



جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۵، دوره ۹ شماره ۱، صص ۶۸۹-۶۶۸

ارزیابی تغییرات زمانی شاخص فشار عصبی و پیامدهای بالقوه آن بر آسایش انسانی در شهر گنبد کاووس

مصطفی یلغی^{۱*}، علی یوزباشی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، اقلیم‌شناسی محیطی، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، ایران

mostafa.yelghei@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، اقلیم‌شناسی سینوپتیک، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۵

چکیده

آسایش حرارتی انسان متأثر از شرایط اقلیمی است و تغییرات آن می‌تواند پیامدهای قابل توجهی بر سلامت و رفاه جامعه داشته باشد. هدف این پژوهش، ارزیابی تغییرات زمانی شاخص فشار عصبی و تحلیل پیامدهای آن بر آسایش انسانی در شهر گنبد کاووس طی یک دوره ۳۳ ساله است. این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و داده‌ها شامل متغیرهای اقلیمی روزانه دما، رطوبت نسبی و سرعت باد از ایستگاه سینوپتیک این شهر اخذ شد. سپس، شاخص فشار عصبی محاسبه و در طبقات آن طبقه‌بندی شدند. برای تحلیل داده‌ها از روش‌های آماری میانگین‌گیری بلندمدت، بررسی دهه‌ای، ارزیابی تجمعی، تحلیل ماهانه و تحلیل روند سالانه استفاده گردید. یافته‌ها نشان داد که شرایط اقلیمی شهر در طول دوره از ثبات پایینی برخوردار است. اگرچه شرایط خنک با میانگین ۱۲۹ روز حالت مسلط است، اما تعداد روزهای دارای آسایش واقعی تنها ۱۵ روز در سال می‌باشد. تحلیل دهه‌ای نوسانات محسوسی را آشکار کرد؛ به‌طوری‌که دهه سوم (۱۳۹۳-۱۴۰۳) با کمترین تعداد روزهای آسایش با میانگین ۱۳ روز همراه بوده است. همچنین، توزیع تجمعی شرایط حرارتی نشان می‌دهد که ۵۹٪ روزهای سال درگیر شرایط خنک، ۲۷٪ در معرض تنش گرمایی، ۱٪ درصد مربوط به روزهای با عدم آسایش کامل گرمایی و ۱۳٪ از روزها از آسایش مطلوب برخوردار هستند. تحلیل ماهانه نیز نشان داد که مطلوب‌ترین ماه‌ها از نظر آسایش، ماه‌های اردیبهشت و مهر مجموعاً با سهم ۶۱٪ در بین تمامی ماه‌ها بودند. بررسی روند بلندمدت نیز حاکی از یک روند کاهشی در حدود ۴ روز از ابتدای دوره در تعداد روزهای آسایش است، اما قدرت تبیین این روند پایین است. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که اقلیم گنبد کاووس با چالش کمبود جدی روزهای مطبوع و تغییرپذیری بالا مواجه است. این الگوی اقلیمی می‌تواند منجر به افزایش فشارهای حرارتی بر ساکنان، تنش‌های روانی ناشی از نوسانات اقلیمی و ایجاد موانعی در برنامه‌ریزی فعالیت‌های مبتنی بر فضای باز گردد.

واژه‌های کلیدی: آسایش انسان، شاخص اقلیمی، شاخص فشار عصبی، اقلیم، گنبد کاووس

۱) مقدمه

شرایط آسایش انسان به حالتی اطلاق می‌شود که از نظر حرارتی برای دست‌کم ۸۰ درصد افراد مناسب بوده و فرد نه احساس گرما و نه احساس سرما داشته باشد؛ حالتی که از آن با عنوان خنثی بودن حرارتی نیز یاد می‌شود (قبادیان و مهدمی، ۱۳۸۴). یکی از عوامل مهم مؤثر بر آسایش و سلامت انسان، شرایط جوی و اقلیمی است که در چارچوب زیست‌اقلیم انسانی و بیوکلیماتولوژی مورد مطالعه قرار می‌گیرد (محمدی و سعیدی، ۱۳۸۷). در شکل‌گیری آسایش اقلیمی، عناصر دما، رطوبت، باد و تابش نقش اساسی دارند که در این میان دما و رطوبت بیشترین تأثیر را بر سلامت و راحتی انسان داشته و مبنای اصلی بسیاری از شاخص‌های آسایش قرار گرفته‌اند (صفایی‌پور، شبانکاری و تقوی، ۱۳۹۲). شاخص فشار عصبی به‌عنوان معیاری از فشار فیزیولوژیکی ناشی از عدم تعادل بین جذب و دفع گرما، اثر هم‌زمان دما و رطوبت را بر بدن انسان نشان می‌دهد و به واکنش‌های احساسی و زیستی بدن وابسته است (محمدی، ۱۳۸۶). در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و افزایش رخداد‌های حدی جوی نظیر موج‌های گرما و نوسانات دمایی، تأثیرات قابل توجهی بر آسایش و سلامت انسان‌ها داشته‌اند (Hoof van et al., 2010; Sulzer & Christen, 2024). شهر گنبدکاووس به دلیل موقعیت جغرافیایی، تأثیرپذیری از توده‌های هوای مرطوب خزری و تشدید فرایندهای شهری نظیر جزیره حرارتی، از مناطق مستعد بروز تنش‌های حرارتی و فشار عصبی بالا محسوب می‌شود (رهنما، اجزاشکوهی و عطا، ۱۳۹۶).

در این راستا، مطالعات مشابه قابل توجهی در ایران و جهان انجام شده است. مطالعه (قنبری، عفیفی و صادقی، ۱۳۸۹) نشان داده که شرایط بیوکلیمایی شهر لار در بازه‌ای طولانی دچار نوسانات شدید حرارتی بوده و ماه‌های انتقالی سال بیشترین همخوانی را با آسایش انسانی دارند، در حالی که تابستان با تنش حرارتی شدید همراه است. (رمضانی، فرج‌زاده و مرادیان، ۱۳۹۱) با استفاده از شاخص فشار عصبی، دوره‌های مناسب گردشگری شهرستان رودسر را مشخص کرده و نتیجه گرفتند که بخش عمده‌ای از سال، به‌ویژه فصول بهار و پاییز، از شرایط مطلوب آسایش اقلیمی برخوردار است. (صفایی‌پور، شبانکاری و تقوی، ۱۳۹۲) نشان دادند که شیراز از نظر زیست‌اقلیمی دارای تنوع حرارتی قابل توجهی است و بهار مناسب‌ترین فصل از نظر آسایش انسانی محسوب می‌شود، در حالی که زمستان و تابستان خارج از محدوده آسایش قرار دارند. نتایج پژوهش (مرتضایی و برنا، ۱۳۹۴) نشان داد که در استان خوزستان شرایط سرد مشاهده نمی‌شود و بهترین وضعیت آسایش انسانی و گردشگری در ماه‌های انتقالی بهار و پاییز رخ می‌دهد. (مولی‌نژاد، ۱۳۹۴) با بررسی تهران نشان داد که تفاوت‌های ارتفاعی و مکانی باعث اختلاف قابل توجه در آسایش حرارتی شده و نواحی شمالی شهر در فصل گرم شرایط مناسب‌تری نسبت به نواحی جنوبی دارند. (ندیم، گندمکار و عباسی، ۱۳۹۵) با مقایسه چند شاخص زیست‌اقلیمی نتیجه گرفتند که شاخص PET عملکرد بهتری در تبیین آسایش حرارتی استان گلستان داشته و ماه‌های بهاری بیشترین سطح آسایش را نشان می‌دهند. (کریمی‌راد، علی‌آبادی و حبیبی، ۱۳۹۷) نشان دادند که دمای متوسط تابشی نقش کلیدی در آسایش حرارتی عابران پیاده دارد و افزایش آن منجر به تشدید استرس حرارتی در فضاهای شهری می‌شود. (ثناگردررانی، رفیعیان و حنایی، ۱۳۹۷) بیان کردند که تشدید موج‌های گرما در مشهد به‌ویژه در تابستان، شهر را به سمت ورود به محدوده تنش گرمایی سوق داده و آسایش

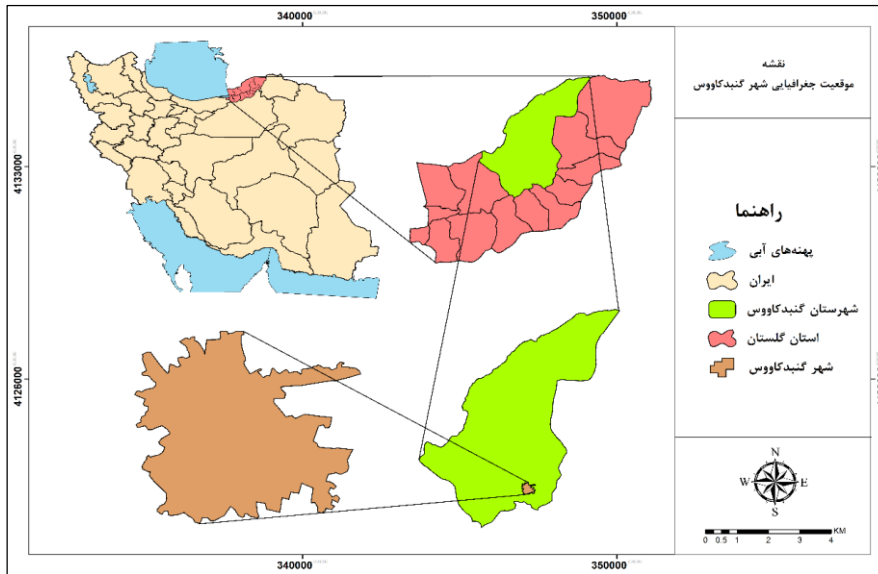
حرارتی بیرونی را کاهش داده است. (سجودی، آقازاده، نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷) با استفاده از شاخص‌های TCI و PET نشان دادند که نتایج ارزیابی آسایش اقلیمی می‌تواند بسته به شاخص مورد استفاده متفاوت باشد و برخی ماه‌ها شرایط بهتری برای گردشگری دارند. (حسینی و کربلایی‌درئی، ۱۴۰۴) به مقایسه شاخص‌های TCI و HCI در استان همدان با بهره‌گیری از پارامترهای اقلیمی ۱۱ ایستگاه سینوپتیک پرداخته و نتایج نشان داده که اواخر بهار و سرتاسر تابستان مساعدترین زمان برای گردشگری استان همدان است و فصول پاییز و زمستان به دلیل وجود شرایط پرباد، سرد و پر بارش، نامساعدترین فصول هستند. (فلاح‌قاهره، شاکری، عباسی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸) با مقایسه سه اقلیم متفاوت ایران تأکید کردند که شاخص‌های زیست‌اقلیمی توانایی تفکیک دقیق دوره‌های آسایش و عدم آسایش را در شرایط اقلیمی مختلف کشور دارند. (مدیری و خزائی، ۱۳۹۹) نشان دادند که ارزیابی آسایش حرارتی در همدان بسته به شاخص مورد استفاده نتایج متفاوتی دارد و ماه‌های تابستانی بیشترین همخوانی را با شرایط آسایش نشان می‌دهند. (فتحی‌فرد، جاوید و راهدان، ۱۴۰۲) با پهنه‌بندی شاخص فشار عصبی در استان گیلان بیان کردند که بخش‌های مرکزی استان در اغلب روزهای سال شرایط مناسبی از نظر تعادل جذب و دفع گرما برای سلامت انسان دارند. از طرف دیگر، در سطح بین‌المللی با بررسی شدت جزیره گرمایی شهری و شاخص‌های آسایش حرارتی در لیسبون و مونیخ نشان داده شد که مونیخ شرایط حرارتی نامطلوب‌تری داشته و مناطق متراکم شهری و کم‌ساخت بیشترین میزان ناراحتی حرارتی را تجربه می‌کنند و در معرض استرس گرمایی بسیار شدید و لیسبون در معرض استرس شدید قرار دارد (Silva et al., 2024). در یک مرور نظام‌مند جهانی نشان دادند که شاخص‌های حرارتی نظیر PET، UTCI و Index Heat ارتباط معناداری با پیامدهای سلامت به‌ویژه بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی و مرگ‌ومیر دارند و افزایش این شاخص‌ها با افزایش خطرات سلامتی همراه است (Pantavou et al., 2025). ترکیب داده‌های حسگرهای داخلی، شبکه‌های عصبی و سناریوهای اقلیمی نشان داد که استرس گرمایی داخل ساختمان‌ها تا پایان قرن به‌طور چشمگیری از نظر شدت، فراوانی و مدت افزایش می‌یابد، به‌ویژه تحت سناریوهای انتشار بالاتر (Sulzer & Christen, 2024). با بازنگری مدل PMV نشان دادند که مدل‌های آسایش تطبیقی، با توجه به توان سازگاری کاربران، کارایی بالاتری در تحلیل آسایش حرارتی داخلی نسبت به مدل‌های کلاسیک دارند (Hoof van et al., 2010). نشان دادند که اگرچه دما و رطوبت برای آسایش حرارتی مهم‌اند، اما در فضاها شهری نقش تابش خورشیدی، تابش مادون قرمز و سرعت باد در تعیین آسایش حرارتی بسیار پررنگ‌تر از ویژگی‌های مکانی سایت است (Herrington & Vittum, 1977). با طبقه‌بندی شاخص‌های استرس گرمایی نشان دادند که شاخص‌های WBGT و DI کاربرد گسترده‌تری دارند و شاخص DI می‌تواند به‌عنوان شاخصی جهانی برای ارزیابی استرس گرمایی مورد استفاده قرار گیرد (Epstein & Moran, 2006). با مقایسه چند شاخص گرمایی نشان دادند که WBGT بهترین عملکرد را در پیش‌بینی جبران‌پذیری استرس گرمایی در افراد سالم داشته و شاخص HI نیز همبستگی بالایی با ادراک حرارتی و دمای مرکزی بدن دارد (Vecellio et al., 2022). با استفاده از داده‌های ERA5-HEAT افزایش معنادار ناراحتی حرارتی و شدت استرس گرمایی را در شبه‌جزیره عربستان نشان دادند و بیان کردند که این تغییرات با الگوهای ENSO همبستگی مکانی مشخصی دارد (Ullah et al., 2024). با ارزیابی شاخص‌های WBGT، TSI و PHS والنسیا نشان دادند که ترکیب متغیرهای اقلیمی و تابشی، تصویر دقیق‌تری از استرس گرمایی در محیط‌های شهری ارائه می‌دهد (Aduna-Sánchez et al., 2023). با بررسی فضاها سبز شهری در هووت چین نشان دادند که

شاخص‌های HCI توانایی تفکیک سطوح مختلف آسایش حرارتی در فصول و انواع فضاها را سبب شهری را دارند و نقش این فضاها در تعدیل تنش حرارتی قابل توجه است (Bao et al., 2025). با وجود اهمیت آسایش انسانی و سلامت اقلیمی، تاکنون مطالعات جامع و متمرکز درباره روند تغییرات شاخص فشار عصبی و پیامدهای آن بر آسایش انسانی در شهر گنبدکاووس انجام نشده است. این خلأ پژوهشی می‌تواند برنامه‌ریزی شهری، مدیریت سلامت عمومی و تدوین راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم را با چالش مواجه کند. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی زمانی تغییرات شاخص فشار عصبی و تحلیل اثرات آن بر آسایش انسانی انجام شده و می‌کوشد با شناسایی دوره‌های بحرانی تنش عصبی و فراوانی شرایط آسایش و ناآسایش، تصویری روشن از وضعیت زیست‌اقلیمی شهر ارائه دهد. نتایج این مطالعه می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای تصمیم‌گیری مدیران شهری و افزایش تاب‌آوری و کیفیت زندگی شهروندان در برابر تغییرات اقلیمی فراهم آورد.

۲) روش‌شناسی پژوهش

۲.۱) محدوده مورد مطالعه

گنبدکاووس یکی از شهرهای استان گلستان می‌باشد که در طول شرقی حدود ۵۵ درجه و عرض شمالی حدود ۳۷ درجه قرار دارد (شکل ۱). شهر گنبدکاووس در فاصله ۹۸ کیلومتری از مرکز استان یعنی گرگان واقع گردیده و از شمال با ۱۴۵ کیلومتر مرز مشترک با کشور ترکمنستان و از جنوب با شهرستان‌های آزادشهر و رامیان از شرق با شهرستان‌های کلاله، مراوه‌تپه و مینودشت و از غرب با شهرستان آق‌قلا همسایه می‌باشد (رهنما، اجزاشکوهی و عطا، ۱۳۹۶). شهرستان گنبدکاووس با مساحت ۵۰۷۱ کیلومتر مربع در شرق استان گلستان با ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا و بر اساس طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه‌خشک که متوسط بارندگی ۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد. آب و هوای این شهرستان در ارتفاعات آزادشهر و رامیان، معتدل و کوهستانی بوده و در شمال گرگان‌رود به سوی مرز ترکمنستان به آب و هوای نیمه‌بیابانی معتدل و نیمه‌خشک تبدیل می‌شود. میزان بارندگی آن از جنوب به شمال و از غرب به شرق کاهش یافته و دمای آن افزایش می‌یابد (حشمت‌پور و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی شهر گنبدکاووس (منبع: نگارندگان)

۲.۲) معرفی داده‌ها و متغیرهای اقلیمی

پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و با هدف بررسی تغییرات زمانی فشار عصبی اقلیمی در شهر گنبدکاووس انجام شده است. داده‌های مورد استفاده شامل متغیرهای اقلیمی روزانه (دما، رطوبت نسبی و سرعت باد) بوده که از ایستگاه سینوپتیک گنبدکاووس طی دوره آماری ۳۳ ساله (۱۳۷۱ تا ۱۴۰۳) اخذ گردید. پیش از انجام محاسبات، کنترل کیفی داده‌ها شامل بررسی داده‌های مفقود، مقادیر حدی غیرمنطقی و یکسان‌سازی واحدها انجام گرفت و در موارد وجود داده‌های ناقص، از روش‌های استاندارد تصحیح و حذف داده‌ها استفاده شد تا از ایجاد خطای سیستماتیک در نتایج جلوگیری گردد.

۲.۳) معرفی شاخص فشار عصبی و فرمول‌های محاسباتی

برای ارزیابی شرایط آسایش و عدم آسایش حرارتی انسان، از شاخص فشار عصبی استفاده شد که با در نظر گرفتن اثر همزمان متغیرهای اقلیمی مؤثر بر بدن انسان، توانایی ارزیابی شرایط تنش حرارتی و سرمایی را فراهم می‌کند (لایقی، ۱۳۸۲). این شاخص بر اساس دما به دو شکل مجزا محاسبه می‌شود:

الف) فرمول مربوط به دمای بالای ۲۰ درجه سانتی‌گراد:

$$I = (0.5 + Rh^2 \times 0.0001) \times (T - 80 + 0.11 \times Rh) \quad (1)$$

که در آن I شاخص دمای مؤثر و رطوبت با فرض شرایط آرام هوا، T دما بر حسب فارنهایت و Rh رطوبت نسبی بر حسب درصد است. طبقات این شاخص شامل: خنک با شرایط عدم آسایش (کمتر از -۵)، خنک (-۵ تا -۱)، آسایش (۰)، گرم با شرایط آسایش (۱ تا ۵)، گرم با شرایط عدم آسایش (۶ تا ۱۰)، شرایط عدم آسایش زیاد (۱۱ تا ۱۵) و کاملاً شرایط عدم آسایش (بیشتر از ۱۵) می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱: درجه‌بندی ضرایب آسایش مربوط به اقلیم گرم (+۲۰) (منبع: محمدی، ۱۳۹۳)

ردیف	ضریب آسایش (I)	آهنگ گرمایش
۱	کمتر از ۰-۵	خنک با شرایط عدم آسایش
۲	کمتر از ۰-۵ تا -۱	خنک
۳	۰	آسایش
۴	بین ۱ تا ۵	گرم با شرایط آسایش
۵	بین ۶ تا ۱۰	گرم با شرایط عدم آسایش
۶	بین ۱۱ تا ۱۵	شرایط عدم آسایش زیاد
۷	بیشتر از ۱۵	کاملاً شرایط عدم آسایش

(ب) فرمول مربوط به دمای کمتر ۲۰ درجه سانتی‌گراد:

در فرمول‌های معمول به کار رفته برای اقلیم سرد و خنک به ترکیب وضعیت‌های باد و دما توجه شده است، بدون اینکه عامل رطوبت وارد شود. علاوه بر این، بر قدرت خنک‌کنندگی شرایط جوی محیط اطراف تاکید شده است. این قدرت خنک‌کنندگی با شیوه‌های مختلفی بیان می‌شود. معمول‌ترین آن از طریق فرمول زیر برای دماهای کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد است:

$$H = 0.57 \times V^{0.42} \times (36.5 - T) \times 36 \quad (2)$$

که در آن H شاخص دمای مؤثر و سرعت باد، T دمای بر حسب درجه سانتی‌گراد و V سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه است. طبقات این شاخص شامل: خنک (۳۹۶-۵۴۰)، خیلی خنک (۵۴۱-۷۹۰)، سرد (۷۹۱-۹۹۹)، خیلی سرد (۱۰۰۰-۱۱۹۹)، سرمای‌گزنده (۱۲۰۰-۱۴۳۹) و سطح پوست به سرعت یخ می‌زند (۱۴۴۰ و بیشتر) طبقه‌بندی شده است. در جدول ۲ درجه‌بندی ضرایب آسایش مربوط به اقلیم سرد و کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود.

جدول ۲: درجه‌بندی ضرایب آسایش مربوط به اقلیم سرد (-۲۰) (منبع: محمدی، ۱۳۹۳)

ردیف	ضریب آسایش (H)	آهنگ سرمایش
۱	۵۴۰-۳۹۶	خنک
۲	۷۹۰-۵۴۱	خیلی خنک
۳	۹۹۹-۷۹۱	سرد
۴	۱۱۹۹-۱۰۰۰	خیلی سرد
۵	۱۴۳۹-۱۲۰۰	سرمای‌گزنده
۶	۱۴۴۰ و بیشتر	سطح پوست به سرعت یخ می‌زند

۲.۴. روش‌های تحلیل و پردازش داده‌ها

الف) میانگین‌گیری بلندمدت: برای بررسی الگوی کلی حاکم بر منطقه، میانگین تعداد روزهای هر طبقه از شاخص فشار عصبی در کل دوره ۳۳ ساله استخراج و به صورت نمودار ستونی ارائه گردید.

ب) تحلیل دهه‌ای: به منظور ردیابی تغییرات زمانی و نوسانات احتمالی در رژیم اقلیمی منطقه، دوره آماری به سه زیردوره ده ساله (۱۳۷۱-۱۳۸۱، ۱۳۸۲-۱۳۹۲ و ۱۳۹۳-۱۴۰۳) تقسیم و برای هر زیردوره نمودارهای مجزا ترسیم گردید.

ج) ارزیابی تجمعی: برای افزایش خوانایی نتایج و تسهیل تفسیر الگوهای غالب اقلیمی، طبقات اصلی شاخص فشار عصبی در چهار گروه مفهومی کلان شامل «شرایط سرد» (خنک، خیلی خنک، سرد، خیلی سرد و سرمای گزنده)، «شرایط آسایش»، «تنش گرمایی» (گرم با آسایش، گرم با عدم آسایش و شرایط عدم آسایش زیاد) و «تنش شدید» تجمیع شدند. (این تجمیع صرفاً در مرحله تحلیل و تفسیر نتایج انجام شده و هیچ‌گونه تغییری در ماهیت یا مقادیر محاسبه شده شاخص ایجاد نکرده است).

د) تحلیل شرایط آسایشی ماهانه: به جهت برآورد تعداد روزهای آسایشی در کل دوره آماری، مجموع تمامی ماه‌های دارای شرایط آسایشی تجمیع شده و نمودار ماهانه تعداد روزهای آسایشی در تمامی ماه‌ها از ابتدای تا انتهای دوره (۱۴۰۳-۱۳۷۱) ترسیم شده و میزان سهم هر کدام از ماه‌ها به لحاظ شرایط آسایشی بدست آمد.

ح) تحلیل روند سالانه: به منظور بررسی وجود روند سیستماتیک در تغییرات پتانسیل آسایش حرارتی، تحلیل روند بر روی سری زمانی سالانه تعداد روزهای دارای شرایط آسایش طی دوره ۳۳ ساله انجام شد. برای این منظور، نمودار تعداد روزهای آسایش در هر سال به صورت متوالی ترسیم و معیارهای شیب خط (Slope) و ضریب تعیین (R^2) به عنوان شاخص‌های شدت و قدرت روند مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲.۵. روش‌های تحلیل و پردازش داده‌ها

تمامی محاسبات مربوط به روابط و فرمول‌های ریاضی شاخص فشار عصبی با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Office Excel 2021 انجام پذیرفت.

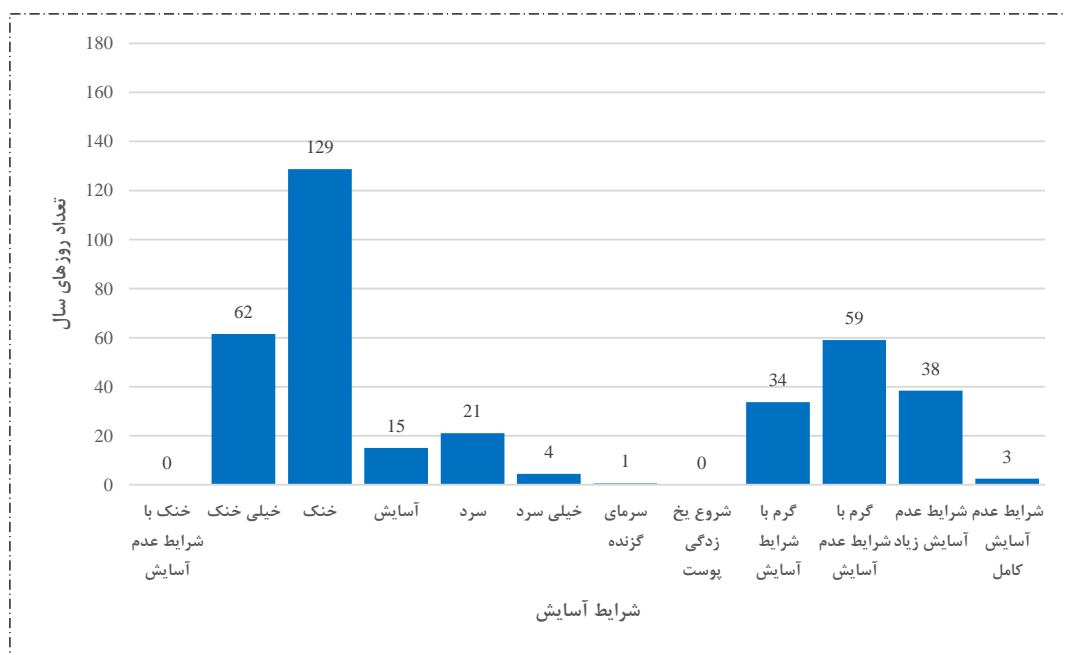
۳) یافته‌های پژوهش

پس از محاسبه شاخص فشار عصبی برای کلیه روزهای دوره آماری ۳۳ ساله (۱۳۷۱-۱۴۰۳) و طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس مقادیر استاندارد این شاخص، داده‌های حاصل در پنج سطح تحلیلی مجزا شامل الگوی کلی بلندمدت، تغییرات

دهه‌ای، ارزیابی تجمعی طبقات، تحلیل ماهانه شرایط آسایشی و تحلیل روند تغییرات سالانه آن مورد بررسی و تفسیر قرار گرفتند. یافته‌های حاصل از این تحلیل‌های کمی، نه تنها تصویری روشن از وضعیت فعلی زیست‌اقلمی شهر گنبدکاووس ارائه می‌دهد، بلکه روندهای تغییر آن را در طول سه دهه گذشته آشکار می‌سازد.

۳،۱) الگوی کلی و میانگین بلندمدت شرایط آسایش حرارتی

بررسی میانگین سالانه شاخص فشار عصبی در دوره ۳۳ ساله گنبدکاووس (شکل ۲) به وضوح نشان می‌دهد که شرایط خنک با ۱۲۹ روز، حالت مسلط و تعیین‌کننده اقلیم این شهر است. این شرایط که عمدتاً حاصل تعامل دمای نسبتاً پایین (در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد) و وزش باد ملایم (۱ تا ۴ متر بر ثانیه) می‌باشد، بخش عمده‌ای از سال را در بر می‌گیرد.



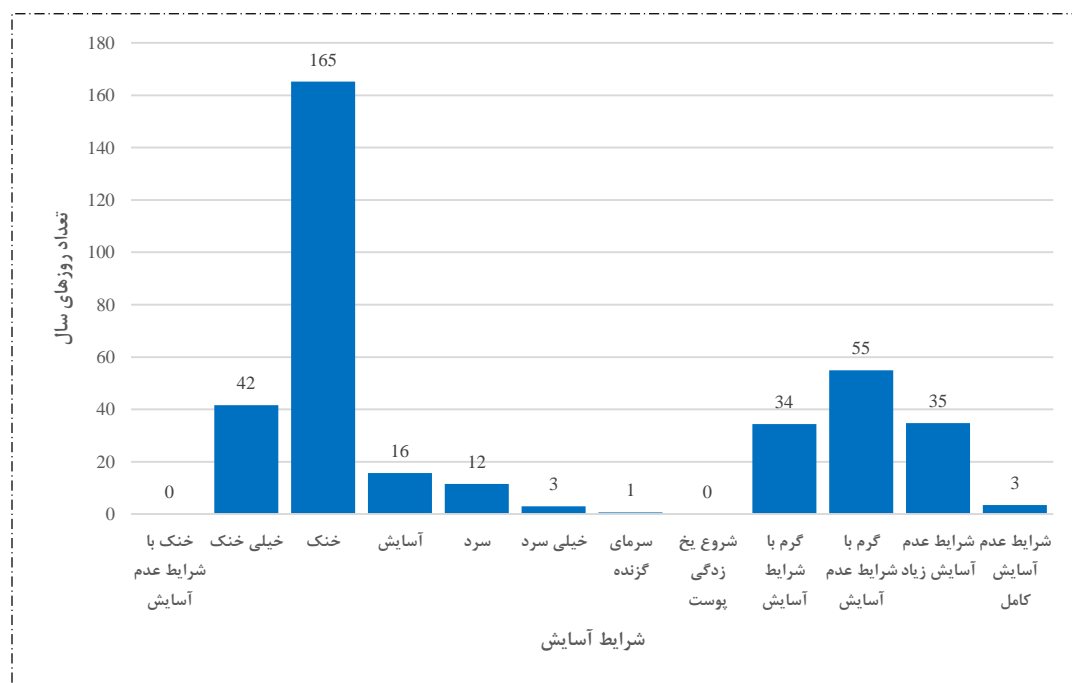
شکل ۲: نمودار میانگین سالانه (۱۳۷۱-۱۴۰۳) شاخص فشار عصبی در گنبدکاووس

با این حال، نکته بحرانی و شاید متناقض، کمبود فاحش روزهای دارای آسایش حرارتی مطلوب (تنها ۱۵ روز در سال) در کنار این حجم از روزهای خنک است. این بدان معناست که اکثر روزهای خنک در واقع خارج از محدوده آسایش ایده‌آل انسانی قرار دارند و صرفاً به دلیل دمای پایین، به معنای مطلوبیت حرارتی برای ساکنان نیستند.

همزمان، حضور پرشمار روزهای متعلق به طبقات مختلف عدم آسایش با مجموع قابل توجهی فراتر از ۱۰۰ روز در سال، بر پیچیدگی وضعیت اقلیمی این شهر تأکید دارد. بررسی دقیق‌تر طبقات نشان می‌دهد که از مجموع روزهای سال، ۳۴ روز در طبقه "گرم با شرایط آسایش"، ۵۹ روز در طبقه "گرم با شرایط عدم آسایش" و ۳۸ روز در طبقه "شرایط عدم آسایش زیاد" قرار می‌گیرند. این ارقام بیانگر آن است که اگرچه شرایط خنک بر اقلیم منطقه حاکم است، اما تنش‌های گرمایی نیز سهم قابل توجهی در طول سال دارند.

۳.۲. تحلیل تغییرات دهه‌ای شاخص فشار عصبی

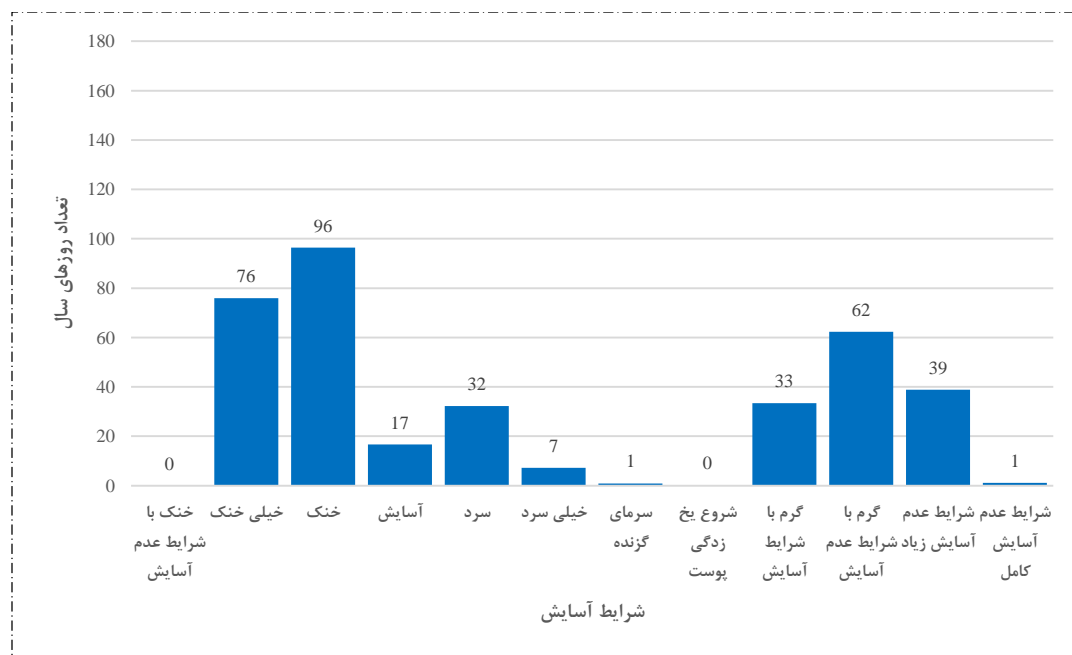
تحلیل داده‌های دهه ابتدایی (۱۳۷۱-۱۳۸۱) در شکل ۳، اوج‌گیری شرایط خنک را در کل تاریخچه مطالعه نشان می‌دهد، به طوری که میانگین روزهای این طبقه به ۱۶۵ روز در سال رسیده است. این میزان بسیار بالا از روزهای خنک، می‌تواند نشان‌دهنده شدت بیشتر یا تداوم طولانی‌تر عوامل ایجادکننده این شرایط (مانند وزش بادهای خنک‌کننده یا تداوم هوای سردتر) در این دهه باشد. نکته قابل تأمل آنکه در مقابل این حجم از روزهای خنک، تعداد روزهای دارای آسایش مطلوب در سطح پایین ۱۶ روز قرار دارد که بیانگر فشار حرارتی مداوم و قابل توجه بر ساکنان در این بازه زمانی است.



شکل ۳: نمودار میانگین دهه‌ای (۱۳۷۱-۱۳۸۱) شاخص فشار عصبی در گنبدکاوس

از سوی دیگر، بررسی طبقات گرمایی در این دهه نشان از ثبات نسبی دارد؛ به گونه‌ای که طبقه "گرم با شرایط آسایش" ۳۴ روز، "گرم با عدم آسایش" ۵۵ روز و "شرایط عدم آسایش زیاد" ۳۵ روز از سال را به خود اختصاص داده‌اند. این ارقام حاکی از آن است که اگرچه خنکی عامل غالب بوده، اما تنش گرمایی نیز به عنوان یک مؤلفه پایدار در این دهه حضور فعال داشته و از اثرگذاری آن کاسته نشده است. بنابراین، دهه اول را می‌توان دوره‌ای توصیف کرد که در آن، اگرچه سرما و خنکی کمیت غالب بوده، اما کیفیت آسایش به دلیل ناتوانی هر دو اقلیم سرد و گرم در فراهم آوردن شرایط مطلوب، در سطح بسیار نازلی قرار داشته است. این ترکیب، دهه اول را به دوره‌ای با پتانسیل آسایش بسیار محدود تبدیل کرده است.

نمودار مربوط به دهه دوم (۱۳۸۲-۱۳۹۲) در شکل ۴، یک انحراف آشکار و معنادار از روند مشاهده شده در دهه اول را ثبت می‌کند و وقوع یک دوره نسبتاً سردتر در سابقه اقلیمی منطقه را تأیید می‌نماید. اگرچه تعداد روزهای خنک کاهش یافته و به ۹۶ روز رسیده است، اما در عوض افزایش چشمگیر روزهای "خیلی خنک" به ۷۶ روز و همچنین افزایش محسوس روزهای متعلق به طبقات سردتر شامل ۳۲ روز "سرد" و حتی ۷ روز "خیلی سرد" مشاهده می‌شود. این تغییر در توزیع طبقات حرارتی، به وضوح بیانگر سردتر شدن اقلیم گنبدکاووس در این دهه است.

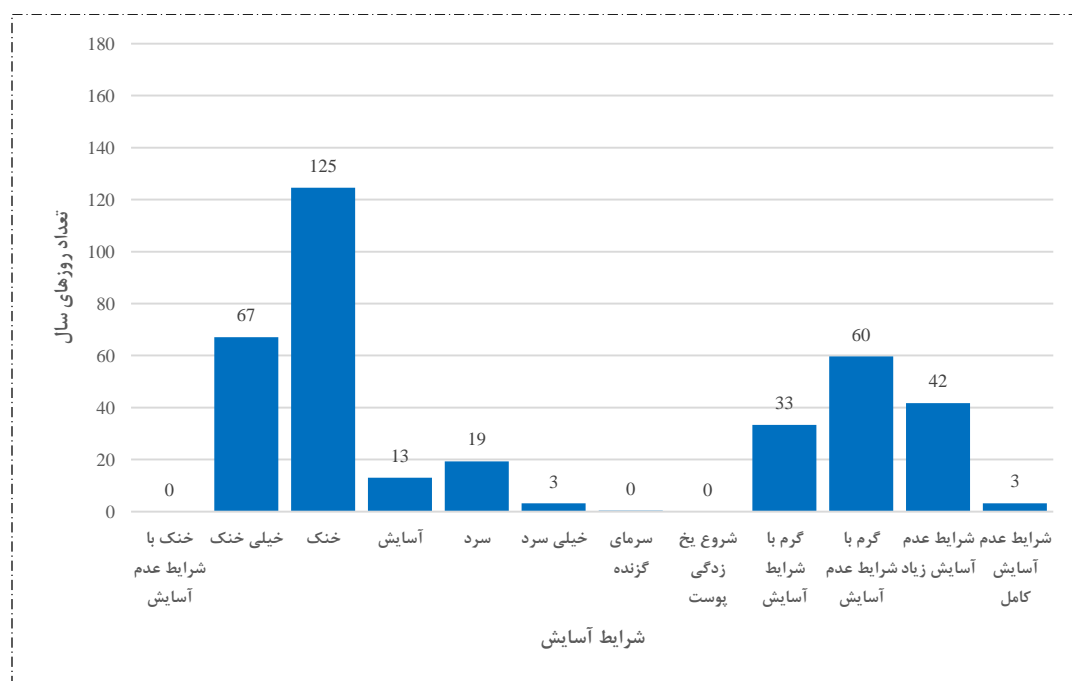


شکل ۴: نمودار میانگین دهه‌ای (۱۳۸۲-۱۳۹۲) شاخص فشار عصبی در گنبدکاووس

همزمان با این تغییر در الگوی سرمایشی، کاهش شدید روزهای متعلق به طبقات عدم آسایش گرمایی و افزایش امیدوارکننده روزهای آسایش مطلوب به اوج ۱۷ روز در کل دوره مطالعاتی مشاهده می‌شود. این افزایش هرچند اندک

است، اما در مقایسه با میانگین بلندمدت ۱۵ روز، نشان‌دهنده بهبود نسبی شرایط آسایش حرارتی در این بازه زمانی است. این الگوی تغییر را می‌توان به عنوان دوره‌ای با تنش گرمایی کمتر و فراوانی بیشتر روزهای مطبوع در حافظه اقلیمی شهر گنبدکاووس متمایز دانست. به نظر می‌رسد در این دهه، سیستم‌های هوای سرد ورودی به منطقه (اعم از غربی یا توده‌های هوای سرد سبیری) یا تداوم و شدت بیشتری داشته‌اند که منجر به تغییر محسوس در توزیع طبقات حرارتی شده است.

نمودار دهه سوم (۱۳۹۳-۱۴۰۳) در شکل ۵، حکایت از بازگشت قاطع به روند گرمایی و حتی تشدید برخی جنبه‌های آن نسبت به دهه اول دارد. در این دوره، تعداد روزهای خنک مجدداً افزایش یافته و به ۱۲۵ روز رسیده است، در حالی که روزهای متعلق به طبقات سردتر شامل "خیلی خنک" با ۶۷ روز و "سرد" با ۱۹ روز تعدیل یافته و نشان‌دهنده کاهش شدت سرمایش نسبت به دهه دوم است. به عبارت دیگر، الگوی سرمایشی شدید دهه دوم در این دهه جای خود را به شرایطی معتدل‌تر از نظر سرمایی داده است.



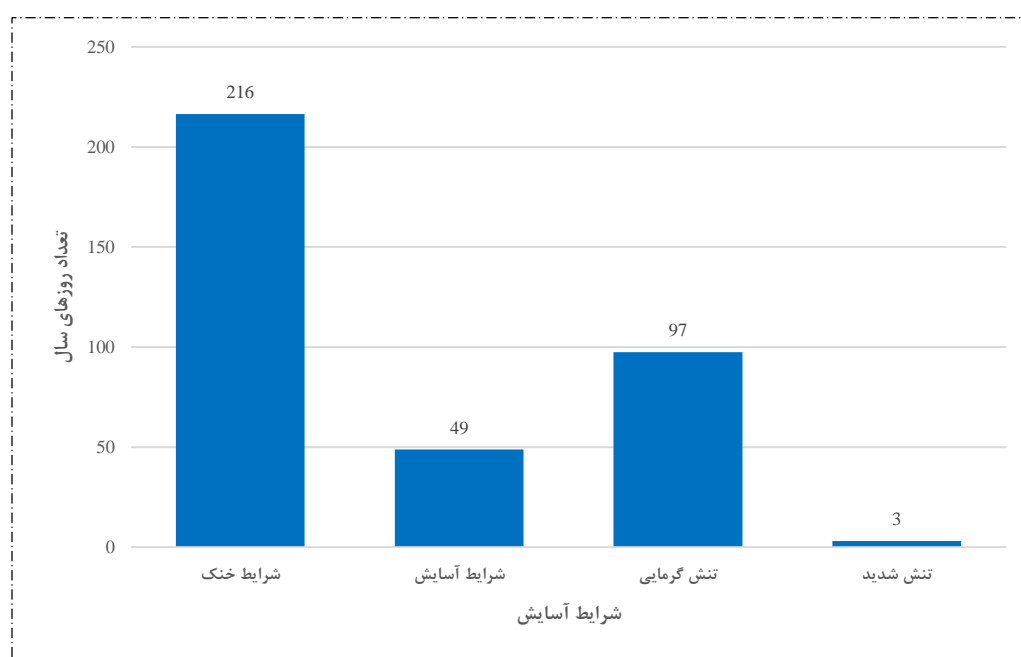
شکل ۵: نمودار میانگین دهه‌ای (۱۳۹۳-۱۴۰۳) شاخص فشار عصبی در گنبدکاووس

نگران‌کننده‌ترین نکته در این دهه، کاهش چشمگیر روزهای آسایش مطلوب به کمترین مقدار در کل دوره مطالعاتی، یعنی به‌طور میانگین تنها ۱۳ روز در سال است. این کاهش، همزمان با تداوم یا حتی افزایش جزئی روزهای تنش گرمایی شامل ۴۲ روز "عدم آسایش زیاد"، ۶۰ روز "گرم با شرایط عدم آسایش" و ۳۳ روز "گرم با شرایط آسایش"

رخ داده است. این ارقام به وضوح بیانگر غلبه مجدد و احتمالاً شدیدتر تنش گرمایی و کاهش شدید پتانسیل آسایش حرارتی در دهه اخیر است. چنین روندی را می‌توان به عنوان نشانه‌ای هشداردهنده از تأثیرپذیری منطقه از پدیده تغییرات اقلیمی جهانی تفسیر کرد که با افزایش فراوانی یا شدت دوره‌های گرمایی همراه است. بنابراین، دهه سوم را باید دوره‌ای با چالش مضاعف کاهش روزهای مطبوع و تداوم تنش گرمایی معرفی نمود که برنامه‌ریزی‌های مرتبط با آسایش انسانی را با دشواری بیشتری مواجه می‌سازد.

۳.۳. تحلیل تجمعی طبقات شاخص فشار عصبی

نمودار تجمیع شده سالانه شاخص فشار عصبی برای کل دوره آماری (شکل ۶) که حاصل ادغام طبقات اصلی در چهار گروه مفهومی کلان شامل شرایط سرد، آسایش، تنش گرمایی و تنش شدید است، درکی خلاصه شده اما عمیقاً هشداردهنده از وضعیت کلی اقلیم گنبدکاووس ارائه می‌دهد. این نمودار با تجمیع طبقات متعدد در گروه‌های معنادار، امکان درک سریع‌تر الگوهای غالب را فراهم می‌کند.



شکل ۶: نمودار تجمیع شده سالانه (۱۳۷۱-۱۴۰۳) شاخص فشار عصبی در گنبدکاووس

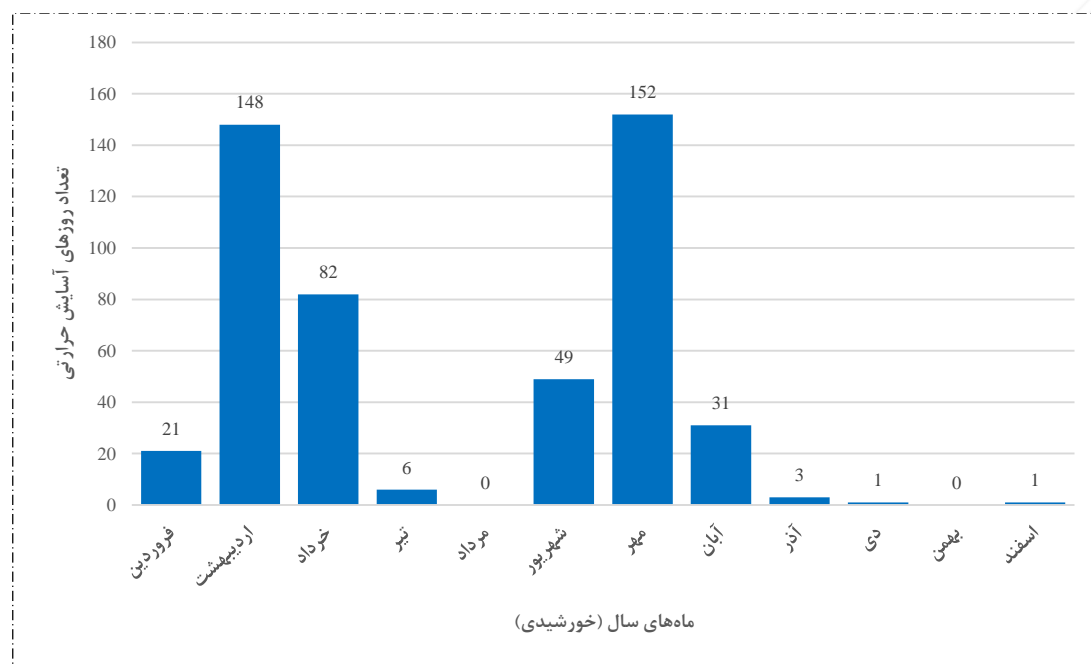
مشاهده می‌شود که شرایط سرد (شامل طبقات خنک، خیلی خنک، سرد، خیلی سرد و سرمای گزنده) حدود ۲۱۶ روز با سهمی غالب و چشمگیر حدود ۵۹٪ از روزهای سال را به خود اختصاص داده است. این آمار، بر چیره‌دستی خنکی و سرما در اقلیم منطقه صحه می‌گذارد و نشان می‌دهد که بیشتر ایام سال، ساکنان با شرایطی مواجه هستند که به لحاظ

حرارتی در سمت خنک طیف قرار دارد. با این حال، لازم به تأکید است که با توجه به نمودارهای قبلی و تحلیل‌های تفصیلی، بیشتر این ۵۹٪ را شرایط خنک و خیلی خنک در بر می‌گیرند نه سرمای شدید و گزنده، اما همین شرایط نیز خارج از محدوده آسایش مطلوب انسانی قرار دارند. در مقابل بر اساس نمودار تجمیعی شکل ۶، سهم آسایش واقعی و مطلوب پایین و تنها ۱۳٪ است که گواهی بر فقدان گسترده هوای مطبوع در طول سال می‌باشد. این بدان معناست که از ۳۶۵ روز سال، حدود ۴۹ روز شرایط حرارتی کاملاً مطلوب برای انسان فراهم است که رقم زیادی نیست. با این وجود، نباید از کنار سهم تنش گرمایی (شامل طبقات گرم با آسایش، گرم با عدم آسایش و شرایط عدم آسایش زیاد) که ۲۷٪ روزهای سال را شامل می‌شود، به سادگی گذشت. این درصد قابل توجه نشان می‌دهد که نزدیک ۱۰۰ روز از سال، ساکنان با درجات مختلفی از استرس و ناراحتی ناشی از گرما دست‌وپنجه نرم می‌کنند. سهم تنش شدید نیز کمتر از ۱٪ و عمدتاً مربوط به روزهای با عدم آسایش کامل گرمایی است که اگرچه از نظر کمی ناچیز است، اما از نظر کیفی حائز اهمیت می‌باشد.

در مجموع، این نمودار تصویر روشنی از گنبد کاووس ترسیم می‌کند: نه به عنوان شهری با زمستان‌های سخت و تابستان‌های مطبوع، بلکه به عنوان شهری با اقلیمی عمدتاً خنک و فاقد آسایش، به همراه فصلی گرم و پرتنش. در این الگو، جمعیت به جای بهره‌مندی از روزهای فراوان هوای معتدل، بیشتر انرژی خود را صرف سازگاری با دوره‌های طولانی و خسته‌کننده خنکی یا مقابله فیزیکی و روانی با دوره‌های متمرکز و استرس‌زای گرمایی می‌نماید. این وضعیت، پیامدهای مستقیم و گسترده‌ای بر سلامت جسمی و روانی (افزایش فشار عصبی)، مصرف انرژی (الگوهای گرمایش و سرمایش)، رفاه عمومی، بهره‌وری کاری و همچنین برنامه‌ریزی برای فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و گردشگری وابسته به فضای باز خواهد داشت.

۳.۴. تحلیل روند تغییرات ماهانه روزهای آسایش حرارتی

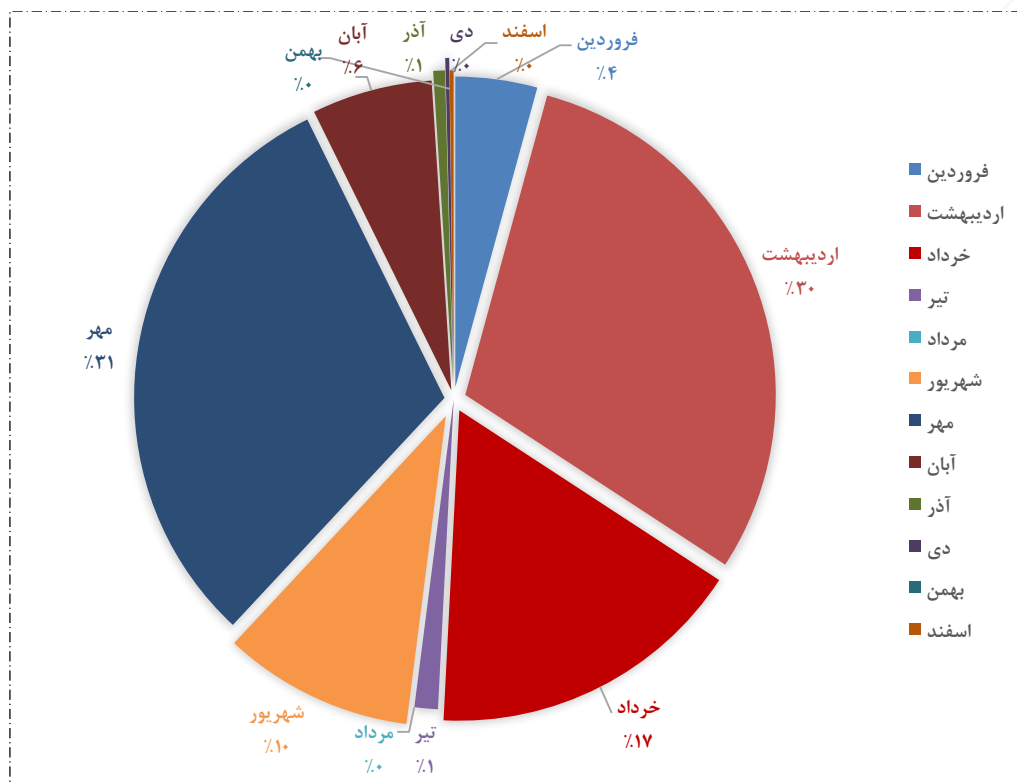
تحلیل روند ماهانه تعداد روزهای آسایش در گنبد کاووس طی دوره ۳۳ ساله در شکل ۷، بیشترین تعداد روزهای آسایش را در فصل‌های بهار و پاییز نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود، مجموع تعداد روزهای آسایش در کل دوره آماری در ماه مهر بیشترین تعداد روز را با ۱۵۲ روز نشان می‌دهد و ماه اردیبهشت نیز رتبه دوم تعداد روزهای آسایش را با ۱۴۸ روز به خود اختصاص داده است.



شکل ۷: نمودار مجموع ماهانه تعداد روزهای آسایش حرارتی برای کل دوره آماری در گنبدکاووس

همانطور که گفته شد، مطلوب‌ترین ماه‌های گنبدکاووس از لحاظ شاخص فشار عصبی، ماه‌های مهر و اردیبهشت هستند. بررسی جزئی‌تر نمودار نشان می‌دهد که مطلوب‌ترین ماه‌ها بعد از ماه‌های فوق، به ترتیب ماه‌های خرداد با ۸۲ روز، شهریور با ۴۹ روز، آبان با ۳۱ روز و فروردین با ۲۱ روز در کل دوره آماری رتبه‌های سوم تا ششم را به خود اختصاص داده و مابقی ماه‌های سال از جمله ماه تیر با ۶ روز، آذر با ۳ روز، دی و اسفند با ۱ روز و ماه‌های مرداد و بهمن با ۰ روز، نامطلوب‌ترین ماه‌های این شهر از لحاظ شرایط آسایشی به حساب می‌آیند.

این مقادیر به این معناست که ۳۱ درصد از آسایش حرارتی شهر گنبدکاووس متعلق به مهرماه و ۳۰ درصد این آسایش متعلق به اردیبهشت‌ماه است که این عامل می‌تواند به دلیل شرایط معتدل و متعادل اقلیمی این شهر در فصول گذار بهار و پاییز باشد که شرایط مطلوبی را برای ساکنان این شهر فراهم می‌آورد. شکل ۸ سهم تعداد روزهای آسایش حرارتی برای کل دوره را در گنبدکاووس نشان می‌دهد.



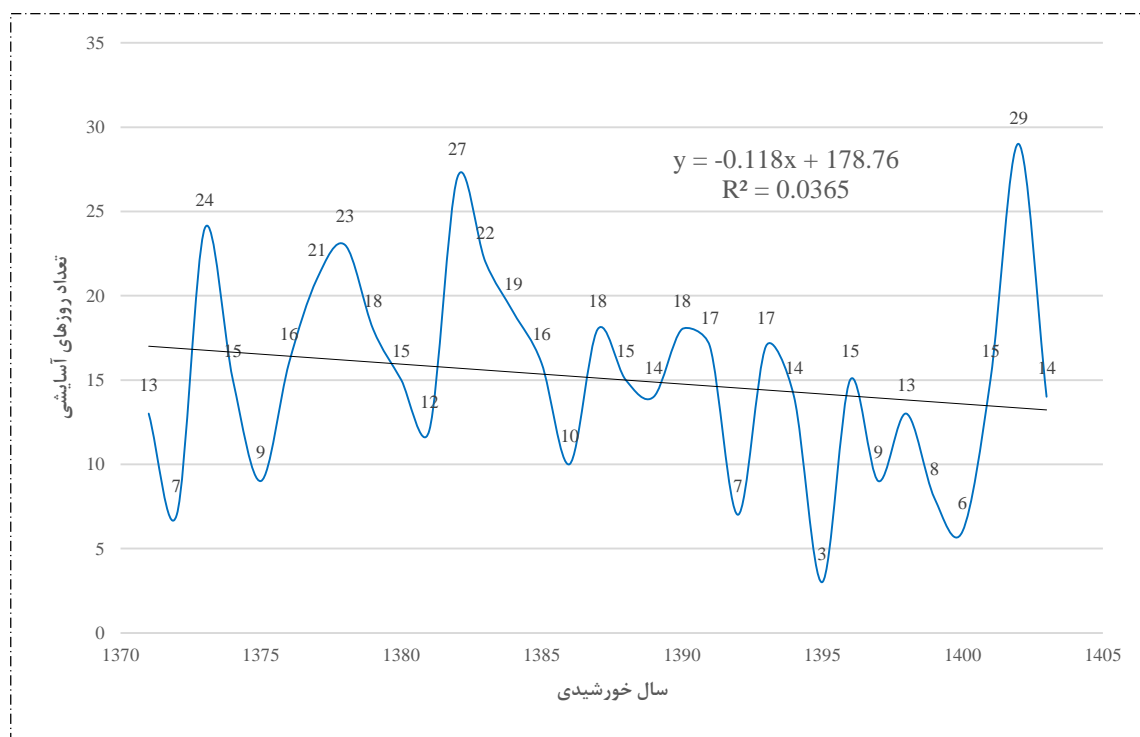
شکل ۸: نمودار سهم تعداد روزهای آسایش حرارتی برای کل دوره در گنبدکاووس

با نگاهی دقیق‌تر به نمودار کلوجه‌ای در شکل ۸ می‌توان پی برد که ماه‌های خرداد و شهریور به ترتیب با ۱۷ و ۱۰ درصد، از وضعیت مطلوب‌تری نسبت به ماه‌های مرداد، آبان، فروردین، تیر، آذر، دی، بهمن و اسفند از لحاظ تعداد روزهای آسایشی برخوردار هستند که در مجموع تمامی ماه‌های ذکر شده، کمتر از ۱۰ درصد تعداد روزهای آسایش را در بر می‌گیرند.

نمودار شکل‌های ۷ و ۸ به وضوح نشان می‌دهند که شرایط آسایشی در گنبدکاووس در طول دوره ۳۳ ساله از یک الگوی اقلیمی پایدار پیروی می‌کند؛ به طوری که، مطلوب‌ترین شرایط آسایشی در فصول بهار و پاییز و در ماه‌های اردیبهشت و مهر در شرایط گذار از یک دوره سرد یا گرم زمستانی و تابستانی بوده و مناسب‌ترین دوره برای فعالیت‌های انسانی بدون قرار گرفتن در معرض گرما یا سرمای شدید در این شهر است.

۳.۵. تحلیل روند میانگین تغییرات سالانه روزهای آسایش حرارتی

تحلیل روند سالانه تعداد روزهای آسایش در گنبدکاووس طی دوره ۳۳ ساله در شکل ۹، نبود یک روند کاهشی یکنواخت و پایدار را نشان می‌دهد و در عوض، نوسانات شدید بین‌ساله به عنوان ویژگی غالب داده‌ها خودنمایی می‌کند. همان‌طور که در نمودار مشهود است، تعداد روزهای آسایش از کمینه ۳ روز در سال ۱۳۹۵ تا بیشینه ۲۹ روز در سال ۱۴۰۲ در نوسان بوده است که دامنه تغییراتی بالغ بر ۲۶ روز را نشان می‌دهد. این نوسان شدید، بیانگر تغییرپذیری بالای اقلیمی در منطقه است.



شکل ۹: نمودار سالانه (۱۳۷۱-۱۴۰۳) روند تغییرات تعداد روزهای آسایش حرارتی در گنبدکاووس

بررسی دقیق‌تر داده‌ها نشان می‌دهد که سال‌های مطلوب مانند ۱۳۷۳ با ۲۴ روز، ۱۳۸۲ با ۲۷ روز و ۱۴۰۲ با ۲۹ روز آسایش، با سال‌های بسیار نامطلوب مانند ۱۳۹۲ با ۷ روز، ۱۳۹۵ با ۳ روز و ۱۴۰۰ با ۶ روز درهم آمیخته‌اند و الگوی زمانی منظمی در این نوسانات دیده نمی‌شود. این الگوی پرنوسان، پیش‌بینی‌پذیری شرایط آسایش را با دشواری مواجه ساخته و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت را با عدم قطعیت بالایی روبرو می‌کند.

برآزش یک خط روند ساده خطی بر این داده‌های پرنوسان، معادله $y = -0.118x + 178.76$ را ارائه می‌دهد. شیب منفی این خط حاکی از یک میانگین کاهش نظری حدود ۰٫۱۲ روز در سال، حدود ۱٫۲ روز در هر دهه است. در کل دوره ۳۳ ساله، این شیب به معنای کاهش نظری حدود ۴ روز از تعداد روزهای آسایش نسبت به ابتدای دوره می‌باشد. با این حال، نکته حائز اهمیت آنکه ضریب تعیین این خط روند بسیار پایین و تنها $R^2 = 0.0365$ است. این مقدار به این معناست که خط روند ترسیم شده تنها قادر به تبیین ۳٫۶۵٪ از تغییرات (واریانس) موجود در داده‌های واقعی است. به بیان دیگر، بیش از ۹۶٪ از نوسانات چشمگیر در تعداد روزهای آسایش، توسط این مدل خطی ساده توضیح داده نمی‌شود و این موضوع حاکی از آن است که عوامل پیچیده‌تری در تعیین این نوسانات نقش دارند.

این موضوع به وضوح در نمودار شکل ۹ قابل مشاهده است، جایی که نقاط داده به طور گسترده‌ای حول خط روند پراکنده شده‌اند، خط مذکور نمی‌تواند رفتار واقعی داده‌ها را به خوبی توصیف کند. به طور کلی، شرایط آسایش

حرارتی در گنبدکاووس در طول این ۳۳ سال از ثبات کم و تغییرپذیری بالایی برخوردار بوده است. نبود یک روند افزایشی یا کاهش قوی و پایدار در داده‌ها مشهود است و آنچه مشاهده می‌شود، تناوب دوره‌های چندساله نسبتاً مطلوب با دوره‌های چندساله نامطلوب است. بنابراین، مهم‌ترین چالش برای آسایش انسانی در این شهر ممکن است غیرقابل پیش‌بینی بودن و نوسانات شدید اقلیمی باشد، نه صرفاً یک گرمایش یا سرمایش تدریجی خطی. این تغییرپذیری بالا می‌تواند برنامه‌ریزی بلندمدت و تدوین راهبردهای سازگاری با شرایط اقلیمی را با دشواری اساسی مواجه سازد، زیرا هرگونه برنامه‌ریزی مبتنی بر میانگین‌های بلندمدت ممکن است نتواند نوسانات شدید بین‌سالی را پوشش دهد.

۴ بحث

یافته‌های حاصل از ارزیابی تغییرات شاخص فشار عصبی در گنبدکاووس طی دوره ۳۳ ساله (۱۳۷۱-۱۴۰۳) تصویر روشنی از وضعیت زیست‌اقلیمی این شهر ارائه می‌دهد. سلطه شرایط خنک با میانگین ۱۲۹ روز در سال، در کنار کمبود فاحش روزهای دارای آسایش حرارتی مطلوب با ۱۵ روز، از مهم‌ترین ویژگی‌های اقلیمی این شهر محسوب می‌شود. این یافته نشان می‌دهد که صرف غلبه یک طبقه حرارتی به معنای مطلوبیت اقلیمی برای ساکنان نیست، بلکه کیفیت آسایش حاصل از آن طبقه نیز باید مورد توجه قرار گیرد. تحلیل تغییرات دهه‌ای، نوسانات معناداری را در رژیم اقلیمی منطقه آشکار ساخت. دهه اول (۱۳۷۱-۱۳۸۱) با اوج‌گیری شرایط خنک (۱۶۵ روز) و آسایش محدود (۱۶ روز) همراه بود. دهه دوم (۱۳۸۲-۱۳۹۲) به عنوان دوره‌ای نسبتاً سردتر با افزایش چشمگیر روزهای خیلی خنک (۷۶ روز) و حداکثر روزهای آسایش (۱۷ روز) قابل شناسایی است. در مقابل، دهه سوم (۱۳۹۳-۱۴۰۳) بازگشت قاطع به روند گرمایی و کاهش چشمگیر روزهای آسایش به کمترین مقدار (۱۳ روز) را نشان می‌دهد. تحلیل تجمعی طبقات نیز سهم ۵۹ درصدی شرایط سرد، ۲۷ درصدی تنش گرمایی و ۱۳ درصدی آسایش مطلوب را نشان می‌دهد. تحلیل ماهانه تعداد روزهای آسایشی برای کل دوره آماری، در ماه‌های مهر و اردیبهشت بیشترین تعداد روز را با ۱۵۲ و ۱۴۹ روز نشان دادند و مطلوب‌ترین ماه‌های گنبدکاووس هستند. از طرفی، تحلیل روند تغییرات سالانه تعداد روزهای آسایش، نبود یک روند کاهش یکنواخت و پایدار را نشان داد و نوسانات شدید بین‌سالی با دامنه تغییرات ۲۶ روز و ضریب تعیین بسیار پایین $R^2 = 0.0365$ به عنوان ویژگی غالب داده‌ها خودنمایی کرد که بیانگر غلبه نوسانات طبیعی و تغییرپذیری بالا بر نظام اقلیمی منطقه است.

مقایسه یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین، همخوانی‌ها و تفاوت‌های قابل تأملی را آشکار می‌سازد. رمضانی، فرج‌زاد و مرادیان (۱۳۹۱) در مطالعه رودسر نشان دادند که بخش عمده‌ای از روزهای بهار و پاییز از شرایط

مطلوب آسایش برخوردارند، در حالی که در گنبدکاووس حتی روزهای خنک غالب نیز خارج از محدوده آسایش ایده‌آل انسانی قرار دارند. این تفاوت می‌تواند ناشی از موقعیت جغرافیایی و تأثیرپذیری متفاوت از توده‌های هوای مرطوب خزری و پدیده جزیره حرارتی باشد (رهنما، اجزاشکوهی و عطا، ۱۳۹۶). کاهش قابل توجه روزهای آسایش در دهه سوم، همسو با یافته‌های سجودی، آقازاده، نقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) در مشهد است که افزایش تنش گرمایی را ناشی از تشدید امواج گرما گزارش کردند. تغییرپذیری بالا و نوسانات شدید بین‌سالی نیز مشابه نتایج قنبری، عیفی و صادقی (۱۳۸۹) در شهر البرز است. مولی‌نژاد (۱۳۹۴) در مطالعه تهران و صفایی‌پور، شبانکاری و تقوی (۱۳۹۲) در شیراز نیز بر نقش تفاوت‌های مکانی و اهمیت استفاده از شاخص‌های ترکیبی تأکید کرده‌اند که با رویکرد این پژوهش همخوانی دارد. مرتضایی و برنا (۱۳۹۴) در مطالعه خود نشان دادند که در استان خوزستان بهترین وضعیت آسایش انسانی و گردشگری در ماه‌های انتقالی بهار و پاییز رخ می‌دهد که این یافته با تحلیل ماهانه مطالعه حاضر مطابقت دارد. در سطح بین‌المللی، مقایسه یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات بین‌المللی، همخوانی‌ها و تفاوت‌های قابل تأملی را آشکار می‌سازد. (Pantavou et al., 2025) ارتباط معنادار شاخص‌های حرارتی با بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی را گزارش کردند که با توجه به مواجهه ساکنان گنبدکاووس با ۹۰ روز تنش گرمایی و بیش از ۲۵۰ روز شرایط خنک خارج از آسایش، حائز اهمیت است. (Sulzer & Christen, 2024) افزایش استرس گرمایی تحت سناریوهای انتشار بالاتر را نشان دادند که کاهش پتانسیل آسایش در دهه اخیر گنبدکاووس می‌تواند نشانه‌ای از تأثیرپذیری منطقه از این روندهای جهانی باشد. (Epstein & Moran, 2006) کاربرد گسترده شاخص DI را به عنوان شاخصی جهانی برای ارزیابی استرس گرمایی مطرح کردند که رویکرد این پژوهش در استفاده از شاخص فشار عصبی را تأیید می‌کند. (Ullah et al., 2024) افزایش ناراحتی حرارتی و همبستگی آن با الگوهای ENSO را گزارش کردند که مشابه تغییرپذیری بالای مشاهده شده در گنبدکاووس، بر نقش الگوهای بزرگ‌مقیاس اقلیمی تأکید دارد. (Aduna-Sánchez et al., 2023) نشان دادند که ترکیب متغیرهای اقلیمی و تابشی، تصویر دقیق‌تری از استرس گرمایی ارائه می‌دهد که بر لزوم توجه به این متغیرها در مطالعات آتی تأکید دارد.

۵) نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی تغییرات زمانی شاخص فشار عصبی و تحلیل پیامدهای آن بر آسایش انسانی در شهر گنبدکاووس طی دوره ۳۳ ساله (۱۳۷۱-۱۴۰۳) انجام شد و با پر کردن خلأ پژوهشی موجود، تصویری روشن از وضعیت زیست‌اقلیمی این شهر ارائه داد. یافته‌ها نشان داد که اقلیم گنبدکاووس با چالش جدی کمبود روزهای مطبوع و تغییرپذیری بالا مواجه است، به گونه‌ای که میانگین سالانه تنها ۱۵ روز در محدوده آسایش واقعی قرار دارد، در حالی که حدود ۵۹٪ روزهای سال در شرایط سرد (عمدتاً خنک) و حدود ۲۷٪ در معرض تنش گرمایی سپری می‌شود.

تحلیل تغییرات دهه‌ای نوسانات معناداری را آشکار ساخت؛ دهه اول (۱۳۷۱-۱۳۸۱) با اوج‌گیری شرایط خنک (۱۶۵ روز) و آسایش محدود (۱۶ روز)، دهه دوم (۱۳۸۲-۱۳۹۲) با سردتر شدن نسبی و حداکثر روزهای آسایش (۱۷ روز) و دهه سوم (۱۳۹۳-۱۴۰۳) با بازگشت به روند گرمایی و کمترین روزهای آسایش (۱۳ روز) همراه بود. تحلیل تجمعی طبقات نیز سهم ۵۹ درصدی شرایط سرد با ۲۱۶ روز، سهم ۲۷ درصدی تنش گرمایی با ۹۷ روز و سهم ۱۳ درصدی آسایش مطلوب را نشان داد که گویای عدم تعادل حرارتی شدید در این شهر است. ارزیابی شرایط آسایشی ماهانه، بیشترین تعداد روزهای آسایش را در فصول پاییز و بهار و در ماه‌های مهر با ۱۵۲ روز (سهم ۳۱٪) و اردیبهشت با ۱۴۹ روز (سهم ۳۰٪) و سپس ماه‌های خرداد با ۸۲ روز (سهم ۱۷٪) و شهریور با ۴۹ روز (سهم ۱۰٪) در کل دوره آماری نشان داد و دیگر ماه‌های سال سهمی کمتر از ۱۰٪ در تعداد روزهای آسایشی داشته‌اند. تحلیل روند بلندمدت نیز حاکی از یک روند کاهشی ضعیف (کاهش حدود ۱٫۲ روز در هر دهه و ۴ روز در کل دوره آماری) در تعداد روزهای آسایش است، اما قدرت تبیین این روند بسیار پایین $R^2 = 0.0365$ به عنوان ویژگی غالب داده‌ها خودنمایی کرد که بیانگر غلبه نوسانات طبیعی و تغییرپذیری بالا بر نظام اقلیمی منطقه است. به‌طور کلی، الگوی اقلیمی حاکم بر گنبدکاووس پیامدهای مستقیم و گسترده‌ای بر سلامت جسمی و روانی ساکنان (افزایش فشار عصبی)، مصرف انرژی (الگوهای گرمایش و سرمایش)، رفاه عمومی، بهره‌وری کاری و برنامه‌ریزی فعالیت‌های مبتنی بر فضای باز دارد که فشار مضاعفی بر منابع انرژی و هزینه‌های خانوارها وارد می‌آورد. از طرفی، نوسانات شدید بین‌ساله و تغییرپذیری بالا، پیش‌بینی‌پذیری شرایط آسایش را با دشواری مواجه ساخته و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت را با عدم قطعیت بالایی روبرو می‌کند. در مجموع، نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای تصمیم‌گیری مدیران شهری، برنامه‌ریزی فعالیت‌های مبتنی بر فضای باز، طراحی مسکن همساز با اقلیم و تدوین راهبردهای سازگاری با تغییرات اقلیمی در جهت افزایش تاب‌آوری و کیفیت زندگی شهروندان فراهم آورد. تأکید بر تغییرپذیری بالا به عنوان مهم‌ترین چالش پیش رو، لزوم توجه به برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر و سناریومحور را بیش از پیش آشکار می‌سازد، زیرا در چنین شرایطی نمی‌توان صرفاً بر اساس میانگین‌های بلندمدت یا روندهای خطی ساده برای آینده برنامه‌ریزی کرد.

این پژوهش نیز با محدودیت‌هایی مانند استفاده از داده‌های یک ایستگاه سینوپتیک، عدم لحاظ متغیرهای تابشی در شاخص فشار عصبی و عدم دسترسی به داده‌های سلامت عمومی مواجه بوده است. با عنایت به این موارد، پیشنهادات زیر برای مطالعات آتی ارائه می‌شود: استفاده از شاخص‌های پیچیده‌تر مانند UTCI و PET با در نظر گرفتن متغیرهای تابشی، پهنه‌بندی مکانی آسایش با استفاده از داده‌های سنجش از دور، طراحی مطالعات اپیدمیولوژیک برای بررسی ارتباط کمی بین شاخص فشار عصبی و پیامدهای سلامت، تحلیل سناریوهای اقلیمی آینده با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، بررسی راهکارهای تعدیل مانند توسعه فضاهای سبز و طراحی مناسب شهری، ارزیابی پیامدهای اقتصادی الگوی اقلیمی و در نهایت مطالعات تطبیقی با سایر شهرهای استان گلستان و مناطق مشابه.

۱. ثناگردبانی، الهام، رفیعیان، مجتبی، حنایی، تکتم و منصفی پراپری، دانیال. (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر تغییرات آسایش حرارتی بیرونی با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) در شهر مشهد. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۳ (۳)، ۳۸-۵۷.
<https://georesearch.ir/article-1-399-fa.pdf>
۲. حسینی، سید محمد و کربلایی درئی، علیرضا. (۱۴۰۴). مقایسه تطبیقی نمایه‌های اقلیم گردشگری با اقلیم تعطیلات در استان همدان. جغرافیا و روابط انسانی. ۸(۴). ۲۹۲-۳۰۹.
[10.22034/gahr.2026.568919.2654](https://www.gahr.ac.ir/article/10.22034/gahr.2026.568919.2654)
۳. حشمت‌پور، علی، اعتصامی، مارال، ملکی، سوده، آذرینا، محسن، صفی‌خانی، سعید، عباسیان، ارسطو. (۱۳۹۲). ارزیابی پتانسیل بیوکلیماتیک انسانی شهرستان گنبدکاووس با استفاده از شاخص‌های بیکر، دمای موثر، فشار عصبی و اولگی. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت منابع طبیعی.
<https://www.sid.ir/FileServer/SF/7971392h01286>
۴. رمضان‌نای، بهمن، فرج‌زاده، حسن و مرادیان، روشنگر. (۱۳۹۱). بررسی اقلیم گردشگری شهر رودسر با استفاده از شاخص فشار عصبی. جغرافیایی فضای گردشگری، ۱(۲)، ۳۷-۴۹.
<https://sid.ir/paper/214308/fa>
۵. رهنما، محمدرحیم، اجزاشکوهی، محمد، عطا، بهنام. (۱۳۹۶). آشکارسازی تغییرات کاربری/پوشش اراضی شهر گنبدکاووس با استفاده از سنجش از دور. فصلنامه اطلاعات پژوهشی (سپهر)، ۲۶ (۱۰۳).
<https://civilica.com/doc/722877>
۶. سجودی، سکینه، آقازاده، فیروز، نقی‌زاده، فهیمه و اخوان، لیلا. (۱۳۹۷). ارزیابی و تحلیل شاخص اقلیم آسایش گردشگری با استفاده از TCI و PET مطالعه موردی (استان آذربایجان شرقی). جغرافیایی فضای گردشگری، ۷(۲۷)، ۵۱-۶۷.
<https://sid.ir/paper/214197/fa>
۷. صفایی پور، مسعود، شبانکاری، مهران و تقوی، سیدطیبه. (۱۳۹۲). شاخص‌های زیست اقلیمی موثر بر ارزیابی آسایش انسان (مطالعه موردی: شهر شیراز)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۴(۲)، ۱۹۳-۲۱۰.
۸. فتحی فرد، میترا السادات، جاوید، فاطمه و راهدان، عباس. (۱۴۰۲). آثار تغییرات آب و هوا بر رفتار انسانی و فشار عصبی. اکولوژی انسانی، ۲(۳)، ۲۰۷-۲۲۳.
۹. فلاح‌قاله‌ری، غلام‌عباس، شاکری، فهیمه، عباسی‌نیا، مرضیه، قنادزاده، محمدجواد، تاجیک، رضا و اصغری، مهدی. (۱۳۹۸). استفاده از شاخص‌های زیست اقلیمی بیکر و فشار عصبی در ارزیابی آسایش حرارتی در فضای رو باز بر اساس داده‌های هواشناسی مطالعه موردی: سه اقلیم مختلف ایران.. سلامت کار ایران، ۱۶(۱)، ۳۳-۴۶.
<http://ioh.iuims.ac.ir/article-1-3667-fa.html>
۱۰. قبادیان، وحید، مهدوی، محمدفیض. (۱۳۸۴). طراحی اقلیمی: اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان. انتشارات دانشگاه تهران.
۱۱. قنبری، عبدالرسول، عفیفی، محمدابراهیم و صادقی، غلامرضا. (۱۳۸۹). نگرش بر ارزیابی آسایش انسانی در شهر لار با توجه به شاخص‌های زیست اقلیمی. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۳(۱۰)، ۹۳-۱۰۹.
<https://ensani.ir/fa/article/261691>
۱۲. کرمی‌راد، سینا، علی‌آبادی، محمد و حبیبی، امین. (۱۳۹۷). سنجش تأثیر هندسه شهری بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی در مقیاس خرد اقلیم؛ (مورد پژوهی: فضای باز مجتمع مسکونی گلدشت شیراز). برنامه ریزی منطقه‌ای، ۸(۲۹)، ۱۶۱-۱۷۲.
<https://sid.ir/paper/230673/fa>
۱۳. لایقی، ب. (۱۳۸۲). بررسی نحوه تأثیر تغییرات اقلیمی بر صنعت گردشگری در استان گیلان، هواشناسی رشت.
۱۴. مرتضایی، فریده و برنا، رضا. (۱۳۹۴). ارزیابی شرایط مطلوب آسایش بیوکلیماتیک انسانی در استان خوزستان با استفاده از شاخص فشار عصبی (CI)، سومین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی، تهران. <https://civilica.com/doc/458833>

۱۵. مدیری، مهدی و خزائی، مهدی. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های زیست اقلیمی آسایش انسان به روش بیکر و شاخص فشار عصبی (مطالعه موردی: شهر همدان)، سی و نهمین کنگره ملی و چهارمین کنگره بین‌المللی علوم زمین. <https://civilica.com/doc/1202406>
۱۶. مولی‌نژاد، محمود. (۱۳۹۴). مطالعه رابطه اقلیم و آسایش انسان در محیط شهری با استفاده از شاخص فشار عصبی (مطالعه موردی: تهران). محیط‌شناسی، ۴۱(۱)، ۲۷۵-۲۸۲.
۱۷. محمدی، حسین. (۱۳۸۶). آب و هواشناسی کاربردی. دانشگاه تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.
۱۸. محمدی، حسین. (۱۳۹۳). آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم.
۱۹. محمدی، حسین و سعیدی، علی. (۱۳۸۷). شاخص‌های زیست اقلیمی مؤثر بر ارزیابی آسایش انسان (مطالعه موردی: شهر قم). محیط‌شناسی، ۳۴(۴۷).
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.10258620.1387.34.47.10.7>
۲۰. ندیم، زهرا، گندمکار، امیر و عباسی، علیرضا. (۱۳۹۵). مقایسه شاخص‌های کمی آب و هواشناسی تورسیم برای سنجش آسایش حرارتی محیط. فصلنامه جغرافیا فضای گردشگری، ۱۸(۵)، ۴۳-۵۸.
<https://sanad.iau.ir/Journal/gjts/Article/999589>

21. Aduna-Sánchez, À., Correcher, A., Alfonso-Solar, D., & Vargas-Salgado, C. (2023). Measuring Heat Stress for Human Health in Cities: A Low-Cost Prototype Tested in a District of Valencia, Spain. *Sensors*, 23(22), 9285. <https://doi.org/10.3390/s23229285>
22. Bao, H., Sun, Y., Gu, L., Yang, X., Nurmamat, K., & Yao, H. (2025). Comparative Performance of a Field-Based Assessment of Human Thermal Comfort Indices in Urban Green Space. *Sustainability*, 17(10), 4671. <https://doi.org/10.3390/su17104671>
23. Epstein, Y., & Moran, D. S. (2006). Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial health*, 44(3), 388-398. <https://doi.org/10.2486/indhealth.44.388>
24. Herrington, Lee P.; Vittum, J. S. (1977). Human thermal comfort in urban outdoor spaces. In: Heisler, Gordon M.; Herrington, Lee P., eds. *Proceedings of the conference on metropolitan physical environment*; Gen. Tech. Rep. NE-25. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 130-138. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/11539>
25. Hoof, van, J., Mazej, M., & Hensen, J. L. M. (2010). Thermal comfort: research and practice. *Frontiers in Bioscience*, 15(2), 765-788. <https://doi.org/10.2741/3645>
26. Najafi, N., Movahed, K., Barzegar, Z. and Samani, S. (2018). The Effect of Thermal Comfort on Stress in Female High School Students. *International Journal of School Health*, 5(3), 1-6. <https://doi.org/10.5812/intjsh.67539>
27. Pantavou, K., Fillon, A., Li, L. Mandiadise, Z., Nikolopoulos, G. (2025). Thermal indices for assessing the impact of outdoor thermal environments on human health: a systematic review of epidemiological studies. *Int J Biometeorol* 69, 1843-1866. <https://doi.org/10.1007/s00484-025-02948-x>
28. Sargazi, M.A., Heidari, A., Davtalab, J. Piri, J. (2026). Comparative reliability assessment of PET and UTCI thermal comfort indices using Monte Carlo simulation in urban microclimates. *Sci Rep* 16, 3431. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-33440-6>
29. Silva, T., Lopes, A., Vasconcelos, J., Chokhachian, A., Wagenfeld, M. Santucci., D. (2024). Thermal stress and comfort assessment in urban areas using Copernicus Climate Change Service Era 5 reanalysis and collected microclimatic data. *Int J Biometeorol* 68, 949-963. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02639-z>
30. Sulzer, M., Christen, A. (2024). Climate projections of human thermal comfort for indoor workplaces. *Climatic Change* 177, 28. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03685-7>
31. Ullah, S., Aldossary, A., Ullah, W. A-Ghamdi, S. (2024). Augmented human thermal discomfort in urban centers of the Arabian Peninsula. *Sci Rep* 14, 3974. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54766-7>

32. Vecellio, D.J., Wolf, S.T., Cottle, R.M. Kenney, W.L . (2022). Utility of the Heat Index in defining the upper limits of thermal balance during light physical activity (PSU HEAT Project). *Int J Biometeorol* 66, 1759–1769. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02316-z>