


A study on the Heat index (HI) and Effective Temperature (ET) using the GFS model in the Gilan province in a warning heat event

Mortezapoor, S.¹  | Mirzaei Shiri, R.² | Siahtiri, M.³

1. M. Sc. Graduate of Meteorology, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran.
2. Ph.D. Graduate of Meteorology, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran.
3. Education Secretary, Tehran, Iran.

Corresponding Author E-mail: mortezapoor.saman@yahoo.com

(Received: 19 Sep 2024, Revised: 05 Feb 2025, Accepted: 16 Feb 2025, Published online: 16 Feb 2025)

Abstract

The issues related to bioclimatic comfort and their impact on human health are significant factors that underscore the importance of assessing and monitoring the thermal environment in human biometeorology. The human perception of the surrounding environment cannot be captured by examining only one meteorological parameter such as temperature, relative humidity or wind speed. Instead, it is the interplay of these factors that influences human comfort. The humid climate of the Gilan province means that even relatively low temperatures, which may create comfortable thermal conditions in drier areas, can lead to cautionary situations in this region. This study presents a case analysis of the heat index (HI) and effective temperature index (ET) in Gilan province, utilizing output from the GFS model with a horizontal grid resolution of 0.25 degrees and a three-hour time step for index calculations. Analysis of the synoptic maps indicates a stable atmospheric column over Gilan province. The results show that for the specified day, the HI index indicated a second degree warning for certain areas within the province, while the ET index was assessed as a third degree warning for some regions. These findings are consistent with the observed temperature and humidity levels, and the thermal index maps effectively highlight the associated alerts. Notably, the relative humidity in Gilan province is higher than in many other regions of the country. Consequently, despite the lower temperatures, the perceived temperatures in this region is significantly elevated, resulting in thermal index warning comparable to those in many hotter regions of the country.

Keywords: bioclimatic comfort, humidity, heat index, effective temperature index, real feel temperature, Gilan province

Cite this article: mortezapoor, S., mirzaei shiri, R. and siahtiri, M. (2024). A study on the Heat index (HI) and Effective Temperature (ET) using the GFS model in the Gilan province in a warning heat event. Journal of the Nivar, 48(126-127), 192-209. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.479231.1308>

E-mail: (2) r_mirzaei@ut.ac.ir (3) m_siahtiri@yahoo.com



مطالعه موردی شاخص گرمایی (HI) و دمای مؤثر (ET) و نقشه‌های پهنه‌بندی آنها با استفاده از داده‌های پیش‌یابی سامانه پیش‌بینی جهانی GFS در استان گیلان

سامان مرتضی پور^۱ | رسول میرزایی شیری^۲ | منظر سیاه تیری^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. دانش‌آموخته دکتری هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. دبیر آموزش و پرورش، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: mortezapoor.saman@yahoo.com

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹، بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷، پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸)

چکیده

مسائل مربوط به آسایش، عدم آسایش اقلیمی و تأثیر آن بر سلامت انسان از دلایلی هستند که سبب شده تا ارزیابی و پایش محیط گرمایی به صورت مؤثر و عملی به عنوان یکی از اساسی‌ترین موضوعات در هواشناسی زیستی انسان مطرح باشد. احساس انسان نسبت به محیط اطرافش را نمی‌توان از طریق بررسی تنها یکی از عوامل جوی مانند دما، رطوبت نسبی یا باد بیان کرد، زیرا ترکیب این عوامل است که بر انسان تأثیر می‌گذارد. ویژگی اقلیمی شرحی استان گیلان باعث می‌شود که حتی دماهای به نسبت پایین‌تر که شاید در مناطق دیگر شرایط آسایشی سختی ایجاد نکند، در این منطقه آسایش گرمایی را به وضعیت هشدار تبدیل کند. در این مقاله مطالعه موردی محاسبه شاخص گرمایی و دمای مؤثر در استان گیلان با استفاده از داده‌های پیش‌یابی مدل GFS با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه در دو راستای مداری و نصف‌النهاری و گام زمانی سه ساعته انجام شده است. تحلیل نقشه‌های همدیدی نشان داد که در این مورد مطالعاتی، توده هوای گرم در استان گیلان استقرار داشته است. همچنین نتیجه محاسبات، هشدار شاخص گرمایی در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه را برای روز مورد نظر برای مناطقی از استان هشدار درجه دوم برآورد کرد. هشدار گرمایی دمای مؤثر برای مناطقی از استان هشدار درجه سوم را برآورد کرد. این مقادیر با مقادیر دما و رطوبت همخوانی داشته و نقشه‌های مربوط به شاخص‌های گرمایی به خوبی هشدارهای مربوط را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه در استان گیلان رطوبت نسبی به دلیل وجود رطوبت زیاد به نسبت بسیاری از مناطق کشور بیشتر است، به رغم دماهای نسبتاً پایین‌تر، دمای احساسی در این منطقه مقادیر نسبی بیشتری را شامل می‌شود و هشدارهای مربوط به شاخص‌ها در آن با هشدار بسیاری از مناطق گرم کشور یکسان است.

کلیدواژه‌ها: آسایش اقلیمی، رطوبت، شاخص گرمایی، دمای مؤثر، دمای احساسی، استان گیلان

۱. مقدمه

روزمره با عوامل زیان‌آور متعدد شناخته‌شده یا ناشناخته حاصل از این مخاطرات مواجه شده و متاثر از اثرات نامطلوب آنها شوند. از آنجاکه محیط زندگی انسانها به وسیله جو احاطه شده و فعالیت‌های آنها داخل این محیط انجام می‌شود، تغییرات جوی نقش مهمی را در زندگی و فعالیت‌های او

محیط پیرامون انسان دربرگیرنده انواع مخاطرات فیزیکی، شیمیایی، زیست‌شناختی و روانی است. روند رو به رشد فناوری نیز سبب شده است تا انسان‌ها در فعالیت‌های اجتماعی، محیط کسب و کار و به طور کلی در زندگی

استناد: مرتضی پور، سامان، میرزایی شیری، رسول و سیاه تیری، منظر. (۱۴۰۳). مطالعه موردی شاخص گرمایی (HI) و دمای مؤثر (ET) و نقشه‌های پهنه‌بندی آنها با استفاده از داده‌های پیش‌یابی سامانه پیش‌بینی جهانی GFS در استان گیلان. مجله نیوار، ۴۸ (۱۲۶-۱۲۷)، ۱۹۲-۲۰۹. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.479231.1308>

<https://doi.org/10.30467/nivar.2025.479231.1308>

رایانامه: (۲) m_siahtiri@yahoo.com (۳) r_mirzaei@ut.ac.ir

کوشش و تلاش زیاد بتواند توازن منطقی بین گرمای حاصل شده در بدن و گرمای ازدست‌رفته برقرار کند. احساس انسان نسبت به محیط اطرافش را نمی‌توان از طریق بررسی تنها یکی از عوامل اقلیمی مانند دما، رطوبت نسبی یا جریان هوا بیان کرد، زیرا ترکیب این عوامل است که بر انسان تاثیر می‌گذارد. برای ارزیابی نقش این متغیرها از شاخص‌های آسایش انسانی استفاده می‌شود. این شاخص‌ها تاثیر جمعی متغیرهای هواشناختی را روی انسان مشخص می‌کند. براساس یافته‌های الو و همکاران (۲۰۰۳)، محدوده آسایش وضعیتی است که در آن حدود ۸۰ درصد مردم احساس راحتی کنند. از نظر الو، شش متغیر اصلی زیست‌اقلیمی عبارت‌اند از: دمای هوا، رطوبت، تابش، باد، نوع پوشش و سطح فعالیت افراد. البته عوامل دیگری نیز مانند سن، جنس، اندام بدن، وضعیت سلامتی، رژیم غذایی، رنگ پوست، لباس و سازگاری با آب‌وهوای محیط بر سطح آسایش موثر هستند. ماتاهی و همکاران (۲۰۰۴) یافتند که آسایش انسان فقط بر اساس متغیرهای هوا و اقلیم تعیین نمی‌شود زیرا به‌طور کلی می‌توان دودسته از متغیرهای اصلی را در تعیین آسایش گرمایی یک فرد مؤثر دانست. یک دسته از این عوامل شامل مؤلفه‌های محیطی نظیر دمای هوا، سرعت باد، رطوبت هوا و میانگین دمای تابشی است و دسته دوم شامل نوع کار، فعالیت و مقاومت گرمایی لباس افراد است که تحت عنوان عوامل شخصی مطرح می‌شود.

شهرنشینی و توسعه شهرها همراه با افزایش شتابان جمعیت و توسعه فعالیت‌های صنعتی، موجب تشدید برخی نوسانات اقلیمی از جمله تغییر دوره‌های زمانی مطلوب از نظر آسایش اقلیمی است. با توجه به نقش مؤثر و انکارناپذیر اقلیم در جنبه‌های مختلف فعالیت و زندگی انسان، با شناخت هر چه بیشتر اقلیم به‌ویژه در حوزه آسایش و سلامتی انسان، این امکان فراهم می‌شود که چه به‌صورت فردی و چه به‌صورت تشکیلاتی، تمهیداتی به کار گرفته شود تا جمعیت بومی بتواند دچار کمترین آسیب و زیان شود. با توجه به روند افزایشی جمعیت، توسعه شهرنشینی و رشد صنعتی و تغییر اقلیم، شناخت جنبه آسایش ضرورت داشته و نیاز به بازنگری

دارد. مهم‌ترین تأثیر اقلیم بر ساختار طبیعی بدن انسان از طریق سامانه گرمایی بدن صورت می‌گیرد که حاصل آن احساس آسایش یا عدم آسایش در شرایط متفاوت اقلیمی است. شرایط عدم آسایش می‌تواند فشارهایی را بر جسم و روان انسان وارد آورده و با کاهش کارایی و کیفیت زندگی، سلامت او را مختل کند. هر تغییر عمده در آب‌وهوا می‌تواند در برنامه‌ها، بازدهی فعالیت‌های اجتماعی، شاخص‌های کیفیت زندگی، بهینه‌سازی توانایی واحدهای خانواده در جامعه با مشکلات مختلف از جمله بیماری‌داری و غیره اثرگذار باشد. از عوامل زیان‌آور محیط فعالیت انسان می‌توان به تنش‌های گرمایی (سرما و گرما)، گردوخاک و وجود آلاینده‌ها اشاره کرد؛ بنابراین همه این عوامل در نامطلوب بودن کیفیت هوا نقش داشته و سبب کاهش کیفیت زندگی و کاهش بازدهی فعالیت‌ها می‌شود (الو و همکاران، ۲۰۰۳). ارتباط تنگاتنگ انسان با مؤلفه‌های گرمایی محیط اطرافش کاملاً مشهود بوده و به فعالیت‌های روزانه هر فرد مربوط می‌شود. از این‌رو مسائل مربوط به آسایش و عدم آسایش اقلیمی همراه با تأثیر آنها بر سلامت انسان از جمله دلایلی هستند که سبب شده تا ارزیابی و پایش محیط گرمایی به‌صورت مؤثر و عملی به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین موضوعات در هواشناسی زیستی مطرح باشد. احساس رضایت در زندگی شاخص مهمی در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای محسوب می‌شود و از گذشته‌های دور تحقیقات بسیاری در زمینه اثرات آب‌وهوایی بر زندگی و فعالیت‌های انسان انجام شده است (برجی خانی، ۱۳۹۳). در همین راستا مطالعات زیادی در حوزه شرایط آسایش اقلیمی در داخل و خارج از کشور انجام شده است (به‌عنوان مثال: عسگری و مؤمنی، ۱۳۸۸؛ جعفری و همکاران، ۱۳۹۷؛ هدایتی راد و همکاران، ۱۳۹۵؛ قویدل رحیمی و احمدی، ۱۳۹۲؛ درگاهیان و رضایی، ۱۳۹۵؛ دل‌آور و مرادی‌فر، ۱۳۹۲؛ گانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ امونیجو و همکاران، ۲۰۱۳؛ دب و همکاران، ۲۰۱۰؛ توی و همکاران، ۲۰۰۷؛ فریچ و همکاران، ۲۰۰۲). بهترین شرایط گرمایی برای فعالیت‌های افراد در محیط پیرامون را می‌توان موقعی دانست که فرد بدون

انسان خنک می‌شود. اما چنانچه هوا حاوی رطوبت زیادی باشد، در این حالت انسان دچار ناراحتی شده و احساس آسایش نمی‌کند. ادامه و تکرار این مسئله مشکلاتی را از قبیل تشدید بیماری‌های قلبی، کاهش تمرکز و پرخاشگری را به دنبال خواهد داشت. در فصل گرم مناطق ساحلی کشور دمای احساسی بالاتری دارند که این دمای احساسی با فاصله گرفتن از ساحل و کم شدن میزان رطوبت کمتر می‌شود. این دمای احساسی بالا بویژه هنگامی که امواج گرما رخ دهد مشکلاتی را برای مردم ایجاد می‌کند. علاوه بر آن مقوله گردشگری و فعالیتهای مرتبط با آن که به عنوان یکی از بخش‌های اقتصادی مهم به شمار می‌رود نیز تأثیر زیادی از نظر آسایش دمایی در ماه‌های مختلف سال می‌پذیرد. (مساح بوانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ دوست محمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ درگاهیان و رضایی، ۱۳۹۵؛ دل‌آور و مرادی‌فر، ۱۳۹۲).

به دلیل اهمیت کمیت‌های هواشناسی و اقلیمی نظیر دما و رطوبت در شرایط آسایش انسان، بررسی تغییرات اقلیمی و نحوه رفتار روند کمیت‌های مؤثر برای بررسی آسایش گرمایی مفید و ضروری است. همچنین تأثیر روند گرمایش ناشی از تغییرات اقلیمی می‌تواند هم در تعداد و هم در شدت درجات هشدارها و خطرهای گرمایی در طی سال تأثیر داشته باشد. علاوه بر آن باید در نظر داشت که ویژگی اقلیمی شرجی استان گیلان باعث می‌شود که حتی دماهای به نسبت پایین تر که شاید در مناطق دیگر شرایط آسایشی سختی ایجاد نکند، در این منطقه آسایش گرمایی را به وضعیت‌های هشدار شاخص‌های گرمایی تبدیل کند. بنابراین بررسی شاخص‌های گرمایی دارای اهمیت ویژه‌ای بوده و ارائه آن می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها و بررسی‌های مربوط به اثرات مخرب اجتماعی و فردی شرایط آسایش گرمایی، نقش مؤثری داشته باشد.

۲. مواد و روش‌ها

تا کنون تلاش‌های زیادی در زمینه ابداع شاخص‌های تجربی برای ارزیابی آسایش گرمایی صورت گرفته است. این شاخص‌ها در مقیاس‌های مختلف جهانی تا محلی مورد

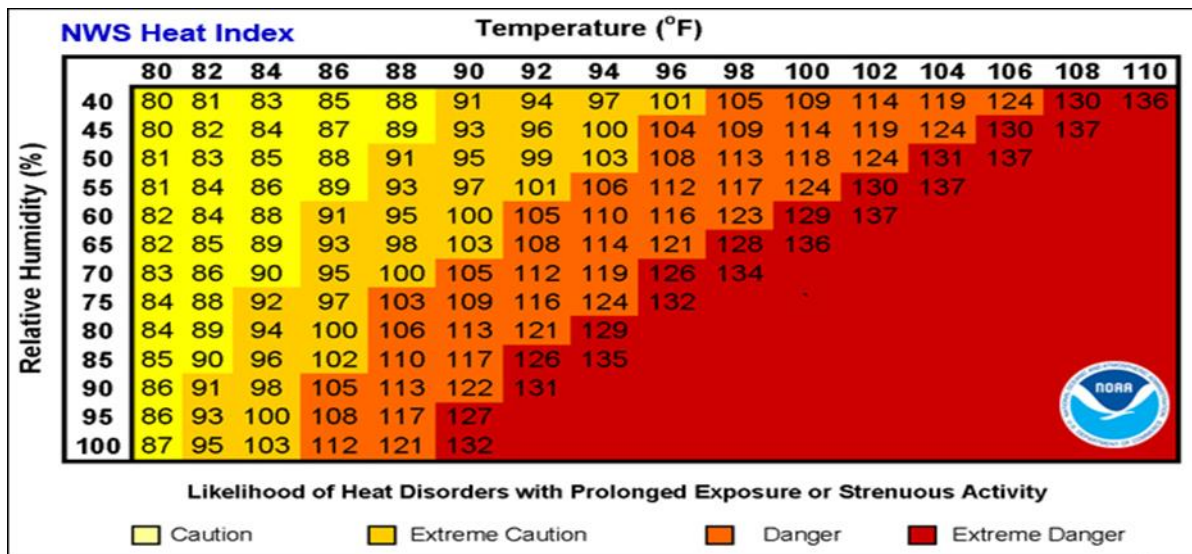
دوره‌ای نیز با توجه به داده‌های بیشتر، جدیدتر و روش‌های متناسب‌تر دارد. انجام این امر علاوه بر اینکه سبب شناخت علمی مناسب مردم از اقلیم محل سکونت خود می‌شود، زمینه‌ساز برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های فردی و گروهی در سطح خرد و کلان می‌شود. بنابراین تعیین میزان عدم آسایش (ضرایب بدی آب‌وهوا) به عنوان یک‌جهت آسیب‌پذیری ناشی از شرایط اقلیمی در بخش‌های مختلف مانند ورزش، رفاه و تفریحات سالم و سلامت نمود پیدا می‌کند. شرایط اقلیم آسایشی معمولاً با شاخص‌هایی بیان می‌شود که به مجموعه‌ای از عناصر هواشناختی و انسانی و محیطی وابسته است. این شاخص‌ها داده‌های اقلیمی را به شکلی بیان می‌کنند که نشان‌دهنده واکنش افراد به شرایط آب‌وهوایی است و در طبقه‌بندی عددی، درجاتی را از بسیار مناسب تا بسیار نامناسب در برمی‌گیرند. این شاخص‌ها تفسیر اثرات پیچیده عناصر جوی را بر روی آسایش انسان آسان‌تر می‌کند و امکان مقایسه مکان‌های مختلف را از دیدگاه اقلیم آسایشی فراهم می‌آورد. سنجش مقدار آسایش، نیازمند شاخص‌هایی برای مقایسه با مجموع شرایط اقلیمی مؤثر بر فرد است. از این رو، تعیین شاخص‌های گرمایی به منظور سنجش آسایش گرمایی ضروری است. طبق تعریف، شرایط آسایش گرمایی محدوده‌ای از دما و رطوبت است که در آن سازوکار تنظیم دمای بدن در کمینه فعالیت باشد (گیونی، ۱۹۷۶).

نوسانات اقلیمی حتی در ۲۰۰ سال اخیر که آمار و داده‌های هواشناسی در مورد آن موجود است، بسیار ملموس بودند. با افزایش دما شرایط زیست‌محیطی، سامانه‌های جوی و به تبع آن شرایط آسایش گرمایی دگرگون می‌شود و بخش‌های مختلف زندگی بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رطوبت هوا به‌طور مستقیم بر دمای بدن انسان تأثیر نمی‌گذارد، ولی ظرفیت تبخیر و در نتیجه میزان خنک شدن بدن از طریق تعریق و میزان تبخیر آن را تعیین می‌کند. اقلیم آسایش انسان تا حد زیادی تحت تأثیر میزان رطوبت هوا قرار دارد. اگر رطوبت موجود در هوا به نسبت کم بوده و هوا خشک باشد تعرق از پوست بدن به راحتی انجام گرفته و بر اثر تبخیر بدن

۲ (وبگاه <https://www.weather.gov>؛ کیو و شافر، ۲۰۲۲) آورده شده است (استدمن، ۱۹۷۹؛ میلر و همکاران، ۲۰۰۷؛ رتفوز، ۱۹۹۰؛ کیو و شافر، ۲۰۲۲؛ NOAA³). محاسبه شاخص با استفاده از تعاریف و روابط ارائه شده در وبگاه اداره ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده (NOAA) انجام شد که با جمع جملات شامل ضریب‌های دما و رطوبت، عدد شاخص را ارائه می‌کند (استدمن، ۱۹۷۹؛ رتفوز، ۱۹۹۰) (روابط ۱ تا ۴). در این روابط T دمای هوا، RH رطوبت نسبی و HI شاخص گرمایی است.

استفاده قرار گرفته است. برای ارزیابی آسایش گرمایی شاخص‌های مختلفی تعریف شده است. از جمله این شاخص‌ها شاخص گرمایی HI^۱ و دمای مؤثر ET^۲ هستند که در این مطالعه به آن پرداخته شده است. شاخص گرمایی HI در واقع یک اندازه‌گیری است که نشان می‌دهد هنگامی که رطوبت نسبی به عنوان عامل تاثیرگذار در کنار دما در نظر گرفته می‌شود، احساس واقعی گرما چه اندازه است. این شاخص با استفاده از کمیت‌های دما و رطوبت نسبی محاسبه می‌شود و طبقه‌بندی وضعیت هشدار گرمایی متناسب با آن را ارائه می‌دهد که در جدول‌های ۱ و

جدول ۱ طبقه‌بندی و مقادیر آستانه برای شاخص HI



جدول ۲ طبقه‌بندی هشدارها برای شاخص HI

-----	بدون هشدار
Caution	هشدار
Extreme Caution	هشدار حاد
Danger	خطرناک
Extreme Danger	بسیار خطرناک

$$\begin{aligned}
 HI = & -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.14333127 \times RH - 0.22475541 \times T \times RH \\
 & - 0.00683783 \times T^2 - 0.05481717 \times RH^2 + 0.00122874 \times T^2 \times RH \\
 & + 0.00085282 \times T \times RH^2 - 0.00000199 \times T^2 \times RH^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

³ National Oceanic and Atmospheric Administration

¹ Heat Index

² Effective Temperature

$$Adjustment = [(13 - RH)/4] \times \sqrt{(17 - |T - 95|)/17} \quad (۲)$$

$$Adjustment = [(RH - 85)/10] \times [(87 - T)/5] \quad (۳)$$

$$HI = 0.5 \times (T + 61 + (T - 68) \times 1.2 + RH \times 0.094) \quad (۴)$$

اقلیمی برای گردشگران کاربرد وسیعی پیدا کرده است. این شاخص با استفاده از دما برحسب درجه سلسیوس و رطوبت نسبی بر حسب درصد مقادیر شاخص را محاسبه می‌کند (پوتنر، ۱۹۶۲؛ کوندراتیو، ۱۹۵۰؛ میلوسکی، ۱۹۶۰؛ سیفرت، ۱۹۵۸؛ تئودورانو و همکاران، ۲۰۰۷؛ مرتنز، ۱۹۹۹؛ چندریتسکی، ۱۹۹۱). در این شاخص با توجه به مقادیر آن، طبقه‌بندی توصیفی برای وضعیت آسایش گرمایی تعریف شده (جدول ۳؛ حلییان، ۱۳۸۷) که با توجه به آن می‌توان شرایط هشدار را تعیین کرد. روش محاسبه این شاخص در معادله (۵) آورده شده است (گرگورکزوک و همکاران، ۱۹۶۷؛ تئودورانو، ۲۰۱۶). در معادله (۵)، T دمای هوا، RH رطوبت نسبی و ET شاخص دمای مؤثر هستند.

در روابط (۱) تا (۴)، اگر رطوبت نسبی کمتر از ۱۳ درصد و دما بین ۲۷ تا ۴۹ درجه سلسیوس باشد، مقدار حاصل از رابطه (۲) از رابطه (۱) کاسته می‌شود. همچنین اگر رطوبت نسبی بیشتر از ۸۵ درصد و دما بین ۲۷ تا ۳۱ درجه سلسیوس باشد، مقدار حاصل از رابطه (۳) به رابطه (۱) اضافه می‌شود. در نهایت اگر مقدار شاخص در رابطه (۴) از ۸۰ درجه فارنهایت کمتر باشد، نتیجه آن برای مقدار شاخص در نظر گرفته می‌شود.

شاخص دمای مؤثر (ET)، از جمله مهم‌ترین شاخص‌های مربوط به آسایش گرمایی محسوب می‌شود که علاوه بر مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای در مطالعات مربوط به آب‌وهوا نیز جهت بررسی محیط‌های آسایش

$$ET = T - 0.4(T - 10)(1 - RH/100) \quad (۵)$$

جدول ۳ طبقه‌بندی و مقادیر آستانه برای شاخص ET

Effective Temperature (c)	Human comfort	Human comfort	Color
> 30	Extreme hot	بسیار داغ	
۲۷/۵ تا ۳۰	Very hot	خیلی داغ	
۲۷/۵ تا ۲۵/۶	Hot	داغ	
۲۵/۶ تا ۲۲/۲	Warm	گرم	
۲۲/۲ تا ۱۷/۸	Comfort	مطبوع	
۱۷/۸ تا ۱۵/۵	Cool	خنک	
۱۵/۵ تا ۱/۶۷	Very cool	خیلی خنک	
۱/۶۷ تا -۱۰	Cold	سرد	
-۱۰ تا -۲۰	Very cold	خیلی سرد	
< -20	Extreme cold	بسیار سرد	

تاریخ ۲۴ جولای ۲۰۲۴ برابر با سوم مرداد ۱۴۰۳ که در بازه زمانی روزهای گرم استان گیلان است برای بررسی وضعیت شاخص‌های گرمایی انتخاب شد و نقشه‌های پهنه‌ای مربوط به آنها شامل پهنه‌بندی شاخص‌های HI و ET و سایر نقشه‌های همدیدی لازم تهیه شد. درجات هشدار مربوط به شاخص گرمایی HI براساس دما و رطوبت نسبی، مطابق با استانداردهای ارائه‌شده توسط اداره ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده (NOAA) شامل چهار سطح هشدار، هشدار حاد، خطرناک و بسیار خطرناک است (جداول ۱ و ۲). همانگونه که ملاحظه می‌شود، به‌عنوان مثال در دمای ۸۶ درجه فارنهایت معادل با ۳۰ درجه سلسیوس اگر رطوبت نسبی کمتر از ۴۰ درصد باشد شرایط آسایش گرمایی بدن مناسب است. در دمای ثابت با افزایش رطوبت نسبی با همین دما و رطوبت نسبی بین ۴۰ تا ۵۵ درصد دمای احساسی در شرایط هشدار قرار می‌گیرد و اگر رطوبت نسبی بین ۶۰ تا ۸۵ درصد باشد دمای احساسی در شرایط هشدار حاد و بار رطوبت نسبی بین ۸۵ تا ۱۰۰ درصد با وجود دمای ۳۰ درجه، دمای احساسی در شرایط خطرناک و بیش از ۴۰ درجه سلسیوس قرار گرفته است. درجه بندی وضعیت آسایش گرمایی شاخص دمای مؤثر برای هم هشدار گرمایی و هم هشدار سرمایشی تعیین می‌شوند. در این مطالعه شرایط مربوط به هشدارهای گرمایشی این شاخص با انجام یک مطالعه موردی بررسی شده است. درجات هشدار مربوط به شاخص مؤثر در شرایط گرمایشی براساس دما و رطوبت نسبی شامل چهار سطح گرم، داغ، خیلی داغ و بسیار داغ در جدول ۳ نشان داده شده است.

در مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های پیش‌یابی سامانه پیش-بینی جهانی GFS4 نقشه‌های پهنه‌بندی پیش‌بینی هشدار عدم آسایش گرمایی مربوط به شاخص‌های HI و ET رسم شده است. این داده‌ها دارای تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه و گام

زمانی سه ساعته بوده و پس از استخراج کمیت‌های لازم، محاسبه شاخص‌های تمام نقاط شبکه‌ای و برای تمام گام‌های زمانی پیش‌بینی انجام شد. این کمیت‌ها شامل دما و رطوبت نسبی در ارتفاع دو متری از سطح زمین برای محاسبه شاخص‌ها است. همچنین برای تحلیل همدیدی از کمیت‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی، دما و تاوایی نسبی در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، میدان باد در ترازهای ۳۰۰ هکتوپاسکال و ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، ضخامت لایه بین ترازهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و میانگین فشار تراز دریا استفاده شده است. یک مورد مطالعاتی که دمای به‌نسبت گرم در منطقه مورد مطالعه مستقر بوده و شرایط رطوبت نسبی نیز دمای احساسی به نسبت زیادی را ایجاد کرده است، انتخاب شد. تاریخ مورد نظر روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴ برابر با سوم مرداد ۱۴۰۳ هجری خورشیدی است. پس از استخراج داده‌ها و انجام محاسبات برای نقاط شبکه، نقشه‌های پهنه‌بندی وضعیت هشدار گرمایی مربوط به شاخص‌ها تولید شد. دامنه طول و عرض جغرافیایی برای استان گیلان تنظیم شده است. همچنین برای روز اشاره شده داده‌های مربوط به دما و رطوبت نسبی در ارتفاع دو متری از سطح زمین برای ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک اصلی استان گیلان از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. این ایستگاه‌ها شامل فرودگاه رشت، کشاورزی رشت، بندرانزلی، آستارا، منجیل، لاهیجان، تالش، رودسر، رودبار، ماسوله، دیلمان، کیاشهر و جیرنده است که موقعیت مکانی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است. از این داده‌ها برای مقایسه مقادیر شاخص‌های محاسبه شده از داده‌های پیش‌یابی GFS با مقادیر واقعی و در نتیجه درستی سنجی آنها استفاده شده است. لازم به ذکر است که در این مطالعه شاخص‌های گرمایی به صورت نقشه‌های پهنه‌ای مورد تحلیل قرار گرفته و مقادیر نقطه‌ای ایستگاهی به‌طور کیفی با آنها مقایسه شده است.

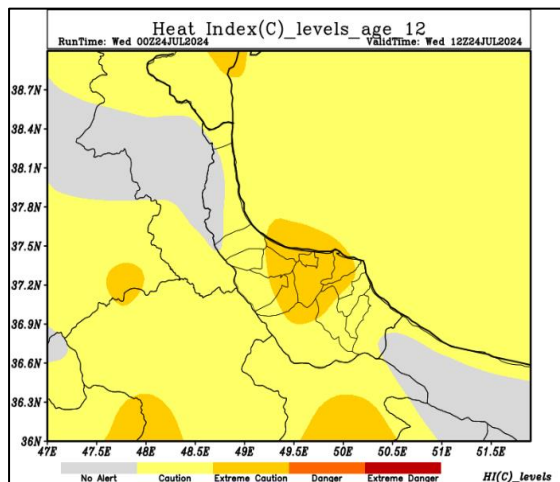


شکل ۱. نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک اصلی استان گیلان. ایستگاه‌ها با نقاط سبز نشان داده‌اند.

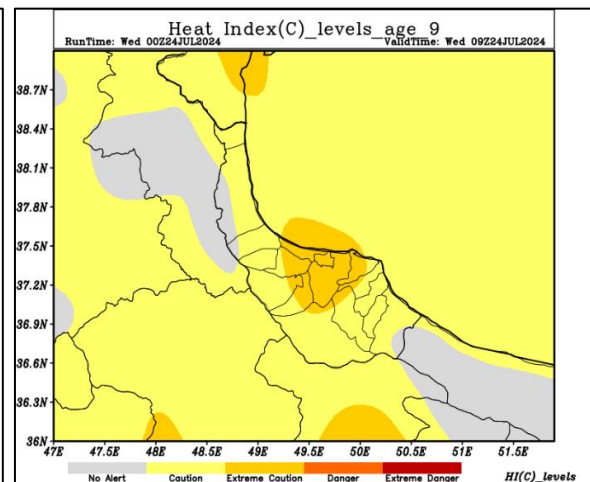
۳. ارائه نتایج

HI را نشان داده است. دمای احساسی در برخی مناطق استان به ۳۶ درجه رسیده است. در شکل‌های ۳-ج و ۳-د اختلاف دمای احساسی با دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین نشان داده شده است. به دلیل اقلیم شرجی و رطوبت نسبی به نسبت بالا در این منطقه، دمای شاخص HI در بیشتر استان گیلان ۲ تا ۴ درجه بیشتر از دمای هوا است.

شکل ۲ نتیجه محاسبات برای هشدار شاخص HI را برای روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل ۲-الف برای ساعت ۹ گرینویچ و شکل ۲-ب برای ساعت ۱۲ گرینویچ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مناطقی از استان گیلان شامل هشدار درجه دوم شاخص HI است. شکل‌های ۳-الف و ۳-ب پهنه مقدار عددی شاخص

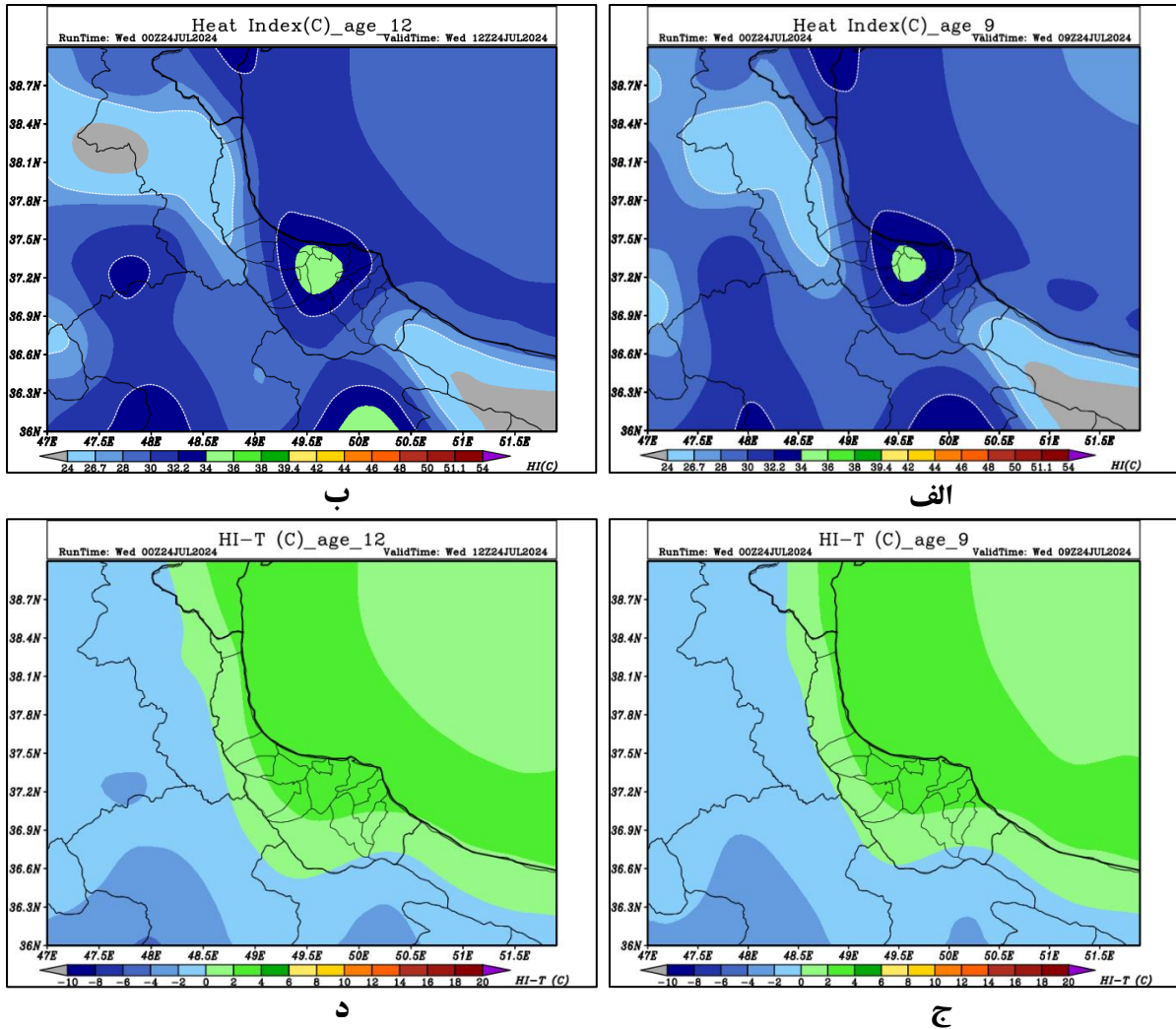


ب



الف

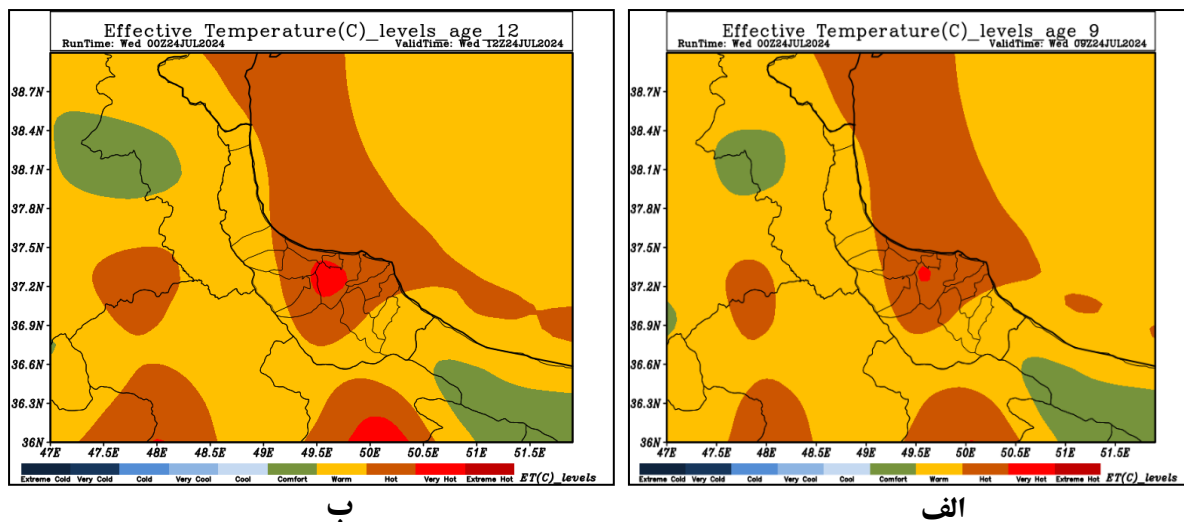
شکل ۲. نقشه هشدار شاخص HI برای استان گیلان روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴، (الف) ساعت ۹ گرینویچ (ب) ساعت ۱۲ گرینویچ



شکل ۳. مقادیر عددی شاخص HI و اختلاف آن با دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین (HI-T) برای استان گیلان روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴، (الف) مقدار عددی شاخص HI در ساعت ۹ گرینویچ، (ب) مقدار عددی شاخص HI در ساعت ۱۲ گرینویچ، (ج) اختلاف شاخص HI با دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین ساعت ۹ گرینویچ، (د) اختلاف دمای شاخص HI با دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین ساعت ۱۲ گرینویچ

ET است، هشدار درجه سوم نیز در برخی مناطق دیگر استان نیز برآورد شده است. به عبارتی شرایط دمایی و وجود رطوبت نسبی بالا در استان گیلان باعث شده است که دمای احساسی افزایش یافته و مناطقی از آن دارای وضعیت سوم هشدار گرمایی شاخص دمای مؤثر شود.

شکل ۴ نقشه پهنه‌بندی شاخص ET محاسبه شده را برای روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل ۴-الف برای ساعت ۹ گرینویچ و شکل ۴-ب برای ساعت ۱۲ گرینویچ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود علاوه بر مناطقی از استان که شامل هشدار درجه دوم شاخص



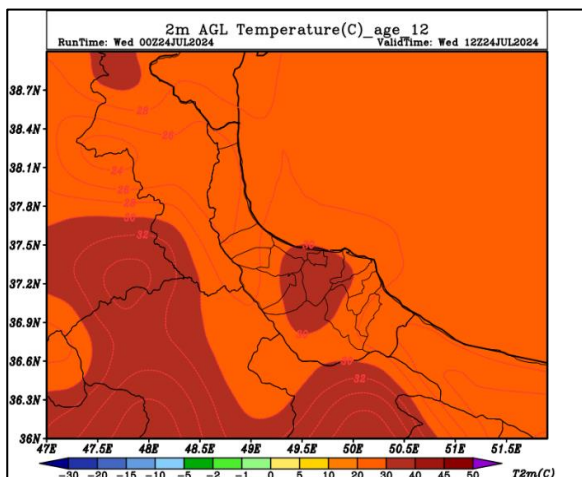
ب

الف

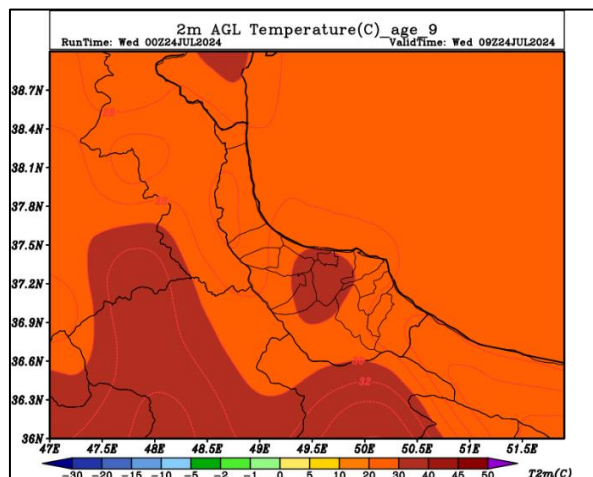
شکل ۴. نقشه هشدار شاخص ET برای استان گیلان روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴، (الف) ساعت ۹ گرینویچ (ب) ساعت ۱۲ گرینویچ

دمای قسمت‌های وسیعی از استان تا ۳۰ درجه سلسیوس است. اما به دلیل اقلیم شرجی استان گیلان، با وجود همین دمای هوا، رطوبت نسبی بالا دمای احساسی را شامل هشدار درجه دوم HI و هشدار درجه سوم ET کرده است.

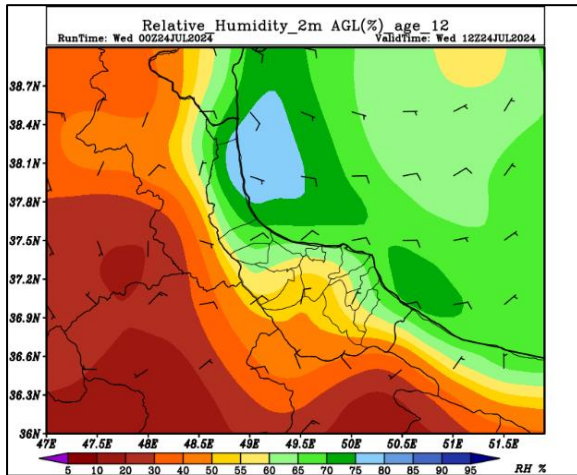
در شکل ۵ برای همین تاریخ و ساعت‌ها نقشه دما و رطوبت در ارتفاع دو متری از سطح زمین آورده شده است. با توجه به محاسبات، معادلات ارائه شده و جدول ارائه شده در سایت NOAA درجه هشدار شاخص‌ها با مقادیر دما و رطوبت همخوانی دارد. در شکل ۵-الف و ۵-ب دیده می‌شود که



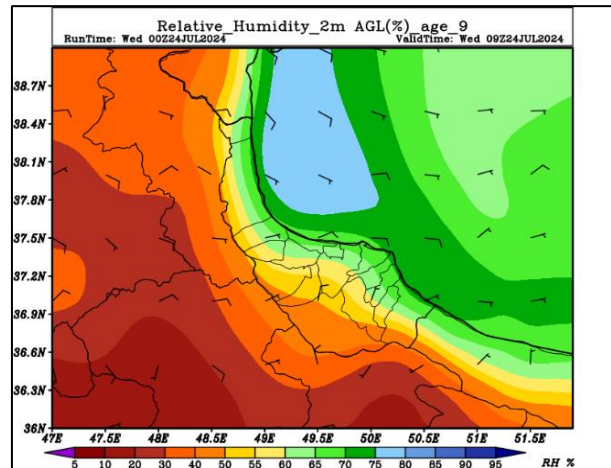
ب



الف



د

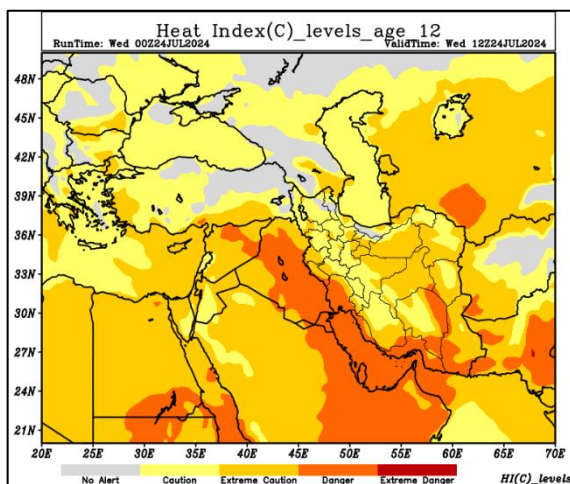


ج

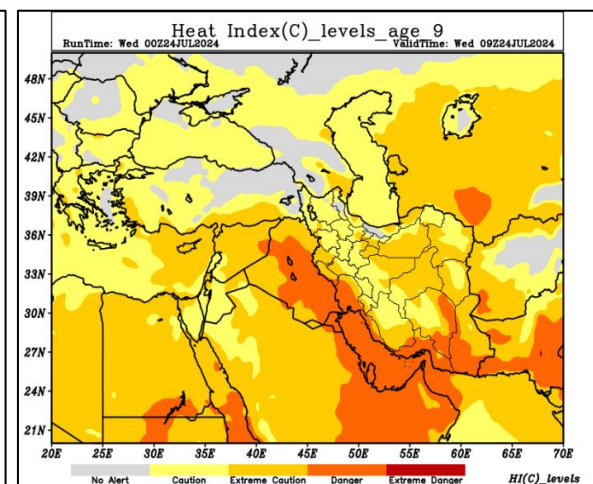
شکل ۵. دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین برحسب درجه سلسیوس و رطوبت نسبی در ارتفاع دو متری از سطح زمین برحسب درصد برای استان گیلان روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴، (الف) دما ساعت ۹ گرینویچ، (ب) دما ساعت ۱۲ گرینویچ، (ج) رطوبت نسبی ساعت ۹ گرینویچ، (د) رطوبت نسبی ساعت ۱۲ گرینویچ

دارد که هم‌ارز هشدار برای بسیاری از مناطق گرم کشور است. شکل‌های ۶-ج و ۶-د اختلاف دمای شاخص HI با دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین (HI-T) را در همان تاریخ و ساعت‌ها در سطح ایران نشان می‌دهد. مناطقی که از نظر اقلیمی دارای رطوبت نسبی بالاتری هستند، دارای مقدار دمای احساسی بالاتری از دمای هوا هستند. در شکل مشاهده می‌شود که مناطق ساحلی در شمال و جنوب کشور و از جمله استان گیلان جزء همین مناطق هستند.

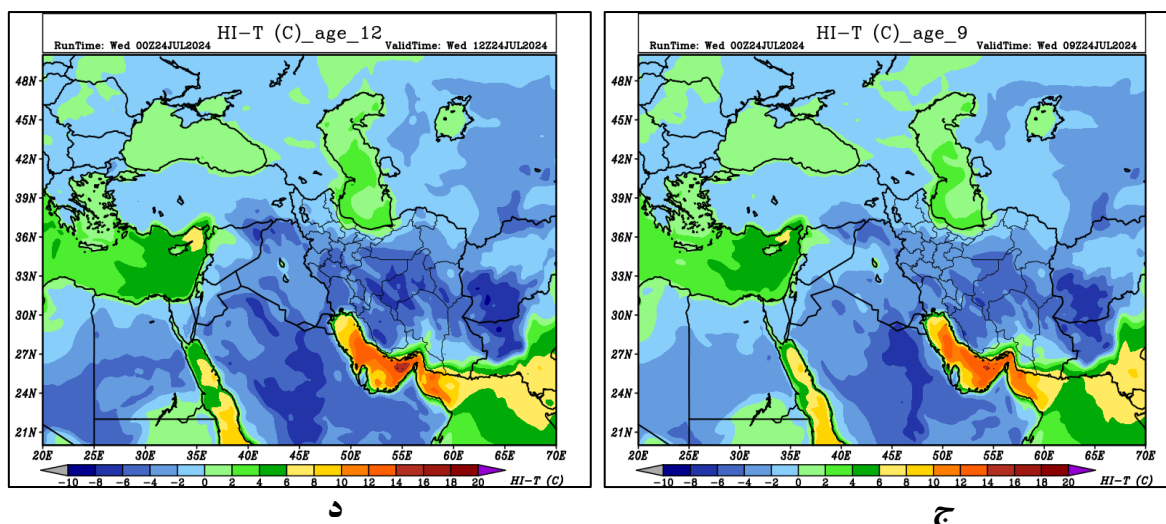
در شکل ۶ نقشه سطح هشدار شاخص HI برای همان روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴ و برای کل ایران نشان داده شده است که شکل ۶-الف برای ساعت ۹ گرینویچ و شکل ۶-ب برای ساعت ۱۲ گرینویچ است. با توجه به اینکه در استان گیلان رطوبت نسبی به دلیل وجود رطوبت زیاد به نسبت بسیاری از مناطق کشور بیشتر است، بر خلاف مقدار دما، دمای احساسی در این منطقه دارای مقادیر به نسبت بیشتری است. برای استان گیلان هشدار شاخص HI در درجه هشدار سطح دوم قرار



ب



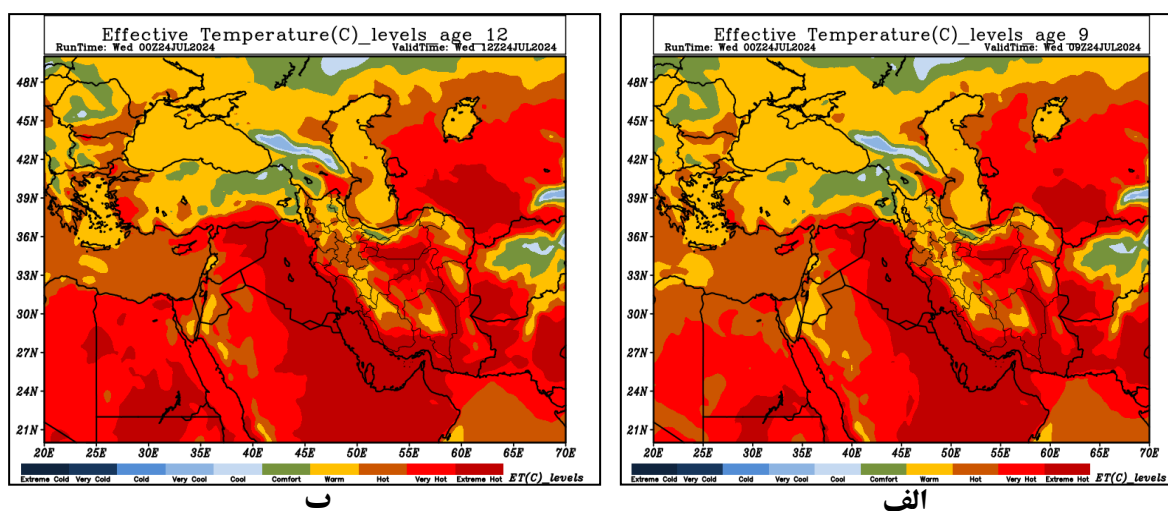
الف



شکل ۶. نقشه هشدار شاخص HI برای ایران روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴، (الف) ساعت ۹ گرینویچ و (ب) ساعت ۱۲ گرینویچ و نقشه اختلاف دمای شاخص HI با دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین (HI-T)، (ج) ساعت ۹ گرینویچ (د) ساعت ۱۲ گرینویچ

گیلان تا درجه سوم هشدار گرمایی است. این سطح هشدار گرمایی دمای مؤثر شامل بسیاری از مناطق گرم کشور نیز است. در شکل مربوط به این شاخص نیز مشاهده می‌شود که مناطقی که شرایط اقلیمی آنها دارای رطوبت زیادتری است مانند مناطق ساحلی در شمال و جنوب کشور و از جمله استان گیلان، دمای احساسی و هشدارهای گرمایی آنها مشابه وضعیت بسیاری از مناطق گرم کشور است.

شکل ۷ نقشه سطح هشدار شاخص ET برای همان روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴ و برای کل ایران را نشان می‌دهد. شکل ۷-الف برای ساعت ۹ گرینویچ و شکل ۷-ب برای ساعت ۱۲ گرینویچ هستند. در مورد این شاخص نیز رطوبت نسبی زیادتر در منطقه به نسبت بسیاری از سایر مناطق کشور، موجب شده است که دمای احساسی نسبت به دما، دمای مقادیر نسبی بیشتری باشد. هشدار شاخص ET برای استان



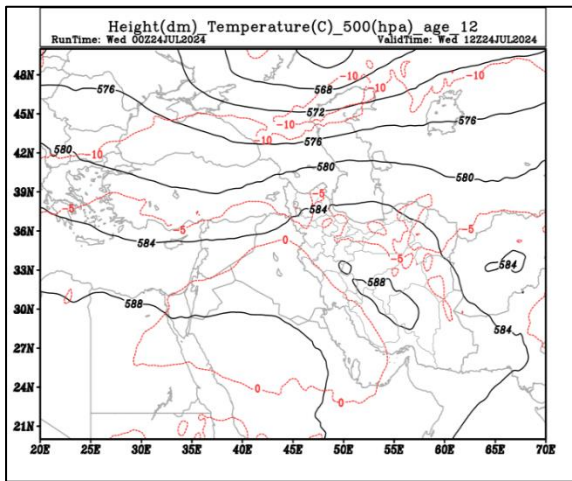
شکل ۷. نقشه هشدار شاخص ET برای ایران روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴، (الف) ساعت ۹ گرینویچ (ب) ساعت ۱۲ گرینویچ

ژنوبتانسلی و تاوایی نسبی در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال است. استقرار پراارتفاع جنب‌حاره در تراز فشاری ۵۰۰

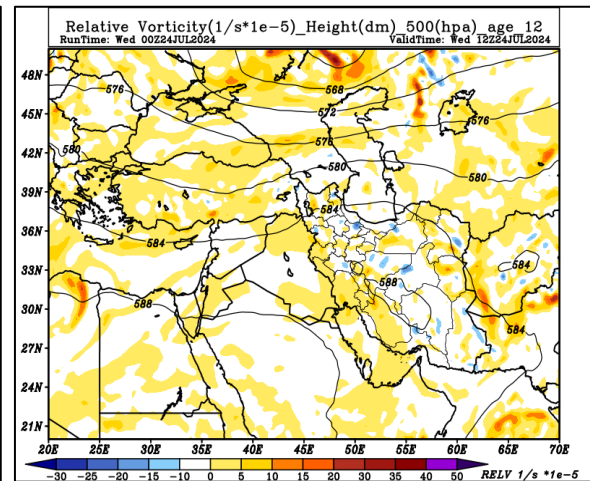
در شکل ۸ نقشه‌های همدیدی برای تحلیل وضعیت جوی آورده شده است. شکل ۸-الف مربوط به پهنه‌های ارتفاع

خروجی گرم جت جنب‌حاره بر روی منطقه شمال کشور قرار گرفته است که نشان‌دهنده پایداری جو در این منطقه است. در شکل ۸-د ضخامت بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و خطوط فشار میانگین تراز دریا نشان داده شده است. استقرار کم‌فشارهای سطح زمین در کشور همراه با پرتافتاح در سطوح زیرین موجب تشکیل لایه با ضخامت نسبی زیاد با دمای میانگین قابل توجه در منطقه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر ضخامت لایه هوا در کشور بالا بوده و نفوذ توده هوای خنکتر دیده نمی‌شود.

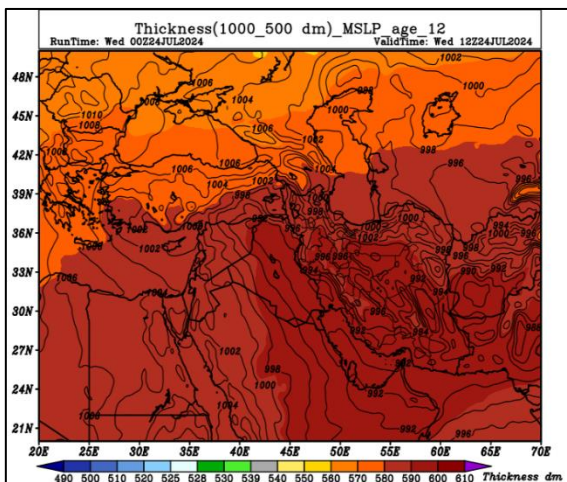
هکتوپاسکالی بر روی کشور، حاکی از گرمایش هوا در ایران است که می‌تواند با گرمایش حرارتی ناشی از تابش مستقیم آفتاب تشدید شود. عدم وجود فرارفت تاوایی مثبت نشان دهنده عدم صعود دینامیکی در جو بوده که پیامد آن ماندگاری هوای گرم در استان گیلان است. در شکل ۸-ب پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیلی و دما در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال رسم شده است که استقرار پشته دمایی و وجود گرما در منطقه را نشان می‌دهد. شکل ۸-ج مقدار سرعت باد، پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیلی و دما را در تراز فشاری ۳۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود،



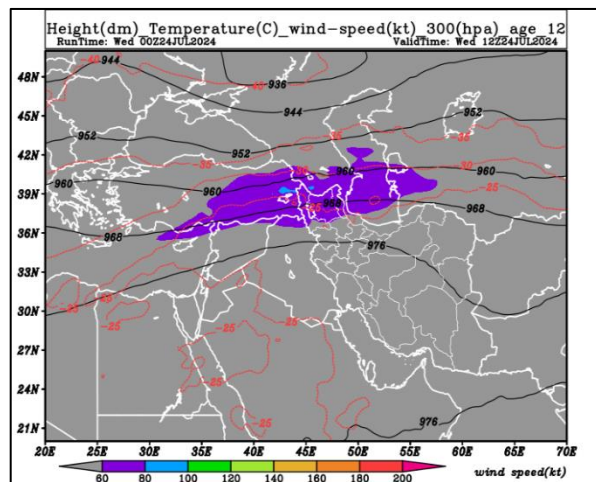
ب



الف



د

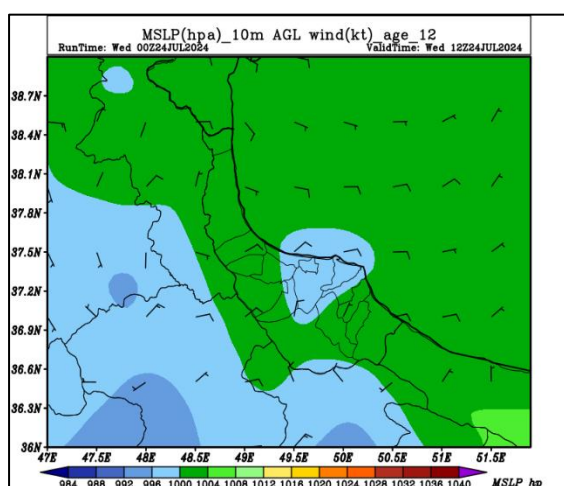


ج

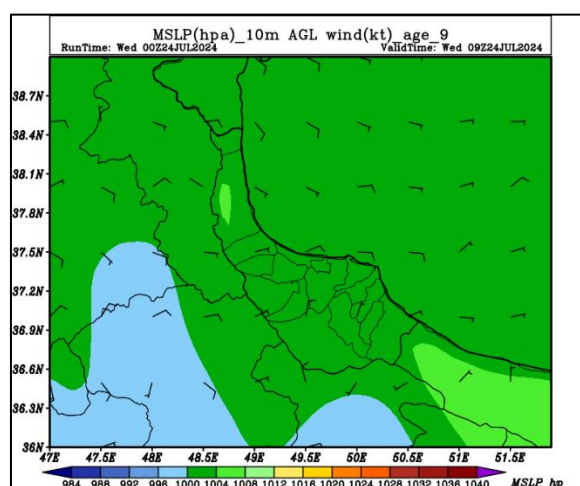
شکل ۸ ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴، (الف) پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیلی و تاوایی نسبی در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، (ب) پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیلی و دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، (ج) پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیلی، پربندهای دما و باد در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال و (د) ضخامت ۵۰۰-۱۰۰۰ و فشار میانگین تراز دریا. (ارتفاع ژئوپتانسیلی و ضخامت ۵۰۰-۱۰۰۰ با واحد ژئوپتانسیل دکامتر، تاوایی نسبی با واحد بر ثانیه در 10^{-5} ، دما برحسب درجه سلسیوس، باد با واحد متربرثانیه و فشار میانگین تراز دریا با واحد هکتوپاسکال)

می‌شود اما به دلیل شاررطوبت از دریای خزر به منطقه باعث افزایش رطوبت نسبی و به تبع آن افزایش دمای احساسی و شاخص‌های HI و ET می‌شود. شکل‌های ۹-ج و ۹-د باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین با واحدها (یک متر بر ثانیه معادل ۲ نات است) و فشار میانگین تراز دریا را نشان می‌دهد. در اینجا جهت بادها نفوذ و شاررطوبت از سمت دریا به منطقه استان گیلان را نشان می‌دهند که این امر باعث افزایش دمای احساسی آن می‌شود.

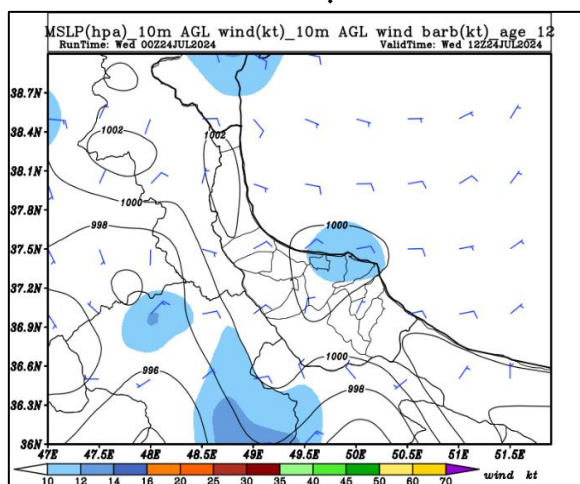
شکل ۹ نقشه‌های فشار میانگین تراز دریا و باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین را نشان می‌دهد. شکل‌های ۹-الف و ۹-ب مربوط به فشار میانگین تراز دریا با واحد هکتوپاسکال به ترتیب در ساعت‌های ۹ و ۱۲ گرینویچ است. همانطور که مشاهده می‌شود و همچنین با توجه به تحلیل شکل شماره ۸ که اشاره شد، با وجود حاکم بودن پشته ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه و پایداری جو، جریان‌های باد از عرض‌های بالاتر به استان گیلان در برخی ساعات وجود دارد. این نفوذ اگرچه تا حدودی به تعدیل دمای هوا منجر



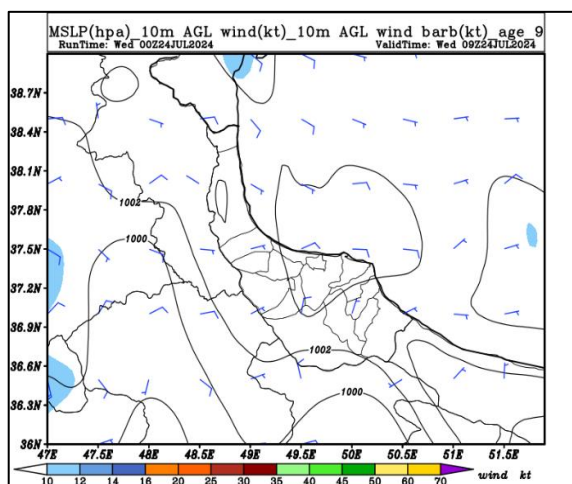
ب



الف



د



ج

شکل ۹. فشار میانگین تراز دریا با واحد هکتوپاسکال و باد با واحدها (الف) ساعت ۹ گرینویچ روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴ و (ب) ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴، باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین با واحدها (ج) ساعت ۹ گرینویچ روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴ و (د) ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴

همدید استان گیلان در جدول ۴ آورده شده است. بررسی و مقایسه این مقادیر با شکل‌های ۲ تا ۴ مربوط به پهنه‌بندی

نتایج حاصل از محاسبات شاخص‌های گرمایی برای ساعت‌های ۹ و ۱۲ گرینویچ روز ۲۴ ژوئیه ۲۰۲۴ ایستگاه‌های

برای دما و رطوبت نسبی در ارتفاع دو متری از سطح زمین است. به عنوان مثال برای ایستگاه لاهیجان مطابق با جدول ۴ در ساعت‌های ۹ و ۱۲ به وقت گرینویچ روز مورد نظر هشدار شاخص HI در محدوده خطرناک قرار گرفته است که در شکل ۲ در طبقه هشدار حاد مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه در کار حاضر داده‌های پیش‌بینی برون‌داد مدل جهانی با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه (حدود ۲۵ کیلومتر) برای محاسبه مقادیر شاخص‌ها استفاده شده‌اند، انتظار همخوانی کامل داده‌های دیدبانی با نتایج محاسبات وجود ندارد. در واقع، هدف از این محاسبات پیش‌بینی روند تغییرات شرایط آسایش دمایی با توجه به مقادیر پیش‌بینی شده دما و رطوبت در تراز دو متری سطح زمین می‌باشد.

شاخص‌ها و همچنین شکل ۵ مربوط به پهنه‌بندی دما و رطوبت نسبی در ارتفاع دو متری از سطح زمین حاصل از داده‌های پیش‌بینی مدل، نشان می‌دهد که تعیین و پیش‌بینی طبقه‌بندی هشدار شاخص‌های HI و ET توسط مدل GFS همخوانی به نسبت مناسبی با داده‌های ثبت شده ایستگاه‌ها دارد. به عنوان مثال طبقه‌بندی هشدار هر دو شاخص برای ایستگاه انزلی در ساعات ۹ و ۱۲ گرینویچ، به ترتیب در محدوده هشدار حاد و خیلی داغ قرار دارد که در شکل ۲ و شکل ۴ این موضوع در پهنه‌بندی هشدارهای دو شاخص دیده می‌شود. از مقادیر داده‌های رطوبت و دمای ایستگاه‌ها در جدول ۴ با مقادیر این کمیت‌ها در شکل ۵ که پهنه‌بندی داده‌های مدل است مشخص می‌شود که مقدار تفاوت این برآوردها در برخی موارد مربوط به فروتخمین داده‌های مدل

جدول ۴. طبقه‌بندی و مقادیر شاخص‌های HI و ET در روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴، ساعات ۹ و ۱۲ گرینویچ، برای ایستگاه‌های هواشناسی استان گیلان

نام ایستگاه	کد ایستگاه	سال	ماه	روز	ساعت (گرینویچ)	دما (سلسیوس)	رطوبت نسبی (درصد)	شاخص HI	طبقه‌بندی هشدار (HI)	شاخص ET	طبقه‌بندی هشدار (ET)
انزلی	40718	2024	7	24	9	31.7	69	39.2	هشدار حاد	29.0	خیلی داغ
انزلی	40718	2024	7	24	12	31.2	73	39.1	هشدار حاد	28.9	خیلی داغ
رودبار	99317	2024	7	24	9	34.3	41	36.2	هشدار حاد	28.6	خیلی داغ
رودبار	99317	2024	7	24	12	34.0	45	36.8	هشدار حاد	28.7	خیلی داغ
دیلمان	99302	2024	7	24	9	25.9	64	27.0	هشدار	23.6	گرم
دیلمان	99302	2024	7	24	12	24.9	74	25.4	بدون هشدار	23.4	گرم
جیرنده	40805	2024	7	24	9	28.8	50	29.4	هشدار	25.0	گرم
جیرنده	40805	2024	7	24	12	25.1	56	25.1	بدون هشدار	22.4	گرم
کیاشهر	99268	2024	7	24	9	32.0	70	40.4	خطرناک	29.4	خیلی داغ
کیاشهر	99268	2024	7	24	12	31.5	75	40.7	خطرناک	29.4	خیلی داغ
لاهیجان	99276	2024	7	24	9	31.9	75	42.0	خطرناک	29.7	خیلی داغ
لاهیجان	99276	2024	7	24	12	31.9	72	40.8	خطرناک	29.4	خیلی داغ
منجیل	40720	2024	7	24	9	35.2	35	36.2	هشدار حاد	28.6	خیلی داغ
منجیل	40720	2024	7	24	12	34.0	40	35.4	هشدار حاد	28.2	خیلی داغ
ماسوله	99281	2024	7	24	9	28.6	59	30.2	هشدار	25.5	گرم
ماسوله	99281	2024	7	24	12	24.9	78	25.5	بدون هشدار	23.6	گرم
رشت (کشاورزی)	99272	2024	7	24	9	32.1	65	38.9	هشدار حاد	29.0	خیلی داغ
رشت (کشاورزی)	99272	2024	7	24	12	32.5	65	40.0	خطرناک	29.4	خیلی داغ
آستارا	40709	2024	7	24	9	31.3	71	38.7	هشدار حاد	28.8	خیلی داغ
آستارا	40709	2024	7	24	12	31.0	73	38.5	هشدار حاد	28.7	خیلی داغ
تالش	99249	2024	7	24	9	31.1	74	39.1	هشدار حاد	28.9	خیلی داغ
تالش	99249	2024	7	24	12	30.7	74	38.0	هشدار حاد	28.5	خیلی داغ

خیلی داغ	28.5	هشدار حاد	38.0	74	30.7	9	24	7	2024	99282	رودسر
خیلی داغ	28.5	هشدار حاد	38.0	75	30.6	12	24	7	2024	99282	رودسر
خیلی داغ	27.9	هشدار حاد	35.3	57	31.6	9	24	7	2024	40719	رشت (فرودگاه)
خیلی داغ	29.2	خطرناک	39.8	70	31.8	12	24	7	2024	40719	رشت (فرودگاه)

۴. بحث و نتیجه‌گیری

ارتباط تنگاتنگ انسان با مؤلفه‌های گرمایی محیط اطرافش کاملاً مشهود بوده و به فعالیت‌های روزانه هر فرد مربوط می‌شود. از این رو مسائل مربوط به آسایش و عدم آسایش اقلیمی همراه با تأثیر آنها بر سلامت انسان از جمله دلایلی هستند که سبب شده تا ارزیابی و پایش محیط گرمایی به صورت مؤثر و عملی به عنوان یکی از اساسی‌ترین موضوعات در هواشناسی زیستی مطرح باشد. احساس انسان نسبت به محیط اطرافش را نمی‌توان از طریق بررسی تنها یکی از عوامل اقلیمی مانند دما، رطوبت نسبی یا جریان هوا بیان کرد، زیرا ترکیب این عوامل است که بر انسان تأثیر می‌گذارد. برای ارزیابی نقش این متغیرها از شاخص‌های آسایش انسانی استفاده می‌شود. این شاخص‌ها تأثیر جمعی متغیرهای هواشناختی را روی انسان مشخص می‌کند. ویژگی اقلیمی شرحی استان گیلان باعث می‌شود که حتی دماهای به نسبت پایین تر که شاید در مناطق دیگر شرایط آسایشی سختی ایجاد نکنند، در این منطقه آسایش گرمایی را به وضعیت های هشدار شاخص‌های گرمایی تبدیل کند. بنابراین بررسی شاخص‌های گرمایی دارای اهمیت ویژه‌ای بوده و ارائه آن می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها و بررسی‌های مربوط به اثرات مخرب اجتماعی و فردی شرایط آسایش گرمایی، نقش مؤثری داشته باشد.

در این مقاله به مطالعه موردی شاخص‌های گرمایی HI و ET در استان گیلان پرداخته شده است. این شاخص‌ها با استفاده از کمیت‌های دما و رطوبت نسبی محاسبه می‌شود و طبقه‌بندی وضعیت هشدار گرمایی متناسب با آن را ارائه می‌دهند. تاریخ ۲۴ جولای ۲۰۲۴ برابر با سوم مرداد ۱۴۰۳ که هوای به نسبت گرم در منطقه مورد مطالعه مستقر بوده و شرایط رطوبت نسبی نیز دمای احساسی به نسبت زیادی را

ایجاد کرده است انتخاب شد. از داده‌های پیش‌یابی سامانه پیش‌بینی جهانی GFS با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه و گام زمانی سه ساعته استفاده شد و پس از استخراج داده‌ها و انجام محاسبات برای نقاط شبکه، نقشه‌های پهنه‌بندی وضعیت هشدار گرمایی مربوط به شاخص‌ها برای استان گیلان تولید شد. استقرار پراارتفاع در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکالی بر روی کشور، عدم وجود فرارفت تاوایی مثبت و استقرار پشته دمایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی، گرمایش حرارتی در ایران و استان گیلان را نشان می‌دهد. همچنین بررسی نقشه‌های مربوط به سرعت و جهت باد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال مشخص می‌کند که خروجی گرم جت جنب‌حاره بر روی منطقه شمال کشور قرار گرفته است که نشان‌دهنده پایداری جو در این منطقه است. ضخامت لایه هوای بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و خطوط فشار میانگین تراز دریا نیز بیانگر استقرار کم‌فشارهای سطح زمین در کشور همراه با پراارتفاع در سطوح زبرین و در نتیجه وجود لایه با ضخامت نسبی زیاد با دمای میانگین قابل توجه در منطقه است. جریان‌های باد از عرض‌های بالاتر به استان گیلان و شار رطوبت از دریای خزر به منطقه باعث افزایش رطوبت نسبی و به تبع آن افزایش دمای احساسی می‌شود. بررسی نقشه‌های همدیدی برای روز ۲۴ جولای ۲۰۲۴ نشان‌دهنده استقرار توده هوای گرم در استان گیلان است.

نقشه‌های ترسیم‌شده هشدار شاخص HI برای روز مورد نظر، برای مناطقی از استان هشدار درجه دوم این شاخص را برآورد کرده است. علاوه بر نقشه‌های هشدار، نقشه‌های مقدار عددی شاخص HI و همچنین تفاوت آن با دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین نیز تهیه شد. نقشه‌ها نشان دادند که دمای احساسی در برخی مناطق استان به ۳۶ درجه رسیده و دمای شاخص HI در بیشتر استان گیلان ۲ تا ۴ درجه بیشتر از دمای

منابع

- هوا است. نقشه‌های هشدار شاخص ET برای روز مورد نظر در منطقه مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد که این شاخص علاوه بر مناطقی از استان که شامل هشدار درجه دوم شاخص ET است، هشدار درجه سوم نیز در استان برآورد کرده است. به عبارتی شرایط دمایی و وجود رطوبت نسبی بالا در استان گیلان باعث شده است که دمای احساسی افزایش یافته و مناطقی از آن دارای وضعیت سوم هشدار گرمایی شاخص دمای مؤثر شود. بررسی نقشه‌های دما و رطوبت در ارتفاع دو متری از سطح زمین از داده‌های پیش‌یابی سامانه پیش‌بینی جهانی GFS و با توجه به معادلات و جدول ارائه شده نشان می‌دهند که درجه هشدار شاخص‌ها با مقادیر دما و رطوبت همخوانی داشته و نقشه‌های مربوط به شاخص‌ها به خوبی هشدارهای مربوط را نشان می‌دهند. نقشه سطح هشدار شاخص‌های HI و ET برای همان روز و برای کل ایران بیانگر این است که با توجه به اینکه در استان گیلان رطوبت نسبی به دلیل وجود رطوبت زیاد به نسبت بسیاری از مناطق کشور بیشتر است، بر خلاف مقدار دما، دمای احساسی در این منطقه دارای مقادیر به نسبت بیشتری است و هشدارهای مربوط به شاخص گرمایی آن با هشدار بسیاری از مناطق گرم کشور یکسان است. مناطقی که از نظر اقلیمی دارای رطوبت نسبی بالاتری هستند، دارای مقدار دمای احساسی بالاتری از دمای هوا هستند. مناطق ساحلی در شمال و جنوب کشور و از جمله استان گیلان جزء همین مناطق هستند.
- با توجه به اهمیت شاخص‌های گرمایی و دمای احساسی به ویژه در مناطقی با اقلیم مرطوب‌تر، به نظر می‌رسد که تولید نقشه‌های پیش‌یابی برای هشدارهای شاخص‌های HI و ET و سایر شاخص‌های مربوط به دمای احساسی لازم و ضروری است. به عبارتی رویکرد تولید سامانه خودکار و عملیاتی این نقشه‌ها و اعلام و اطلاع‌رسانی پیش‌بینی هشدارهای مربوط به آن به کاربرها در سطوح مختلف عمومی و مدیریتی، از جمله عملکردهای مؤثر و کاربردی هواشناسی است.
۱. برجی خانی، ر، ۱۳۹۳، بررسی تاثیر عناصر اقلیمی در تامین آسایش حرارتی منطقه ۹ تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.
 ۲. درگاهیان، ف، و رضایی، غ، ۱۳۹۵، بررسی شرایط سینوپتیکی و بیوکلیماتولوژی شاخص گرما در ایستگاه‌های ساحلی و دریایی جنوب و اثرات آن بر روی سلامت انسان، فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۶(۲۲)، ۱۶۰-۱۴۷.
 ۳. دل‌آور، م، و مرادی‌فر، ا، ۱۳۹۲، ارزیابی اقلیم آسایش گردشگری در استان گیلان با استفاده از شاخص دما - رطوبت تام (THI)، اولین همایش ملی گردشگری، جغرافیا و محیط زیست پایدار
 ۴. دوست محمدی، س، دوست محمدی، س، ۱۳۹۴، نوسانات اقلیمی و تأثیر آن بر تغییرات محیطی و اقلیم شهرها، دومین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی.
 ۵. حلییان، ا. ح. (۱۳۸۷). تحلیل آسایش اقلیمی اصفهان. *اندیشه جغرافیا*، سال دوم، شماره سوم، بهار ۱۳۸۷. ۵۰-۶۹.
 ۶. جعفری، م، سلمانی مقدم، م، ۱۳۹۷، ارزیابی اقلیم آسایش گردشگری استان اردبیل با استفاده از شاخص TCI و تکنیک GIS، فصلنامه پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷، شماره ۱۰۵، بهار ۱۳۹۷، صفحه ۱۵۹-۱۷۰.
 ۷. عسگری، الف و مومنی، ش، ۱۳۸۸، روش نمایه گرما (HI) در ایستگاه‌های همدیدی سواحل جنوبی کشور در طی دوره سی ساله. *جغرافیا، نشریه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران*، دوره جدید، سال هفتم، شماره ۲۰ و ۲۱.
 ۸. قویدل رحیمی، ی، احمدی، م، ۱۳۹۲، برآورد تحلیلی زمان آسایش اقلیمی شهر تبریز، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۳.
 ۹. هدایتی فرد، ف، ضرغامیان، م، ۱۳۹۵، ارزیابی شاخص‌های زیست اقلیمی مؤثر بر آسایش انسان (مطالعه موردی: منطقه آزاد اروند). فصلنامه علوم و تکنولوژی

21. Mertens, E. (1999). Bioclimate and city planning - open space planning. *Atmospheric Environment*, 33, 4115-4123.
22. Miller, V.S.; Bates, G.P. The thermal work limit is a simple reliable heat index for the protection of workers in thermally stressful environments. *Ann. Occup. Hyg.* 2007, 51, 553-561.
23. Milevski, V. J. (1960). Effective temperatures in European area of USSR. *Vopr. Prikl. Klim., Gidrometeoizdat, Leningrad*, pp. 110-119 (in Russian).
24. National Oceanic and Atmospheric Administration. [On Line]. Available From: <https://www.noaa.gov>
25. Olu Ola, O., Bogda, M. and Prucnal, O., 2003, Choice of thermal index for architectural design with climate in Nigeria; *Habitat international*, 44, 23-44.
26. Omonijo. A.G, Adeofun. C. O, Oguntoke O, and Matzarakis. A, 2013, Relevance of thermal environment to human health: a case study of Ondo State, Nigeria, *Theoretical and Applied Climatology* Vol. 113, Issue 1-2, pp 205-212.
27. Rothfus, L.P.; NWS Southern Region Headquarters. The Heat Index Equation (or, More than You Ever Wanted to Know about Heat Index); National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology: Fort Worth, TX, USA, 1990; Volume 9023, p. 640.
28. Seifert, G. (1958). Das Klima der DDR — dargestellt durch Effektivtemperaturen. *Z. Meteor.*, 12: 328-338.
29. Steadman, R.G., 1979: The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *J. Appl. Meteor.*, 18, 861-873.
30. Teodoreanu, E. (2016). "Thermal Comfort Index." *Present Environment and Sustainable Development* 10 (2016): 105 - 118.
31. Teodoreanu, E. & Bunescu, I. (2007). Thermal comfort, Present environment and sustainable development, Nr. 1, Iași, 134-142
32. Toy S., Yilmaz S., Yilmaz h .2007. Determination of bioclimatic comfort in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey; *Building and Environment*, Vol 20, Num. 3, pp. 289-297.
- محیط زیست، دوره ۱۸، (ویژه نامه شماره ۳، شماره پیاپی ۴، صفحه ۴۱-۲۱.
۱۰. مساح بوانی، ع، صالحی، ش، ۱۳۹۸، کتاب مرجع تغییر اقلیم و سلامت، دپارتمان تغییر اقلیم و سلامت، پژوهشکده محیط زیست.
11. BUETTNER, K.J.K. (1962): Human aspects of bioclimatological classification. In: *Biometeorology*. S.W.Tromp (ed.), Pergamon Press, Oxford, 128-140.
12. Deb, Ch. Ramachandriah, A .2010. Evaluation of thermal comfort in a rail terminal location in India, *Building and Environment*, volume 45, pp 2571-2580.
13. Frich, P., L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M Haylock, A.M. G. Klein Tank, T. Peterson, 2002, Global changes in climatic extremes during the second half of the 20th century. *Climate Res.*, 19., 193-212.
14. Ghani, S., Bialy, E.M. Bakochristou, F. Gamaledin, S.M.A. Rashwan. M.M. Hughes, B. 2017. Thermal comfort investigation of an outdoor air-conditioned area in a hot and arid environment. *Science and Technology for the Built Environment Journal*. 23, 1113-1131.
15. Givoni, B. 1976. "Man, Climate and Architecture" Elsevier press, New York, USA.
16. Gregorczyk, M. & Cena, K. (1967). Distribution of Effective Temperature over the surface of the Earth. *international journal of biometeorology*, vol 11, pages 145-149.
17. Jendritzky, G. (1991). Select questions of topical interest in human bioclimatology. *Int. J. Biometeo.*, 35, 139-150.
18. Kieu, Le & Schäfer, Stefan. (2022). Cooling Effects of Blue and Green Infrastructure on Urban Microclimate: A Case Study at Thu Duc District, Ho Chi Minh City.
19. Kondratiev, P. A. (1950). New tables of effective temperature and maps of distribution of effective temperature for USSR. *Nauč. Arch. NIK, Moskva* (in Russian).
20. Mathai, a., Rabadi, N. and Grosland, N., 2004, Digital human modeling and virtual reality for FCS. Technical report no. VSR-04-02, University of Iota. USA.