نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هجدهم، شماره ۵۱، زمستان ۹۷

ارائه روش تخمین در پیش‌بینی شاخص‌های آسایش حرارتی انسان با بهره‌گیری از طبقه‌بندی ماشین عصبی باور عمیق

دریافت مقاله: ۹۶/۲/۴ **پذیرش نهایی:** ۹۷/۲/۳۰

صفحات: ۴۰-۲۳

علیرضا انتظاری: دانشیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران[۱].
entezari@hsu.ac.ir

فاطمه میوانه: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی شهری - دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
fmayvaneh@yahoo.com

خسرو رضایی: دکتری مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی و کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
rezaeekhosro.biomedeng@gmail.com

فاطمه رحیمی: کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی کاربردی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
yasamin_yoka@yahoo.com

چکیده

آسایش و عدم آسایش حرارتی انسان از طریق شاخص‌های تئوری و تجربی زیادی محاسبه می‌شوند که داده‌های ورودی این شاخص‌ها بسیاری از عناصر آب و هوایی از جمله سرعت باد، درجه حرارت، رطوبت، تابش خورشید و غیره می‌باشد. در مطالعه حاضر از داده‌های روزانه درجه حرارت، سرعت باد،رطوبت نسبی و ابرناکی شهر مشهد بین سال‌های۱۳۹۲-۱۳۸۳ استفاده شده است. ابتدا پارامتر Tmrt در محیط نرم افزار Ray Man محاسبه و با استفاده از نرم افزار Bioklima مقادیر شاخص‌های UTCI وPMV استخراج گردید. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که شدیدترین تنش‌های سرمایی بر اساس شاخص PMV در فصل زمستان و اواخر فصل پاییز مشاهده می‌شود. و شاخص UTCI نیز در ماه‌های دی و بهمن بیشترین تنش سرمایی را دارند. با وجود توانایی شبکه‌های عصبی، پیش بینی عملکرد آینده شبکه (تعمیم یافتگی) به سادگی امکان‌پذیر نیست و لذا مدل جدیدی در این مقاله ارائه گردیده که از شبکه‌های عصبی مبتنی بر ماشین بولتزمان محدود شده یا شبکه‌های عصبی باور عمیق بهره گرفته است. با بکارگیری این ساختار، معیارهای میانگین مربعات خطای استاندارد (MSE) و میانگین مطلق درصد خطا (MAPE) محک خوردند و برای ۷ شاخصه حاصل از داده‌های گردآوری شده که سه شاخصه مربوط به زمان وقوع شرایط آب و هوایی و سایرین، شاخص‌های حرارتی آسایش انسان است، در سیستم ارزیابی گردید. ارزیابی با تقسیم داده‌ها به بخش‌های آموزشی و آزمایشی و به ترتیب به نسبت‌های دوسوم، پنجاه درصد و یک سوم صورت پذیرفته است و دو محک MSE و MAPE محاسبه شدند. عملکرد سیستم پیشنهادی در پیش بینی وضعیت آسایش حرارتی انسان مطلوب بود.

کلیدواژگان: آسایش حرارتی، شبکه عصبی، شرایط آب و هوایی، سلامت انسان.

---

۱. **نویسنده مسئول**: سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، گروه اقلیم‌شناسی.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

مقدمه

شرایط آسایش حرارتی، مجموعه شرایط حرارتی است که حداقل برای ۸۰ درصد از افراد مناسب باشد. نبود آسایش حرارتی بصورت یک پدیده دو قطبی عدم آسایش سرد تا گرم یا داغ محسوب می‌شود (Parsons, 2014:50). راحتی و سلامتی انسان در محیط طبیعی رابطه مستقیم با وضعیت اقلیمی از قبیل درجه حرارت، رطوبت، تابش آفتاب و باد دارد (Thomas, 2004: 201). شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسان که از معادله بیلان انرژی بدن انسان مشتق گردیده‌اند، امروزه در مطالعات زیست اقلیم جایگاه ویژه‌ای دارند (Valencia-Barrera, Comtois, & Fernández-González, 2002). بررسی علمی و مدون شرایط راحتی آب و هوایی انسان به دهه ۵۰ و ۶۰ قرن بیستم باز می‌گردد (Arens, Gonzalez, & Berglund, 1986).آسایش حرارتی در فضای خارج از خانه عموما نحوه فعالیت انسان را تعیین می‌کند. بررسی وضعیت بیوکلیمایی انسانی، پایه و اساس بسیاری از برنامه‌ریزی ها در زمینه معماری ،گردشگری ؛ بهداشتی و درمانی است. بر این اساس شرایط آب و هوایی مهمترین عوامل مؤثر بر فعالیت روزانه و طولانی مدت انسان است(Chen, Chen, Chang, & Hsieh, 2014; Kariminia, Sh Ahmad, & Norhati, 2013). در اکثر مطالعات درجه‌حرارت و یا معیار ساده‌ای مانند شاخص‌های تجربی که اثرات درجه‌حرارت، رطوبت و سرعت باد را نشان می‌دهد، استفاده شده است (Basu, 209: 2). آسایش حرارتی انسان نتیجه تعادل انرژی بین سطح بدن و محیط زیست می‌باشد که بر فیزیولوژی، روانشناسی و رفتار انسان اثرگذار می‌باشد (Jendritzky, de Dear, & Havenith, 2012). از سوی دیگر مدل‌های آسایش حرارتی علاوه بر استفاده از پارامترهای جوی (درجه‌حرارت، فشار بخار آب، سرعت باد و میانگین درجه حرارت تابشی) (Kántor & Unger, 2011: 95) از فرایندهای پیچیده متابولیکی مانند سطح فعالیت فیزیکی و پوشش لباس نیز استفاده می‌کنند (Jendritzky et al, 2012: 425). همچنین این مدل‌ها ابزار مفیدی برای خلاصه‌سازی اثرات متقابل عوامل تنش‌زای محیطی و واکنش‌های انسان محسوب می‌شوند که بصورت طبقه‌بندی‌های تجربی یا منطقی بر اساس محاسبات مربوط به تعادل انسان بیان می‌شوند (Blazejczyk, Epstein, Jendritzky, Staiger, & Tinz, 2012; Steadman, 1979).

شرایط آب و هوایی تعیین‌کننده میزان راحتی انسان در فضاهای باز می‌باشد. که در برابر این شرایط و جهت تامین حداکثر آسایش راهکارهایی مانند؛ تشویق مردم به ماندن در مناطق سایه‌دار در روزهای گرم تابستانی و یا استفاده از فضاهایی که دارای محیط سرد با گردش آب وجود دارد(Kim et al., 2011; Yue et al, 2014). تغییر در شرایط زیستی بدن به صورت مستقیم مخاطره ایجاد می‌کند. به گونه‌ای که اگر دمای داخلی بدن به پایین‌تر از ۲۶ درجه سانتی‌گراد یا بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد برود، اغلب باعث بروز مخاطره زیستی یا بیماری و در پاره‌ای موارد منجر به تخریب تغییرناپذیر و مرگ به خواهد شد . علاوه بر این، بسیاری از جغرافی‌دانان معتقدند که با انحراف محدوده گرمای مطلوب که بین ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است، تعداد مرگ و میرها افزایش می‌یابد. آسایش و عدم آسایش حرارتی انسان از طریق شاخص‌های تئوری و تجربی زیادی محاسبه می‌شوند که داده‌های ورودی این شاخص‌ها بسیاری از عناصر آب و هوایی از جمله سرعت باد، درجه حرارت، رطوبت، تابش خورشید و غیره را شامل می‌شود (Tseliou, Tsiros, Lykoudis, & Nikolopoulou, 2010). این شاخص‌ها که برای جمعیت‌های نظامی، غیرنظامی و صنعتی اهمیت دارند،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

استفاده کنندگان را جهت تصمیم‌گیری در مواقعی که خطرات و استرس‌های دمایی موجود می‌باشد؛ راهنمایی می‌کنند (Santee & Wallace, 2005: 66).

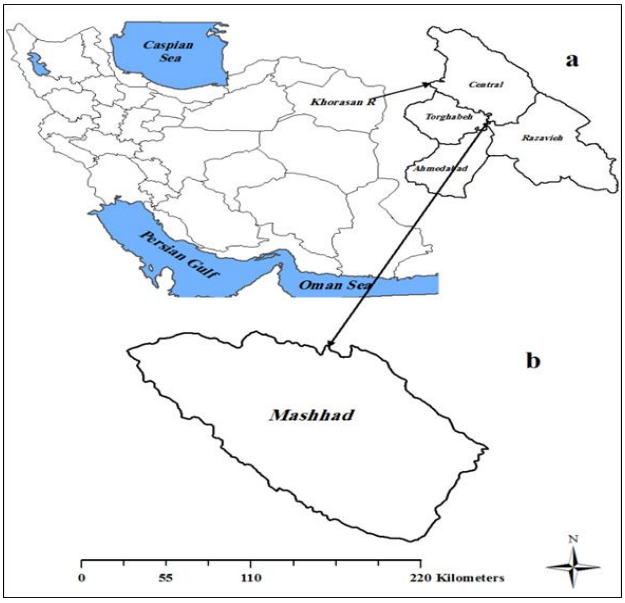
در راستای بررسی شرایط آسایش اقلیمی مطالعات گوناگونی انجام شده است. چنگ[1] و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای آسایش حرارتی هنگ‌کنگ را با استفاده از شاخص‌های دمای معادل فیزیولوژیک و میانگین رأی پیش‌بینی شده مطالعه کردند. در این پژوهش اثر تغییر شرایط باد و تابش خورشیدی را روی احساس دمایی افراد در منطقه بررسی نمودندکه نتایج پژوهش بصورت روابط ریاضی جهت بررسی این عوامل ارائه شد. ناستس و ماتزارکیس[2] در مطالعه‌ای نقش اقلیم در مرگ و میر شهر آتن را با استفاده از شاخص‌های آسایش اقلیمی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ارتباط معنی‌دار و خطی بین مرگ و میر و شاخص‌های آسایش اقلیمی وجود دارد. اومونیجو[3] و همکاران (۲۰۱۳) نیز با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک به بررسی شرایط اقلیمی محیط نیجریه در ارتباط با سلامتی انسان پرداختند و نتایج این پژوهش نشان داد که ایالت اوندو[4] مکان مستعدی برای برخی از بیماری‌های مرتبط با گرما و مرگ و میرهای ناشی از آن است.

روش تحقیق

شهر مشهد از حیث توپوگرافی در منتهی‌الیه جنوب‌شرقی چاله اترک- کشف‌رود در داخل دشت مشهد در حد فاصل رشته‌کوه‌های کپه‌داغ در شمال و بینالود در جنوب قرار گرفته است. این شهر بین°۳۶ و ´۱۴ تا´۴۸°۳۶ عرض‌شمالی و´۳۵ °۵۹ تا´۷۴ °۵۹ طول شرقی، در استان خراسان رضوی واقع گردیده است. شهرستان مشهد بالغ بر ۱۰۳۲۹ کیلومتر مربع وسعت دارد. مشهد دومین شهر بزرگ کشور و مهم‌ترین مرکز جمعیتی شمال شرق ایران است (شکل ۱).

1. Cheng
2. Nastos & Matzarakis
3. Omonijo
4. Ondo

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر از داده‌های هواشناسی درجه حرارت، سرعت باد، فشار بخار آب، ابرناکی، رطوبت نسبی (تهیه شده از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد) بصورت روزانه در بازه زمانی (۱۳۹۲-۱۳۸۲) استفاده شده است. برای محاسبه شاخص UTCI ابتدا مقدار درجه حرارت تابشی (Tmrt) از طریق نرم‌افزار Ray man محاسبه و خروجی‌های حاصل وارد نرم‌افزار Bioklima شدند. شاخص PMV نیز بصورت روزانه از خروجی‌ها نرم‌افزار ریمن[1] می‌باشد که محاسبه و مقادیر این شاخص‌ها بصورت روزانه برای شهر مشهد محاسبه گردید و آستانه‌های تنش حرارتی در دوره مطالعه استخراج شدند، سپس این مقادیر وارد مدل شبکه‌های عصبی عمیق گردید و پیش‌بینی مقادیر این شاخص‌ها انجام شد. در مرحله بعدی آستانه‌های حاصل از مقادیر آزمون و آموزش نیز استخراج شدند. سپس همبستگی بین شاخص UTCI و PMV نیز مورد محاسبه قرار گرفت.

تحلیل مقادیر ارزیابی شده شاخص‌های آسایش حرارتی

شرایط آسایش حرارتی، مجموعه شرایط حرارتی است که حداقل برای ۸۰ درصد از افراد مناسب باشد (ساری-صراف و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۱). راحتی و سلامتی انسان در محیط طبیعی رابطه مستقیم با وضعیت اقلیمی از قبیل درجه حرارت، رطوبت، تابش آفتاب و باد دارد (قنبری و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۰). شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسان که از معادله بیلان انرژی بدن انسان مشتق گردیده‌اند، امروزه در مطالعات زیست اقلیم جایگاه ویژه‌ای دارند (ذوالفقاری، ۱۳۸۶: ۱۴۲)؛ که از جمله این شاخص‌ها، شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET)، سوزباد، بیکر، ماهانی و غیره می‌باشد. بررسی علمی و مدون شرایط راحتی آب و هوایی انسان به دهه ۵۰ و ۶۰ قرن بیستم باز می‌گردد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۰: ۲۰۴) اولگی[2] اولین کسی بود که در سال ۱۹۶۳

1. Rayman
2. Olgay

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

یک نمودار زیست- اقلیمی ارائه نمود که این نمودار بر اساس داده‌های آب و هوایی جهت برآورد نیازهای آسایش حرارتی انسان طراحی شد. فانکر[1] در سال ۱۹۷۲ نیز تحقیق کامل و جامعی در مورد تأثیر عناصر آب و هوایی بر احساس راحتی گرمایی انجام داد، بعد از آن میک‌ژوسکی[2] ۱۹۸۵ به منظور بررسی وضعیت اقلیم گردشگری در رابطه با سلامتی، نقش هر یک از عناصر اقلیمی بر بدن انسان را تشریح کرد. اولین مطالعات در ایران نیز در این زمینه به تهیه اولین نقشه زیست‌شناسی اقلیمی برمی‌گردد که توسط عدل در ۱۳۳۹ انجام شده است و بعد از آن مطالعات گوناگونی در زمینه آسایش حرارتی انسان انجام شد (ساری‌صراف، ۱۳۸۹: ۱۰۳).

شاخص اقلیم حرارت جهانی(UTCI[3])

در سال ۱۹۹۹ انجمن بین‌المللی بیومتئورولوژی[4] کمیسیونی جهت توسعه شاخص جهانی اقلیم حرارتی تأسیس نمود که هدف این شاخص استخراج یک شاخص حرارتی بر اساس پیشرفته‌ترین مدل‌های ترموفیزیولوژیکی[5] بود. بعد از آن در سال ۲۰۰۵ این تلاش‌ها توسط سازمان همکاری‌های توسعه فناوری و علوم اروپا (COST[6]) با کارشناسان برجسته در زمینه‌های مختلف شامل ترموفیزیولوژی انسان، مدل‌سازی فیزیولوژیکی، و اقلیم‌شناسی تقویت شد. این شاخص بعنوان درجه‌حرارت شرایط مرجع که منجر به پاسخ مدل مشابه در شرایط مساوی می‌شود شناخته شده است. مقدار شاخص به درجه‌حرارت، سرعت باد، رطوبت نسبی و میانگین درجه‌حرارت تابشی بستگی دارد که به صورت زیر نوشته می‌شود (Blazejczyk et al, 2013: 7):

رابطه (۱): $$UTCI = f(Ta;Tmrt;Va;vp) = Ta + offset(Ta;Tmrt;Va;vp)$$

نهایتاً این شاخص قصد دارد تا کمیت تک‌بعدی واکنش‌های فیزیولوژیکی انسان نسبت به شرایط حرارتی واقعی را منعکس نماید. همانگونه که اشاره شد، الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، تکنیکی است که قابلیت یادگیری دارد، مشکل عدم قطعیت را حل نموده و می‌تواند در پیش‌بینی دقیق وضعیت آب و هوا مورد استفاده قرار گیرد. مراحل پیاده‌سازی روش پیشنهادی در این مقاله، در شکل (۲) به صورت یک روندنما به نمایش در آمده است. مقادیر مختلف شاخص UTCI از نظر تنش‌های حرارتی طبقه‌بندی شده‌اند. این طبقه‌بندی‌ها در واقع بر اساس پاسخ‌های فیزیولوژیکی جاندار نسبت به شرایط محیطی واقعی انجام گرفته است؛ به گونه‌ای که این پاسخ‌ها در شرایط مرجع و با کاهش بار گرمایی یا سرمایی ایجاد می‌شوند. جدول (۱) طبقه‌بندی‌های این شاخص را بر اساس معیارهای اقلیمی و فیزیولوژیکی نشان می‌دهد (Blazejczyk et al, 2013: 7).

1. Fanker
2. Mieczkowski
3. Universal Thermal Climate Index
4. Biomethurrology
5. Thermo-physiological
6. Cooperation in Science and Technical Development

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

جدول (۱). آستانه‌های تنش حرارتی شاخص UTCI

شرایط تنش حرارتی	UTCI (°C)
تنش گرمایی شدید	بالاتر از ۴۶
تنش گرمای بسیار زیاد	۴۶ تا ۳۸
تنش گرمایی زیاد	۳۸ تا ۳۲
تنش گرمایی متوسط	۳۲ تا ۲۶
بدون تنش حرارتی	۲۶ تا ۹
تنش سرمایی اندک	۹ تا ۰
تنش سرمایی متوسط	۰ تا ۱۳-
تنش سرمایی زیاد	۱۳- تا ۲۷-
تنش سرمایی بسیار زیاد	۲۷- تا ۴۰-
تنش سرمایی شدید	پایین‌تر از ۴۰-

این شاخص بر اساس رابطه (۲) نیز قابل محاسبه می‌باشد:

رابطه (۲): $$UTCI = 3.21 + 0.872.T + 0.2459.Tmrt + \left(-2.5078.V\right) - 0.0176.RH$$

در رابطه فوق T: درجه حرارت به سانتی‌گراد، $Tmrt$: میانگین درجه حرارت تابشی به سانتی‌گراد، V: سرعت باد به متر بر ثانیه و RH: رطوبت نسبی به درصد می‌باشند (Błażejczyk, 2011:81).

یکی از داده‌های ورودی دخیل جهت محاسبه UTCI میانگین درجه حرارت تابشی (Tmrt) است. این ورودی ویژگی اثر حرارتی تابش خورشیدی و درجه‌حرارت را بر روی انسان بیان می‌کند و نشان‌دهنده دمای یک سطح یکنواخت از یک محوطه فرضی است که شخص را احاطه کرده است که بر اساس رابطه (۳) قابل محاسبه است:

رابطه (۳): $$Tmrt = \left[\left(R' + 0.5.Lg + 0.5.La\right) \Big/ \left(S_h.S\right)\right]^{0.25} + \left(-273\right)$$

در رابطه (۳) R': تابش خورشیدی جذب شده توسط انسان برهنه، Lg: تابش زمین، La: تابش برگشتی، S_h: ضریب قابلیت انتشار برای بدن انسان که برابر ۰/۹۵ می‌باشد، S: ثابت استفان بولتزمان $\left(5.667\times10^{-8} W.m^{-2}..k^{-4}\right)$ (Błażejczyk, 2011: 81).

شاخص متوسط نظر سنجی پیش‌بینی شده (PMV[1])

این شاخص آسایش ابتدا توسط فانگر در سال ۱۹۷۰ مطرح شد. از جمله مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژی- دما محسوب می‌شود که علاوه بر مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای در مطالعات مربوط به آب و هواشناسی نیز کاربرد فراوانی پیدا کرده است (Fanger, 1970; Olesen, 1982).

1. Predicted Mean Vote

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

رابطه شاخص PMV فانگر یک مدل ریاضی است که اثرات ترکیبی کمیت‌های درجه‌حرارت، میانگین درجه‌حرارت تابشی، سرعت باد، مقاومت حرارتی لباس و سطوح رطوبت را مد نظر قرار می‌دهد. این شاخص سطوح آسایش حرارتی انسان را در شرایط آب و هوایی بیرون از خانه (در محیط) مورد بررسی قرار می‌دهد (Fanger, 1970; van Hoof, Kort, Hensen, Duijnstee, & Rutten, 2010). جهت محاسبه این شاخص رابطه (۴) استفاده می‌شود.

رابطه (۴):

$$PMV = \left(0.352e^{-0.042\left(\frac{M}{A_{Du}}\right)} + 0.032\right)\left[\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta)\right] - 0.35\left[43 - 0.061\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) - P_a\right] - 0.42\left[\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) - 50\right] - 0.023\frac{M}{A_{Du}}(44 - P_a) - 0.0014\frac{M}{A_{Du}}.(34 - T) - 3.4\times10^{-8} f_{cl} \times\left[(T_{cl}+273)^4 - (T_{mrt}+273)^4\right] - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a)$$

در رابطه (۴)، T_{mrt} میانگین درجه‌حرارت تابشی، T_{cl} دمای سطح بیرونی بدن پوشیده شده، f_{cl} عامل قسمت پوشیده شده بدن، M نرخ سوخت و ساز بدن، A_{Du} قسمت برهنه بدن(که توسط DuBois مطرح شد) می‌باشد (Handbook, 2009: 112).

رابطه (۵):

$$T_{cl} = 35.7 - 0.032\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) - 0.18 I_{cl}\left[3.4\times10^{-8} f_{cl}\left[(T_{cl}+273)^4 - (T_{mrt}+273)^4\right] + f_{cl} h_{cl}(T_{cl} - T_a)\right]$$

در رابطه (۵) I_{cl} نسبت راندمان نفوذ تبخیر به لباس از تبخیر واقعی است. h_c ضریب واقعی انتقال حرارت که از طریق رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

رابطه (۶):

$$h_c = \begin{cases} 2.05(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 10.4\sqrt{\upsilon} \rightarrow h_c = 10.4\sqrt{\upsilon} \\ 2.05(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 10.4\sqrt{\upsilon} \rightarrow h_c = 2.05(T_{cl} - T_a)^{0.25} \end{cases}$$

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

الگوریتم بیشینه‌سازی(EM[1])

پیش پردازش

زمانی که مشاهدات ناقص هستند، استفاده از الگوریتم بیشینه‌سازی انتظار می‌تواند در افزایش دقت اثرگذار باشد و این تکنیک رویکردی متناسب جهت محاسبه برآوردهای احتمال بیشینه‌سازی به حساب می‌آید (Ahmed & Elaraby, 2014; Rutkowski, Jaworski, Pietruczuk, & Duda, 2014). این الگوریتم از دو گام کلی تشکیل شده است؛ در مرحله نخست، میزان انتظار داده‌ها به صورت آماری محاسبه می‌گردد و در مرحله بعدی، بیشینه‌سازی انجام می‌پذیرد. الگوریتم EM تا زمانی تکرار می‌شود تا مرزی مشخص از همگرایی بهینه رخ دهد. الگوریتم EM برای تحقق پارامتر دستیابی به حداکثر احتمال کاربرد دارد. معیار توقف الگوریتم، حداکثر تعداد تکرارها در حد زمانی محاسبه می‌باشد. یا به عبارتی دیگر کمترین میزان خطا معیار توقف به حساب می‌آید. کاهش میزان خطا به دلیل اینکه محاسبه کامل بر روی داده‌ها انجام می‌گیرد به سادگی امکان‌پذیر است با استفاده از رابطه (۷) پیاده‌سازیالگوریتم قابل اجرا می‌باشد:

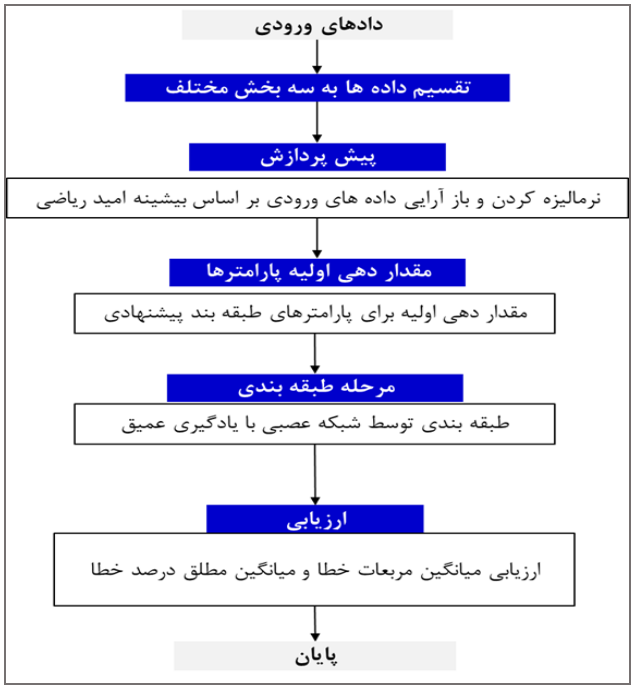
رابطه (۷):

$$E[w_{ij}] = \frac{p(a = a_i \mid \mu = \mu_j)}{\sum_{n=1}^{k} p(a = a_i \mid \mu = \mu_n)} = \frac{e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(a_i - \mu_j)^2}}{\sum_{n=1}^{k} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(a_i - \mu_n)^2}}$$

امید یا انتظار ریاضی داده w برابر احتمال وقوع داده aام به شرط وقوع میانگین jام (μj) بخش بر مجموع تمام n نمونه با همان روش محاسبه احتمال شرطی است. عملاً این کار جهت بالا بردن دقت طبقه‌بندی و به جهت افزایش قدرت تصمیم‌گیری صورت می‌پذیرد (شکل ۲).

[1] Expectation–maximization algorithm

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

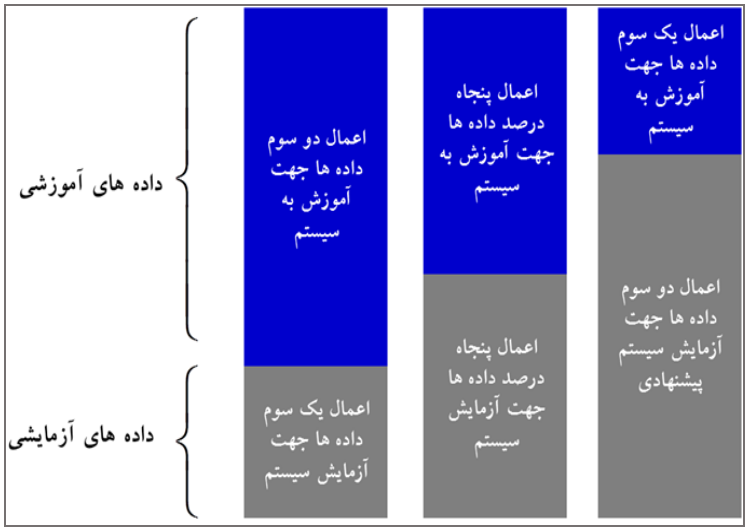


شکل (۲). ارائه راهکار پیشنهادی در پیش‌بینی وقوع شرایط آسایش حرارتی انسان به صورت هوشمند

تقسیم بندی داده‌ها

اعتبارسنجی ضربدری که گاهی از آن با نام تخمین گردشی نیز نام می‌برند، روشی جهت ارزیابی عملکرد یک سیستم هوشمند است. این تکنیک، مشخص می‌سازد که نتایج یک تحلیل آماری بر روی یک مجموعه داده تا چه اندازه می‌تواند قابلیت تعمیم داشته باشد و به دنبال کشف میزان استقلال داده‌های آموزشی است. بطور عمده می‌توان از آن در کاربردهای پیش‌بینی استفاده نمود تا مشخص شود مدل مورد نظر تا چه اندازه در عمل مفید خواهد بود. بطور کلی یک دور از اعتبارسنجی ضربدری شامل افراز داده‌ها به دو زیر مجموعه مکمل شامل داده‌های آموزشی و داده‌های اعتبارسنجی یا آزمایش است. برای کاهش پراکندگی، عمل اعتبار سنجی چندین بار با افرازهای مختلف انجام و از نتایج اعتبارسنجی‌ها میانگین گرفته می‌شود. یکی از روش‌های اعتبارسنجی سودمند، تکنیک Hold-out است که در آن داده‌ها به دو بخش آموزشی و آزمایشی و با نسبت‌های مختلفی افراز می‌شوند. نحوه تقسیم داده‌ها توسط این نوع اعتبار سنجی عبارتند از: الف) آموزش سیستم توسط دو سوم داده‌ها و آزمایش توسط یک سوم مابقی؛ ب) آموزش سیستم توسط پنجاه درصد از داده‌ها و آزمایش توسط پنجاه درصد مابقی و ج) آموزش سیستم توسط یک سوم داده‌ها و آزمایش توسط دو سوم مابقی. نحوه تقسیم داده‌ها جهت پیش‌بینی آب و هوا مطابق با شکل (۳) به نمایش درآمده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]



شکل (۳). نحوه تقسیم داده‌ها جهت آموزش و آزمایش سیستم پیشنهادی با تقسیمات مختلف داده

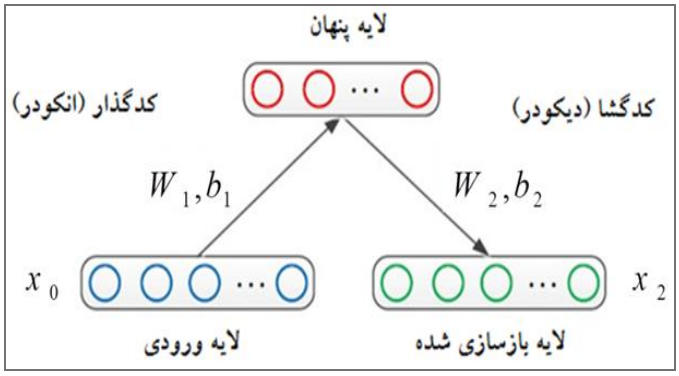
شبکه عصبی عمیق(DNN[1])

تکنیک شبکه عصبی مصنوعی یک سامانه پردازشی داده‌ها محسوب می‌شوند که از مغز انسان الهام گرفته و پردازش داده‌ها را به عهده پردازنده‌های کوچک و بسیار زیادی سپرده که به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مسئله را حل نمایند. این تکنیک یک معماری عمیقی از شبکه‌ها را با توابع پیچیده به کار می‌گیرد تا تعداد لایه‌ها و واحدها در یک لایه افزایش دهد (Liu et al, 2017: 20). در این شبکه‌ها به کمک دانش برنامه‌نویسی، ساختار داده‌ای طراحی می‌شود که می‌تواند همانند نورون عمل کند؛ که به این ساختار داده نورون گفته می‌شود. بعد با ایجاد شبکه‌ای بین این نورون‌ها و اعمال یک الگوریتم آموزشی به آن، شبکه را آموزش می‌دهند (Aryal & Gutierrez-Osuna, 2016; Hinton, 2012).

یکی از مدل‌های جدید در این زمینه، مدل شبکه عصبی با امکان یادگیری عمیق است. مدل‌های شبکه عمیق توسعه یافته نوعی از مدل‌های شبکه عصبی برای یادگیری تبدیل غیرخطی روی داده‌ها هستند. در این مدل‌ها علاوه بر کدگذاری در هر لایه یک کدگشا نیز وجود دارد. مدل‌های مبتنی بر ماشین بولتزمان محدود شده در هر لایه یک مدل احتمالی مولد دارند، که به صورت خودکار نقش کدگشا را بازی می‌کند. به عبارت دیگر تفاوت اساسی مدل‌های شبکه عمیق با شبکه عصبی این است که در هر لایه سعی می‌کنند قابلیت بازسازی داده را حفظ کنند یا شبیه مدل‌های RBM با مدل کردن توزیع داده‌ها در هر لایه، اطلاعات فضای ویژگی را حفظ کنند (Hinton et al, 2006). نمونه‌ای از این مدل در شکل (۴) به نمایش درآمده است.

1. Deep Neural Network

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

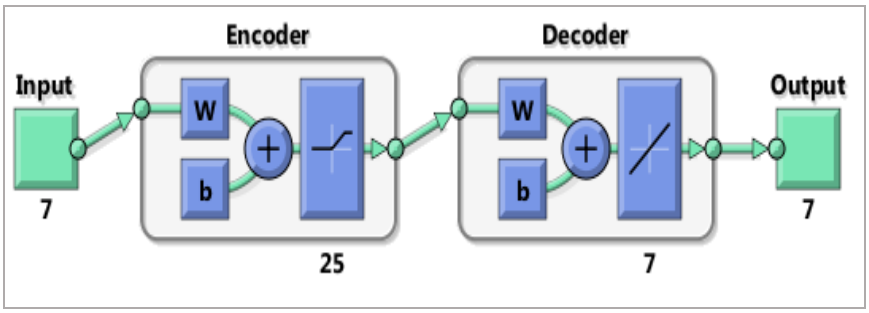


شکل (۴). ساختار شبکه عصبی عمیق

در نوع استاندارد ماشین بولتزمان محدود شده معمولاً لایه داده آشکار و لایه نهان به‌صورت متغیرهای تصادفی دودویی مدل می‌شوند و توزیع شرطی متغیرها به‌صورت برنولی است.

نتایج

داده‌ها، مجموعه‌ای از داده‌های مشاهده‌ای بر اساس اطلاعات ایستگاهی بصورت روزانه شامل (درجه‌حرارت، رطوبت و سرعت باد) در طی بازه زمانی (۱۳۹۲-۱۳۸۲) بود که بر اساس این پارامترها ابتدا شاخص‌های آسایش حرارتی منطبق بر بازه زمانی محاسبه و با توجه به پارامتر زمان وارد مدل شبکه عصبی گردید. این داده‌ها از ۳ ورودی با مقادیر مختلف زمان (سال، ماه و روز) شاخص حرارتی UTCI و PMV تشکیل شده‌اند.
داده‌های ورودی وارد الگوریتم یکپارچه شدند و در گام نخست وارد فرایند پیش‌پردازش شدند. در این مرحله با استفاده از الگوریتم بیشینه امید ریاضی، داده‌ها بازآرایی گردید. پارامترهای مدل RBM به‌گونه‌ای پیدا می‌شود که احتمال تولید داده‌ها را بیشینه کند و می‌توان آن را از دسته مدل‌های تولید کننده برشمرد که مقدار درست نمایی را حداکثر می‌کنند. ساختار شبکه پیشنهادی شبکه عصبی عمیق مطابق شکل (۵) به نمایش درآمده است. در مدل RBM پیشنهادی فرض می‌کنیم، در مدل MRF هر متغیر به شرط همسایگانش از بقیه متغیرها مستقل است. در RBM همسایه‌های متغیرهای یک لایه تمام گره‌های لایه مقابل است.



شکل (۵). ساختار شبکه عصبی عمیق پیشنهادی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

در این پیکره، تعداد نرون‌های لایه ورودی، لایه مخفی در کدگذار، لایه کدگشا و لایه خروجی به ترتیب برابر ۷ نورون، ۲۵ نورون، ۷ نورون و ۷ نورون است. معیارهای میانگین مربعات خطای استاندارد (MSE) و میانگین مطلق درصد خطا (MAPE) که مطابق روابط (۸) و (۹) بیان می‌شوند، در آنالیز ورودی‌ها توسط الگوریتم یکپارچه محک خوردند و مقادیر مطابق جدول (۲) و (۳) ارائه شدند.

رابطه (۸):

$$MAPE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|T_i - P_i|}{T_i}\times 100$$

رابطه (۹):

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(T_i - P_i)^2$$

در این دو معادله، T_i و P_i به ترتیب مقادیر واقعی خروجی و مقادیر پیش بینی شده توسط الگوریتم است. علاوه بر محاسبه دو فاکتور میانگین مربعات خطای استاندارد و میانگین مطلق درصد خطا، خطای بیشینه و کمینه نیز محاسبه شده و نتایج حاصل از اعتبارسنجی چندلایه‌ای Hold out برای هر چهار محک برآورد گردید. لذا جداول (۲) و (۳)، خروجی‌ها را برای حالت انتخاب ویژگی و به ترتیب برای مراحل آموزش و آزمایش نمایش می‌دهند؛ چون خروجی‌ها مرکب از ۴ شاخصه رگرسیونی است، لذا برای هر چهار شاخصه، محک‌ها جداگانه محاسبه شده‌اند. به طور متوسط با اعمال الگوریتم، خروجی‌ها در مراحل آموزش و آزمایش به ترتیب برای محک‌های MSE و MAPE با ٪۷/۵۶ و ٪۴/۷۸ مقدار داشتند و نشان از آن دارد که الگوریتم تا حد مناسبی می‌تواند در دستیابی به خروجی‌های مطلوب‌تر و پیش‌بینی شرایط آسایش اقلیمی موثر واقع گردد. تقسیمات مطابق شکل (۳) صورت می‌پذیرد و تقسیم ۱، تقسیم ۲ و تقسیم ۳ به ترتیب نمایانگر اعمال دو سوم داده‌ها برای آموزش (یک سوم مابقی برای آزمایش)، پنجاه درصد آموزش (پنجاه درصد مابقی برای آزمایش) و اعمال یک سوم داده‌ها برای آموزش (دو سوم مابقی برای آزمایش) تعبیر می‌شود. این تقسیم‌بندی در هر دو گام آموزش و آزمایش نظیر به نظیر رخ می‌دهد و همچنین، هر مرحله دوبار تکرار خواهد شد.

جدول (۲). محاسبه محک‌های خطای کمینه، خطای بیشینه، MSE و MAPE در مرحله آموزش داده‌ها به روش اعتبارسنجی Hold-out

	تکرار	تقسیم داده ها	MSE (با مقیاس 10^{-6})							MAPE (با مقیاس 10^{-4})						
مرحله آموزش	تکرار اول	تقسیم به روش ۱	۲/۱۵	۴/۶۸	۵/۱۹	۳/۸۸	۲/۸۷	۸/۰۶	۸/۷۴	۰/۳	۲۰۰	۱۳۱	۴۳۴	۷۲۴	۴۴۳	۳۵۴
		تقسیم به روش ۲	۷/۴۱	۷/۸۴	۲/۰۵	۴/۲۳	۳/۸۲	۲/۰۳	۲/۱۸	۰/۵۸	۱۸۳/۸	۶۶/۵۵	۱۹۶/۱	۲۸۵/۹	۱۷۸	۱۷۰
		تقسیم به روش ۳	۳/۵	۰/۶۸	۱/۵	۱/۹۷	۴/۲۹	۱/۲۵	۱/۹۱	۱	۱۲۸	۱۲۰	۷۹	۷۳۴	۲۷۷	۷۷
	تکرار دوم	تقسیم به روش ۱	۷/۵۶	۶/۷۹	۶/۶۸	۱۶/۳	۲۵/۴۰	۱۱/۲۵	۶/۴۷	۰/۳۵	۶۷/۷	۴۳	۸۹	۱۴۵	۲۵/۶	۱۲۳
		تقسیم به روش ۲	۷/۲۳	۸/۱۲	۲/۶۷	۳/۸۷	۳/۹۸	۲/۴۷	۳/۳۰	۰/۴۴	۱۵۴/۴	۷۴/۵۵	۱۸۸/۳	۲۶۵/۳	۱۸۲	۱۶۵
		تقسیم به روش ۳	۲/۸۲	۱/۶	۱/۰۹	۱/۶۱	۴/۴۳	۱/۲۲	۰/۸۹	۱	۸۳	۳۸	۵۹	۱۲۲	۱۰۵	۶۵
		میانگین														

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

جدول (۳). محاسبه محک‌های خطای کمینه، خطای بیشینه، MSE و MAPE در مرحله آزمایش داده‌ها به روش اعتبارسنجی Hold-out

مرحله آموزش	تکرار	تقسیم داده ها	MSE (با مقیاس 10^{-6})							MAPE (با مقیاس 10^{-3})						
			۹/۰۱	۱۱/۰۲	۴/۳	۶۸	۳/۵۴	۳۱	۶۰	۷	۴۲/۲	۷۳۸	۱۸۱	۷۸۰	۷۷۹	۱۲۴
	تکرار اول	تقسیم به روش ۱	۷/۷۵	۸/۰۹	۲/۱۵	۱۳/۷۵	۳/۸۶	۳/۰۹	۴/۱۴	۱	۱۸/۵	۶/۷	۲۲/۷	۱۳۷	۱۷/۴	۱۸/۳
		تقسیم به روش ۲	۳	۷	۸	۲۷	۲	۴/۲	۴۹	۵	۱۷۲	۱۱۳	۶۹۸	۹۴۵	۱۰۸۰	۱۶۲۲
		تقسیم به روش ۳	۸/۱۸	۶/۰۵	۷	۱۴۶	۲۳	۷۰	۵۱	۲	۱۱/۴	۱۰	۱۳۵	۲۴۰	۳۴۳	۸۹/۸
	تکرار دوم	تقسیم به روش ۱	۷/۴۵	۷/۴۶	۲/۱۳	۱۴/۱۱	۳/۷۶	۲/۹۶	۳/۸۷	۱/۲	۲۲	۸/۳۴	۲۰/۴۴	۱۱۲	۱۲/۱	۱۷/۹
		تقسیم به روش ۲	۵۰	۳۱	۸۵	۲۳۰	۱۰	۶۰	۴۵	۶	۱۰۸	۲۴۵	۳۹۷	۴۷۷	۲۶۹	۲۳۱
		میانگین														

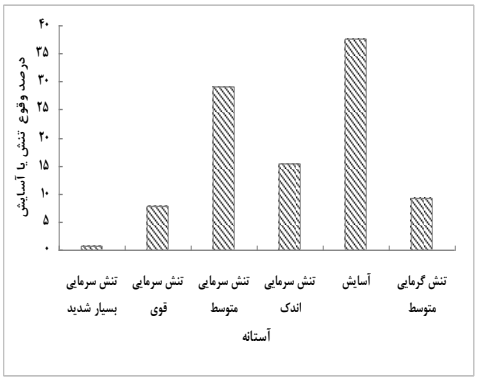
در مرحله آموزش، محک‌های چهارگانه خطای کمینه، خطای بیشینه، MSE و MAPE به ترتیب مقادیری میانگین و برابر با ۰/۰۴۱، ۱۶/۵۶، ۰/۴۰۵ و ۰/۲۱۱ حاصل آمدند. طبیعی است که در مرحله آزمایش، این مقادیر به بهینگی مقادیر مرحله آموزش نباشند، چرا که ما از داده‌های دیده نشده قصد پیش بینی را داریم. به همین ترتیب، مقادیر میانگین برای این طبقه‌بندی در مرحله آزمایش برابر با ۰/۴۹۷، ۱۷/۳۷، ۲/۳ و ۰/۳۴۴ است. پیش بینی وازایشی را برای مجموعه داده‌ها در مجموعه جداول (۲) و (۳) نمایش دادیم که مرکب از اعمال الگوریتم پیشنهادی است. برای هر تقسیم‌بندی داده‌ها از اعتبارسنجی متقاطع استفاده شد و خطای متوسط برای هریک محاسبه گردید.

میزان شاخص UTCI و PMV از حیث طبقات تنشی در داده‌های مشاهده شده، استخراج شد. کمترین و بیشترین مقادیر UTCI به ترتیب در ماه‌های دی، بهمن و مرداد به وقوع پیوسته است که این مقدار شامل تنش‌های سرمایی شدید با درصد وقوع کم، تنش سرمایی متوسط و تنش گرمایی متوسط با درصد بیشتر مشخص شده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی این شاخص توسط شبکه‌های عصبی در بخش پیش‌بینی شده آزمون نیز بیانگر این مطلب است که میزان تنش‌های سرمایی افزایش یافته و از میزان درصد روزهای با شرایط بدون تنش و دارای آسایش کاسته شده است. همچنین در بخش داده‌های آموزش نیز نشانگر افزایش درصد وقوع تنش سرمایی متوسط می‌باشد. (شکل۶، ۷ و ۸) در این ماه‌ها احتمال عدم آسایش انسان به دلیل قرارگیری در برابر سرما و آسیب دیدن بافت‌های بدن، وقوع فیبریلاسیون بطنی[۱]، و دیگر بیماری‌های مختلف و مرگ و میر وجود دارد. همچنین اثر استرس‌زای دما بر مرگ و میر توسط محققان فراوانی به اثبات رسیده است

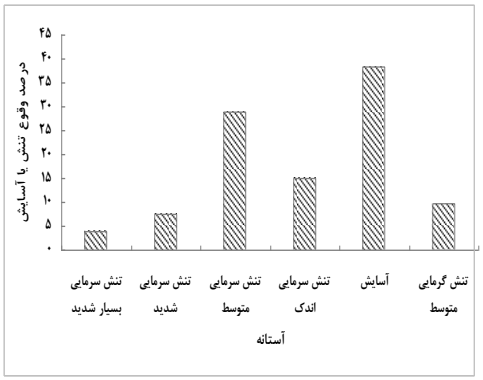
۱. عضله قلب از بافت خاصی بنام بافت مخطط قلبی ساخته شده که از تعداد زیادی تارهای عضلانی تشکیل شده در حالت عادی انتقال جریان الکتریکی درونی قلب به این بافت منجر به انقباض هماهنگ تمام این تارها شده و بطن‌ها ودهلیزها بطور هماهنگ منقبض ومنبسط شده و ضربان هماهنگ و منظم قلب را ایجاد می‌کنند، اما در فیبریلاسیون بطنی این نظم وهماهنگی از بین می رود وهر تار عضلانی بطور مستقل منقبض میگردد درنتیجه عملا" هیچ ضربانی وجود ندارد وقلب از کار می افتد که در صورت ادامه این وضعیت مرگ شخص حتمی است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

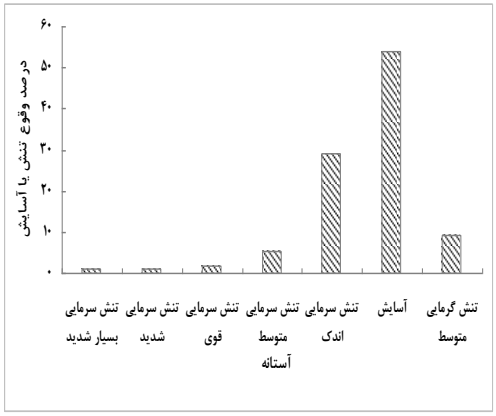
(Carder et al., 706:2005). به این‌صورت که هر قدر دما از محدوده آسایش انسان بیشتر فاصله گیرد، میزان استرس نیز افزایش می‌یابد (Farajzadeh Asl, Darand, & Faghihzadeh, 2009; Marmor, 1975).



شکل (۶). درصد وقوع شاخص UTCI در شبکه عصبی بخش آموزش



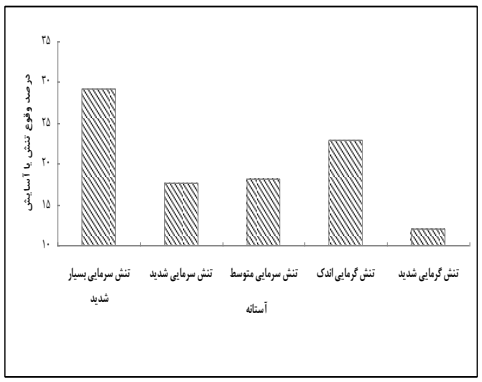
شکل (۷). درصد وقوع شاخص UTCI در شبکه عصبی بخش آزمون



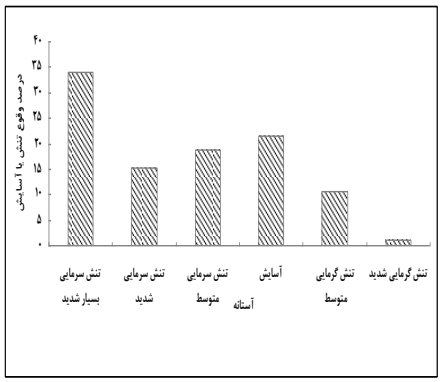
شکل (۸). درصد وقوع شاخص UTCI در داده‌های مشاهده شده

نتایج حاصل از استخراج طبقات تنشی شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده در داده‌های مشاهده شده نشان می‌دهد که در بازه زمانی مورد مطالعه بطور میانگین در چهار ماه از سال شرایط تنش سرمایی شدید وجود دارد. و تنش گرمایی تنها در تیرماه قابل مشاهده است که احتمال وقوع حمله گرمایی، کرامپ عضلانی ناشی از گرما، سینکوب(غش گرمایی) و هیپوترمیای بدن در این ماه وجود دارد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی این شاخص توسط شبکه‌های عصبی نیز نشان می‌دهد این شاخص در داده‌های هر دو بخش آزمون و آموزش تنش سرمایی بسیار شدید بالاترین درصد را به خود اختصاص داده است. در حالی که در داده‌های مشاهده شده تنش گرمایی بیشترین درصد وقوع را داشته است. میزان شرایط آسایش توسط شبکه عصبی بیشتر از مشاهده شده‌ها می‌باشد.

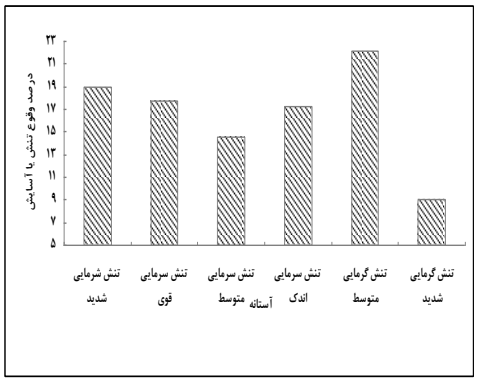
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]



شکل (۹). درصد وقوع شاخص PMV در شبکه عصبی بخش آموزش



شکل (۱۰). درصد وقوع شاخص PMV در شبکه عصبی بخش آزمون



شکل (۱۱). درصد وقوع شاخص PMV در داده‌های مشاهده شده

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر، به دلیل اهمیت عناصر آب و هوایی در آسایش انسان و به جهت کاهش تنش‌های حرارتی (سرمایی و گرمایی) و بیماری‌های ناشی از آن در شهر مشهد انجام شده است. با توجه به مطالعه براگا[1] و همکاران(۲۰۰۲) و هامپل[2] و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر وجود ارتباطات قوی مرگ و میر بیماری‌های تنفسی (ذات‌الریه ویروسی، آنفولانزا، پنومونی) با درجه حرارت سرد، نتایج مطالعه حاضر نیز نشان می‌دهد که بررسی شاخص جهانی اقلیم حرارتی و متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده که یک مدل ترموفیزیولوژیکی در آسایش انسان به حساب می‌آیند نیز در شهر مشهد جهت مشخص کردن ایام دارای آسایش حرارتی برای افراد آسیب‌پذیر در برابر تنش‌های حرارتی نیز مناسب می‌باشد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین تنش‌های سرمایی شدید بر اساس شاخص PMV در فصل زمستان و اواخر فصل پاییز به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، یورش توده‌های هوای سرد(به ویژه زبانه پرفشار سیبری) ، طول دوره یخبندان و ورود بادهای غربی که در ایام سرد سال به این منطقه می‌رسند، به وقوع پیوسته است و تنش‌های گرمایی شدید نیز بر اساس هر دو شاخص

1. Braga
2 Hampel

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

در ماه‌های گرم سال(تیر و مرداد) رخ داده است در این ماه‌ها تمام کشور ایران تحت تسلط پرفشار جنب‌حاره‌ای آزور که با خود هوای گرم و خشک به همراه دارد، قرار دارند و باعث ایجاد تنش‌های گرمایی شدید می‌شود. همچنین نتایج حاصل از پیش‌بینی توسط شبکه عصبی نیز نشان داد که شاخص UTCI با داده‌های ورودی فاصله چندانی ندارد در حالیکه در پیش‌بینی شاخص PMV وضعیت اینگونه نیست.

آنچه که مشخص است، تقسیم داده‌ها توانسته تا حد زیادی از میزان خطای مثبت بکاهد، دقت را افزایش دهد و ویژگی را فزونی بخشد. بنابراین آموزش با تعداد برابر داده‌های لرزش و عدم لرزش می‌تواند منجر به بهینگی سیستم شود. در روش پیشنهادی از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان و با انتخاب ۶ ویژگی، ابعاد بردار ویژگی‌ها تقریباً یک سوم شده و می‌توان متغیر تعداد ویژگی را به عنوان یک پارامتر قابل تنظیم در نظر گرفت که اثر آن در خروجی و بهینگی مشهود است. طبقه‌بندی با استفاده از ماشین با امکان یادگیری افراطی که از دسته شبکه‌های عصبی مصنوعی است و لیکن از عملکرد آن و نیز شبکه‌های عصبی در پاره‌ی از موارد موثرتر است، استفاده شده است. دقت‌های مراحل آموزش و آزمایش به ترتیب در بالاتر از ۹۵٪ و ۹۴٪ قرار دارد و حاکی از آن است که مجموعه الگوریتم پیشنهادی قابلیت عملکرد مناسبی دارد.

منابع

حجازی‌زاده، زهرا، کربلایی، غلیرضا، (۱۳۹۵)، **مقدمه‌ای بر اقلیم آسایش حرارتی و شاخص‌های آن**، نشر آکادمیک و انجمن جغرافیایی ایران.

ذوالفقاری، حسن، (۱۳۸۶)، **تعیین تقویم زمانی مناسب برای گردش در تبریز با استفاده از شاخص‌های دمای معادل فیزیولوژیک و متوسط نظر سنجی پیش‌بینی شده**، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹ (۶۲): ۱۲۹- ۱۴۱.

ساری‌صراف، بهروز؛ محمدی، غلام‌حسن؛ حسینی صدر، عاطفه، (۱۳۸۹)، **تعیین مناسب‌ترین شاخص Ray Man برای مطالعه اقلیم آسایش در شمال استان آذربایجان غربی**، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، صفحه‌های ۱۰۰ تا ۱۰۲.

سازمان هواشناسی کشور، (۱۳۸۰)، **گزارش نهایی پروژه اقلیم و گردشگری استان آذربایجان غربی**، صفحات ۲۴۶.

قنبری، عبدالرسول، عفیفی، محمدابراهیم، صادقی، غلامرضا، (۱۳۸۹)، **نگرشی بر ارزیابی آسایش انسانی در شهر لار با توجه به شاخص‌های زیست اقلیمی**، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۳ (۱۰): ۹۳- ۱۰۹.

Ahmed, A. B. E. D., & Elaraby, I. S, 2014, **Data Mining: A prediction for Student's Performance Using Classification Method**. World Journal of Computer Application and Technology, 2(2), 43-47 .

Arens, E. A., Gonzalez, R., & Berglund, L, 1986, **Thermal comfort under an extended range of environmental conditions**. ASHRAE Transactions, 92 .

Aryal, S., & Gutierrez-Osuna, R, 2016, **Data driven articulatory synthesis with deep neural networks**. Computer Speech & Language, 36, 260-273 .

Basu, R, 2009, **High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008**. Environ Health, 8(1), 40-56.

Blażejczyk, K, 2011, Assessment **of regional bioclimatic contrasts in Poland. Miscellanea** Geographica-Regional Studies on Development, 15: 79-91 .

Błażejczyk, K, 2011**, Mapping of UTCI in local scale (the case of Warsaw)**. Prace i Studia Geograficzne WGSR UW, 47, 275-283 .

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., & Tinz, B, 2012, **Comparison of UTCI to selected thermal indices**. International Journal of Biometeorology, 56(3), 515-535 .

Blazejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., Kampmann, B, 2013, **an introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI)** .

Braga, A. L., Zanobetti, A., & Schwartz, J, 2002, **the effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 US cities**. Environmental Health Perspectives, 110(9), 859 .

Carder, M., McNamee, R., Beverland, I., Elton, R., Cohen, G., Boyd, J., & Agius, R, 2005, **the lagged effect of cold temperature and wind chill on cardiorespiratory mortality in Scotland**. Occupational and environmental medicine, 62(10), 702-710 .

Chen, H.-S., Chen, C.-Y., Chang, C.-T., & Hsieh, T, (2014, **the construction and application of a carrying capacity evaluation model in a national park**. Stochastic environmental research and risk assessment, 28(6), 1333-1341 .

Cheng, V., Ng, E., Chan, C., & Givoni, B, 2012, **Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong**. International Journal of Biometeorology, 56(1), 43-56 .

Fanger, P. O, 1970, **Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering**. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering .

Farajzadeh ASL, M., Darand, M., & Faghihzadeh, S, 2009, **Climatic factors associated with mortality in the population of Tehran**. Journal of Planning and Space Planning, 14(2), 290-302 .

Hampel, R., Breitner, S., Rückerl, R., Frampton, M. W., Koenig, W., Phipps, R. P., Schneider, A, 2010, Air **temperature and inflammatory and coagulation responses in men with coronary or pulmonary disease during the winter season**. Occupational and environmental medicine, 67(6), 408-416 .

Handbook, A. F, 2009, **American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. Inc.: Atlanta**, GA, USA .

Hinton, G. E, 2012, **a practical guide to training restricted Boltzmann machines neural networks**: Tricks of the trade (pp. 599-619): Springer.

Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y.-W, 2006, **A fast learning algorithm for deep belief nets**. Neural computation, 18(7), 1527-1554 .

Jendritzky, G., de Dear, R., & Havenith, G, 2012, **UTCI—Why another thermal index?** International Journal of Biometeorology, 56(3), 421-428 .

Kántor, N., & Unger, J, 2011, **the most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment—the mean radiant temperature**. Central European Journal of Geosciences, 3(1), 90-100 .

Kariminia, S., Sh Ahmad, S., & Norhati, I, 2013, **Landscape attributes, microclimate and thermal comfort of an urban square in moderate and dry climate**. Paper presented at the Advanced Materials Research.

Kim, H.-G., Choi, C.-Y., Woo, J.-W., Choi, Y., Kim, K., & Wu, D. D, 2011. **Efficiency of the modal shift and environmental policy on the Korean railroad**. Stochastic environmental research and risk assessment, 25(3), 305-322 .

Liu, W., Wang, Z., Liu, X., Zeng, N., Liu, Y., & Alsaadi, F. E, 2017, **a survey of deep neural network architectures and their applications**. Neurocomputing, 234, 11-26 .

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]

Marmor, M, 1975, **Heat wave mortality in New York City, 1949 to 1970**. Archives of Environmental Health: An International Journal, 30(3), 130-136 .
McGregor, G. R, 2012, **Human biometeorology**. Progress in Physical Geography, 36(1), 93-109 .
Nastos, P. T., & Matzarakis, A, 2012, **the effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece**. Theoretical and applied climatology, 108(3-4), 591-599 .
Olesen, B. W, 1982, **Thermal comfort**. Technical review, 2, 3-37 .
Omonijo, A. G., Adeofun, C. O., Oguntoke, O., & Matzarakis, A, 2013, **Relevance of thermal environment to human health: a case study of Ondo State, Nigeria**. Theoretical and applied climatology, 113(1-2), 205-212 .
Parsons, K, 2014, **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance**: Crc Press.
Rutkowski, L., Jaworski, M., Pietruczuk, L., & Duda, P, 2014, **The CART decision tree for mining data streams**. Information Sciences, 266, 1-15 .
Santee, W. R., & Wallace, R. F, 2005, **Comparison of weather service heat indices using a thermal model**. Journal of Thermal Biology, 30(1), 65-72 .
Steadman, R. G, 1979, **the assessment of sultriness. Part II: effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature**. Journal of Applied Meteorology, 18(7), 874-885 .
Thomas, P, 2004:201, **Under the Weather: How Weather and Climate Affect Our Health:** Summersdale Publishers LTD-ROW.
Tseliou, A., Tsiros, I. X., Lykoudis, S., & Nikolopoulou, M, 2010, **an evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions**. Building and Environment, 45(5), 1346-1352 .
Valencia-Barrera, R., Comtois, P., & Fernández-González, D, 2002, **Bioclimatic indices as a tool in pollen forecasting**. International journal of biometeorology, 46(4), 171-175 .
Van Hoof, J., Kort, H., Hensen, J., Duijnstee, M., & Rutten, P, 2010, **Thermal comfort and the integrated design of homes for older people with dementia**. Building and Environment, 45(2), 358-370 .
Yue, W., Fan, P., Wei, Y. D., & Qi, J, 2014, **Economic development, urban expansion, and sustainable development in Shanghai**. Stochastic environmental research and risk assessment, 28(4), 783-799 .

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.51.3.0]
[DOI: 10.29252/jgs.18.51.23]