0.005007 Z - 0.6001 Y - 0.1919 X	78.2
CNRM-CM5-RCP8.5	2021-2040	THI=111.11 - 0.004044 Z - 0.6633 Y - 0.1938 X	75.1
CNRM-CM5-RCP8.5	2046-2065	THI=113.09 - 0.003988 Z - 0.6794 Y - 0.1970 X	75
CNRM-CM5-RCP8.5	2081-2100	THI=116.05 - 0.004177 Z - 0.6772 Y - 0.2080 X	76.2

در ادامه مساحت پهنه‌های سطوح مختلف تنش‌های گرمایی THI (تنش گرمایی ملایم و شدید) و همچنین مساحت پهنه‌های فاقد تنش گرمایی در گستره ایران محاسبه شد تا بدین صورت با کمی شدن تأثیر تغییر اقلیم بر هر یک از سطوح شاخص گرمایی THI در اقلیم آتی، امکان مقایسه و بررسی دقیق‌تر آن میسر گردد. جداول (۷) و (۸) به ترتیب مساحت تحت پوشش هر یک از سطوح شاخص THI با استفاده از مدل‌ها و سناریوهای مورد مطالعه در فصول تابستان و بهار در گستره ایران برحسب درصد از مساحت کل کشور را نشان می‌دهند.

جدول ۷ - مساحت تحت پوشش سطوح مختلف شاخص THI در دوره اقلیمی پایه و سه دوره اقلیمی آتی تا پایان قرن بیست و یکم با استفاده از خروجی مدل‌ها و سناریوهای مختلف RCP در فصل تابستان (واحد: % از مساحت ایران)

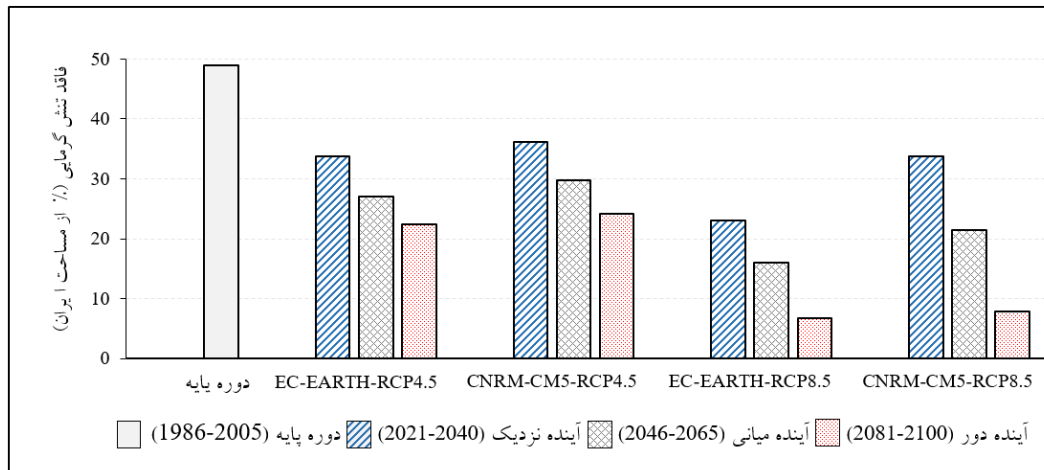
مدل‌ها و سناریوها	سطوح تنش گرمایی		
	بدون تنش گرمایی THI < 72	تنش ملایم 72 ≤ THI < 78	تنش شدید 78 ≤ THI < 89
1986-2005	49	41.1	9.9
EC-EARTH-RCP4.5-2021-2040	33.8	51.9	14.3
CNRM-CM5-RCP4.5-2021-2040	36.1	50.5	13.4
EC-EARTH-RCP4.5-2046-2065	27	54.4	18.6
CNRM-CM5-RCP4.5-2046-2065	29.7	53.4	16.9
EC-EARTH-RCP4.5-2081-2100	22.4	52.9	24.7
CNRM-CM5-RCP4.5-2081-2100	24.1	52.3	23.6
EC-EARTH-RCP8.5-2021-2040	23.1	58.9	18
CNRM-CM5-RCP8.5-2021-2040	33.7	56.7	12.6
EC-EARTH-RCP8.5-2046-2065	16	56.3	27.7
CNRM-CM5-RCP8.5-2046-2065	21.5	61.5	17
EC-EARTH-RCP8.5-2081-2100	6.8	45.7	47.5
CNRM-CM5-RCP8.5-2081-2100	7.8	50.6	41.6

جدول ۸ - مساحت تحت پوشش سطوح مختلف شاخص THI در دوره اقلیمی پایه و سه دوره اقلیمی آتی تا پایان قرن بیست و یکم با استفاده از خروجی مدل‌ها و سناریوهای مختلف RCP در فصل بهار (واحد: % از مساحت ایران)

مدل‌ها و سناریوها	سطوح تنش گرمایی		
	بدون تنش گرمایی	تنش ملایم	تنش شدید
	THI < 72	72 ≤ THI < 78	78 ≤ THI < 89
1986-2005	86.9	11.6	1.5
EC-EARTH-RCP4.5-2021-2040	83	15.7	1.3
CNRM-CM5-RCP4.5-2021-2040	84.5	14.3	1.2
EC-EARTH-RCP4.5-2046-2065	75.4	21.3	3.3
CNRM-CM5-RCP4.5-2046-2065	82.3	15.3	2.4
EC-EARTH-RCP4.5-2081-2100	66.4	25.4	8.2
CNRM-CM5-RCP4.5-2081-2100	69.7	22.9	7.4
EC-EARTH-RCP8.5-2021-2040	76.2	21.2	2.6
CNRM-CM5-RCP8.5-2021-2040	81.5	16.5	2
EC-EARTH-RCP8.5-2046-2065	70.9	24	5.1
CNRM-CM5-RCP8.5-2046-2065	78.5	17.7	3.8
EC-EARTH-RCP8.5-2081-2100	54.2	34.8	11
CNRM-CM5-RCP8.5-2081-2100	62.5	28.5	9

RCP8.5 به ترتیب حدود ۲۲/۴ و ۶/۸ درصد در مدل EC-EARTH و ۲۴/۱ و ۷/۸ درصد در مدل CNRM-CM5 خواهد بود. در فصل بهار در اقلیم آتی دور در مدل EC-EARTH حدود ۶۶/۴ و ۵۴/۲ درصد و در مدل CNRM-CM5 حدود ۶۹/۷ و ۶۲/۵ درصد مساحت کل کشور به ترتیب تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 پهنه‌های عاری از تنش گرمایی خواهد شد. شکل (۶) برای بیان بهتر تغییر مساحت پهنه‌های فاقد تنش گرمایی THI در گستره ایران، در سه دوره اقلیمی آتی نزدیک، میانی و دور را تا پایان قرن بیست و یکم تحت سناریوهای مدل‌های اقلیمی مورد مطالعه در فصل تابستان را نشان می‌دهد.

اثر تغییر اقلیم بر تغییر پهنه‌های فاقد تنش گرمایی (مناطق مستعد پرورش و تولید دام؛ THI < 72)
نتایج جداول (۴) و (۵) نشان می‌دهد که مساحت پهنه‌های فاقد تنش گرمایی (THI < 72) در فصل بهار و تابستان در دوره اقلیمی پایه به ترتیب در حدود ۸۶/۹ و ۴۹ درصد از کل مساحت کشور را پوشش می‌دهند که این سطح پوشش از شاخص THI در فصول بهار و تابستان به تدریج در طی قرن بیست و یکم تحت سناریوهای مورد مطالعه در هر دو مدل با شدت‌های مختلف در دوره‌های اقلیمی آتی رو به کاهش خواهد بود. به طوری که در فصل تابستان، در اقلیم آتی دور (2081-2100) تحت دو سناریو RCP4.5 و



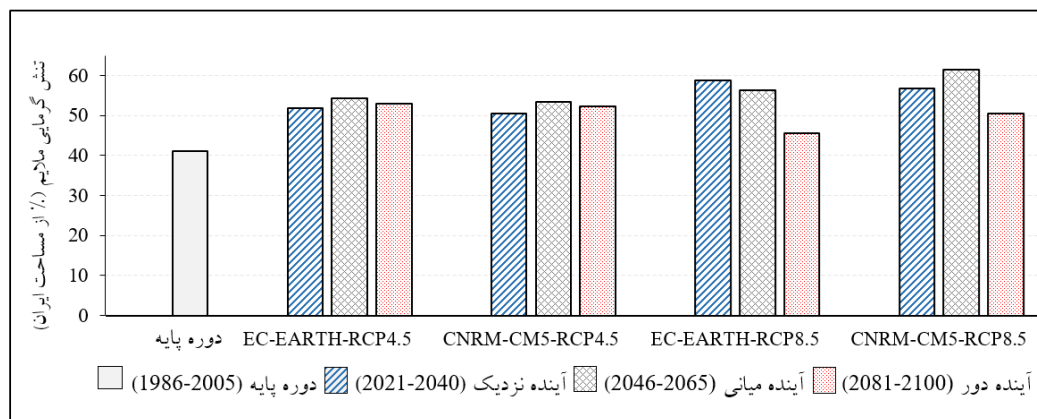
شکل ۶- اثر تغییر اقلیم بر تغییر مساحت پهنه‌های فاقد تنش گرمایی ($THI < 72$) ایران در فصل تابستان (واحد: % از مساحت ایران)

افزایش برای فصل تابستان در سناریوهای مورد مطالعه هر دو مدل اقلیمی تا اقلیم آتی میانی مثبت و از اقلیم آتی میانی تا اقلیم دور به علت افزایش محسوس در تنش گرمایی شدید کمتر می‌گردد و این در شرایطی است که در فصل بهار، مساحت تحت پوشش این سطح تنش گرمایی در دوره اقلیمی پایه ۱۱/۶ درصد از مساحت کل کشور است که در اقلیم آتی دور این درصد از مساحت کل کشور به ترتیب تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، ۲۵/۴ و ۳۴/۸ درصد طبق خروجی‌های مدل اقلیمی EC-EARTH و ۲۲/۹ و ۲۸/۵ درصد مطابق خروجی‌های مدل اقلیمی CNRM-CM5 پوشش خواهند داد. شکل (۷) تغییر مساحت پهنه‌های شامل تنش گرمایی ملایم در گستره ایران، در سه دوره اقلیمی آتی نزدیک، میانی و دور را تا پایان قرن بیست و یکم تحت سناریوهای مدل‌های اقلیمی مورد مطالعه در فصل تابستان را نشان می‌دهد.

اثر تغییر اقلیم بر تغییر پهنه‌های تنش گرمایی

ملایم ($72 \leq THI < 78$)

با توجه به نتایج جداول (۴) و (۵) در دوره اقلیمی پایه تنش گرمایی ملایم ($72 \leq THI < 78$) در فصل تابستان و بهار به ترتیب ۴۱/۱ و ۱۱/۶ درصد از مساحت کل کشور را پوشش می‌دهد و در اقلیم آتی با توجه به خروجی مدل‌ها در سناریوهای مختلف RCP این سطح پوشش در هر دو فصل با شدت‌های متفاوت در طی قرن بیست و یکم رو به افزایش است. به طوری که در اقلیم آتی دور مساحت پهنه‌های شامل تنش گرمایی ملایم در فصل تابستان از ۴۱/۱ درصد پوشش از مساحت کل کشور در دوره اقلیمی پایه به ترتیب تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، به ۵۲/۹ و ۴۵/۷ درصد مطابق خروجی‌های مدل اقلیمی EC-EARTH و ۵۲/۳ و ۵۰/۶ درصد طبق خروجی‌های مدل اقلیمی CNRM-CM5 پوشش خواهند داد. ولی شدت



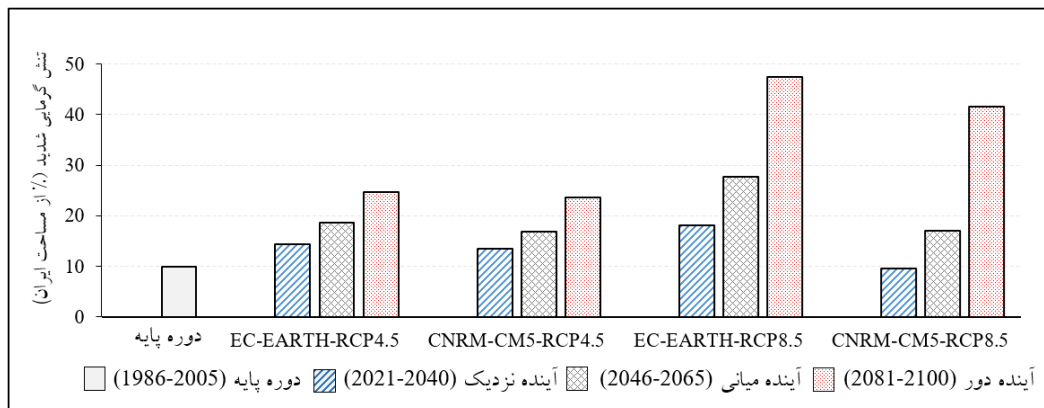
شکل ۷- اثر تغییر اقلیم بر تغییر مساحت پهنه‌های شامل تنش گرمایی ملائم ایران در فصل تابستان (واحد: ٪ از مساحت ایران)

درصد از مساحت کل کشور را پوشش می‌دهند که پهنه‌های این سطح تنش گرمایی در اقلیم آبی دور (2081-2100) در فصل تابستان به ترتیب تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، ۲۴/۷ و ۴۷/۵ درصد طبق خروجی مدل اقلیمی EC-EARTH و ۲۳/۶ و ۴۱/۶ درصد مطابق خروجی مدل اقلیمی CNRM-CM5 افزایش خواهد یافت. پهنه‌های این سطح تنش گرمایی در فصل بهار نیز به ترتیب تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، ۸/۲ و ۱۱ درصد طبق خروجی مدل اقلیمی EC-EARTH و ۷/۴ و ۹ درصد مطابق خروجی مدل اقلیمی CNRM-CM5 افزایش خواهد یافت. در هر دو فصل شیب تغییرات در سناریوهای مورد مطالعه هر دو مدل، در طی قرن بیست و یکم در هر سه دوره اقلیم آبی نزدیک، میانی و دور مثبت است. شکل (۸) تغییرات پهنه‌های تنش گرمایی شدید را با توجه به خروجی مدل اقلیمی مورد بررسی در فصل تابستان را نشان می‌دهد.

اثر تغییر اقلیم بر تغییر پهنه‌های تنش گرمایی

شدید

در ادامه بررسی تغییرات مساحت پهنه‌های تنش گرمایی ملائم در اقلیم آبی، هرچند مساحت پهنه‌های تنش گرمایی شدید نسبت به تنش گرمایی ملائم در گستره ایران بخصوص در فصل بهار بسیار کمتر است و پهنه‌های آن مساحت کمتری را نسبت به تنش گرمایی ملائم از گستره ایران را پوشش می‌دهد، فلذا به علت تأثیرگذاری بیشتر این سطح تنش گرمایی بر موجودات زنده اعم از گیاهی، جانوری، انسان و بخصوص دام که به شدت باعث افت تولید می‌گردد، اهمیت دوچندان دارد. داده‌های اقلیمی در دوره اقلیمی پایه و خروجی‌های مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای مختلف RCP نشان از افزایش مساحت پهنه‌های شامل تنش گرمایی شدید برای فصول بهار و تابستان دارد. در دوره اقلیمی پایه مساحت تحت پوشش تنش گرمایی شدید در فصل‌های تابستان و بهار به ترتیب ۹/۹ و ۱/۵



شکل ۸- اثر تغییر اقلیم بر تغییر مساحت پهنه‌های شامل تنش گرمایی شدید ایران در فصل تابستان (واحد: % از مساحت ایران)

نتیجه‌گیری

شاخص THI تأثیرگذاری آن را بر تولیدات دامی را مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج همه این تحقیقات نشان از افزایش شاخص گرمایی THI در اقلیم آبی هم سو با افزایش جهانی دما را نشان می‌دهد. خلاصه نتایج حاصله این مطالعه به شرح ذیل است.

- به احتمال بالا، شاخص گرمایی THI در فصول پاییز و زمستان تا پایان قرن بیست و یکم تحت هیچ‌یک از سناریوهای مورد مطالعه از حد آستانه خود ($THI=72$) بیشتر نخواهد شد، بنابراین در این دو فصل تمام گستره ایران از لحاظ اقلیمی مساعد برای تولیدات دامی است. (به شرط ثبات سایر عوامل)

- در دوره اقلیمی پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) مساحت پهنه‌های فاقد تنش گرمایی (مناطق مستعد پرورش و تولیدات دامی) در فصل‌های بهار و تابستان به ترتیب ۴۹ و ۸۶/۹ درصد از کل مساحت کشور را در قلمرو دارد که این درصد از مساحت کل کشور، همسو با گرمایش جهانی در اقلیم آبی تا پایان قرن بیست و یکم در هر دو فصل کاهش خواهد یافت.

- مساحت پهنه‌های مناطق مستعد تولیدات دامی در فصل بهار از لحاظ اقلیمی، در اقلیم آبی نزدیک، میانی و دور در سناریو RCP4.5 به ترتیب ۵، ۱۳/۲ و ۲۳/۵ درصد و در سناریو RCP8.5 به ترتیب ۱۲/۳، ۱۸/۴ و ۳۷/۶ درصد نسبت به دوره اقلیمی پایه کاهش می‌یابد.

- مساحت پهنه‌های مناطق مستعد تولیدات دامی در فصل تابستان از لحاظ اقلیمی، در اقلیم آبی نزدیک، میانی و دور در سناریو RCP4.5 به ترتیب ۳۱، ۴۵ و ۵۴ درصد و در

طبق خروجی‌های دو مدل اقلیمی EC-EARTH و CNRM-CM5 تحت سناریوهای جدید RCP (RCP4.5 و RCP8.5) شاخص THI در سه دوره اقلیمی آبی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و اقلیم آبی دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) در گستره ایران با شدت‌های متفاوت افزایش خواهد یافت. این افزایش در شاخص منجر به افزایش مساحت پهنه‌های شامل تنش گرمایی ($THI \geq 72$)؛ مناطق نامساعد برای تولید و پرورش دام) و متقابلاً باعث کاهش مساحت پهنه‌های فاقد تنش گرمایی ($THI < 72$)؛ مناطق مساعد برای تولید دام و احداث گاو‌داری‌ها) در گستره ایران از لحاظ اقلیمی در آینده می‌گردد؛ که نهایت این موضوع امنیت تولید دام و به ویژه تولید شیر را با توجه به گرمایش جهانی دما محتمل می‌نماید که می‌تواند موضوع پژوهش‌های تکمیلی آینده باشد/ نتایج یافته‌های این تحقیق با مطالعات محدودی که در زمینه تأثیر تغییرات اقلیمی بر شاخص THI و نهایت اثرگذاری آن بر تولید دام و لبنیات انجام گرفته مطابقت دارد که از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه‌های دان و همکاران (Dunn et al., 2014) در انگلستان، ماگر و همکاران (Mauger et al., 2015) در ایالات متحده آمریکا، سینها و همکاران (Sinha et al., 2017) و بالاموریگان و همکاران (Balamurugan et al., 2018) در هندوستان را نام برد، محققان ذکر شده یا به صورت مستقیم تأثیر تغییر اقلیم بر تولیدات دام را مورد بررسی قرار داده‌اند یا به صورت غیرمستقیم با محاسبه

- humidity index on productive and reproductive performances of Iranian Holstein cows. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 14(2), 106-112.
11. Hansen, P. J. (2007). Exploitation of genetic and physiological determinants of embryonic resistance to elevated temperature to improve embryonic survival in dairy cattle during heat stress. *Theriogenology*, 68, S242-S249.
 12. Hengl, T., Heuvelink, G. B., & Stein, A. (2004). A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*, 120(1), 75-93
 13. Hossein-Zadeh, N. G., & Ardalan, M. (2011). Genetic relationship between milk urea nitrogen and reproductive performance in Holstein dairy cows. *animal*, 5(01), 26-32.
 14. Kartschall, T., Wodinski, M., von Bloh, W., Oesterle, H., Rachimow, C., & Hoppmann, D. (2015). Changes in phenology and frost risks of *Vitis vinifera* (cv Riesling). *Meteorologische Zeitschrift*, 189-200.
 15. Kekana, T. W., Nherera-Chokuda, F. V., Muya, M. C., Manyama, K. M., & Lehloeny, K. C. (2018). Milk production and blood metabolites of dairy cattle as influenced by thermal-humidity index. *Tropical animal health and production*, 50(4), 921-924.
 16. Khalili, A., & Rahimi, J. (2014). High-resolution spatiotemporal distribution of precipitation in Iran: a comparative study with three global-precipitation datasets. *Theoretical and applied climatology*, 118(1-2), 211-221.
 17. Mauger, G., Bauman, Y., Nennich, T., & Salathé, E. (2015). Impacts of climate change on milk production in the United States. *The Professional Geographer*, 67(1), 121-131.
 18. Moran, J. (2005). *Tropical dairy farming: feeding management for small holder dairy farmers in the humid tropics*. Csiro Publishing.
 19. Nabenishi, H., Ohta, H., Nishimoto, T., Morita, T., Ashizawa, K., & Tsuzuki, Y. (2011). Effect of the temperature-humidity index on body temperature and conception rate of lactating dairy cows in southwestern Japan. *Journal of Reproduction and Development*, 57(4), 450-456.
 20. NRC (1971) *A Guide to Environmental Research on Animals* (Washington, DC: National Academy Science) O'Brien M D, Rhoads R P, Sanders S R, Duff G C and Baumgard L H (2010) *Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle Domest. Anim. Endocrinol.* 38 86–94.
- سناریو RCP8.5 به ترتیب ۵۳، ۶۷ و ۸۶ درصد نسبت به دوره اقلیمی پایه کاهش می‌یابد.
- ### منابع
1. Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K. M., Kisekka, I., & Martorano, L. G. (2015). Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214, 252-265.
 2. Babaeian, I., Kwon, W. T., & Im, E. S. (2004). Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. *Korea Meteorological Research Institute. Climate Research lab.*, 98pp.
 3. Balamurugan, B., Tejaswi, V., Priya, K., Sasikala, R., Karuthadurai, T., Ramamoorthy, M., & Jena, D. (2018). Effect of Global Warming on Livestock Production and Reproduction: An Overview. *Research & Reviews: Journal of Veterinary Science and Technology*, 6(3), 12-18.
 4. Collier, R. J., Dahl, G., & VanBaale, M. (2006). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1244-1253.
 5. Dash, S., Chakravarty, A. K., Singh, A., Upadhyay, A., Singh, M., & Yousuf, S. (2016). Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. *Veterinary world*, 9(3), 235.
 6. Dimov, D., Marinov, I., Penev, T., Miteva, C., & Gergovska, Z. (2017). Influence of temperature-humidity index on comfort indices in dairy cows.
 7. Dikmen, S., & Hansen, P. J. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of dairy science*, 92(1), 109-116.
 8. Dunn, R. J., Mead, N. E., Willett, K. M., & Parker, D. E. (2014). Analysis of heat stress in UK dairy cattle and impact on milk yields. *Environmental Research Letters*, 9(6), 064006.
 9. Ghahreman, N., Babaeian, I. and Tabatabaei, M. R. (2015). Investigation of uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projections over Iran under RCP scenarios, *Proc. Common future under climate Change Conference*, 7-10 July, 2015. Paris.
 10. Ghavi Hossein-Zadeh, N., Mohit, A., & Azad, N. (2013). Effect of temperature-

- the Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge University Press.
25. Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise* 12:57–59. West, J. W. 2003. Effects of
 26. heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131–2144.
 27. Ummenhofer, C. C., Xu, H., Twine, T. E., Girvetz, E. H., McCarthy, H. R., Chhetri, N., & Nicholas, K. A. (2015). How climate change affects extremes in maize and wheat yield in two cropping regions. *Journal of Climate*, 28(12), 4653-4687.
 28. Vladut, A. (2011). Temperature-Humidity Index (THI) within the Oltenia Plain between 2000 and 2009/Indicele de temperatura-umezeala (ITU) in Campia Olteniei în perioada 2000-2009. Paper presented at the Forum geografic.
 21. Rahimi, J., Ebrahimpour, M., & Khalili, A. (2013). Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 112(3-4), 409-418.
 22. Sinha, R., Lone, S. A., Ranjan, A., Rahim, A., Devi, I., & Tiwari, S. (2017). The Impact of Climate Change on Livestock Production and Reproduction: Ameliorative Management.
 23. Solymosi, N., Torma, C., Kern, A., Maróti-Agóts, Á., Barcza, Z., Könyves, L., ... & Reiczigel, J. (2010). Changing climate in Hungary and trends in the annual number of heat stress days. *International journal of biometeorology*, 54(4), 423-431.
 24. Stocker, T. (2014). Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of