سنجش مزاج خشک و تر با استفاده از تصاویر حرارتی و طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی

روشنک قدس[الف]، وحیدرضا نفیسی[ب*]

[الف]مؤسسهٔ مطالعات تاریخ پزشکی-طب اسلامی و مکمل، دانشکدهٔ طب ایرانی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[ب]گروه مهندسی پزشکی، پژوهشکدهٔ برق و فناوری اطلاعات، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

چکیده

سابقه و هدف: تعیین میزان انحراف از مزاج پایهٔ هر فرد یکی از مراحل اولیهٔ تشخیص بیماری و صحت افراد در طب سنتی ایران است. اما این مزاج‌سنجی وابستگی زیادی به بیمار و پزشک دارد. هدف از این تحقیق، یافتن روش و ابزاری پایا و روا بود که تا حد امکان بتواند سنجش مزاج را از حالت ذهنی (سوبژکتیو) به حالت عینی (آبژکتیو) تبدیل کند.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در زمستان سال ۱۳۹۸ در سلامتکدهٔ طب سنتی بهشت، وابسته به دانشگاه علوم پزشکی ایران (ایران، تهران) انجام شد. در این تحقیق ۳۴ داوطلب از پرسنل پس از اخذ رضایت کتبی زیر نظر یک پزشک متخصص طب ایرانی با فرم استانداردشدهٔ مجاهدی، مزاج‌سنجی شدند و هم‌زمان از محل لمس نبض، پشت دست و کل صورت با استفاده از دوربین حرارتی مدل T2 شرکت ULIRVISION تصاویر حرارتی گرفته و مقدار دمای موضع ثبت شد.

یافته‌ها: با استخراج دوازده ویژگی مرتبط با نحوهٔ توزیع حرارت در ناحیهٔ مورد نظر در تصاویر حرارتی ذکر شده، یک الگوریتم مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و طبقه‌بندی‌کنندهٔ Adaboost طراحی شد و مشاهده شد که هفت ویژگی از این ویژگی‌ها بیشترین تأثیر را در طبقه‌بندی دارند و صحت ۸۵/۶ درصد و حساسیت ۶۶/۷ درصد و ویژگی ۹۱/۷ درصد به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: در این مقاله نشان داده شد که تصویربرداری حرارتی تطابق معنی‌داری با فرم استانداردشده دارد و می‌تواند به‌عنوان ابزاری پایا برای ارزیابی مزاج خشک/ تر مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: طب ایرانی، مزاج، تصویربرداری حرارتی

تاریخ دریافت: تیر ۹۹
تاریخ پذیرش: شهریور ۹۹

مقدمه:

مزاج در طب سنتی ایران به‌مفهوم کیفیتی است که از کنش متقابل بین کیفیات متضاد (گرمی/ سردی و خشکی/ تری) که در عناصر تشکیل‌دهندهٔ هر شیء موجود هست، حاصل می‌شود و بسیاری از خصوصیات روحی و جسمی انسان در قالب این کیفیت‌ها ارزیابی می‌شود (۱). با این حال ارزیابی مزاج عموماً بر اساس معیارهای کیفی انجام می‌شود و هدف از این تحقیق دستیابی به روشی مستقل از کاربر و تکرارپذیر برای ارزیابی مزاج است.

در مکتب طب سنتی ایران، مزاج، مفهومی کلیدی در تعریف سلامت و بیماری انسان است. در این دیدگاه همان‌طور که اثر انگشت هیچ دو فردی یکسان نیست، مزاج و ترکیب هیچ دو انسانی با یکدیگر یکسان نیست. امروزه تفاوت‌های فردی افراد از جنبه‌های گوناگون جسمی و روحی مورد توجه پژوهشگران رشته‌های علوم پزشکی قرار گرفته و باعث شکل‌گیری شاخه‌های جدیدی در پزشکی مدرن همچون "پزشکی شخصی" شده است (۲). علی‌رغم اینکه نگرش ذکرشده در پزشکی مدرن، رویکردی جدید است، با این حال یکی از اصول مهم در شیوه‌های تشخیص و درمان مکتب‌های پزشکی بسیاری از تمدّن‌های کهن بوده است. بسیاری از مکاتب پزشکی کل‌نگر توجه خاصی به تفاوت‌های شخصی افراد با یکدیگر در حوزهٔ سلامت و بیماری داشته‌اند و بیشتر دستورهای حفظ سلامتی و تجویز درمانی خود را طبق همین تفاوت‌های شخصی و بر اساس مزاج افراد تنظیم کرده‌اند (۱، ۳).

* فرد مسئول مکاتبات: vr_nafisi@irost.org

از سوی دیگر در بسیاری از بیماری‌ها، تغییرات خاصی در مزاج فرد رخ می‌دهد و شناخت مزاج بیمار و تعیین میزان انحراف او از مزاج معتدل و یا مزاج مناسب وی، کمک شایانی به تشخیص و درمان بیماری در طب سنتی ایران می‌کند. حتی گمان می‌رود با تقسیم‌بندی بیماران بر اساس نوع بیماری و در نظر گرفتن مزاج فرد و مزاج بیماری و همراه کردن این مسأله با مزاج خاص داروها، بتوان در پیش‌بینی میزان کارایی دارو و کاهش عوارض جانبی، موفقیت بیشتری را کسب کرد (۳).

پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که تعیین دقیق مزاج افراد می‌تواند در پیش‌بینی جایگاه آن‌ها در فعالیت‌های مدیریتی (۴) یا گرایش به نوع خاصی از معماری (۵) مؤثر باشد. به‌عنوان مثال یزدانفر و همکاران در ۱۳۹۳ نشان دادند که میزان گرایش افراد به شاخصه‌های مؤثر در معماری بر اساس مزاجشان متفاوت است و افراد با درجهٔ گرم‌مزاجی بالاتر به شاخصه‌های نور، طبیعت، رطوبت و رنگ‌های شاد گرایش بیشتری دارند و افزایش رطوبت مزاجی سبب گرایش بیشتر به فضاهای دلباز می‌شود (۶). حتی ارتباط معناداری بین مزاج افراد و سطح آمادگی جسمانی آن‌ها در بین دانشجویان مشاهده شده است (۷). تحقیق محمودی و همکاران در ۱۳۹۳، ضمن تأیید نقش تأثیرگذار و تعیین‌کنندهٔ مزاج بر مهارت‌های پایه‌ای و اصلی استخدام‌پذیری هم در پسران و هم در دختران، نشان داد که شناخت ویژگی‌های افراد از طریق آگاهی از مزاج آنان، تسهیل‌کنندهٔ کارآمد تقسیم کار اجتماعی، تعاون و همکاری است که در مدیریت سرمایهٔ انسانی و سرمایهٔ اجتماعی در جوامع سازمانی کنونی بسیار راه‌گشا خواهد بود (۸). شاید به‌دلیل گستردگی کاربرد و تکیه بر یافته‌های بالینی در پزشکی کل‌نگر است که سازمان بهداشت جهانی در سال‌های اخیر توجه به مکاتب پزشکی کل‌نگر را در اولویت‌های خود قرار داده است (۹).

مزاج هر فرد کیفیتی متشکل از بسیاری از خصوصیات جسمی و روحی اوست و در طب ایرانی ده شاخصه شامل: دمای ملمس (دمای بدن در هنگام لمس)، چگونگی ساختار و اسکلت‌بندی بدن، وضعیت مو و رنگ پوست بدن، بزرگی و یا کوچکی اعضا، کیفیت مواد دفعی از بدن، وضعیت خواب و بیداری و نحوهٔ تأثیرپذیری از کیفیات چهارگانه، حالات روحی و چگونگی افعال صادره از بدن تحت عنوان «اجناس عشره» برای تعیین مزاج یک بیمار ارزیابی می‌شوند (۱۰). برای این منظور توسط محققان مختلف، پرسش‌نامه‌های متفاوتی طراحی و تدوین شده و پایایی و روایی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال احمدی و همکاران در ۱۳۹۳ پرسش‌نامه‌ای را برای سنجش مزاج جبلی طراحی کردند و نشان دادند که از روایی و پایایی مطلوب برخوردار است و می‌تواند در تحقیقات مزاج‌شناسی طب سنتی استفاده شود (۱۱). فرم پرسش‌نامهٔ مزاج‌سنجی که درجهٔ گرمی/سردی و تری/خشکی توسط آن قابل‌محاسبه است، توسط ناصری ارائه شده (۱۲)، اما هنوز مراحل استانداردسازی را طی نکرده است. مجاهدی و همکاران نیز در سال ۲۰۱۴ پرسش‌نامه‌ای با ده سؤال تدوین کردند که پایایی و روایی آن به‌طور دقیق بررسی شد (۱۳) و بعداً محققان دیگر از آن به‌عنوان پرسش‌نامهٔ استاندارد بهره‌برداری کردند. سلمان‌نژاد و همکاران در ۲۰۱۹ ضمن تأکید بر اعتبار این پرسش‌نامه، به‌منظور افزایش دقت نتایج، تعداد سؤالات آن را گسترش دادند (۱۴).

تعدادی از شاخصه‌های مورد استفاده در این پرسش‌نامه‌ها بسیار وابسته به درجهٔ خبرگی پزشک و نیز دقت بیمار است که بر دقت و تکرارپذیری ارزیابی مزاج اثر می‌گذارد و پزشک را در ارائهٔ درمان دچار خطا می‌کند (۱۵). در نتیجه استفاده از ابزارهایی که کمتر تحت تأثیر شاخصه‌های خارجی قرار بگیرند ضروری به‌نظر می‌رسد. در طب سنتی چینی، اهمیت استفاده از دستگاه‌های دقیق به‌منظور استقلال نتایج تشخیصی از مهارت پزشک و افزایش تکرارپذیری نتایج، به‌خوبی مورد پذیرش قرار گرفته است و دستگاه‌هایی هم در این رابطه طراحی و ارزیابی بالینی شده‌اند و تأکید شده که چنین دستگاه‌هایی می‌توانند در درک تئوری طب سنتی چینی و توسعهٔ آن مؤثر واقع شوند (۱۶–۱۸).

از جمله عوامل تعیین مزاج، کیفیت ملمس (از نظر مقدار حرارت و رطوبت) است که تحت تأثیر فاکتورهای محیطی (شرایط محیط یا میزان استرس بیمار در حین معاینه و ...) و نیز دما و رطوبت دست پزشک حین معاینه قرار می‌گیرد.

ابزاری که بالقوه می‌توان در این حوزه مورد بهره‌برداری قرار داد، دوربین‌های حرارتی هستند که موضوع تحقیق حاضر، بررسی اثربخشی تصاویر حاصل از این دوربین‌هاست.

در تصویربرداری حرارتی نحوهٔ توزیع حرارت و مقدار دما در سطح اجسام به‌دست می‌آید. این روش در هر جایی که با استفاده از اختلاف دما بتوان به تشخیص یا آنالیز یک شرایط یا محصول پرداخت، قابل استفاده است. به‌عنوان مثال در صنایع غذایی و کشاورزی برای ارزیابی تنش آبی در گیاهان و تشخیص بیماری در آنها به‌طور گسترده از تصویربرداری حرارتی استفاده شده است (۱۹). از دلایل اصلی علاقهٔ محققان به تصویربرداری حرارتی، ایمن بودن این روش به‌دلیل عدم استفاده از تابش‌های یونیزان و یا تزریق مواد کنتراست‌زا و همچنین غیرتماسی بودن (عدم نیاز به فشار و لمس بدن) بوده که از منظر کاربردهای زیست-پزشکی در مقایسه با سایر مدالیته‌های تصویربرداری بسیار مهم و ارزشمند است.

هر ناحیهٔ آناتومیکی یک الگوی حرارتی مجزا دارد که حاصل از تفاوت در سیستم گردش خون و توزیع گرما در بافت‌هاست و از همین خصوصیت در تشخیص تومورهای پستان استفاده شده است؛ چرا که فعالیت تومورها منجر به ساخت رگ‌های خونی بیشتر پیرامون تومور می‌شود و این رگ‌های خونی، جریان خون و در نتیجه دما را در آن ناحیه افزایش می‌دهند (۲۰). یکی دیگر از نواحی بدن که به‌خاطر در دسترس بودن بسیار مورد استفاده قرار گرفته است، دست‌ها هستند و تصویربرداری حرارتی اطلاعات مفیدی در جهت تشخیص بیماری‌های مرتبط با دست فراهم کرده است (۲۱). همچنین تصاویر حرارتی برای پایش شرایط بیماری و میزان پیشرفت درمان به‌طور گسترده‌ای استفاده شده است. Korambayil و همکاران در ۲۰۱۹ از این تصاویر برای پایش فرآیند بهبود زخم‌ها استفاده کرده‌اند (۲۲). همچنین Indriðadóttir در سال ۲۰۱۹ نشان داد که تصویربرداری حرارتی برای کمّی‌سازی فرآیندهای فیزیولوژیکی مثل پاسخ پوست به شوک‌های حرارتی، ابزاری معتبر بوده و در چنین ارزیابی‌هائی می‌تواند به‌کار رود (۲۳).

هدف از این تحقیق، بررسی امکان استفاده از تصویربرداری حرارتی در سنجش مزاج خشک/تر افراد و تطابق آن با روش‌های پذیرفته‌شده در حوزهٔ طب سنتی ایرانی است. برای این منظور تصاویر حرارتی گرفته‌شده از قسمت‌های مورد نظر مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهایی از آن استخراج شد. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، توالی‌های مختلف ویژگی‌ها بر اساس قوانین استخراج شده از رفتار ژن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس یک تابع معیار بهترین توالی ویژگی‌ها برای کاربرد مورد نظر (در اینجا طبقه‌بندی افراد بر اساس مزاج خشک و تر) پیشنهاد شد.

لازم به ذکر است این کار، ما را قادر خواهد ساخت که معیاری کمّی برای این ارزیابی‌ها در دست داشته باشیم. به‌نظر می‌رسد، تصویربرداری حرارتی بتواند موجب بالا رفتن سرعت و اطمینان، پرهیز از خطای تشخیصی و صرفه‌جویی در زمان ویزیت پزشکان شود. بنابراین سؤال تحقیق این است که آیا با استفاده از تصاویر حرارتی امکان تفکیک افراد بر اساس مزاج خشک/تر وجود دارد؟

مواد و روش‌ها:

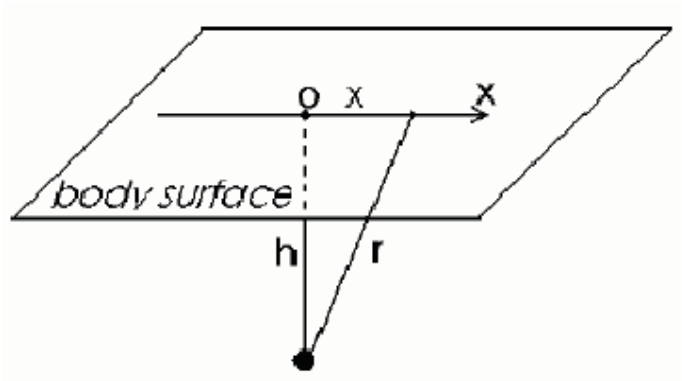
۱) آزمون‌شوندگان

این مطالعه پس از تأیید کمیتهٔ اخلاق گروه مهندسی پزشکی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران در زمستان سال ۱۳۹۸ در سلامتکدهٔ طب سنتی بهشت وابسته به دانشگاه علوم پزشکی ایران (ایران، تهران) انجام شد. برای این تحقیق که از نوع پایلوت و مقطعی است، برای حصول سطح اطمینان ۹۰ درصد حدود ۹۰ نمونه مورد نیاز بود که با وقوع اپیدمی کووید-۱۹ در ایران، در نهایت ۳۴ داوطلب (معادل سطح اطمینان حدود ۸۳ درصد) از پرسنل سلامتکده که اطلاعات دموگرافیک آن‌ها در جدول ۳ آمده است پس از اخذ رضایت کتبی وارد مطالعه شدند. معیار ورود داوطلبان به آزمون، عدم وجود سابقهٔ بیماری و امضای رضایت‌نامه بود و در صورت عدم رضایت داوطلب از ادامهٔ کار و یا عدم وجود کیفیت مناسب در تصاویر حرارتی، اطلاعات آن فرد از مطالعه خارج شد. ابزار سنجش مزاج در این مطالعه، پرسش‌نامهٔ MMQ

(Mojahedi Mizaj Questionnaire) (۱۴) که در سال ۲۰۱۴ توسط مجاهدی و همکاران (که روا و پایا شده بود) و پرسش‌نامهٔ مزاج‌سنجی ناصری (۱۳) (که هنوز مراحل استانداردسازی را طی نکرده اما قادر به سنجش درجهٔ گرمی/سردی و تری/خشکی است و این ویژگی، آن را از پرسش‌نامهٔ مجاهدی متمایز می‌کند)، بود. مزاج‌سنجی زیر نظر یک پزشک متخصص طب ایرانی انجام و کیفیت دما و رطوبت ملمس توسط وی نیز سنجیده و ثبت شد. به‌طور هم‌زمان نیز از هر فرد سه تصویر ترموگرافیک از نواحی زیر ثبت شد: ملمس، پشت دست و صورت.

۲) تصویربرداری حرارتی

می‌توان تصور کرد که مقدار میانگین دما و تغییرات آن در هر موضع، نتیجهٔ دمای تولیدشدهٔ حاصل از جریان خون و سوخت و ساز بدن در آن ناحیه است. همچنین توزیع دما در سطح یک ناحیه می‌تواند به خصوصیات بافت آن ناحیه بستگی داشته باشد. در شکل ۱، فرض می‌کنیم منبع حرارت در عمق h از سطح پوست قرار دارد.



شکل ۱. مدل ارائه‌شده در مختصات قطبی (۲۵)

با انتخاب یک نقطه X در سطح بافت، رابطهٔ ۱ برای دمای سطحی به‌دست آمده از تصاویر حرارتی یعنی T ارائه شده است (۲۴):

$$T(x) = \frac{q}{4\pi k.\sqrt{h^2 + x^2}} \qquad (۱)$$

K ضریب انتشار حرارت (وابسته به نوع بافت)، q شدت و h عمق منبع گرماست. از این معادله مشاهده می‌شود که نوع بافت (ضریب k)، ضخامت آن (h) و نیز میزان خون‌رسانی به ناحیه (q) که خود حاصل فعالیت و سوخت ساز سلولی در آن ناحیه است، در تصویر حرارتی از سطح پوست تأثیرگذار هستند. دیگر عوامل مؤثر بر تصویر حرارتی که قبلاً مورد مطالعه قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از: جنس، سن، آنتروپومتری، ضریب تشعشع پوستی، فعالیت‌های فیزیکی، عوامل محیطی (دما، رطوبت و فشار اتمسفری محیط و منابع تشعشع) و عوامل فنی (ویژگی‌های دوربین و پروتکل اخذ داده) (۲۵). به‌منظور پایایی و روایی ارزیابی با استفاده از تصویربرداری حرارتی، باید این عوامل اثرگذار را شناسایی و کنترل کرد. همچنین بعضی از الزامات یک تصویربرداری حرارتی قابل‌اطمینان در تحقیق Cardano و همکاران پیشنهاد شده است (۲۶) که در تحقیق حاضر نیز رعایت شد.

در این تحقیق تصویربرداری همواره در یک اتاق ثابت با تثبیت شرایط محیطی دما و رطوبت انجام شد (دمای ۱±۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی حدود ۲۵ درصد). هیچ‌گونه منبع حرارتی و تشعشعی در نزدیکی آزمون‌شونده وجود

نداشت. از همهٔ آزمودنی‌ها خواسته شد که قبل از تصویربرداری دست و صورت خود را با آب و صابون بشویند و به‌خوبی خشک کنند چرا که وجود هر لایهٔ اضافی (مثل چربی) می‌تواند ضریب تابش سطح را تغییر دهد. همچنین هر گونه پوشش اضافی (کاپشن، کلاه، لباس‌های پشمی و ...) و زیورآلات (انگشتر و النگو) از آزمودنی جدا شد.

سپس از شخص خواسته شد که بر روی صندلی بنشیند. دست فرد روی یک صفحهٔ سفید تثبیت شد. دوربین تصویربرداری تا حد ممکن در نزدیکی موضع تصویربرداری قرار گرفت (فاصله ۴۰ تا۵۰ سانتی‌متری) و پس از پنج دقیقه (برای ایجاد تعادل حرارتی) تصویربرداری انجام شد. مرکز تصویربرداری برای ملمس، دو انگشت بالاتر از مچ دست در نظر گرفته شد. مرکز تصویر برای پشت دست، در راستای محل تلاقی استخوان انگشت شست و اشاره قرار گرفت. توزیع خون‌رسانی و حرارت در صورت، با استفاده از تصویر کامل صورت از چانه تا پیشانی با در نظر گرفتن مرکز تصویر در حدود نوک بینی فرد، بررسی شد.

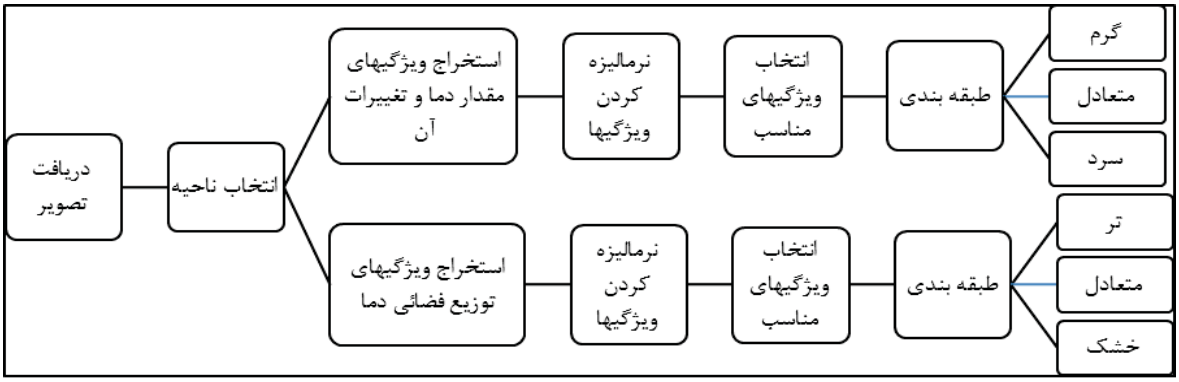
دوربین حرارتی مورد استفاده در این تحقیق دوربین مدل T2 شرکت ULIRVISION بود که طیفی برابر ۷/۵ تا ۱۴ میکرومتر را دریافت می‌کند. جزئیات بیشتری از مشخصات دوربین در جدول ۱ آمده است.

۳) آنالیز تصاویر

الگوریتم آنالیز در این تحقیق در محیط نرم‌افزار MATLAB (MathWorks, R2017b) پیاده‌سازی شد. نمودار فعالیت‌های انجام شده در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

جدول۱. مشخصات دوربین حرارتی

IR resolution	80×60
Pixel pitch	17μm
Spectral range	7.5～14μm
NETD/Sensitivity	<50mK
FOV	50°× 37.5°
Display	480×320
Focus mode	Fixed
Temperature range	-20℃～+150℃
Measurement accuracy	±2℃/±2%
Emission correction	0.95 for skin



شکل ۲. نمودار انجام تحقیق

ابتدا تصاویر از مواضع مورد نظر توسط دوربین حرارتی ثبت و به رایانه منتقل شدند. به‌طور طبیعی در هر تصویر ثبت‌شده قسمت‌های زایدی که مورد نظر نیستند وجود دارند. بنابراین لازم است که ابتدا ناحیهٔ مورد نظر (Region Of Interest =ROI) شناسایی شود تا نتایج قابل‌اطمینان‌تری حاصل آید (۲۷). ابتدا کاربر، محدودهٔ مرکزی ناحیهٔ مورد نظر (به‌عنوان مثال پشت دست) را مشخص می‌کند و سپس الگوریتم خودکار بر اساس کانتورهای فعال (Active Contours)، مرزهای تصویر را به‌نحوی شناسایی می‌کند که قسمت‌هایی که از نظر حرارتی شباهت با یکدیگر داشته باشند را شامل شود (۲۸). این کار باعث می‌شود که نتیجهٔ مرزبندی ناحیه، از دقت و تخصص کاربر مستقل شود.

از این ناحیه از تصاویر، اطلاعات متعددی از نظر مقدار دما، محدودهٔ تغییرات دما و توزیع دما در هر ناحیه را می‌توان به‌دست آورد که تحت عنوان استخراج ویژگی (Feature Extraction) در شکل ۲ آمده است.

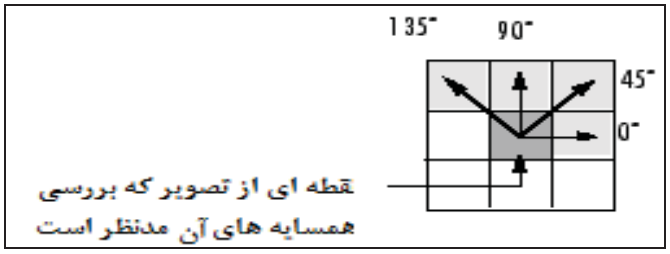
در نهایت از این نواحی دو مجموعه ویژگی استخراج شد:

ویژگی‌های مرتبط با مقدار دما و تغییرات مقدار آن در نواحی مورد نظر (۱۳ ویژگی دمایی) [در حال حاضر نتایج تحقیق در رابطه با تفکیک مزاج‌های گرم و سرد با استفاده از تصاویر حرارتی در فرآیند داوری در یک مجلهٔ علمی-پژوهشی دیگر است] ارائه شده است.

ویژگی‌های مرتبط با توزیع دما در سطح نواحی موردنظر. همان‌طور که در بخش ۲-۲ اشاره شد، خصوصیات بافتی در تصویر حرارتی تأثیرگذار هستند و این موضوع، اساس فرض دوم را تشکیل می‌دهد که توزیع فضایی حرارت به خصوصیات بافت بستگی دارد و ویژگی‌های حاصل از آن می‌تواند به مفهوم خشکی و تری مزاج افراد مرتبط باشد. برای این منظور ماتریس رخداد متقابل (GLCM = Gray-Level Co-occurrence Matrix) نقاط مختلف تصویر حرارتی (برای چهار زاویهٔ صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) با استفاده از رابطهٔ (۲) به‌دست می‌آید:

$$C_{\Delta x,\Delta y}(i,j) = \sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{m}\begin{cases}1, if I(x,y) = i \text{ and } I(x+\Delta x, y+\Delta y) = j\\ 0, \quad otherwise\end{cases} \qquad (۲)$$

در این رابطه، I(x,y) شدت روشنایی تصویر حرارتی در نقاط x و y را بیان می‌کند. C مقدار ماتریس رخداد متقابل در مختصات $(\Delta x, \Delta y)$ است. ابعاد تصویر m×n پیکسل است. ماتریس رخداد متقابل چهار بار و هر بار برای نقاط همسایه در یک راستای مشخص (صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) محاسبه می‌شود. این ماتریس میزان وابستگی نقاط مختلف تصویر که در فواصل مختلفی قرار گرفته‌اند را با یکدیگر نشان می‌دهد (شکل ۳).



شکل ۳. مفهوم زوایا در ماتریس رخداد متقابل

هر چه مقادیر ماتریس رخداد متقابل، تغییرات کمتری داشته باشد، نشان از همگونی توزیع فضایی حرارت دارد و هر چه تغییرات بیشتر باشد، نشانه‌ای از ناهمگونی بافتی در آن ناحیه است. در واقع این ماتریس، شاخصی برای وضعیت بافت تصویر است (۲۹). فرض تحقیق بر این است که وجود رطوبت بیشتر در بافت، در یکنواختی توزیع حرارت تأثیرگذار باشد.

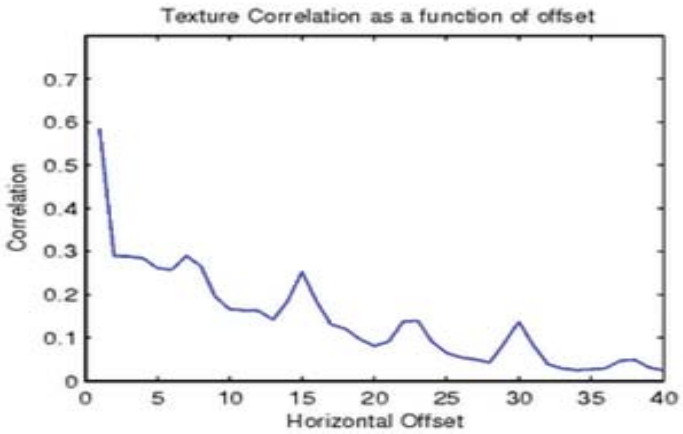
دوازده ویژگی در ارتباط با توزیع فضایی حرارت استخراج شد که جزئیات آن در جدول ۲ شرح داده شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های توزیع فضایی حرارت در نواحی مورد نظر

	ویژگی	توصیف
۱	BRISOUE1*	توصیفی از کیفیت فضایی تصویر مربوط به پشت دست
۲	Offset1	** (برای تصویر پشت دست)
۳	میزان کنتراست	ویژگی‌های ماتریس رخداد متقابل برای تصویر پشت دست
۴	میزان همبستگی	
۵	میزان انرژی	
۶	میزان یکنواختی	
۷	BRISOUE2*	توصیفی از کیفیت فضایی تصویر مربوط به تصویر مچ (ملمس)
۸	Offset2	** (برای تصویر ملمس)
۹	میزان کنتراست	ویژگی‌های ماتریس رخداد متقابل برای تصویر مچ (ملمس)
۱۰	میزان همبستگی	
۱۱	میزان انرژی	
۱۲	میزان یکنواختی	

* Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator

**همان‌طور که در شکل ۴ (برای زاویهٔ صفر درجه) مشاهده می‌شود هر چه مقدار offset (همان Δx و Δy در رابطهٔ ۲) بیشتر می‌شود، به‌طور میانگین عدد همبستگی بین نقاط کاهش می‌یابد. منظور از offset در این جدول، آن افستی است که مقدار عدد همبستگی (در هر چهار زاویه) از مقدار ۰/۷ کمتر شده است.



شکل۴. تغییرات عدد همبستگی نسبت به فاصلهٔ نقاط در یکی از تصاویر حرارتی

بعد از تعیین و استخراج ویژگی‌ها، ضروری بود ویژگی‌هایی انتخاب (Feature Selection) شوند که در طبقه‌بندی (Classification) افراد (بر اساس مزاج خشک/تر) مؤثرتر عمل می‌کنند. این کار بر اساس نتایج تحقیق نفیسی و همکاران در سال ۲۰۱۸ انجام شده است که نشان دادند الگوریتم ژنتیک در ترکیب با روش طبقه‌بندی‌کنندهٔ Adaboost می‌تواند مؤثرترین ترکیب ویژگی‌ها را انتخاب کند (۳۰) با توجه به اینکه محدودهٔ تغییرات عددی هر ویژگی با ویژگی دیگر متفاوت است، برای عملکرد بهینهٔ روش‌های طبقه‌بندی، بهتر است از نرمالیزاسیون استفاده شود. روش‌های مختلفی برای نرمالیزاسیون معرفی شده‌اند که در این تحقیق از رابطهٔ (۳) استفاده شده است.

$$F_n = \frac{F - \mu_F}{\sigma_F} \qquad (۳)$$

که در این رابطه، F مقدار یک ویژگی قبل از نرمالیزاسیون و F_n مقدار ویژگی بعد از نرمالیزاسیون، μ_F میانگین هر ویژگی و σ_F انحراف معیار ویژگی هستند.

یافته‌ها:

اطلاعات دموگرافیک ۳۴ شرکت‌کننده در تحقیق، در جدول ۳ آورده شده است و توزیع افراد از نظر مزاج و بر اساس روش‌های مختلف، در جدول ۴ درج شده است.

جدول۳. مشخصات شرکت‌کنندگان

متغیر	مقدار
سن (سال)	۳۷/۱۱±۷
جنس	۲۱ زن و ۱۳ مرد

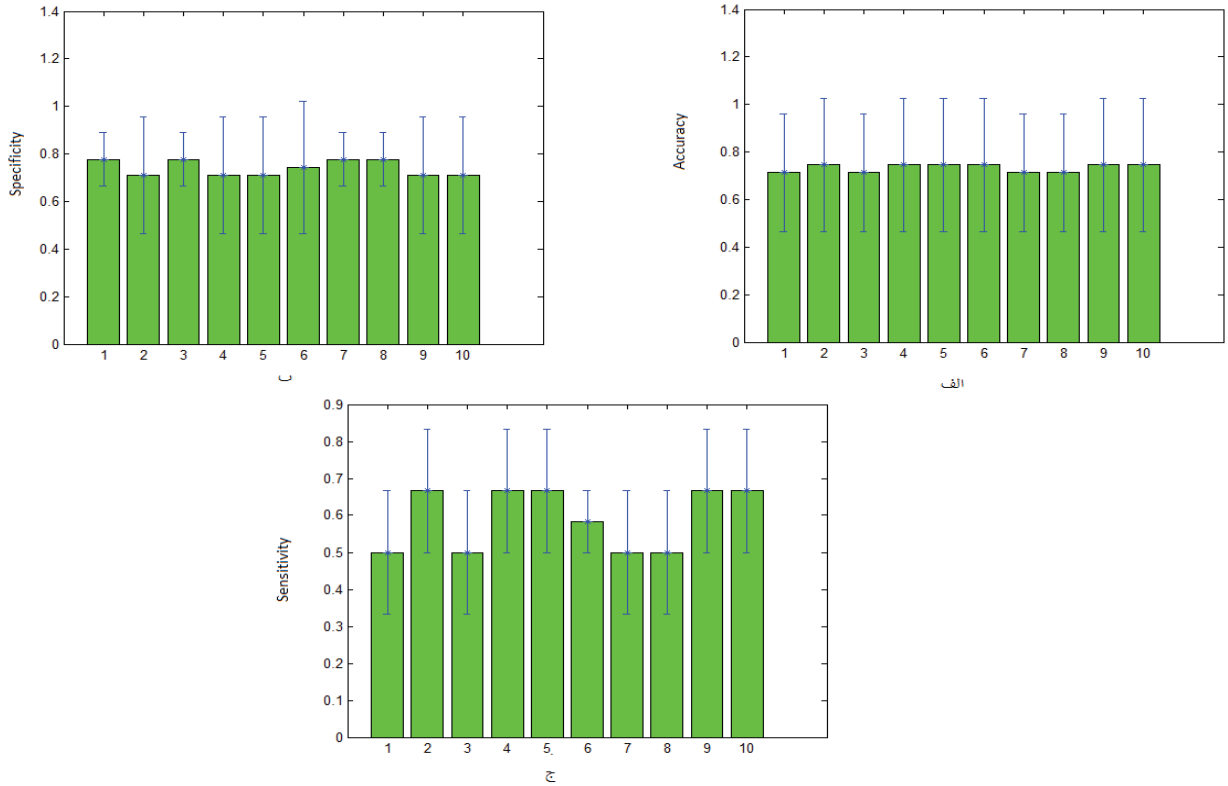
همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است، تعیین مزاج افراد وابستگی زیادی با نوع پرسش‌نامهٔ مورد استفاده و یا تشخیص پزشک متخصص از کیفیت ملمس دارد. در این تحقیق بررسی ملمس توسط متخصص طب ایرانی و استفاده از پرسش‌نامهٔ ناصری، صرفاً به‌منظور نشان‌دادن اهمیت وجود یک ابزار پایا برای سنجش عینی (ابژکتیو) مزاج بوده و هیچ استفاده‌ای از آن‌ها در نتایج این مقاله نشده است و نتایج این مقاله صرفاً بر اساس پرسش‌نامهٔ استانداردشدهٔ مجاهدی (که توسط متخصص طب ایرانی انجام شده) ارزیابی شده است.

جدول۴. تعداد افراد بر اساس گروه مزاجی

گروه مزاجی از نظر حرارت	تعداد بر اساس مرجع (۱۴)	تعداد بر اساس مرجع (۱۳)	تعداد بر اساس معاینهٔ ملمس*	گروه مزاجی از نظر رطوبت	تعداد بر اساس مرجع (۱۴)	تعداد بر اساس مرجع (۱۳)	تعداد بر اساس معاینهٔ ملمس*
معتدل	۱۷	۲	۱۵	معتدل	۱۶	۷	ارزیابی نشده است
گرم	۱۵	۲۶	۹	خشک	۹	۷	
سرد	۲	۶	۷	تر	۹	۲۰	
* در این پژوهش تعیین مزاج بر اساس معاینهٔ ملمس، فقط برای نشان‌دادن وابستگی نتایج به معاینه‌گر و نوع پرسش‌نامه‌ها و تأکید بر نیاز به یک ابزار تکرارپذیر بوده است؛ بنابراین لزوماً همهٔ افراد شرکت‌کننده تحت معاینهٔ ملمس قرار نگرفته‌اند.							

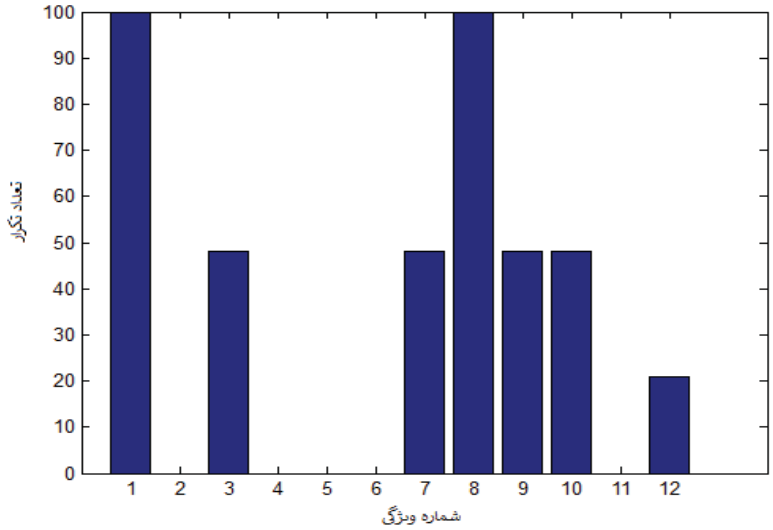
در این مقاله به بررسی مجموعهٔ ویژگی‌های توزیع فضایی حرارت در ناحیهٔ مورد نظر (ویژگی‌های جدول ۲) می‌پردازیم که انتظار داریم که به تشخیص مزاج خشک و تر افراد کمک کند. این ویژگی‌ها از تصاویر حرارتی ملمس و پشت دست برای هر یک از شرکت‌کنندگان محاسبه شد.

الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق، بر اساس یک مرحلهٔ "آموزش (Training)" الگوریتم، روی یک‌سری داده‌های نشان‌گذاری‌شده (Labeling) توسط روش مرجع، عمل می‌کند. پرسش‌نامهٔ استانداردشدهٔ مجاهدی (۱۴) به‌عنوان "روش مرجع"، انتخاب و میزان صحت و حساسیت و ویژگی الگوریتم روی داده‌های "آزمون و صحه‌گذاری (Test/validation data set)" بررسی شد. در این تحقیق، ۳۴ بردار حاوی دوازده ویژگی مرتبط با توزیع مکانی حرارت (Thermal Spatial Distribution) (جدول ۲) در سطح پوست وجود داشتند که بر اساس روش مرجع لیبل‌گذاری شدند. با توجه به کمبود تعداد هر گروه، از روش K-fold استفاده شد؛ به این ترتیب که ابتدا کل داده‌ها به‌صورت تصادفی مرتب شده و به k قسمت تفکیک شد و هر بار یکی از این گروه‌ها به‌عنوان گروه صحه‌گذاری و بقیهٔ k-1 گروه به‌عنوان گروه آموزش در نظر گرفته شدند و این کار k مرتبه انجام شد. به‌عنوان مثال با فرض k=5، حدود ۸۰ درصد آن‌ها برای آموزش طبقه‌بندی‌کننده و حدود ۲۰ درصد برای آزمون نتایج در نظر گرفته شدند. برای حذف اثر انتخاب تصادفی بردارهای آموزش و آزمون، این فرآیند ۱۰ بار تکرار شد. همان‌طور که در بخش ۲ گفته شد با استفاده از الگوریتم ژنتیک ویژگی‌های مؤثرتر انتخاب شد. شکل ۵ نتایج صحت، sensitivity و specificity فرآیند انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی در ۱۰ تکرار مختلف برنامه را برای تطابق با پرسش‌نامهٔ مجاهدی (۱۴) نشان می‌دهد.



شکل۵. نتایج صحت، sensitivity و specificity فرآیند انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی (برای ۱۰ بار اجرای الگوریتم)

برای اینکه مشخص شود که مؤثرترین ویژگی‌ها کدام‌ها هستند، الگوریتم انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی برای ۱۰۰ بار تکرار شد و نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل تعداد دفعات انتخاب هر کدام از ویژگی‌های جدول ۲ در کل این ۱۰۰ تکرار مشخص شده است. با استفاده از شکل ۶ می‌توان دید که ویژگی‌های شماره ۱، ۳، ۷ تا ۱۰ (توصیف شده در جدول ۲) نقش زیادی (بیش از ۴۰ درصد) را در طبقه‌بندی افراد از نظر مزاج خشک/ تر ایفا می‌کنندو در این میان ویژگی‌های ۱ و ۸ بیشترین تأثیر را دارند. ویژگی‌های ۱ و ۳ مربوط به تصویر توزیع حرارت (و نه مقدار مطلق دما) در پشت دست و ویژگی‌های ۷ تا ۱۰ مربوط به تصویر توزیع حرارت در ملمس است. در کل این ویژگی‌ها توصیفی از نحوهٔ توزیع حرارت در پشت دست یا ملمس را نشان می‌دهند. ویژگی‌های ۳، ۸، ۹ و ۱۰ از ماتریس رخداد متقابل استخراج شده‌اند که همان‌طور که قبلاً گفته شد، این ماتریس وابستگی فضایی نقاط مختلف تصویر حرارتی را به یکدیگر اندازه‌گیری می‌کند. ویژگی ۱ و ۷ همان ویژگی BRISQUE هستند که این ویژگی، معیاری بر ارزیابی کیفیت یک تصویر است و میزان نزدیکی توزیع نقاط تصویر به توزیع نرمال را نشان می‌دهد.



شکل ۶. تعداد دفعات انتخاب هر ویژگی در ۱۰۰ بار تکرار الگوریتم

بحث و نتیجه‌گیری:

این تحقیق با هدف امکان‌سنجی استفاده از تصویربرداری حرارتی در سنجش مزاج خشک/تر در افراد و تطابق آن با پرسش‌نامهٔ مزاج‌سنجی استانداردشده انجام شد. نتایج مندرج در شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد که با استفاده از خصوصیات بافتی حاصل از تصویربرداری حرارتی که نشان‌دهندهٔ توزیع حرارت در بافت است می‌توان با صحت حدود ۷۵ درصد افراد بر اساس مزاج خشک/تر طبقه‌بندی کرد. همچنین از شکل۶ می‌توان نتیجه گرفت که علی‌رغم اینکه توزیع حرارت در هر دو ناحیه مچ (ملمس) و پشت دست، در این طبقه‌بندی مؤثر بوده‌اند، توزیع حرارت در منطقهٔ مچ دست (ملمس) نقش بیشتری دارد (ویژگی‌های شماره ۷ تا ۱۰ مربوط به ملمس و ویژگی‌های ۱ و ۳ مربوط به پشت دست هستند). این موضوع از این جهت جالب‌تر است که متخصصان طب ایرانی نیز اغلب محل مچ دست را برای ارزیابی‌های خود استفاده می‌کنند.

از آنجایی که تا کنون روش تصویربرداری حرارتی برای سنجش مزاج در طب سنتی به‌کار گرفته نشده است لذا مکان مقایسهٔ دقیق نتایج حاصل از این مطالعه با تحقیقات مشابه وجود نداشت.

آهنچی و همکاران در ۱۳۹۰ سعی کردند معادلی برای مزاج در علم امروزین بیابند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که می‌توان کیفیت عملکرد سیستم اعصاب خودکار را به‌عنوان بدیلی امروزین برای مفهومِ سنتی مزاج در نظر گرفت (۳۱).

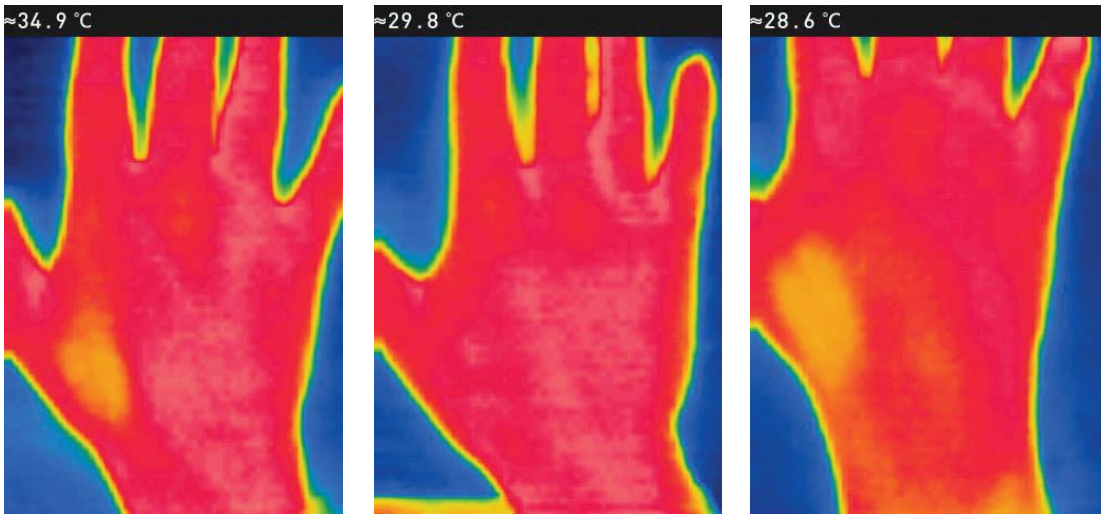
ارتباط مزاج با عملکرد سیستم عصبی-هورمونی نیز توسط محققان بررسی شده است (۳۲) و نشان داده شده است که افـراد گرم‌مـزاج دارای فعالیت سیستم عصبی سمپاتیک محیطی بیشتر و فعالیت سیستم عصبی پاراسمپاتیک کمتری نسبت به افراد سردمزاج هستند (۳۳). خوشرفتار یزدی و همکاران در ۱۳۹۵ نشان دادند که بیماری استخوانی شین اسپلینت با خشکی مزاج ارتباط دارد چرا که این احتمال وجود دارد که خشکی مزاج باعث کاهش آب و الکترولیت‌های بدن شود (۳۴). بررسی آماری میزان متابولیسم پایه در خصوص مزاج‌ها نشان داده است که افراد دارای مزاج گرم و تر به‌طور معناداری متابولیسم پایهٔ بیشتری دارند. در نتیجه انتظار می‌رود دمای سطح بدن بالاتری هم داشته باشند (۳۵).

مطالعات متعددی نشان داده است که حالت‌های روحی-روانی و احساسی در کنترل خودکار دمای پوست صورت تأثیرگذار هستند که امکان ثبت آن در تصاویر حرارتی از صورت وجود دارد. مروری بر این مطالعات توسط Cardone انجام شده است (۲۶). در واقع پوست به‌عنوان بزرگ‌ترین ارگان بدن از لایه‌ها و اجزای مختلفی تشکیل شده و وظایف متعددی را به‌عهده دارد که یکی از آن‌ها تنظیم آب و حرارت بدن برای برقراری شرایط هموستاز است. منبع حرارتی درون پوست رگ‌های خونی هستند و حرارت از خلال اجزای پوست به سطح پوست می‌رسد. می‌توان انتظار داشت که توزیع حرارت در سطح پوست تحت تأثیر وضعیت و نوع اجزای درون پوست و در مسیر انتشار حرارت از منبع حرارت (رگ‌های خونی)، قرار گیرد. Gowrishankar و همکاران در سال ۲۰۰۴، مدلی دو بعدی را برای انتشار حرارت در پوست ارائه دادند و نشان دادند که انتشار حرارت در پوست به توزیع فضایی غیریکنواخت خون‌رسانی در پوست بستگی دارد (۳۶). در تحقیقاتی دمای پوست به‌عنوان شاخصی بر جریان خون در نظر گرفته شده است (۳۷، ۳۸).

مکان‌های تصویربرداری مورد نظر این تحقیق محل ملمس، پشت دست و کل صورت بوده است. از آنجایی‌که در هنگام تصویربرداری، غیر از نواحی مورد نظر، تصویر قسمت‌های دیگر هم وجود دارد، ابتدا و برای بالا بردن صحت نتایج لازم است که ناحیهٔ مورد نظر را از قسمت‌های زاید جدا کرد. در این تحقیق، جداسازی در دو مرحله انجام شد. در مرحلهٔ اول کاربر محدودهٔ مورد نظر را به‌صورت غیردقیق مشخص می‌کند و بعد از آن توسط یک الگوریتم اتوماتیک مبتنی بر کانتورهای فعال این منطقه به‌صورت دقیق تفکیک می‌شود. Gauci و همکاران در ۲۰۱۸ ضمن تأکید بر اهمیت جداسازی ناحیهٔ مورد نظر با بالاترین دقت و کم‌ترین وابستگی به مهارت کاربر، یک الگوریتم کاملاً خودکار ارائه دادند و نشان داده شد این روش با صرف زمانی معادل یک‌دهم زمان یک فرد خبره، امکان جداسازی نواحی مورد نظر را با دقت ۹۰ درصد فراهم می‌کند (۳۹). این کار نیاز به وجود یک کاربر خبره برای جداسازی نواحی مورد نظر را به حداقل می‌رساند و وابستگی نتایج به دقت کاربر را کاهش می‌دهد.

طبق روش‌های استانداردشده سنجش مزاج، یکی از شاخص‌های تعیین مزاج خشک/ تر افراد، با لمس محل ملمس و میزان دما، رطوبت یا خشکی موضع مشخص می‌شود (۱۳، ۱۴). از سوی دیگر حجم تودهٔ زیرپوستی، کیفیت خشونت و لینت ملمس و میزان ترشحات از

شاخص‌هایی برای تعیین رطوبت و یبوست مزاج شمرده شده‌اند (۴۰). بنابراین می‌توان انتظار داشت که مشخصات توزیع حرارت در تصاویر حرارتی با مزاج (خشک/تر) ارتباط داشته باشد چون این توزیع حرارت متأثر از فعالیت‌های فیزیولوژیکی است. لازم به ذکر است که در این تحقیق، ویژگی‌های مختلفی از نحوهٔ توزیع حرارت در مواضع مورد نظر (ملمس و پشت دست) استخراج شد. این شاخص‌ها، ویژگی‌های مربوط به کل ناحیه بوده و همهٔ این ویژگی‌ها در کنار یکدیگر و به‌عنوان یک هویت واحد (که از خصوصیات روش‌های طبقه‌بندی چندبعدی مبتنی بر هوش مصنوعی است) منجر به طبقه‌بندی افراد بر اساس مزاج خشک/ تر می‌شود. در واقع تفاوت این روش با روش اندازه‌گیری دما در نقاط خاصی از مواضع در همین است که در این تحقیق نحوهٔ توزیع حرارت، به‌عنوان مثال در ملمس (که می‌تواند مرتبط با ساختار بافتی آن ناحیه باشد) بررسی می‌شود. بنابراین مزیت استفاده از تصویربرداری حرارتی نسبت به دماسنجی تماسی این است که توزیع حرارت در هر سطح مقطع بدن را نشان می‌دهد و می‌توان مقدار دما، نوسانات آن و نحوهٔ توزیع آن در کل موضع مورد نظر را مورد بررسی قرار داد. دماسنج تماسی تنها مقدار دما در نقطهٔ تماس را تعیین می‌کند. شکل ۷ نشان می‌دهد نمی‌توان انتظار داشت که با اندازه‌گیری دما تنها در یک نقطه، تفکیکی بین مزاج‌های مختلف قائل شد (به عدد دما در بالای هر تصویر که مربوط به مرکز تصویر است توجه کنید).



الف ب ج

شکل۷. تصاویر حرارتی از افرادی با مزاج‌های مختلف: (الف) خشک و معتدل، (ب) گرم و تر، (ج) خشک و معتدل

برای بررسی نحوهٔ توزیع حرارت، در این تحقیق از ویژگی‌هایی که به بافت تصویر ارتباط دارند استفاده شد که یکی از پرکاربردترین آن‌ها ماتریس رخداد متقابل است که از این ماتریس در تحقیقات مختلفی و برای ارزیابی تصاویر پزشکی و تشخیص بیماری‌ها و یا تفکیک افراد به گروه‌های مختلف بیماری، استفاده شده است (۴۱-۴۳). در نهایت برای طبقه‌بندی افراد با استفاده از این ویژگی‌ها، از ترکیب الگوریتم ژنتیک و طبقه‌بندی‌کننده Adaboost بهره‌برداری شد. این ترکیب برای آنالیز سیگنال‌ها و تصاویر پزشکی در تحقیقات دیگری هم مورد استفاده قرارگرفته است که نشان‌دهندهٔ کارایی آن در شناسایی بهترین ویژگی‌ها در طبقه‌بندی سیگنال/تصویر است (۳۰، ۴۴-۴۶).

نکته‌ای که همواره در روش‌های طبقه‌بندی خودکار مطرح می‌شود این است که چه تعداد داده برای آموزش و چه تعداد برای آزمون مورد استفاده قرار گیرد. این موضوع برای پرسش‌نامهٔ مجاهدی با اختصاص به‌ترتیب ۸۰، ۸۵ و ۹۰ درصد از داده‌ها برای آموزش الگوریتم مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۵ عملکرد الگوریتم را در این حالت نشان می‌دهد.

جدول ۵. صحت فرآیند طبقه‌بندی برای تعداد داده‌های آموزشی و ارزیابی

تعداد مجموعهٔ آموزشی	۲۷	۲۹	۳۱
تعداد مجموعهٔ ارزیابی	۷	۵	۳
صحت میانگین (٪)	۷۹/۴	۷۴/۷	۸۵/۶
صحت مینیمم	۵۵/۶	۴۶/۷	۳۳/۳
حساسیت میانگین (٪)	۶۶/۷	۶۶/۷	۶۶/۷
حساسیت مینیمم	۶۶/۷	۵۰/۰	۶۶/۷
ویژگی میانگین (٪)	۸۷/۲	۷۷/۸	۹۱/۷
ویژگی مینیمم	۸۰/۶	۶۶/۷	۸۳/۳

بر اساس جدول ۵ با اختصاص تعداد بیشتری از داده‌ها برای آموزش، مقدار صحت به‌طور میانگین افزایش می‌یابد اما انحراف معیار آن نیز زیاد می‌شود و می‌توان گفت که برای ایجاد یک سیستم تصمیم‌گیری پایا و روا بر اساس الگوریتم ارائه‌شده در این تحقیق، نیاز است که در آینده تعداد آزمون‌شوندگان بسیار بیشتر بوده و طیف وسیع‌تری از افراد (از نظر سن و دیگر شرایط فیزیکی) مورد ارزیابی قرار گیرند. همچنین لازم به توضیح است که بیشترین تمرکز در این تحقیق بر تصاویر به‌دست آمده از ملمس و پشت دست بود و به‌دلایل فنی و عدم کیفیت لازم از تصویر صورت در این تحقیق استفاده نشد. با این حال تحقیقات مختلفی روی تصاویر حرارتی صورت انجام شده است و نشان می‌دهد که این موضع، محل مناسبی برای ارزیابی‌های فیزیولوژیکی است (۲۶).

به‌طور خلاصه در این تحقیق، وابستگی نتیجهٔ مزاج‌سنجی به پرسش‌نامهٔ مورد استفاده و نحوهٔ سنجش متخصص بالینی بررسی شد (جدول ۴) که تفاوت نتایج ارزیابی، تأییدی بر ضرورت یافتن ابزاری تکرارپذیر برای پایا کردن سنجش بالینی مزاج بود. بررسی محققان نشان می‌دهد که علی‌رغم استقبال ازمطالعه روی مفهوم مزاج، جای خالی روش‌های استاندارد و پایا احساس می‌شود (۴۷).

نتایج ما نشان داد، تصویربرداری حرارتی می‌تواند برای سنجش مزاج خشک/تر به‌عنوان یک ابزار غیروابسته به نظر پزشک یا بیمار در کلینیک به‌کار رود. پس از بررسی تصاویر تهیه‌شده از صورت، ملمس و پشت دست و تطبیق دادن تصاویر حرارتی حاصل از آن‌ها با نتایج حاصل از مزاج‌سنجی با پرسش‌نامهٔ استانداردشدهٔ مجاهدی مشخص شد توزیع مکانی حرارت در تصاویر حرارتی با دقت، حساسیت و ویژگی قابل‌قبولی به مزاج‌سنجی خشک/تر ارتباط نشان می‌دهد.

تشکر و قدردانی:

نویسندگان بر خود لازم می دانند که از آقای مهندس علیدوستی (مدیرعامل شرکت مهندسی فناوران مادون قرمز)

بابت در اختیار قراردادن دوربین حرارتی تشکر و قدردانی کنند. همچنین همکاری مسئولانه و دقیق خانم مهندس محدثه حیدرپناه (کارشناس مهندسی پزشکی) در جمع‌آوری و دسته‌بندی داده‌های آزمون‌شوندگان، نقش مؤثری در پایایی و تکرارپذیری این تحقیق داشته است و از ایشان نیز سپاسگزار هستیم. همفکری خانم مهندس فاطمه پاک (کارشناس نرم‌افزار) برای توسعهٔ کدهای اجرای برنامهٔ طبقه‌بندی‌کننده نیز مؤثر بوده و از ایشان قدردانی می‌کنیم.

References:

1. Naseri M. The school of traditional Iranian medicine: The definition, origin and advantages. Iranian Journal of Pharmaceutical Research. 2010 Nov 20(Supplement 2):20-20.
2. Hamburg MA, Collins FS. The path to personalized medicine. New England Journal of Medicine. 2010 Jul 22;363(4):301-4.
3. Naseri M, Rezaeiazdeh H, Taheripanah T, Naseri V. Temperament theory in the Iranian traditional medicine and variation in therapeutic responsiveness, based on pharmacogenetics. Journal of Islamic and Iranian Traditional Medicine. 2010 Dec 10;1(3):237-42.
4. Bazargani H, Hakemi M, Tafaghghodi HR. Investigating the effect of the fourth tempers of Islamic medicine on leadership style. Journal of Islamic Management. 2018;26(3):104:59-85.
5. Divandari J, Danaeinia A, Sayyadi M, EmamiMibodim M, Diathesis as an ancient model in architectural designing of Iranian bathroom. Journal of Reasearch in Islamic Architecture. 2016;4(3):75-76.
6. Yazdanfar A, Dadras F, Hosseini Yekta N. Human temperaments classification and related tendencies to architecture indices. Journal of Nurse and Physician within War. 2015;2(5):201-211.
7. Safari MA, Kooshki Jahromi M, Forooghi A. The relationship between temperament, BMI and physical fitness factors between students the Islamic Republic of Iran Army. Journal of Nurse and Physician within War. 2019;6(21):18-25.
8. Mahmoodi Maymand M, Keshavarz A, Rahmani N. Iranian traditional medicine in management: The role of temperament on employability skills. Journal of Islamic and Iranian Traditional Medicine. 2014 Jun 10;5(1):82-93.
9. World Health Organization. WHO traditional medicine strategy: 2014-2023. Geneva: World Health Organization; 2013.
10. Mojahedi M, Naseri M, Majdzadeh SR, Keshavarz M, Ebadiani M, Nazem E, *et al*. A review on identification mizaj (Temperament) indices in Iranian traditional medicine (ITM). Medical History Journal. 2012;4(12):37-76.
11. Ahmadi M, Javadi M, Barikani A, Ansaripour M, Beheshti A. Reliability and validity of a questionnaire to measure temperament Jebeli. Journal of Islamic and Iranian Traditional Medicine. 2014;5(1):34-40.
12. Naseri M. Temperament Finder Tehran [cited 2020]. Available from: http://www.dr-naseri.com/mezajyab/intro.html.
13. Mojahedi M, Naseri M, Majdzadeh R, Keshavarz M, Ebadini M, Nazem E, *et al*. Reliability and validity assessment of Mizaj questionnaire: A novel self-report scale in Iranian traditional medicine. Iranian Red Crescent Medical Journal. 2014 Mar;16(3).
14. Salmannezhad H, Mojahedi M, Ebadi A, Mozaffarpur SA, Alipoor A, Saghebi R, *et al*. Design and validation of Mizaj identification questionnaire in Persian medicine. Iranian Red Crescent Medical Journal. 2018 Nov 30;20(11)..
15. Mozaffarpur SA, Saghebi R, Khafri S, Mojahedi M. An assessment of the agreement between Persian medicine experts on Mizaj identification. Traditional and Integrative Medicine. 2017;2(3):113-118.
16. Chu X, Sun B, Huang Q, Peng S, Zhou Y, Zhang Y. Quantitative knowledge presentation models of traditional Chinese medicine (TCM): A review. Artificial Intelligence in Medicine. 2020 Mar 1;103:101810.

17. Tsai MY, Chen SY, Lin CC. Theoretical basis, application, reliability, and sample size estimates of a meridian energy analysis device for traditional Chinese medicine research. Clinics. 2017 Apr;72(4):254-7.
18. Chung YF, Hu CS, Luo CH, Yeh CC, Si XC, Feng DH, *et al*. Possibility of quantifying TCM finger-reading sensations: II. An example of health standardization. European Journal of Integrative Medicine. 2012 Sep 1;4(3):e263-70.
19. Vadivambal R, Jayas DS. Applications of thermal imaging in agriculture and food industry—a review. Food and Bioprocess Technology. 2011 Feb 1;4(2):186-99.
20. Lashkari A, Pak F, Firouzmand M. Full intelligent cancer classification of thermal breast images to assist physician in clinical diagnostic applications. Journal of Medical Signals and Sensors. 2016 Jan;6(1):12.
21. Sousa E, Vardasca R, Teixeira S, Seixas A, Mendes J, Costa-Ferreira A. A review on the application of medical infrared thermal imaging in hands. Infrared Physics & Technology. 2017 Sep 1;85:315-23.
22. Korambayil PM, Ambookan PV, Karangath RR. Role of infrared thermography in the assessment of burn wounds treated with and without hyperbaric oxygen therapy. Indian Journal of Burns. 2019 Jan 1;27(1):78.
23. Indriðadóttir LB. Physiological response of skin to localized cooling as recorded by thermal imaging (Doctoral dissertation). Reykjavík University; 2019.
24. Zhang H, Li KY, Sun SR, Wan YW, Yao XL, Zhang XL. The value-exploration of the clinical breast diagnosis by using thermal tomography. In 2008 Fourth International Conference on Natural Computation. 2008 Oct 18;5:138-142.
25. Rossignoli I, Benito PJ, Herrero AJ, Reliability of infrared thermography in skin temperature evaluation of wheelchair users. Spinal Cord. 2015;53:243–248.
26. Cardone D, Merla A. New frontiers for applications of thermal infrared imaging devices: Computational psychopshysiology in the neurosciences. Sensors. 2017 May;17(5):1042.
27. Ludwig N, Formenti D, Gargano M, Alberti G. Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of image analysis methods. Infrared Physics & Technology. 2014;62:1–6.
28. Chan TF, Vese LA. Active contours without edges. IEEE Transactions on image processing. 2001 Feb;10(2):266-77.
29. Haralick RM, Shanmugam K, Dinstein IH. Textural features for image classification. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. 1973 Nov(6):610-21.
30. Nafisi VR, Shahabi M. Intradialytic hypotension related episodes identification based on the most effective features of photoplethysmography signal. Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2018;157:1–9.
31. Ahanchi O, Saeedimehr M. Rereading the concept of temperament based on the modern medicine. Falsafe-ye Elm (Philosophy of Science). 2011;1(2):1-23.
32. Shahabi S, Hassan ZM, Mahdavi M, Dezfouli M, Rahvar MT, Naseri M, Jazani NH, Khalkhali HR. Hot and Cold natures and some parameters of neuroendocrine and immune systems in traditional Iranian medicine: a preliminary study. The Journal of Alternative and Complementary Medicine. 2008 Mar 1;14(2):147-56.
33. Rahati M, Vahedi S, Attarzadeh HS, Fathi M. Comparison of some of the performance indicators of physical fitness in warm and cold temperament men. Journal of Islamic and Iranian Traditional Medicine. 2018;9(2):143-150.

34. Javan A, Vahedi S, Khoshraftar Yazdi N. Comparing temperament in persons with shin splints and healthy male and female students at Ferdowsi University. Journal of Islamic and Iranian Traditional Medicine. 2016;7(2):147-153.
35. Mohammadi FG, Naseri M, Movahed M, Dorosti Motlagh A. The Association between basal metabolic rate and temperament in Iranian traditional medicine point of view. Journal of Islamic and Iranian Traditional Medicine. 2017;8(1):29-34.
36. Gowrishankar TR, Stewart DA, Martin GT, Weaver JC. Transport lattice models of heat transport in skin with spatially heterogeneous, temperature-dependent perfusion. Biomedical Engineering Online. 2004;3(1):42.
37. Wright CI, Kroner CI, Draijer R. Non-invasive methods and stimuli for evaluating the skin's microcirculation. Journal of Pharmacological and Toxicological Methods. 2006 Jul 1;54(1):1-25.
38. Zhang D, Xue L, Wei Z, Gao H, Tang J, Zhang Z, *et al.* Analysis of the relationship between the facial skin temperature and blood flow. Journal of Biomedical Engineering. 1999;16(1):81-5.
39. Gauci J, Falzon O, Formosa C, Gatt A, Ellul C, Mizzi S, *et al*. Automated region extraction from thermal images for peripheral vascular disease monitoring. Journal of Healthcare Engineering. 2018 Dec 13;2018.
40. Hakimi F, Mokaberi Nejad R, Nazem E, Mojahedi M, Tansaz M, Choopani R, *et al*. The concept of wetness and its kinds in Persian medicine. Journal of Islamic and Iranian Traditional Medicine. 2019 Mar 10;9(4):321-32.
41. Bhagat PK, Choudhary P, Singh KM. A comparative study for brain tumor detection in MRI images using texture features (Chapter 13). Sensors for Health Monitoring. 2019;5:259-287. Academic Press.
42. Davies ER. Computer Vision-Principles, Algorithms, Applications, Learning, Academic Press, 2018: 185-200.
43. Layek K, Samanta S, Sadhu A, Maity SP, Barui A. Classification of sonoelastography images of prostate cancer using transformation-based feature extraction techniques (Chapter 14). Soft Computing Based Medical Image Analysis. 2018:245-269. Academic Press.
44. Lashkari AE, Firouzmand M. Early breast cancer detection in thermogram images using AdaBoost classifier and fuzzy C-Means clustering algorithm. Middle East Journal of Cancer. 2016;7(3):113-124.
45. Wen T, Zhang Z. Effective and extensible feature extraction method using genetic algorithm-based frequency-domain feature search for epileptic EEG multiclassification. Medicine. 2017;96(19):1-11.
46. Bashashati A, Fatourechi M, Ward RK, Birch GE. A survey of signal processing algorithms in brain–computer interfaces based on electrical brain signals. Journal of Neural Engineering. 2007;4(2):R32.
47. Akhtari M, Moeini R, Mojahedi M, Gorji N. Assessment the studies on the concept of Mizaj (temperament) in Persian Medicine. Journal of Complementary and Integrative Medicine. 2020 Feb 11;1(ahead-of-print).