

شبیه سازی نمایه آسایش اقلیمی در استان خراسان رضوی تحت سناریوهای تغییر اقلیم

ایمان بابائیان*: استادیار، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی کشور
آذر رضایی پور: کارشناس ارشد، اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، سازمان هواشناسی کشور
زهرا آهنگرزاده: کارشناس ارشد، اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، سازمان هواشناسی کشور

چکیده

اقلیم یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده در مکانیابی مراکز جمعیتی و شهرنشینی بوده و هر چه شرایط اقلیمی با آستانه‌های دمایی بدن انسان سازگاری بیشتری داشته باشد، آسایش اقلیمی و کیفیت زندگی انسان بهتر خواهد بود. برای کمی سازی آسایش اقلیمی نمایه‌های متعددی از جمله نمایه زیست اقلیمی بیکر طراحی شده اند. در این تحقیق ابتدا با به کارگیری داده‌های دیدبانی شده دما و تندی باد در ده ایستگاه استان خراسان رضوی شامل مشهد، سبزوار، تربت حیدریه، سرخس، قوچان، نیشابور، کاشمر، تربت جام، گناباد و گلکمان (چناران) نمایه مذکور برای دوره ۲۰۰۹-۱۹۷۰ محاسبه و تغییرات آن در دوره دیدبانی بررسی شد. سپس برای آگاهی از وضعیت زیست اقلیمی آینده استان در شرایط تغییر اقلیم، با به کارگیری برون‌داد سه مدل گردش عمومی جو CGCM3، ECHO-G و GFDL 2.1 تحت سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1، نمایه زیست اقلیمی بیکر برای دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ شبیه سازی شد. فراسنج‌های دما و تندی باد که به عنوان ورودی های نمایه بیکر می‌باشند، به روش وایازی چند متغیره ریزمقیاس شدند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد علیرغم اینکه نمایه زیست اقلیمی بیکر در آینده به سمت مقادیر نا مساعد گرم تغییر خواهند کرد، اما این تغییرات به گونه‌ای نیستند که منجر به جابجایی طبقه بندی زیست اقلیمی ایستگاههای هواشناسی استان از شرایط مطلوب فعلی به وضعیت نامطلوب گرم شوند.

واژگان کلیدی

آسایش اقلیمی، مدل گردش عمومی جو، ریزمقیاس نمایی، خراسان رضوی، تغییر اقلیم

مقدمه و تعاریف

اقلیم نشانه‌هایی شگرف بر آسایش و سلامتی انسان دارد. عوامل هواشناسی می‌توانند به صورت مجزا یا در ترکیب با سایر متغیرها بر بدن انسان تاثیرگذار باشند. از این رو ارزیابی تأثیر شرایط آب و هوایی منطقه بر آسایش انسانی از مهمترین دغدغه‌ها در مورد سلامتی، بیماریها، تفریح، مهاجرت و گردشگری انسان‌ها و صنایع گرمایش-سرمایش، تهویه و معماری می‌باشد. شاخص‌های ترکیبی اقلیمی بهتر از متغیر دما می‌توانند آستانه‌های نمایه اقلیمی انسان را تعیین کنند (ونکوا و دیگران، ۲۰۱۱: ۱۱۷۶-۱۱۶۵). از آنجا که متغیرهای محیطی و انسانی زیادی در تعیین نمایه اقلیمی و آستانه‌های دمایی مؤثرند و همچنین نمایه آسایش اقلیمی به "احساس" هر فرد بستگی دارد، لذا نمی‌توان تعریف واحدی از آن ارائه نمود؛ اما به طور کلی وقتی آسایش اقلیمی برای انسان مهیا می‌باشد که از شرایط محیطی رضایت داشته باشد (اسماعیل و دیگران، ۲۰۰۹: ۱۵۰۱-۱۴۹۵). بدن انسان به طور میانگین گرمایی بین ۷۵ وات در هنگام خواب تا ۱۰۰۰ وات در هنگام کار سنگین تولید می‌کند. گرمای مازاد بدن انسان به روش‌های گوناگونی مانند تابش، همرفت، هدایت و تبخیر-تعرق به محیط انتقال می‌یابد تا انسان احساس آسایش نماید (هولوپینن، ۲۰۱۲: ۱۸). افزایش دمای کره زمین همگام با پدیده گرمایش جهانی می‌تواند آستانه‌های نمایه آسایش اقلیمی را تغییر داده و شرایط نامناسبی برای زندگی انسان‌ها ایجاد کند.

پیشینه تحقیق و مبانی نظری

گریفونی و همکاران (۲۰۱۳) ارتباط بین نمایه آسایش اقلیمی و تغییر اقلیم را بر روی ایتالیا مورد بررسی قرار دادند.

در کشورمان آسایش اقلیمی مورد توجه پژوهشگران زیادی بوده است. پتانسیل‌های اکوتوریستی و آسایش زیست اقلیمی در تالاب انزلی با به کارگیری روش بیکر و لحاظ فراسنج‌های دمای پیشینه، دمای کمینه، رطوبت نسبی و میانگین تندی باد در دوره ۱۳۷۷-۱۳۴۷ مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های پژوهش نشان داد که شرایط زیست اقلیمی این تالاب در طول ۶ ماه فروردین، اردیبهشت، خرداد، شهریور، مهر و آبان در هنگام وجود آفتاب راحت بوده و در ماه‌های تیر و مرداد در شرایط سایه دارای آسایش زیست اقلیمی می‌باشد و در فصل زمستان به علت بارش فراوان و سرما و شدت تندی باد از شرایط نامطلوبی برخوردار است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۸: ۷۰-۶۰). مطالعه رضانی (۱۳۸۸) نشان می‌دهد که به کارگیری روش لنکستر - کارستن و بیکر برای نواحی ساحلی و روش گیونی و اولگی برای نواحی کوهستانی بر روی داده‌های دیدبانی ۱۴ ایستگاه سینوپتیک استان گیلان در دوره ۱۳۸۵-۱۳۵۵ می‌تواند نواحی دارای آسایش را بهتر نشان دهند (رضانی، ۱۳۸۸: ۷۹-۵۳). ارزیابی نمایه‌های آسایش دمایی و معماری همساز با اقلیم در شهر روانسر نشان می‌دهد که دمای هوای فضای بیرونی، به استثنای دوره کوتاهی، اغلب سردتر از فضای درونی ساختمان است؛ بنابر این توصیه می‌شود جهت گیری ساختمان‌ها به سمت جنوب شرقی با کشیدگی در جهت شمال شرق - جنوبغرب باشد (طاووسی، تقی و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۵۰-۱۲۵). به منظور شناخت توان آسایش زیست اقلیمی شهر لار، قنبری و عیفی (۱۳۸۹) پنج نمایه بیکر، ترجونگ، فشار عصبی، ترموهیگرومتریک و سوزباد را محاسبه و ارزیابی نمودند. آنها دریافتند که منطقه یاد شده از دو فصل گرم و خنک برخوردار بوده و در ماه‌های فروردین و اسفند شرایط آسایش و مطبوع و در ماه‌های تیر و مرداد شرایط

عدم آسایش حاصل از گرمای طاقت فرسا و در ماههای دی و بهمن شرایط خنک حاکم است. بررسی داده‌های دیدبانی استان یزد نشان می‌دهد که که ماههای اردیبهشت، شهریور، مهر، خرداد، فروردین، مرداد و تیر مناسب‌ترین ماهها از نظر راحتی زیست اقلیمی انسانی می‌باشند و سایر ماهها سرد و خنک می‌باشند (صادقی روش، ۱۳۸۹، ۹۲-۷۷). نمایه آسایش اقلیمی بر روی کوهستان‌های گیلان در دوره ۱۳۸۰-۱۳۶۰ با کاربرد روش‌های زمین آماری و تهیه نقشه‌های هم‌ارزش ماهانه عناصر سازنده زیست اقلیمی محاسبه شد. یافته‌های پژوهش نشان دادند که ماه فروردین بیشترین محدوده آسایش و ماه‌های مرداد و شهریور کمترین محدوده آسایش را دارا هستند (رمضانی، ۱۳۸۹: ۷۳-۶۲). مناطق مناسب آسایش انسان در استان تهران توسط احمدی (۱۳۹۰) با کاربرد داده‌های دیدبانی ۸ ایستگاه هواشناسی همدیدی در یک دوره ۲۳ ساله تعیین شد. یافته‌های ایشان حاکی از آن است که به دلیل جزیره حرارتی، شهر تهران در فصل زمستان دارای بیشینه نمایه آسایش اقلیمی و سایر مناطق استان در کمینه آسایش اقلیمی هستند، اما در فصل تابستان مناطق شمالی استان دارای بیشینه آسایش و مناطق جنوبی در کمینه آسایش به سر می‌برند. پهنه بندی نمایه زیست اقلیمی سه ایستگاه همدیدی مشهد، قوچان و گناباد به روش بیکر توسط رزم و همکاران (۱۳۹۱) انجام شد. تحلیل تغییرات روزانه نمایه یادشده نشانگر طول دوره آسایش اقلیمی کوتاه در استان خراسان رضوی و فشار زیست اقلیمی در فصول پاییز و زمستان می‌باشد. یافته‌های آنها همچنین نشان می‌دهد که قوچان بیشترین شرایط نامطلوب سرد را در استان داشته و بنابراین در طراحی مسکن جدید باید جهت بادهای سرد زمستانه مورد توجه قرار گیرد. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۰) نمایه دمایی زیست اقلیمی را در چند شهر اصلی گردشگری ایران در دوره ۱۳۸۵-۱۳۴۰ محاسبه نمودند. آنها دریافتند که دوره آسایش اقلیمی در شهرهای مورد مطالعه کوتاه بوده و به صورت دو دوره مجزا در ابتدای فصل پاییز و بهار واقع شده است. طول این دوره به عنوان بهترین زمان برای مقاصد گردشگری در مشهد و اصفهان ۳۵، رشت ۳۷ و کیش ۸۵ روز می‌باشد. از نظر اقلیمی عمده‌ترین محدودیت گردشگری در شهرهای مشهد و اصفهان و رشت، دارا بودن شرایط تنش سرمایی زیاد طی ماه‌های آذر، دی و بهمن می‌باشد و در کیش مربوط به تنش گرمایی بسیار زیاد آن در فصل گرم سال است. ساری صراف و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که از بین سه نمایه زیست اقلیمی میانگین نظرسنجی پیش‌بینی شده (PMV)، دمای معادل فیزیولوژیک (PET) و شاخص دمای موثر استاندارد (SET)، نمایه فیزیولوژیک (PET) نتایج بهتر و قابل قبولی از اقلیم آسایش شمال استان آذربایجان غربی را ارائه می‌دهند.

از آنجا که شصت درصد وسعت ایران در اقلیم خشک و فرا خشک قرار دارد، بنابراین شناسایی شرایط زیست-اقلیمی ایران در این حوضه‌ها اهمیت دوچندانی دارد (صادقی روش، ۱۳۸۹: ۹۲-۷۷). از طرفی پدیده گرمایش جهانی می‌تواند پهنه‌های زیست اقلیمی کشاورزان را در اثر افزایش میانگین دما دچار دگرگونی نموده و نمایه‌های زیست اقلیمی پهنه‌های جغرافیایی کشور را تغییر دهد، بر این اساس در این مطالعه چشم انداز تغییرات نمایه‌های زیست اقلیمی ده ایستگاه هواشناسی همدید استان خراسان رضوی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

روش شناسی تحقیق

پهنه جغرافیایی مورد مطالعه در این تحقیق استان خراسان رضوی می باشد. موقعیت جغرافیایی و وجود ارتفاعاتی نظیر بینالود، هزار مسجد، کپه داغ، و نواحی کویری موجب شده است تا این استان از تنوع اقلیمی برخوردار باشد. بلندترین نقطه استان قله بینالود در ۳۶۱۵ متری و پست‌ترین نقطه استان در دشت سرخس با ارتفاع ۲۹۹ متر از سطح دریا واقع شده است. مساحت این استان که در سال ۱۳۸۳ با تقسیم استان خراسان به سه استان خراسان شمالی، رضوی و جنوبی به وجود آمد، ۱۱۸۸۵۴ کیلومتر مربع می‌باشد. خراسان رضوی از شمال و شرق با کشورهای ترکمنستان و افغانستان، از جنوب با استان خراسان جنوبی و از غرب با استان‌های خراسان شمالی، سمنان و خراسان جنوبی هم مرز می‌باشد (شکل ۱).



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی به عنوان منطقه مورد مطالعه

ایستگاه‌های هواشناسی مشهد، سبزوار، تربت حیدریه، سرخس، قوچان، نیشابور، کاشمر، گناباد، تربت جام و گل‌مکان (چناران) ایستگاه‌های منتخب برای این تحقیق می‌باشند. نام و سایر مشخصات ایستگاه‌های یاد شده شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و طول دوره آماری آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول (۱) نام و مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی هم‌دید استان خراسان رضوی مورد استفاده در این پژوهش

ردیف	شهر	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری
۱	مشهد	۳۶.۱۶	۵۹.۳۸	۹۹۹.۲	۱۹۷۰-۲۰۰۹
۲	سبزوار	۳۶.۱۲	۵۷.۳۹	۹۷۲.۵	۱۹۷۰-۲۰۰۹
۳	تربت حیدریه	۳۵.۱۶	۵۹.۱۳	۱۴۵۰.۸	۱۹۷۰-۲۰۰۹
۴	سرخس	۳۶.۳۲	۶۱.۱۰	۲۳۵	۱۹۸۵-۲۰۰۹
۵	قوچان	۳۷.۴	۵۸.۳۰	۱۲۸۷	۱۹۸۴-۲۰۰۹
۶	نیشابور	۳۶.۱۶	۵۸.۴۸	۱۲۱۳	۱۹۹۱-۲۰۰۹
۷	کاشمر	۳۵.۱۲	۵۸.۲۸	۱۱۰۹.۸	۱۹۸۷-۲۰۰۹
۸	گناباد	۳۴.۲۱	۵۸.۴۱	۱۰۵۶	۱۹۸۸-۲۰۰۹
۹	تربت جام	۳۵.۱۵	۶۰.۳۵	۹۵۰.۴	۱۹۹۴-۲۰۰۹
۱۰	گل‌مکان	۳۶.۲۹	۵۹.۱۷	۱۱۷۶	۱۹۹۴-۲۰۰۹

داده‌های دیدبانی دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ و برونداد مدل‌های گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۱ برای محاسبه نمایه زیست اقلیمی بیکر در ده ایستگاه هواشناسی منتخب به کار برده شدند. تصادفی بودن داده های دیدبانی و همگنی آنها با به کارگیری آزمون ران تست و رسم هیستوگرام مورد بررسی قرار گرفتند. مشخصات مدل‌های گردش عمومی جو به کار برده شده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول (۲) نام و مشخصات مدل‌های گردش عمومی بکاررفته در محاسبه نمایه زیست اقلیمی بیکر دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۱

مدل گردش عمومی	کشور	موسسه طراحی کننده	قدرت تفکیک مکانی
CGCM3	ژاپن	JAMSTEC	T42~2.8×2.8
GFDL 2.1	آمریکا	GFDL	2×2.5
ECHO-G	آلمان	MPI-M	T30~3.5×3.5

برای محاسبه نمایه آسایش اقلیمی روش‌ها و معادلات گوناگونی پیشنهاد شده است که در این مطالعه نمایه بیکر به دلیل جامعیت نسبی و برخورداری از عامل باد که می‌تواند تاثیر قابل توجهی در آسایش اقلیمی داشته باشد، استفاده شد. رابطه بیکر قدرت خنک کنندگی محیط را با کاربرد متوسط تندی باد و دمای محیط محاسبه کرده و نمایه زیست اقلیمی را به صورت رابطه ۱ معرفی می‌کند.

$$CP = (0.26 + 0.34V^{0.672})(36.5 - t) \quad (1)$$

در این رابطه CP قدرت خنک کنندگی محیط بر حسب میکروکالری در سانتی متر مربع در ثانیه، V تندی باد بر حسب متر بر ثانیه و t میانگین دمای روزانه بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد. در جدول ۳ درجات خنک کنندگی محیط و آستانه‌های زیست اقلیمی بر حسب میکروکالری در سانتی متر مربع در ثانیه آورده شده است (رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸، ۷۰-۵۷).

جدول (۳) درجات خنک کنندگی محیط و آستانه‌های زیست اقلیمی بر حسب میکروکالری در سانتی متر مربع در ثانیه به روش بیکر (رمضانی، ۱۳۸۸)

مقدار cp	شرایط محیطی	شرایط زیست اقلیمی انسانی	نوع شرایط	علامت	نام ایستگاهها
۰-۴	داغ، گرم و شرجی و نامطلوب	فشار زیست اقلیمی	نامطلوب گرم	A	-
۵-۹	گرم قابل تحمل	آسایش زیست اقلیمی	نامطلوب گرم	A	-
۱۰-۱۹	ملایم مطبوع	آسایش زیست اقلیمی	مطلوب	B	کاشمر، تربت حیدریه، گناباد، سرخس، مشهد، قوچان، سبزوار و نیشابور
۲۰-۲۹	خنک	ملایم	نامطلوب سرد	C	گلمکان و تربت جام
۳۰-۳۹	سرد و کمی فشاردهنده	متوسط تا شدید	نامطلوب سرد	C	-

-	D	نامطلوب خیلی سرد	متوسط فشاردهنده	خیلی سرد	۴۰-۴۹
-	D	نامطلوب خیلی سرد	شدیدا فشار دهنده	فوق العاده سرد	۵۰-۵۹

با توجه به اقلیم استان خراسان رضوی، نمایه های زیست اقلیمی کمتر از ۵ (نامطلوب گرم با شرایط محیطی داغ، گرم و شرجی با فشار زیست اقلیمی) و بیش از ۲۴ (نامطلوب سرد تا خیلی سرد با شرایط محیطی و زیست اقلیمی نامطلوب) در این استان دیده نمی شود. به طور کلی شرایط زیست اقلیمی استان به گونه است که نمایه زیست اقلیمی ۸۰ درصد ایستگاههای استان در طبقه B جای گرفته اند (جدول ۳). پس از محاسبه نمایه زیست اقلیمی دوره دیدبانی به روش معادله ۱، نمایه مذکور برای دوره آینده (۲۰۱۱-۲۱۰۰) نیز محاسبه شد. برای محاسبه نمایه بیکر در دوره آتی از برون داد سه مدل گردش عمومی جو CGCM3، GFDL 2.1 و ECHO-G تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 استفاده شد. از آنجا که برون داد مدل های گردش عمومی جو نمی توانند مستقیما به عنوان داده های نقطه ای و در مقیاس ایستگاهی برای تحلیل و ارزیابی نمایه های زیست اقلیمی بکار برده شوند، لذا برون داد دما و باد هر یک از سه مدل گردش عمومی جو فوق به روش وایزی چند متغیره ریزمقیاس شدند (بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱: ۹۶۷-۹۵۳؛ بابائیان و دیگران، ۱۳۸۸: ۱۵۲-۱۳۵). شکل کلی معادله همبستگی چند متغیره به صورت رابطه ۲ می باشد:

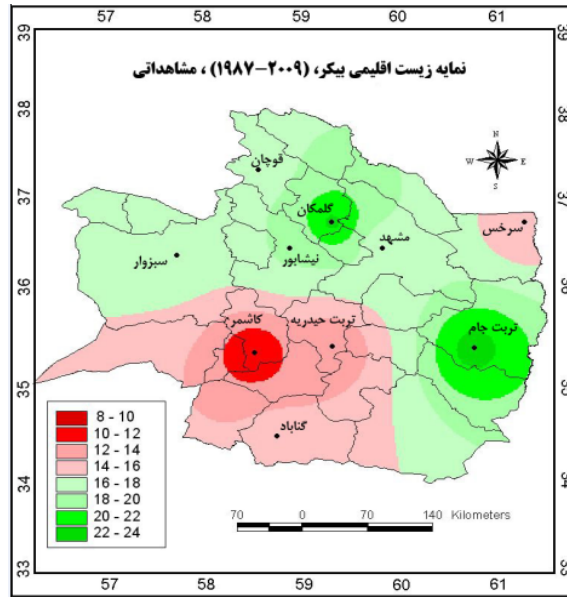
$$Y_t = \alpha + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \dots + \beta_k X_{kt} + \varepsilon_t \quad (2)$$

که در آن Y_t متغیر وابسته یا پیش بینی شونده و X_{kt} متغیرهای وابسته یا پیش بینی کننده ها هستند (یاراحمدی و عزیزی، ۱۳۸۵: ۱۷۴-۱۶۱). فراسنج های ریزمقیاس شده ی تندی باد و دما با جایگزینی در رابطه بیکر برای محاسبه نمایه زیست اقلیمی ایستگاههای استان خراسان رضوی در دهه های آینده بکار برده شدند.

یافته های تحقیق

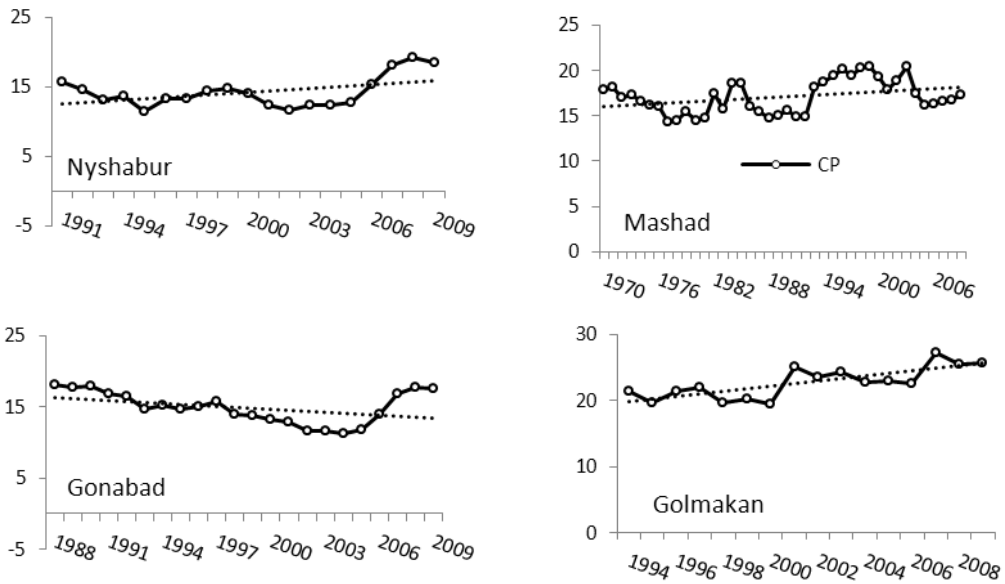
• نمایه زیست اقلیمی دوره دیدبانی

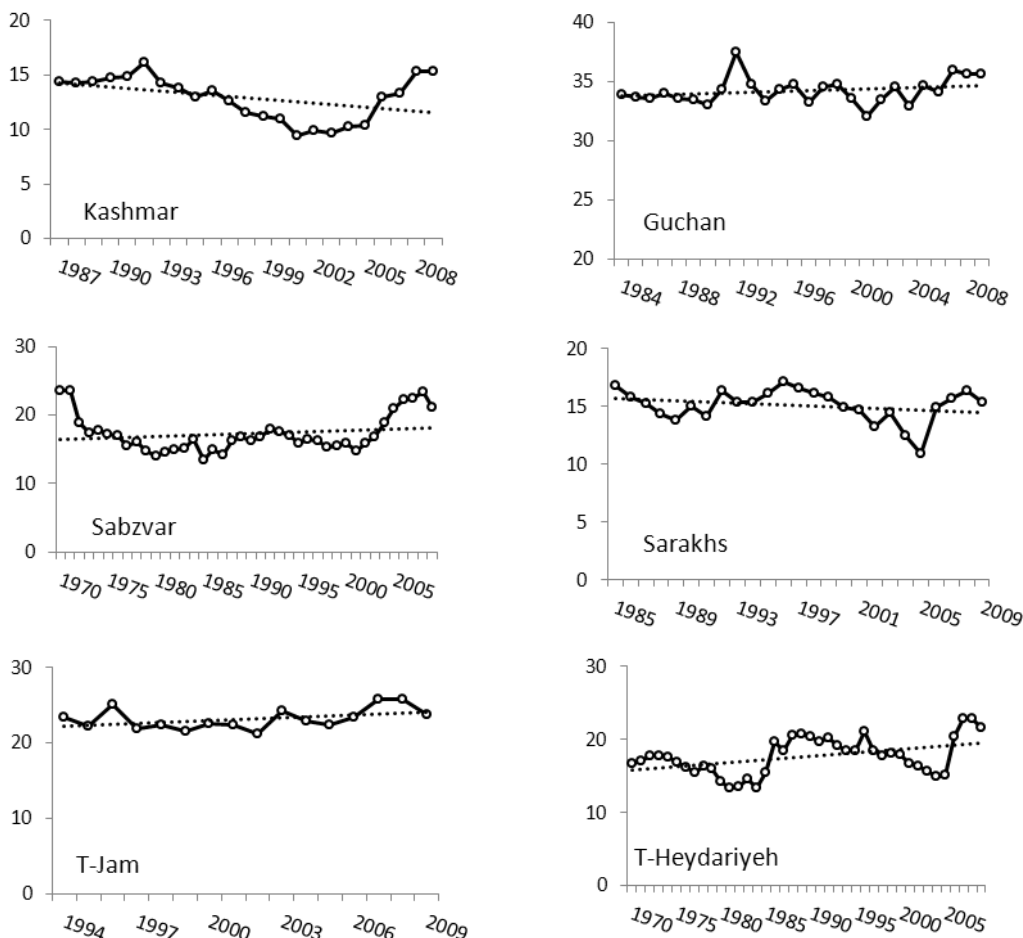
نمایه زیست اقلیمی بیکر با بهره گیری از میانگین دما و تندی باد ثبت شده در ده ایستگاه استان خراسان رضوی برای دوره دیدبانی ۲۰۰۹-۱۹۸۷ محاسبه شدند. پهنه بندی این نمایه در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می شود، بخش های جنوب غربی استان شامل شهرستان های کاشمر، گناباد و تربت حیدریه و شهرستان سرخس در شمال شرق استان دارای وضعیت نسبی نامطلوب زیست اقلیمی می باشند.



شکل (۴) پهنه بندی نمایه بیکر استان خراسان رضوی در دوره دیدبانی (۱۹۸۷-۲۰۰۹).
 قدرت خنک کنندگی محیط بر حسب میکروکالری در سانتی متر مربع در ثانیه

سری زمانی نمایه زیست اقلیمی دوره دیدبانی در شکل ۵ نشان داده شده است. از بین ده ایستگاه مورد بررسی مقادیر نمایه های زیست اقلیمی در سه ایستگاه گناباد، کاشمر و سرخس دارای روند کاهشی، مشهد، گلماکان و تربت حیدریه روند افزایشی و در سایر ایستگاهها روند کم و بیش ثابت می باشد.





شکل (۵) سری زمانی نمایه زیست اقلیمی بیکر در دوره دیدبانی در ده ایستگاه مورد مطالعه

معنی دار بودن روندهای نمایه بیکر در هر یک از ایستگاههای مورد مطالعه با استفاده از آماره من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. مطابق جدول ۴، نمایه بیکر در ایستگاههای مشهد، تربت حیدریه و گلنجان (چناران) دارای روند افزایشی معنی دار می‌باشند، اما در ایستگاههای قوچان، کاشمر و گناباد دارای روند کاهش معنی‌داری هستند که به معنی جابجایی رژیم زیست اقلیمی این ایستگاهها به سمت شرایط گرم و نامطلوب می‌باشد.

جدول (۴) مقادیر آماره من-کندال برای سری زمانی نمایه بیکر دیدبانی در خراسان رضوی

ایستگاه	مشهد	سبزوار	تربت حیدریه	سرخس	قوچان	نیشابور	کاشمر	گناباد	تربت جام	گلنجان
آماره من کندال	۱.۹۷۶	۰.۸۰۸	۱.۹	-۰.۷۴۹	-۲.۳۹۷	۰.۷۴۶	-۱.۹۵۹	-۲.۲۴۴	۰.۹۸۸	۲.۲۲۵
روند	افزایش	بدون تغییر	افزایش	بدون تغییر	کاهش	بدون تغییر	کاهش	کاهش	بدون تغییر	افزایش
معنی داری	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

• نمایه زیست اقلیمی دوره آینده (۲۱۰۰-۲۰۱۱)

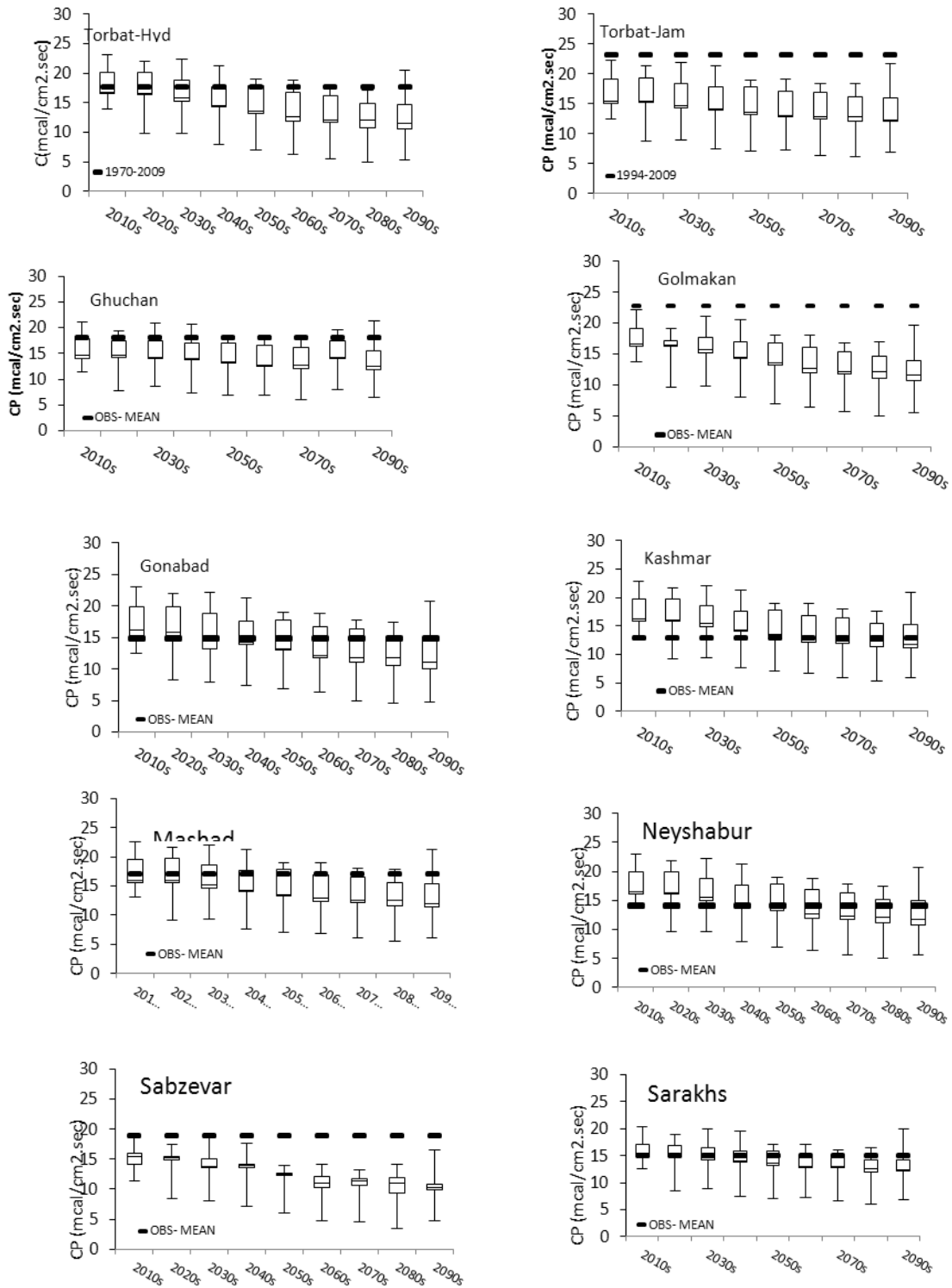
به دلیل ناتوانی مدل‌های گردش عمومی جو در شبیه سازی نقطه‌ای دما و تندی باد که مورد نیاز نمایه بیکر می باشند، فراسنج‌های مذکور با استفاده از روش وایازی چند گانه بر روی ایستگاه‌های هواشناسی استان خراسان رضوی ریزمقیاس شدند. سپس مقادیر ریزمقیاس شده برای محاسبه نمایه بیکر در دوره ۲۱۰۰-۲۰۱۱ در رابطه ۱ قرار داده شدند. در شکل ۳، سری زمانی دهه‌ای نمایه زیست اقلیمی بیکر در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه استان خراسان رضوی بصورت نمودار جعبه ای نشان داده شده است. برای ترسیم نمودار جعبه‌ای دهه‌ای، مقادیر بیشینه، کمینه، میانه، چارک اول و چارک سوم نمایه بیکر در دوره‌های ده ساله با لحاظ مقادیر مربوط به سه مدل گردش عمومی و سه سناریوی انتشار محاسبه شدند. نمودار جعبه‌ای دامنه عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های اقلیمی نمایه بیکر را نشان می‌دهد. هر چند نمودار باکس پلات چشم انداز نسبتاً واقعی از وضعیت نمایه زیست اقلیمی آینده خراسان رضوی را تحت شرایط تغییر اقلیم ارائه می‌دهد؛ اما نمی‌توان آن را به عنوان احتمال واقعی وقوع مقادیر نمایه بیکر در دهه‌های آینده در نظر گرفت. میزان اعتماد به عدم قطعیت‌های پیش‌بینی شده مشروط به تعداد اعضای مدل‌های اقلیمی مورد استفاده در شبیه سازی‌ها می‌باشد؛ هر چه تعداد بیشتری سناریوهای اقلیمی در شبیه سازی اقلیم آینده دخیل باشند، در آنصورت عدم قطعیت شبیه سازی دامنه واقعی‌تری از تغییرات نمایه زیست اقلیمی آینده را پوشش می‌دهد. در این پژوهش ۹ سناریوی اقلیمی در نظر گرفته شده است. در صورت افزایش تعداد سناریوها، نمودار جعبه‌ای احتمال وقوع واقعی‌تری از چشم انداز آینده نمایه آسایش اقلیمی منطقه را نشان خواهد داد.

مطابق شکل ۳، بیشترین و کمترین جابجایی در نمایه‌های زیست اقلیمی در ایستگاه‌های تربت جام و کاشمر رخ داده است. شرایط کلی، محیطی و انسانی تربت جام در دوره مشاهداتی با نمایه ۲۳.۱۵ میکروکالری در سانتی متر مربع در ثانیه در گروه نامطلوب خنک طبقه‌بندی شده است. نمایه زیست اقلیمی تربت جام در بدترین شرایط آینده، تا ۱۱.۹۲ میکروکالری در سانتی‌متر مربع در ثانیه (۴۸.۵- درصد) کاهش می‌یابد. بر اساس شکل ۳، حد بالا و پایین تغییرات نمایه بیکر در این ایستگاه بین ۱۱.۹۲ تا ۱۵.۲۲ واحد می‌باشد. مطابق جدول ۳ و طبقه بندی نمایه زیست اقلیمی بیکر، تغییرات دما و تندی باد تحت شرایط گرمایش جهانی در این ایستگاه به گونه‌ای است که موجب بهبود و جابجایی نمایه زیست اقلیمی از طبقه C (خنک) به B (ملایم مطبوع) می‌گردد. شرایط در ایستگاه کاشمر متفاوت است. در این ایستگاه مقدار عددی نمایه بیکر در دوره دیدبانی ۱۲.۸۹ میکروکالری بر سانتی متر مربع بر ثانیه در طبقه مطلوب B می‌باشند. نمایه بیکر این ایستگاه در دهه ۲۰۹۹-۲۱۰۰ در بدترین شرایط به ۱۱.۹۲ واحد کاهش یافته است. علیرغم اینکه این کاهش هیچ تغییری در طبقه بندی زیست اقلیمی ایستگاه را موجب نمی‌شود ولی از میزان مطلوبیت/ آسایش زیست اقلیمی ایستگاه کاسته می‌شود. به طور کلی بجز ایستگاه‌های تربت جام و گل‌مکان که کاهش نمایه زیست اقلیمی آنها موجب بهبود آسایش اقلیمی می‌گردد، در بقیه هشت ایستگاه مشهد، سبزوار، نیشابور، تربت حیدریه، قوچان، سرخس، کاشمر و گناباد کاهش این نمایه موجب افت آسایش زیست اقلیمی، تنش گرمایی و تمایل به سمت طبقه نامطلوب گرم می‌گردد.

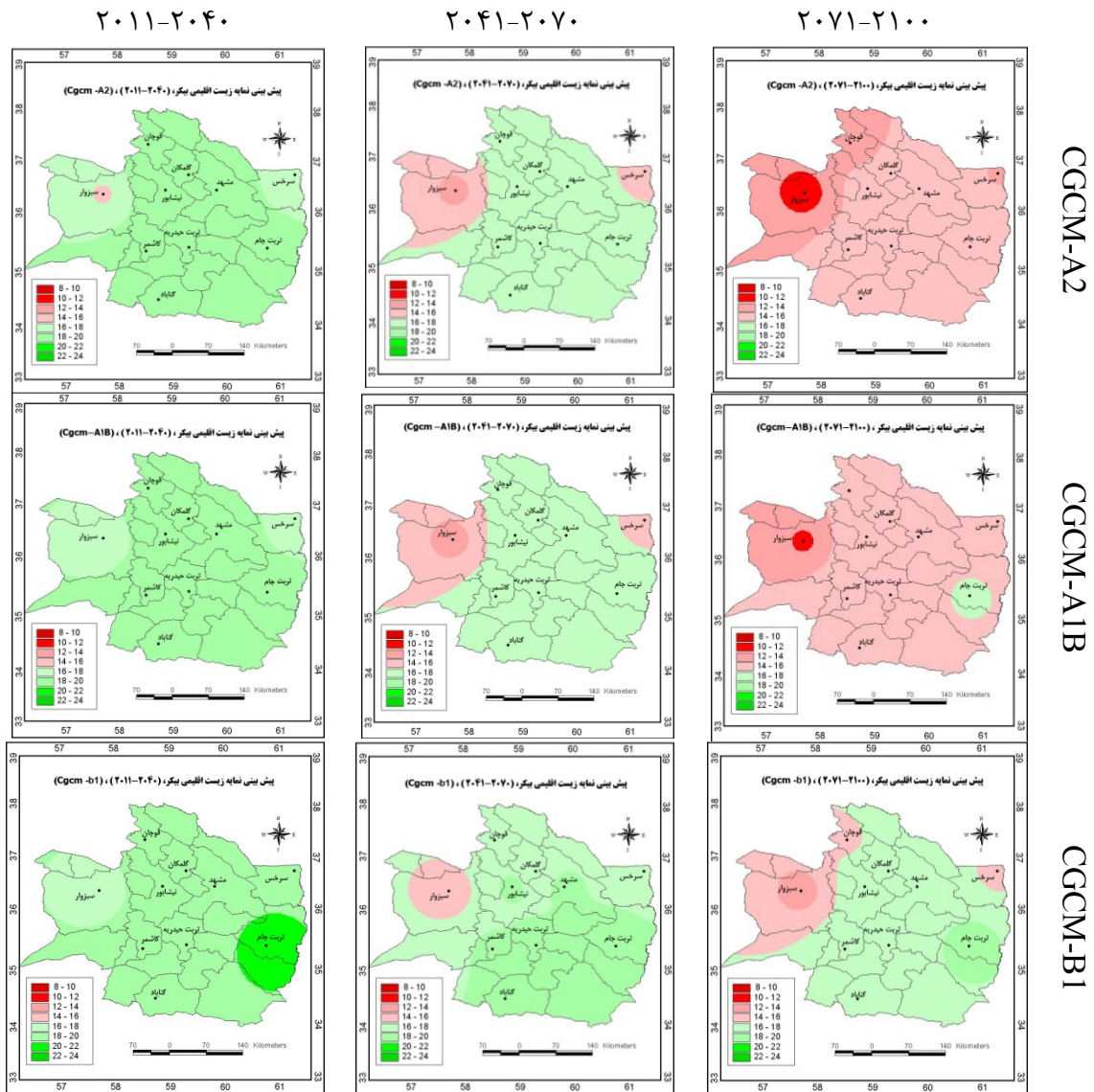
شکل‌های ۴ تا ۶ پهنه بندی نمایه بیکر را در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سناریوهای انتشار مختلف A2، B1 و A1B نشان می‌دهند. همانطور که در شکل‌های مذکور دیده می‌شود، شبیه سازی‌های نمایه زیست اقلیمی بیکر توسط مدل گردش عمومی CGCM تغییرات کمی را در مقایسه

با دو مدل دیگر نشان می‌دهند، در حالیکه مدل گردش عمومی ECHO-G بیشترین کاهش را در نمایه زیست اقلیمی مدل سازی نموده است. علاوه بر آن در بین سه سناریوی انتشار A2، B1 و A1B نتایج سناریوی A2 و B1 به ترتیب بیشترین و کمترین کاهش در نمایه آسایش زیست اقلیمی را پیش بینی می‌کنند.

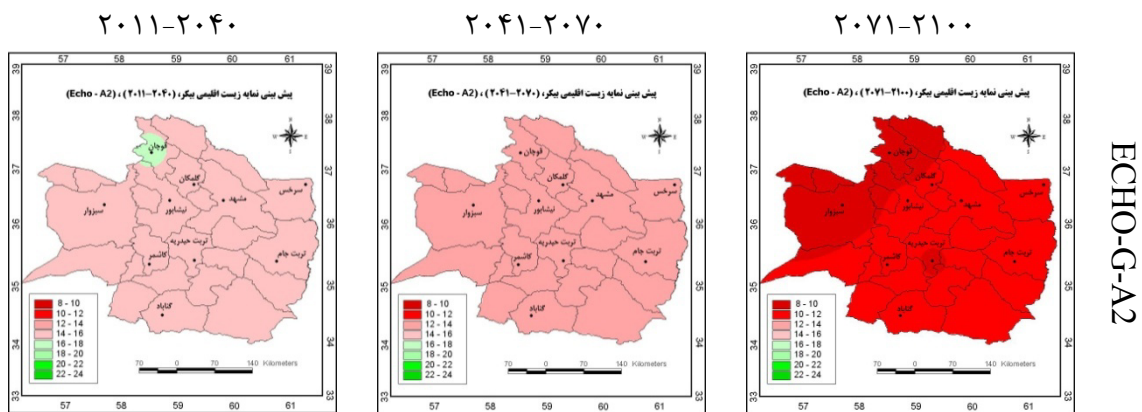
تابع چگالی نمایه زیست اقلیمی بیکر با استفاده از تابع توزیع نرمال در شکل ۷ نشان داده شده است. در شکل ۷-الف، تابع چگالی نمایه بیکر بر اساس مدل سازی انجام شده توسط CGCM نشان داده شده است. هر چند میانگین تابع و انحراف معیارهای مربوط به آن در دو دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ و ۲۰۷۰-۲۰۴۱ تغییرات قابل توجهی نسبت به دوره مشاهداتی نشان نمی‌دهند اما میانگین تابع در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به مقدار ۰.۸۵ میکروکالری بر سانتی متر مربع بر ثانیه جابجایی به سمت شرایط زیست اقلیمی نامطلوب گرم را نشان می‌دهد. واریانس نمایه بیکر دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ برابر ۱۲.۴۶ واحد می‌باشد که به میزان ۷.۷ درصد در مقایسه با دوره دیدبانی افزایش یافته است. در شکل ۷-ب تابع چگالی نمایه‌های زیست اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل گردش عمومی جو ECHO-G نشان داده شده است. در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ نمایه‌های زیست اقلیمی به ترتیب به مقدار ۲.۹۶، ۳.۹۷ و ۴.۸۸ واحد کاهش یافته است (جابجایی به سمت چپ محور افقی) که نشان دهنده تمایل به سوی شرایط نامطلوب زیست اقلیمی در استان خراسان رضوی به میزان ۱۷.۱، ۲۲.۹ و ۲۸.۲ درصد در مقایسه با دوره دیدبانی می‌باشد. واریانس مقادیر نمایه بیکر در انتهای قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۷۱) به مقدار ۴۶.۷ درصد در مدل ECHO-G در مقایسه با دیدبانی افزایش یافته است. شکل ۷-ج نیز تابع چگالی و واریانس شبیه سازی‌های نمایه بیکر را توسط مدل GFDL نشان می‌دهد. میانگین نمایه بیکر در این مدل در سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب ۳.۰۲، ۳.۹۲ و ۴.۴۸ واحد در مقایسه با دوره دیدبانی کاهش یافته است که معادل ۱۷.۵، ۲۲.۷ و ۲۵.۹ درصد کاهش می‌باشد. همانند سایر مدل‌ها، در این مدل نیز بیشترین افزایش واریانس نمایه‌های بیکر در آخرین دوره شبیه سازی رخ داده است که مقدار آن ۴۰.۲ درصد در مقایسه با دوره دیدبانی می‌باشد.

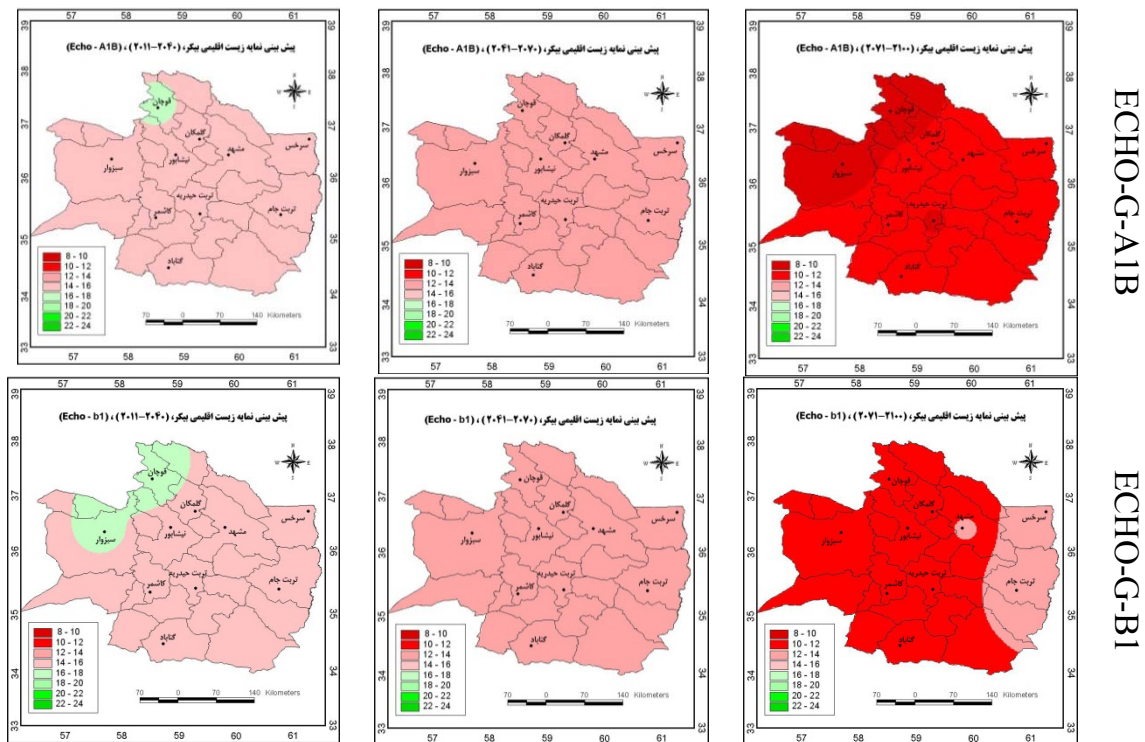


شکل (۳) شبیه سازی نمایه بیکر برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۱ همراه با استفاده از نمودار جعبه‌ای در ایستگاههای استان خراسان رضوی با هدف شناسایی عدم قطعیت شبیه سازی‌ها (بر حسب میکروکالری در سانتی متر مربع در ثانیه).



شکل (۴) شبیه سازی نمایه بیکر در استان خراسان رضوی برای دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ با استفاده از مدل گردش عمومی CGCM3 تحت سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1





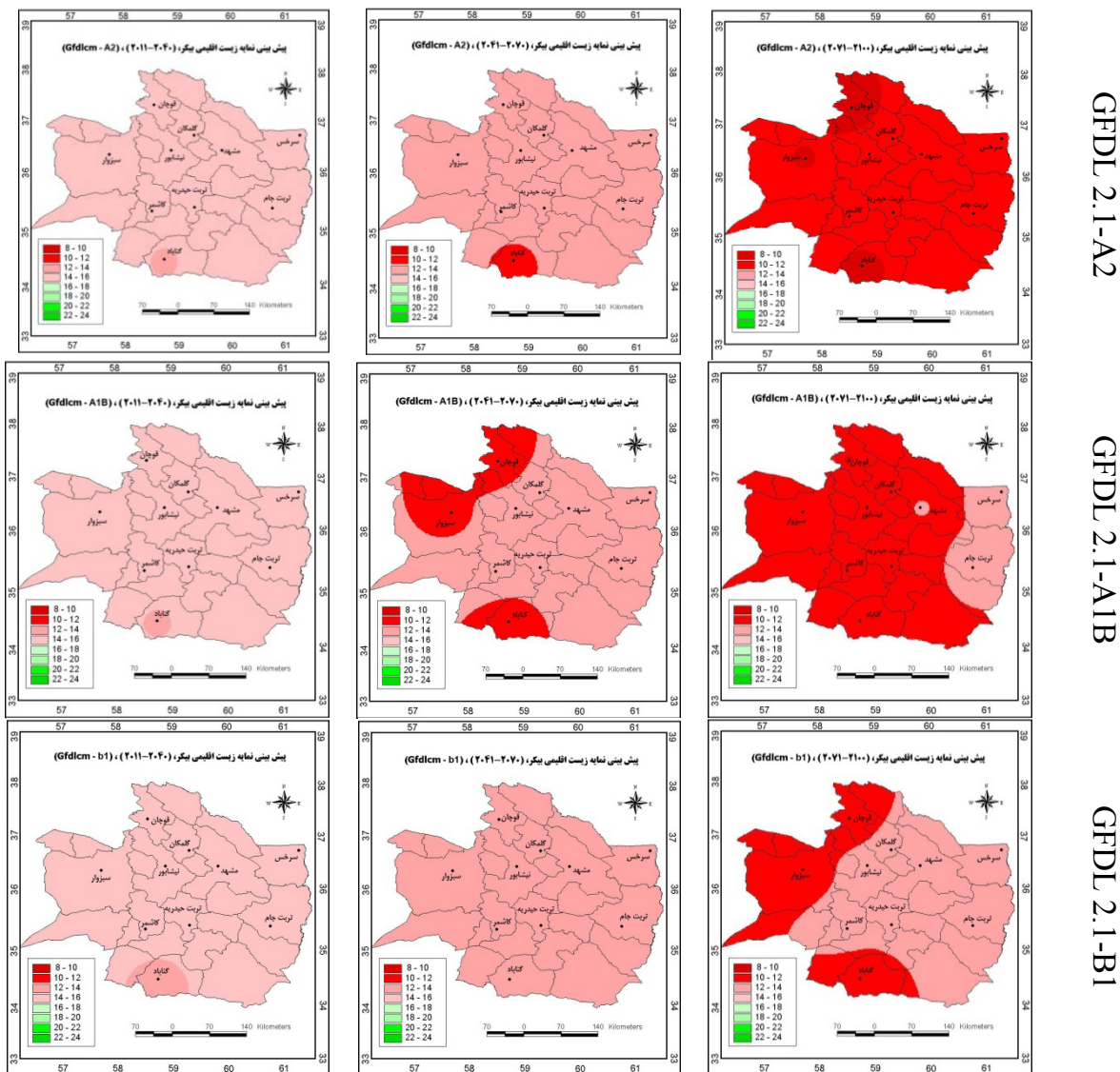
شکل (۵) شبیه سازی نمایه بیکر در استان خراسان رضوی برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل گردش عمومی ECHO-G تحت سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1

به منظور آشکارسازی بیشترین تغییرات در نمایه زیست اقلیمی بیکر، در شکل ۷-د میانگین مقادیر شبیه سازی شده توسط تمامی مدل ها تحت سه سناریوی انتشار A2، B1 و A1B نشان داده شده است. در این شکل خط توپر تابع چگالی نمایه بیکر در دوره دیدبانی می باشد و سایر توابع چگالی نمایه یاد شده را تحت سناریوهای انتشار مختلف نشان می دهند. از آنجا که مساحت تابع چگالی واحد بوده و تابعی از مقدار میانگین و واریانس می باشد، لذا با توجه به افزایش واریانس یا پهن شدگی تابع گوس، ارتفاع منحنی (چگالی) در دوره های آینده کاهش یافته است. بر اساس این شکل میانگین نمایه بیکر در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب ۴، ۳.۸ و ۳ واحد در مقایسه با دوره دیدبانی کاهش می یابد که نشان دهنده اینست که بیشترین و کمترین جابجایی به سمت شرایط نامطلوب زیست اقلیم به ترتیب تحت سناریوی A2 و B1 رخ خواهد داد. این شرایط موجب کاهش نمایه آسایش اقلیمی استان در مقایسه با دوره دیدبانی می شود اما این کاهش به گونه ای نیست که موجب جابجایی زیست اقلیم استان به طبقه نامطلوب گرم گردد، ولی نکته مهمی که در تمامی شبیه سازی ها دیده می شود افزایش واریانس نمایه های زیست اقلیمی در تمامی مدل ها و سناریوهای انتشار در ایستگاههای استان می باشد که نشان دهنده عدم وجود شرایط ثابت زیست اقلیمی در آینده بوده، بطوریکه ناهنجاری های زیست اقلیمی آینده در حول و حوش میانگین خود دارای نوسان بیشتری در مقایسه با دوره دیدبانی خواهد بود.

۲۰۱۱-۲۰۴۰

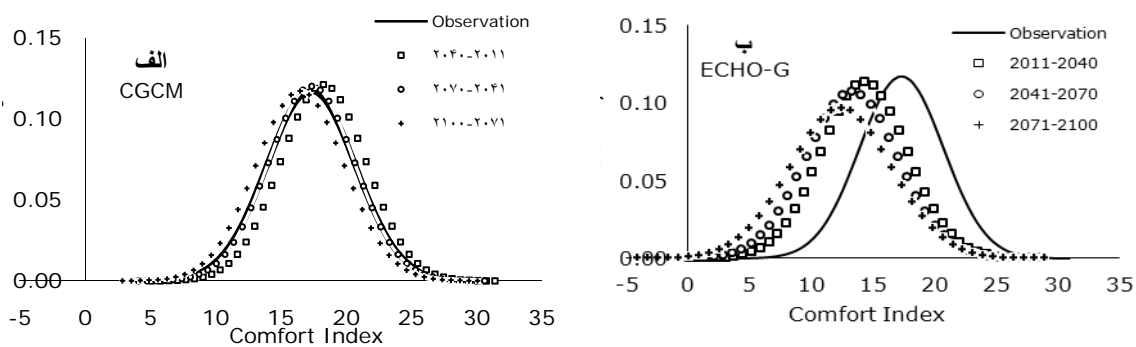
۲۰۴۱-۲۰۷۰

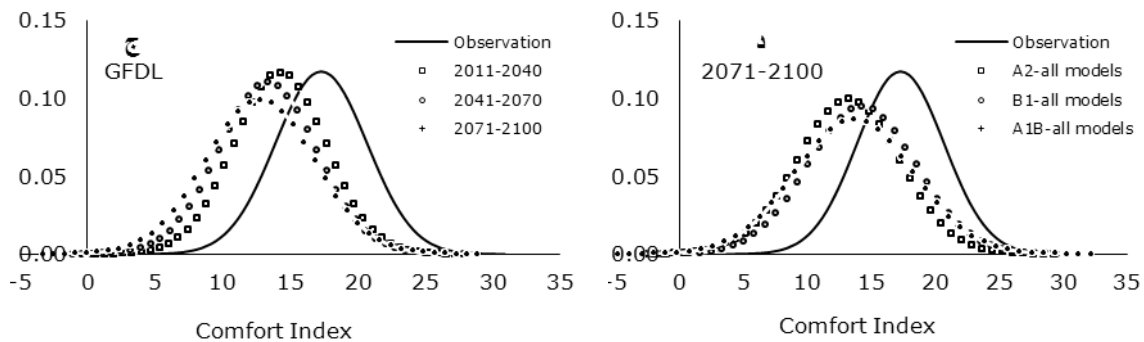
۲۰۷۱-۲۱۰۰



شکل (۶) شبیه سازی نمایه بیکر در استان خراسان رضوی برای دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ با استفاده از مدل گردش عمومی

GFDL 2.1 تحت سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1





شکل (۷) شبیه سازی تابع چگالی نمایه زیست اقلیم بیکر در استان خراسان رضوی توسط مدل های الف- CGCM، ب- ECHO-G، ج- GFDL در دوره های مختلف و د- تمامی مدل ها در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای انتشار مختلف.

خلاصه و نتیجه گیری

کاربرد مدل سازی های اقلیمی در عرصه های مختلف می تواند به برنامه ریزان اقتصادی و اجتماعی در شناسایی اثرات تغییر اقلیم در بخش های مختلف کمک نماید. از آنجا که برون داد مدل های گردش عمومی مستقیماً نمی توانند در مطالعات محیطی مورد استفاده قرار گیرند، لذا در این تحقیق، برون داد خام سه مدل گردش عمومی جو CGCM3، GFDL 2.1 و ECHO-G تحت سه سناریوی A2، A1B و B1 با استفاده از روش وایزی چند متغیره بر روی ده ایستگاه استان خراسان رضوی شامل مشهد، سبزوار، تربت حیدریه، سرخس، قوچان، نیشابور، کاشمر، تربت جام، گناباد و گلستان (چناران) ریزمقیاس شدند. داده های ریزمقیاس شده دما و تندی باد در معادله محاسبه نمایه زیست اقلیمی بیکر قرار داده شدند و از این طریق نمایه بیکر برای سه دوره ۳۰ ساله آینده ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ محاسبه شدند. از آنجا که نمودار باکس پلات می تواند چشم انداز پیش بینی نمایه زیست اقلیمی بیکر را با لحاظ دامنه عدم قطعیت شبیه سازی را نشان دهد، بنابراین در این پژوهش با محاسبه مقادیر بیشینه، کمینه، چارک اول، میانه و چارک سوم نمایه بیکر در مقیاس دهه ای و با در نظر گرفتن ۹ سناریوی انتشار- اقلیمی (۳ سناریوی اقلیمی مربوط به برون داد سه مدل گردش عمومی جو مختلف با همراه سه سناریوی انتشار)، نمودارهای باکس پلات هر ایستگاه ترسیم شدند.

نتایج نشان دادند که بیشترین و کمترین جابجایی در نمایه های زیست اقلیمی در ایستگاههای تربت جام و کاشمر رخ داده است. شرایط کلی، محیطی و انسانی تربت جام در دوره مشاهداتی با نمایه ۲۳.۱۵ میکروکالری بر سانتی متر مربع بر ثانیه در گروه نامطلوب سرد، خنک و ملایم طبقه بندی شده است. در بدترین شرایط آینده، نمایه زیست اقلیمی تربت جام تا ۱۱.۹۲ میکروکالری بر سانتی متر مربع بر ثانیه کاهش (۴۸.۵ درصد) می یابد. حد بالا و پایین تغییرات نمایه بیکر در این ایستگاه بین ۱۱.۹۲ تا ۱۵.۲۲ واحد می باشد. بر اساس طبقه بندی نمایه زیست اقلیمی بیکر، تغییرات دما و تندی باد تحت شرایط گرمایش جهانی در این ایستگاه به گونه ای است که موجب بهبود شرایط زیست اقلیمی آن می گردد، به طوریکه از طبقه C به B جابجا شده است. شبیه سازی های نمایه زیست اقلیمی بیکر توسط مدل گردش عمومی CGCM تغییرات کمی را در مقایسه با دو مدل دیگر نشان می دهند، در حالیکه مدل گردش عمومی ECHO-G بیشترین

کاهش را در نمایه زیست اقلیمی مدل سازی نموده است. علاوه بر آن در بین سه سناریوی انتشار A2، B1 و A1B نتایج سناریوی A2 و B1 به ترتیب بیشترین و کمترین کاهش در نمایه آسایش زیست اقلیمی را پیش بینی می کنند.

میانگین نمایه بیکر در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب ۴، ۳.۸ و ۳ واحد در مقایسه با دوره دیدبانی کاهش می یابد که نشان دهنده اینست که بیشترین و کمترین جابجایی به سمت شرایط نامطلوب زیست اقلیم به ترتیب تحت سناریوی A2 و B1 رخ خواهد داد. این شرایط موجب کاهش نمایه آسایش اقلیمی استان و افزایش دما در مقایسه با دوره دیدبانی می شود اما این کاهش به گونه ای نیست که موجب جابجایی زیست اقلیم استان به طبقه نامطلوب گرم گردد، ولی نکته مهمی که در تمامی شبه سازی ها دیده می شود افزایش واریانس نمایه های زیست اقلیمی در تمامی مدل ها و سناریوهای انتشار در ایستگاههای استان می باشد که نشان دهنده عدم وجود شرایط پایدار زیست اقلیمی در آینده بوده، بطوریکه ناهنجاری های زیست اقلیمی آینده در حول و حوش میانگین خود دارای نوسان بیشتری در مقایسه با دوره دیدبانی خواهد بود.

فهرست منابع

- ۱- ابراهیمی، هدی و همکاران، ۱۳۸۸. "شناخت پتانسیل های اکوتوریستی و آسایش زیست اقلیمی تالاب انزلی با روش بیکر" مجله علمی- تخصصی تالاب (دانشگاه آزاد اهواز) سال اول، شماره اول، پاییز ۱۳۸۸، صفحات ۶۰-۷۰.
- ۲- احمدی، محمود. ۱۳۹۰. "تحلیل آسایش انسان از نظر عوامل اقلیمی در استان تهران" فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران، سال نهم، شماره ۲۹، تابستان ۱۳۹۰، صفحات ۸۱-۶۱.
- ۳- اسماعیلی، رضا و همکاران. ۱۳۹۰. "ارزیابی اقلیم آسایشی چند شهر اصلی گردشگری ایران با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET)" مجله پژوهشهای جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۵، بهار ۱۳۹۰، صفحات ۱-۱۸.
- ۴- بابائیان ا. و کوهی م.، ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه های منتخب خراسان رضوی ۱۳۹۱، نشریه آب و خاک، ۲۶: ۹۶۷-۹۵۳.
- ۵- بابائیان ا.، نجفی نیک ز.، زابل عباسی ف.، حبیبی نوخندان م. ادب ح.، ملبوسی ش.، ۱۳۸۸، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه، ۱۶: ۱۳۵-۱۵۲.
- ۶- رزم، سمانه. رضایی پور، آذر. کوهی، منصوره. ۱۳۹۱. "پهنه بندی و تحلیل بیوکلیمای انسانی استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص بیکر به منظور طراحی شهری و توسعه پایدار" چکیده مقالات چهارمین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری ایران- مشهد، صفحه ۱۱۷.
- ۷- رضایی بهمن و ابراهیمی هدی، ۱۳۸۸، شناخت شرایط مطلوب آسایش بیوکلیماتیک انسانی نوار ساحلی غرب مازندران با روش بیکر، فصلنامه پژوهشی جغرافیا، بهار و تابستان ۸۸، صفحات ۷۰-۵۷.
- ۸- رضایی، بهمن. ۱۳۸۸. "پهنه بندی آسایش بیوکلیماتیک انسانی استان گیلان" مجله چشم انداز جغرافیایی، سال چهارم، شماره ۹، پاییز - زمستان ۸۸، صفحات ۷۹-۵۳.
- ۹- رضایی، بهمن. ۱۳۸۹. "پهنه بندی نواحی مناسب آسایش بیوکلیماتیک انسانی در کوهستانهای گیلان" مجله چشم انداز جغرافیایی، سال پنجم، شماره ۱۱، تابستان ۸۹، صفحات ۷۳-۶۲.
- ۱۰- ساری صراف بهروز، محمدی غلامحسن و حسینی صدر عاطفه، ۱۳۸۹، تعیین مناسب ترین نمایه Ray Man برای مطالعه اقلیم آسایش در شمال استان آذربایجان غربی، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۳-۲۱ اردیبهشت ۱۳۸۹، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صفحه ۱۰۵-۱۰۰.
- ۱۱- صادقی روش، محمد حسن، ۱۳۸۹. "ارزیابی ضرائب زیست اقلیمی موثر در آسایش انسانی مورد مطالعه شهر یزد" فصلنامه جغرافیایی طبیعی، سال سوم، شماره ۱۰، زمستان ۱۳۸۹، صفحات ۹۲-۷۷.
- ۱۲- طاووسی، تقی. عبدالمهی، آرام. ۱۳۸۹. "ارزیابی شاخص های آسایش دمایی و معماری همساز با اقلیم روانسر" نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی (دانشگاه تبریز)، سال ۱۵، شماره ۳۲ تابستان ۱۳۸۹، صفحات ۱۵۰-۱۲۵.
- ۱۳- قنبری، عبدالرسول. عفیفی، محمد ابراهیم. ۱۳۸۹. "نگرشی بر ارزیابی و آسایش انسانی در شهر لار با توجه به شاخص های زیست اقلیمی" فصلنامه جغرافیایی طبیعی، سال سوم، شماره ۱۰، زمستان ۱۳۸۹، صفحات ۱۰۹-۹۳.

- ۱۴- یاراحمدی د. و عزیزی ق.، ۱۳۸۶، تحلیل چند متغیره ارتباط میزان بارش فصلی ایران و شاخص‌های اقليمي، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲، صص ۱۷۴-۱۶۱.
- 15- A.R. Ismail, N. Jusoh, R. Zulkifli, K. Sopian and B.M. Deros, 2009, *Thermal Comfort Assessment: A Case Study at Malaysian Automotive Industry*, *American Journal of Applied Sciences* 6 (8): 1495-1501.
- 16- Holopainen Riikka, 2012, *A human thermal model for improved thermal comfort*, Ph.D. thesis, Aalto University, 150p.
- 17- Roberta Cocci Grifoni, Mariano Pierantozzi, Simone Tascini, 2012, *Outdoor Thermal Comfort and Local Climate Change: Exploring Connections*, PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú 7-9 November 2012.
- 18- Vaneckova, Pavla, Gerard Neville, Vivienne Tippett, Peter Aitken, Gerard FitzGerald, Shilu Tong, 2011: *Do Biometeorological Indices Improve Modeling Outcomes of Heat-Related Mortality?* *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 50, 1165-1176.