

ارائه یک روش خودکار مقایسه کمی نظیر به نظیر دمای کف پا به منظور پیش‌بینی ناحیه در معرض زخم پای دیابتی بر اساس تصاویر حرارتی و تکنیک‌های بینایی ماشین

علیرضا کاشفی*، جواد حدادنیا^۱

چکیده

مقدمه: زخم پای دیابتی (Diabetic foot ulcers) یکی از شایع‌ترین عوارض مربوط به دیابت است که بیش از ۱۵ درصد افراد دیابتی را مبتلا می‌سازد. از سوی دیگر به دلیل مشکلات موجود در سیستم ایمنی بدن افراد دیابتی، ترمیم این زخم‌ها معمولاً به کندی صورت می‌گیرد و این امر احتمال گانگرن شدن پا، قطع اندام و حتی مرگ را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد. روش‌های مرسوم برای تشخیص نواحی در معرض زخم که بر اساس معاینه و لمس کردن پوست می‌باشند، معمولاً نمی‌توانند تغییرات مربوط به یکپارچگی پوست را در زمان مناسب آشکار کرده تا از ایجاد زخم جلوگیری شود. بنابراین در سال‌های اخیر تصویر برداری حرارتی از اندام به‌عنوان یک روش جدید در تشخیص زودهنگام ناحیه در معرض زخم مورد توجه قرار گرفته است. این روش‌ها بر اساس مقایسه دمای کف پای چپ و راست برای شناسایی ناحیه التهاب صورت می‌گیرد.

روش‌ها: در این مطالعه از ۲۵ نفر از شرکت کنندگان در آزمایشگاه پردازش تصویر دانشگاه حکیم سبزواری در شرایط استاندارد تصاویر حرارتی گرفته شده، سپس الگوریتمی کاملاً خودکار به‌منظور مقایسه دقیق تصاویر حرارتی و استخراج نواحی پُرحرارت از ماتریس دمایی برای مقایسه نظیر به نظیر درجه حرارت پای چپ و راست افراد به‌منظور شناسایی ناحیه دارای التهاب پنهان طراحی گردید.

یافته‌ها: سیستم پیشنهادی طراحی شده بر اساس تکنیک‌های پردازش تصویر و بینایی ماشین موفق به یافتن دو مورد التهاب در بین افراد شرکت کننده در این پژوهش شد. میزان دقت (Accuracy)، حساسیت (Sensitivity) و ویژگی (Specificity) الگوریتم به‌ترتیب برابر با ۹۰٪، ۱۰۰٪، ۸۸٪ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: بر خلاف تحقیقات گذشته که بیشتر به‌صورت کیفی بر روی تصاویر حرارتی عمل می‌کردند، این مطالعه موفق به طراحی سیستمی کاملاً هوشمند جهت مقایسه کمی نقاط نظیر به نظیر در کف پای چپ و راست افراد به‌منظور شناسایی ناحیه التهاب گردید. این در حالی است که به گفته محققان، زمانی که یک بیمار آزمایش مونوفیلمان (monofilament test) را حس نمی‌کند و نمی‌تواند دمای کف پای خود را متوجه شود، در واقع تنها روش پیش‌بینی و پیشگیری از ایجاد زخم پا در یک پای بدون حس، تشخیص تفاوت دما است که الگوریتم طراحی شده در این تحقیق به خوبی و با دقت، صحت و مقبولیت مناسب این خواسته را برآورده می‌کند.

واژگان کلیدی: زخم پای دیابتی، تصاویر حرارتی، تکنیک‌های بینایی ماشین

- دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

* **نشانی:** سبزوار، توحید شهر، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پزشکی، تلفن: ۰۹۱۸۸۳۳۰۶۸۹، پست

الکترونیکی: alireza.kashefi@ymail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۲۱

تاریخ درخواست اصلاح: ۱۳۹۴/۰۴/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۱۴

مقدمه

دیابت نوعی بیماری متابولیک در بدن است که بعد از ابتلا به آن توانایی تولید انسولین در بدن از بین می‌رود و یا بدن در برابر انسولین مقاوم می‌گردد و در نتیجه انسولین تولید شده نمی‌تواند عملکرد طبیعی خود را انجام دهد. زخم‌های دیابتی یکی دیگر از شایع‌ترین عوارض مربوط به بیماری دیابت هستند. علت اصلی ایجاد زخم‌های دیابتی خشک و شکننده شدن پوست بدن و بالا رفتن احتمال ترک برداشتن آن به دلیل ایجاد نوروپاتی و همچنین فقدان حس درد در اندام مبتلا به نوروپاتی است.

بر اساس تعریف سازمان جهانی بهداشت، پای یک بیمار دیابتی که احتمال بروز عوارضی نظیر زخم شدن و عفونی شدن زخم با یا بدون درگیری بافت‌های عمقی در آن وجود دارد، و نیز اشکالات عصبی و درجاتی متفاوت از ضایعات عروقی در آن پیدا شده است، به‌عنوان پای دیابتی شناخته می‌شود. پای دیابتی یکی از علل مهم و نسبتاً شایع بستری شدن بیماران دیابتی در بیمارستان‌ها است و سالانه میلیاردها دلار هزینه درمان این بیماران در سراسر جهان می‌شود [۱]. مطالعات نشان داده است که احتمال بروز زخم و گانگرن در اندام تحتانی افراد دیابتی به ترتیب ۱۵ و ۵۰ برابر بیشتر از افراد غیر دیابتی است و بیش از ۱۵ درصد از بیماران دیابتی به زخم‌های پای دیابتی مبتلا می‌شوند [۲-۳]. بنابراین دیابت علت تقریباً بیش از نیمی از موارد آمپوتاسیون غیر تروماتیک محسوب می‌شود [۴]. یک بررسی گذشته‌نگر در ایران نیز نشان می‌دهد که زخم پای دیابتی در ۳۴/۷ درصد منجر به قطع عضو می‌شود و متوسط مدت زمان بستری بودن بیماران برای درمان پای دیابتی ۳۸ هفته می‌باشد [۵].

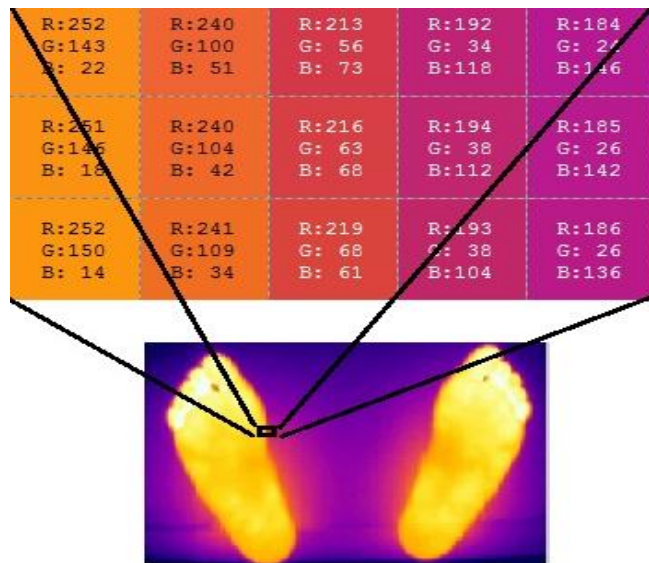
روش‌های معمول برای تشخیص پای دیابتی عمدتاً بر پایه معاینه بالینی ناحیه مورد نظر در چهار بخش زیر استوار است: (۱) معاینات عروقی مانند لمس نبض‌ها، زمان پُرشدگی وریدی، تغییرات رنگ پوست و بررسی دمایی پوست (۲) معاینات عصبی مانند درک ارتعاش، فشار مختصر، لمس و درد (۳) معاینات عضلانی-اسکلتی مانند ناهنجاری‌های بیومکانیکال، بررسی قدرت عضلانی و محدودیت‌های حرکتی در پا و (۴) بررسی‌های پوستی مانند

انسجام، خشکی، قوام و زخم‌ها و گانگرن‌های احتمالی در پوست. در میان روش‌های پیشنهادی استفاده از تصاویر حرارتی در تشخیص زودهنگام محل در معرض زخم در افراد دیابتی یکی از جدیدترین و مورد بحث‌ترین روش‌های تشخیصی در سال‌های اخیر بوده است. آزمایش‌ها نشان داده است که تصویربرداری حرارتی یک روش مناسب برای بررسی یکپارچگی پوست و لایه‌های مختلف آن بر اساس تغییرات دمایی در نقاط مختلف آن است و می‌تواند در تشخیص زودهنگام و جلوگیری از ایجاد زخم پای دیابتی مورد استفاده قرار گیرد [۶]. امکان تشخیص زودهنگام ناحیه در معرض زخم به‌ویژه در کف پای افراد دیابتی توسط تصاویر حرارتی تاکنون به‌وسیله محققان زیادی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است [۹-۱۰]. در سال ۲۰۰۵ Sun و همکاران چگونگی تغییرات دمایی ناحیه در حال زخم شدن در پای دیابتی را توسط دوربین‌های حرارتی مورد اندازه‌گیری و آزمایش قرار دادند [۱۰]. این مطالعه بر روی ۶۹ فرد مبتلا به دیابت و ۲۵ فرد سالم انجام شد. در این مطالعه افراد دیابتی بر اساس تست عصبی از کف پا و وجود نشانه‌های اولیه زخم در دو گروه پُرخطر و کم‌خطر قرار گرفته و سپس تصاویر حرارتی در شرایط استاندارد از آن‌ها گرفته شد. آزمایش‌های این افراد نشان داد که میانگین دمای کف پا در افراد سالم، کم‌خطر و پُرخطر به ترتیب 26.8 ± 1.8 ، 27.9 ± 1.7 و 30.2 ± 3.3 سانتی‌گراد بوده است و بنابراین افزایش غیر عادی دما در یک ناحیه از کف پا می‌تواند به‌عنوان یک نشانه اولیه از زخم دیابتی مورد توجه باشد. آن‌ها همچنین نشان دادند که توزیع ناهمگون دما یکی از نشانه‌های اولیه ایجاد زخم در پای دیابتی است و می‌تواند در تشخیص زودهنگام زخم‌های دیابتی موثر باشد. این نتیجه در سایر مطالعات نیز به اثبات رسیده است [۱۱، ۱۲]. پس از اثبات کارایی تصاویر حرارتی در تشخیص زودهنگام نواحی در حال زخم، الگوریتم‌های تشخیص هوشمند نواحی در معرض زخم به‌شدت مورد توجه قرار گرفتند. وظیفه اصلی این الگوریتم‌ها مقایسه دقیق نحوه توزیع دما در نواحی مختلف بدن و آشکار کردن نشانه‌های جزئی برای تشخیص زودهنگام نواحی مستعد زخم‌های دیابتی است. در میان

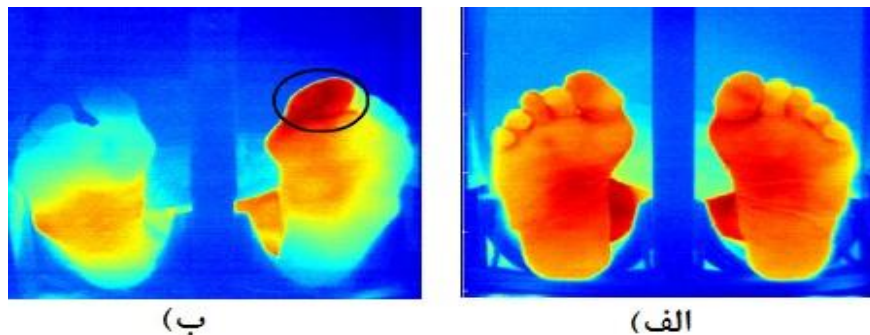
تصاویر حرارتی و توزیع دما در پای دیابتی نشات گرفته از این تصاویر

دمای سطح بدن انسان یکی از شاخص‌های مهم سلامت است که از ۴۰۰ سال قبل از میلاد در تشخیص برخی از بیماری‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت [۱۷]. تصاویر حرارتی نوعی از تصاویر هستند که بر اساس جذب اشعه‌های مادون قرمز برخاسته از سطح یک جسم تولید می‌شوند. اشعه مادون قرمز نوعی سیگنال با فرکانس پایین و طول موج بالا است که از تمامی اجسام و به‌عنوان تابعی از دما ساطع می‌شود. به‌طوری که هرچه دمای جسم بیشتر باشد، شدت اشعه مادون قرمز انتشار یافته بیشتر است. یک تصویر حرارتی در محیط نرم‌افزاری، آرایه‌ای سه‌بعدی از شدت روشنایی پیکسل‌ها در فضای G و R (قرمز، سبز و آبی) است به‌طوری‌که شدت روشنایی پیکسل‌ها برای هر رنگ عددی بین ۰ تا ۲۵۵ می‌باشد. شکل ۱ مقادیر عددی شدت روشنایی پیکسل‌ها در بخش کوچکی از یک تصویر حرارتی را نشان می‌دهد. دوربین‌های حرارتی علاوه بر تصویر حرارتی یک نقشه دمایی از تک تک نقاط پا (ماتریس دمایی) را به همان ابعاد تصویر حرارتی در اختیار ما قرار می‌دهند. در حالت عادی و در یک فرد سالم توزیع دما در نواحی مختلف کف پاها نسبت به یکدیگر متقارن است. اما بسیاری از عوامل ایجاد کننده پای دیابتی مستقیماً بر روی جریان خون تاثیر می‌گذارند و توزیع دمایی در محل ایجاد زخم را به‌طور محسوسی تغییر می‌دهند. معمولاً در ناحیه در معرض زخم نوعی التهاب ایجاد می‌شود و جریان خون در این منطقه را افزایش می‌دهد که این امر سبب افزایش دمای محیطی در این ناحیه می‌شود. بنابراین شدت اشعه مادون قرمز ساطع شده از ناحیه در معرض زخم نسبت به پای سالم افزایش می‌یابد و تغییرات قابل ملاحظه‌ای را بر روی تصویر حرارتی ایجاد می‌کند. شکل ۲ نمونه‌ای از تصاویر حرارتی مربوط به پای یک فرد سالم و یک فرد دیابتی دارای نشانه‌های زخم را نشان می‌دهد.

این روش‌ها مقایسه چگونگی توزیع دما در دو پای مربوط به یک بیمار با یکدیگر یکی از موثرترین روش‌های تشخیصی است [۱۴، ۱۳]. در این روش نقاط متناظر در دو پا با یکدیگر از نظر دما مقایسه شده و نواحی مشکوک تعیین می‌شوند. به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای Kaabouch و همکاران روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مقایسه توزیع دما در کف پای افراد دیابتی برای تشخیص زود هنگام ناحیه در معرض زخم ارائه دادند. در این روش ابتدا تصاویر حرارتی با استفاده از یک روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک بخش‌بندی شده‌اند و سپس با محاسبه مرکز ثقل تصاویر و زاویه پاها نسبت به خط عمودی بر یکدیگر انطباق یافته‌اند. در مرحله بعد مقایسه توزیع دمایی نقطه به نقطه در دو پا بر اساس شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر انجام شده و ناهماهنگی‌های موجود در توزیع دمایی با استفاده از یک آستانه گذاری مشخص شده است [۱۵]. Arad و همکاران با بررسی ۱۳ تحقیق از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ میلادی روش‌هایی را که در پیشگیری از ایجاد زخم پای دیابتی به‌کار رفته‌اند را بررسی نموده و میزان موفقیت روش‌های تداخلی اولیه و ثانویه را در پیشگیری از ایجاد زخم پای دیابتی در آینده در بیماران ارزیابی نمودند. زمانی که یک بیمار آزمایش مونوفیلیمان را حس نمی‌کند و نمی‌تواند دمای کف پای خود را متوجه شود، در واقع تنها روش پیش‌بینی و پیشگیری از ایجاد زخم پا در یک پای بدون حس، تشخیص تفاوت دما است [۱۶]. یکی از بهترین روش‌ها استفاده از دستگاهی است که دمای پا را اندازه‌گیری می‌کند. در بیشتر تحقیقات گذشته برای مقایسه نواحی پُر حرارت در کف پای راست و چپ بیماران دیابتی معمولاً از روش‌های کیفی بر روی تصاویر حرارتی استفاده شده است. در این مطالعه به مقایسه کمی نظیر به نظیر نقاط کف پای چپ و راست در ماتریس دمایی به کمک تصاویر حرارتی پرداخته شده است.



شکل ۱- نمونه‌ای از یک تصویر حرارتی در محیط نرم افزاری



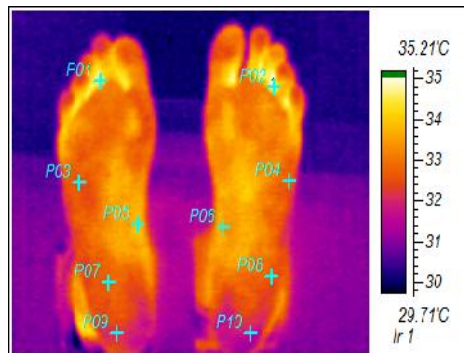
شکل ۲- الف) تصویر حرارتی پاهای سالم ب) پای در معرض زخم

روش‌ها

در این تحقیق از ۲۵ نفر از شرکت کنندگان در آزمایشگاه پردازش تصویر حکیم سبزواری در شرایط استاندارد تصاویر حرارتی گرفته شد [۱۸]. دمای اتاق آزمایش ۲۴ درجه سانتی‌گراد بود و از شرکت کنندگان در این آزمایش خواسته شد که پوشش‌های پای خود را مانند کفش و جوراب از پای خود درآورده و به مدت ۱۵ دقیقه برای رسیدن به تعادل دمایی به استراحت بپردازند، از آن‌ها خواسته شد که بر پشت خود دراز کشیده و زاویه دوربین نسبت به پای شرکت کنندگان به صورت ۹۰ درجه برای گرفتن تصاویر هر چه بهتر تنظیم شد. همان‌طور که گفته شد مقایسه دقیق چگونگی انتشار دما در تصاویر حرارتی مربوط به کف پای افراد مشکوک به ابتلا به زخم پای

دیابتی در تشخیص زودهنگام نواحی در حال زخم بسیار موثر است. یک روش مناسب برای تشخیص نواحی در حال زخم شدن کف پا مقایسه این نقاط با یکدیگر است. اما مقایسه چگونگی انتشار دما به صورت کمی در دو پا نیاز به یک روش مناسب و دقیق دارد. در راستای این هدف در این بخش یک الگوریتم کاملاً خودکار مقایسه نحوه انتشار دماهای مختلف کف دو پا پیاده‌سازی و مورد آزمایش قرار گرفته است. در حقیقت رنج بیشترین دما و کمترین دما در ماتریس دمایی بین ۰ تا ۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۳ و نوار رنگی کنار آن مشاهده می‌شود اختلاف این درجه حرارت بین ۲۹/۷۱ درجه سانتی‌گراد تا ۳۵/۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. که نشان دهنده رنج پایین دمای نقاط مختلف پاها می‌باشد.

P01=4.34	P02=34.21
P03=32.5	P04=32.7
P05=32.7	P06=33.75
P07=32.71	P08=32.6
P09=32.05	P10=31.78

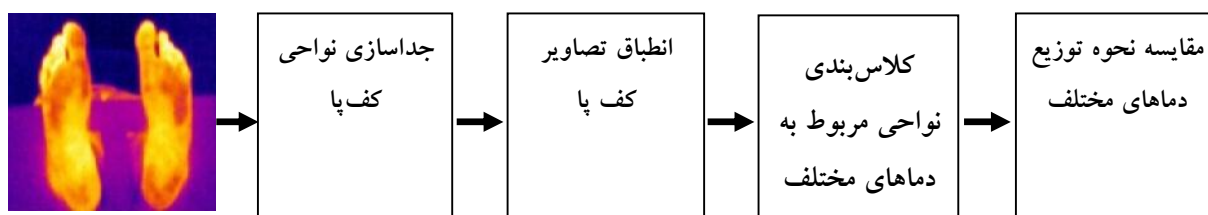


شکل ۳- نمونه‌ای از تصاویر حرارتی گرفته شده و رنج دمایی آن

می‌شود. اما به دلیل اختلاف ۲۵۵ مقداری پیکسل‌های تصاویر حرارتی، پارامترهای ذکر شده در تصاویر حرارتی بسیار بهتر از ماتریس دمایی پا استخراج می‌شود. لذا ما برای به دست آوردن نحوه توزیع دما در مناطق پُرحرارت از استخراج ویژگی‌ها در تصاویر حرارتی استفاده کرده و سپس تک تک مراحل الگوریتم خود را بر روی ماتریس دمایی نیز اعمال می‌کنیم.

به دلیل این فاصله دمایی نه چندان بالا بین کمترین و بیشترین مقادیر دمایی و همچنین فاصله دمایی نه چندان زیاد دمای پاها با محیط اطرافشان استخراج ویژگی‌هایی مانند لبه (Edge) و جداسازی ناحیه پاها از پس زمینه و همین‌طور انطباق پاها چپ و راست و استخراج نواحی پُرحرارت و در نهایت مقایسه نواحی پُرحرارت هر یک از پاها با پای طرف مقابل در ماتریس دمایی به سختی انجام

دریافت تصویر

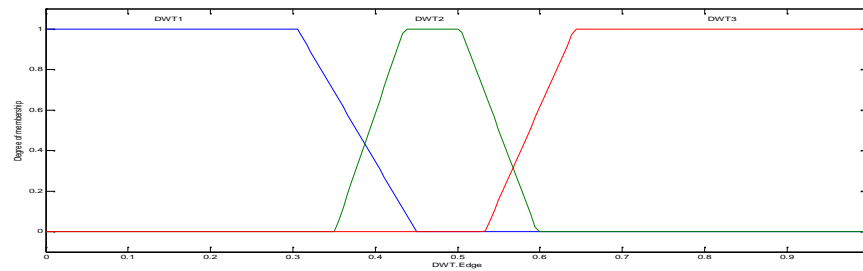


شکل ۴- مراحل الگوریتم پیشنهادی

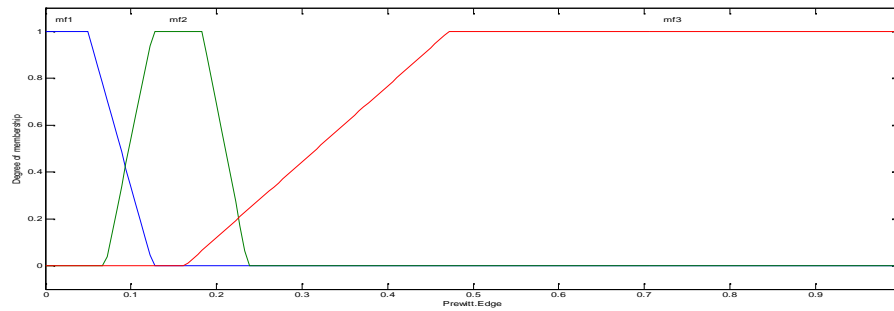
می‌شوند. بنابراین برای حل این مشکل از تبدیل ویولت گسسته (DWT) که به دلیل عملکرد چند مقیاسی و محلی بالایی که دارد به خوبی قادر به جداسازی لبه‌های تصویر می‌شود و با ترکیب لبه حاصل از ویولت و الگوریتم لبه‌یابی پرویت (prewitt edge detection) به وسیله قوانین فازی (fuzzy rule) وفق به استخراج لبه‌های پاها و استخراج ناحیه پاها از تصویر پس زمینه می‌شویم. توابع عضویت مربوط به الگوریتم لبه‌یابی پرویت و الگوریتم ویولت در شکل ۵ آمده است.

جداسازی نواحی کف پا

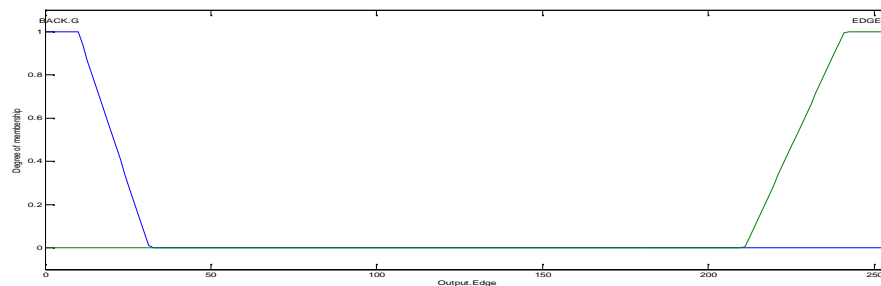
اولین مرحله الگوریتم پیشنهادی شامل استخراج لبه‌های مربوط به کف پاها به منظور جداسازی ناحیه مورد مطالعه در تصاویر دریافتی است. در این مرحله نواحی مربوط به کف پاها در تصاویر حرارتی به‌طور هوشمند و توسط یک الگوریتم ابتکاری و بسیار قوی جدا می‌شود. روش‌های کلاسیک تشخیص لبه که بر پایه شناسایی لبه‌ها بر اساس شیب تغییرات شدت روشنایی تصویر هستند. معمولاً در پایان این الگوریتم‌ها با قرار دادن یک مقدار آستانه، در خروجی بسیاری از لبه‌هایی که دارای شدت روشنایی متوسط هستند حذف



(الف)



(ب)



(ج)

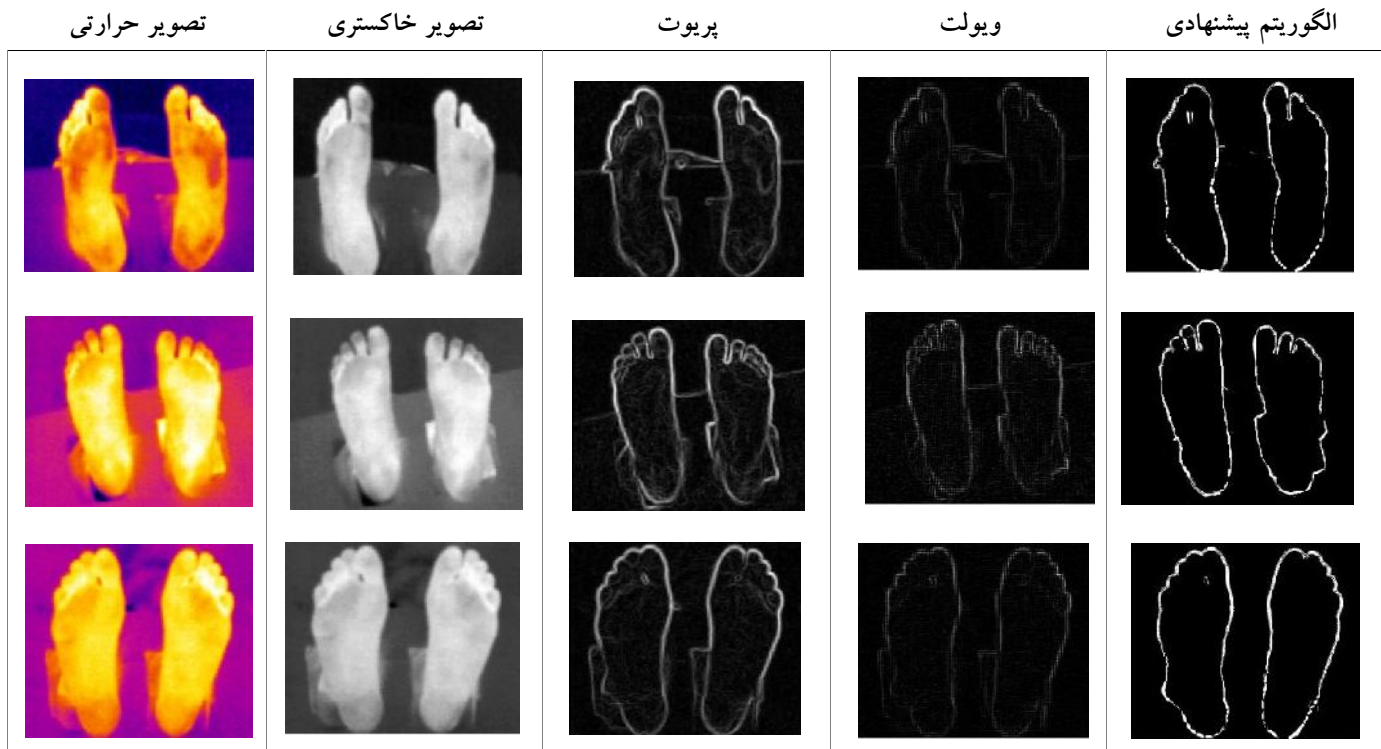
شکل ۵- توابع عضویت (الف) تابع عضویت ویولت (ب) تابع عضویت پرویت (ج) تابع عضویت خروج

به‌عنوان لبه انتخاب نمی‌شود. ۵- اگر پیکسل پرویت متوسط و پیکسل ویولت هم متوسط باشد آنگاه این پیکسل به‌عنوان لبه انتخاب می‌شود. ۶- اگر پیکسل پرویت قوی و پیکسل ویولت متوسط باشد آنگاه پیکسل به‌عنوان لبه به حساب می‌آید. ۷- اگر پیکسل پرویت ضعیف و پیکسل ویولت قوی باشد آنگاه پیکسل به‌عنوان لبه به حساب می‌آید. ۸- اگر پیکسل پرویت متوسط و پیکسل ویولت قوی باشد آنگاه پیکسل به‌عنوان لبه به حساب می‌آید. ۹- اگر پیکسل پرویت قوی و پیکسل ویولت قوی باشد آنگاه پیکسل به‌عنوان لبه به حساب می‌آید. نتایج حاصل از اجرای این الگوریتم در شکل ۶ آمده است.

در این الگوریتم از قوانین استنتاج ممدانی (max, min) و قانون‌های اگر- آنگاه به شرح زیر استفاده کرده‌ایم که در جدول ۱ آمده است. قوانین فازی با استفاده از بررسی تصاویر دیتا بیس و به‌صورت تجربی با استفاده از دانش فرد خبره که از مزایای منطق فازی می‌باشد به‌دست آمده است. ۱- اگر پیکسل پرویت ضعیف و پیکسل ویولت ضعیف باشد آنگاه پیکسل به‌عنوان لبه انتخاب نمی‌شود. ۲- اگر پیکسل پرویت متوسط و پیکسل ویولت ضعیف باشد آنگاه پیکسل به‌عنوان لبه حساب نمی‌شود. ۳- اگر پیکسل پرویت قوی و پیکسل ویولت گسسته ضعیف باشد آنگاه پیکسل به‌عنوان لبه حساب می‌شود. ۴- اگر پیکسل پرویت ضعیف و پیکسل ویولت متوسط باشد آنگاه پیکسل

جدول ۱- نمودار قوانین فازی

پرویت	ویولت		
	ضعیف	متوسط	قوی
ضعیف	پیکسل سیاه	پیکسل سیاه	پیکسل لبه
متوسط	پیکسل سیاه	پیکسل لبه	پیکسل لبه
قوی	پیکسل لبه	پیکسل لبه	پیکسل لبه



شکل ۶- تصاویر اجرای ۳ الگوریتم لبه یابی

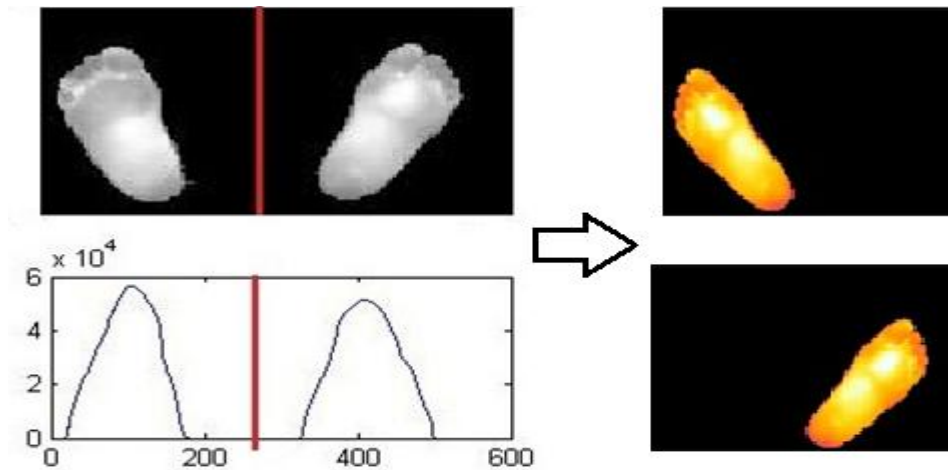
انطباق تصاویر کف پا

این مرحله شامل جداسازی دو پا از یکدیگر به صورت دو تصویر جداگانه است. برای جداسازی پاها از یکدیگر از نمودار پراکندگی در جهت محور X استفاده شده است که در شکل ۷ مشاهده می شود. سپس هر دو پا به مرکز تصویر انتقال داده شده و با استفاده از الگوریتم بهینه سازی

ژنتیک (Genetic Algorithm) اختلاف زاویه بین پای چپ و راست که ممکن است در حین تصویر برداری در فرد بیمار ایجاد شود را تصحیح می کنیم. مشخصات الگوریتم ژنتیک طراحی شده در جدول ۲ آمده است و نتایج حاصل از اجرای این الگوریتم در شکل ۸ مشاهده می شود.

جدول ۲- مشخصات الگوریتم ژنتیک طراحی شده

اندازه جمعیت	۴۰ زاویه بین ۳۶۰ درجه و ۳۶۰-
نوع ترکیب	روش تقاطع میانی
احتمال جهش	۰/۱۲
نوع انتخاب	روش جایگزین نسل اصلاح شده
تعداد نسل ها	۵۰



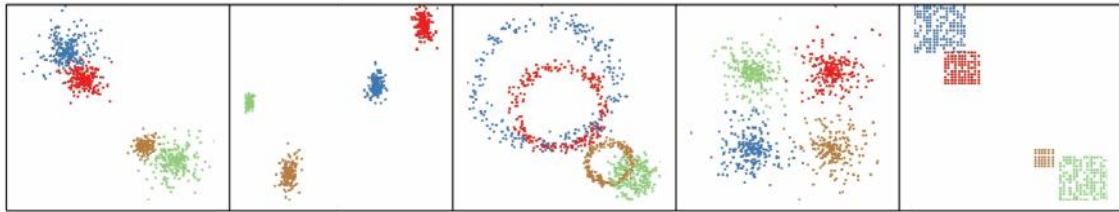
شکل ۷ - جداسازی پاهای راست و چپ از یکدیگر

تصویر حرارتی	جدا سازی پاها		انطباق به روش پیشنهادی	
	پای راست	پای چپ	پای راست	پای چپ

شکل ۸ - مراحل انطباق پاها بر روی یکدیگر

حرارت استخراج شده که در پای چپ را از نواحی پُر حرارت پای راست تفریق می‌کنیم تا نواحی مشکوک در این دو پا استخراج شوند. نحوه عملکرد الگوریتم میانگین فازی c در شکل ۹ نمایش داده شده است.

جداسازی نواحی پُر حرارت
در این مرحله با استفاده از الگوریتم میانگین فازی c (FCM) ناحیه پُر حرارت را در هر دو پا جدا کرده و با کم کردن نواحی پُر حرارت استخراج شده توسط الگوریتم میانگین فازی c پای راست از پای چپ و همین‌طور نواحی پُر



شکل ۹- اعمال الگوریتم FCM بر روی داده ها و تقسیم بندی آنها

برای استخراج نواحی پُرحرارت ما رنگ‌های تصاویر حرارتی را به ۴ کلاس (خوشه) تقسیم می‌کنیم، کلاس اول رنگ‌های شبیه به رنگ سیاه به مرکز (۵-۵-۵)، کلاس دوم رنگ‌های شبیه به رنگ بنفش مرکز کلاس (۱۸۰-۹-۱۴۵)، کلاس سوم که مناطق نزدیک به رنگ نارنجی به مرکزیت

(۱۰-۱۸۰-۲۲۰) انتخاب شده‌اند و کلاس چهارم نقاط پُرحرارت به مرکزیت (۲۴۰-۲۴۰-۲۴۰) بعد از مرحله کلاس‌بندی که بر اساس نزدیک‌ترین فاصله داده‌ها به مرکز خوشه می‌باشد. نتایج حاصل از این الگوریتم در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود.

تصویر حرارتی

کلاس‌بندی دمایی پاها

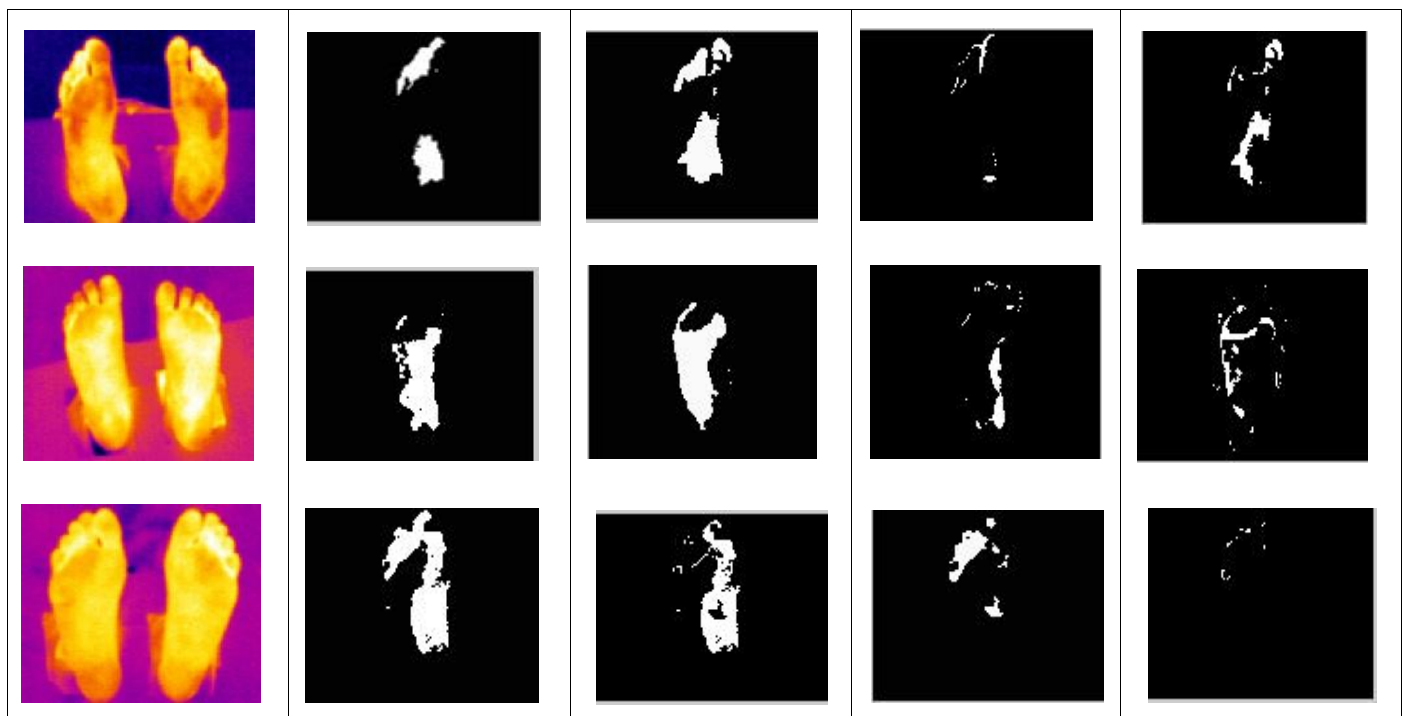
نواحی مشکوک به زخم در هر پا

پای چپ

پای راست

پای چپ

پای راست



شکل ۱۰- اعمال الگوریتم میانگین فازی C و عمل تفریق

معنی تشخیص درست در موارد التهابی، TN به معنی تشخیص درست موارد غیرالتهابی، FP مواردی که به اشتباه ملتهب شناسایی شده‌اند، FN مواردی که به اشتباه غیرملتهب تشخیص داده شده‌اند.

یافته‌ها

پس از انجام آزمایش‌ها و ارائه روش پیشنهادی، به منظور بررسی قدرت عملکردی سیستم و روش پیشنهادی، از پارامترهایی شامل؛ FN, FP, TN, TP که در جدول ۳ مشخص شده است استفاده می‌نماییم. در این جدول TP به

جدول ۳- شاخص‌های مربوط به شایستگی‌های الگوریتم

ملتهب	غیر ملتهب	
Tp=2	Fp=2	ملتهب واقعی
Tn=16	Fn=0	غیر ملتهب واقعی

۲۵ شرکت کننده در این پژوهش در پاهایی ۲ فرد التهاب و ۲۳ فرد فاقد التهاب بودند. به منظور تعیین میزان صحت الگوریتم پیشنهادی در بیشتر تحقیقات مواردی همچون دقت، حساسیت و ویژگی را به صورت زیر تعیین می‌کنند که به صورت جدول ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند.

در این پژوهش از مجموع ۲۵ تصویر ورودی، فقط ۲۰ عکس قابلیت اجرایی داشته است و در ۵ تصویر به دلیل عدم وجود کنتراست مناسب قادر به انجام روش پیشنهادی نبوده است. همچنین در ۲ مورد الگوریتم به اشتباه نواحی غیر ملتهب را به عنوان نواحی ملتهب تشخیص داد. در بین

جدول ۴- نحوه محاسبه شایستگی‌ها

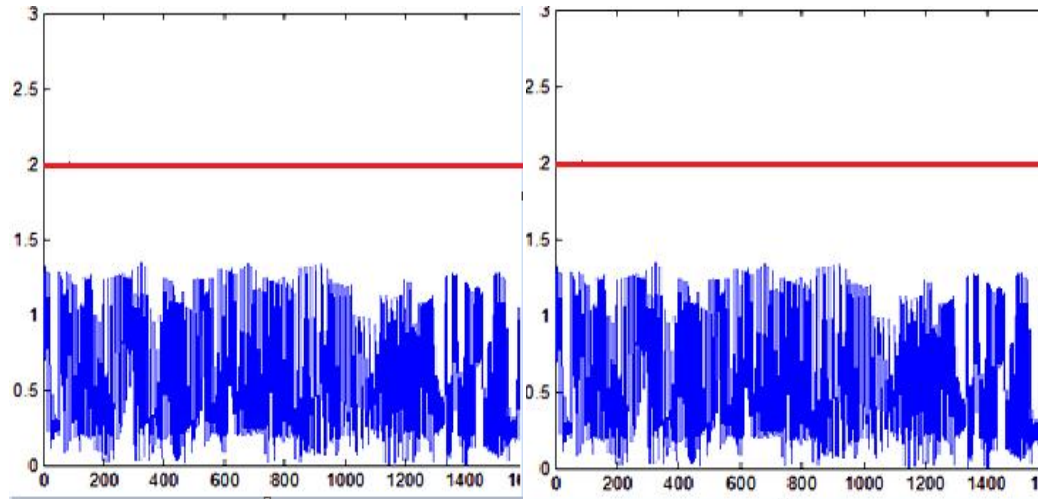
عنوان	رابطه	عنوان	رابطه
حساسیت	$\frac{Tp}{Tp + Fn} * 100$	کسر مثبت کاذب	$\frac{Fp}{Tp + Fp} * 100$
ویژگی	$\frac{Tn}{Tn + Fp} * 100$	کسر منفی کاذب	$\frac{Fn}{Tp + Fn} * 100$
دقت	$\frac{Tp + Tn}{Tp + Tn + Fn + Fp}$	کلاس های اشتباه	$\frac{FP + FN}{TP + TN + FN + FP} * 100$

جدول ۵- محاسبه میزان شایستگی‌های الگوریتم

عنوان	رابطه	عنوان	رابطه
حساسیت	٪۱۰۰	کسر مثبت کاذب	٪۵۰
ویژگی	٪۸۸	کسر منفی کاذب	٪۰
دقت	٪۹۰	کلاس های اشتباه	٪۱۰

به نظیر با کمک عملیات تفریق مقایسه می‌کنیم. با توجه به تحقیقات گذشته مقدار بحرانی اختلاف دما بین نواحی پای چپ و راست ۲ درجه سانتی‌گراد بیان شده است [۲۰، ۱۹]. شکل ۱۱ نمودار تفاضلی نواحی مشکوک به زخم از پای چپ در پای راست و همین‌طور نمودار تفاضلی نواحی مشکوک به زخم از پای راست در پای چپ را مشاهده می‌کنیم. که تمامی مقادیر زیر ۲ درجه سانتی‌گراد است که نشانه عدم وجود التهاب است.

تمامی این الگوریتم‌ها را بر روی ماتریس دمایی که از نظر ابعاد با ماتریس تصویر به یک اندازه می‌باشند، اجرا می‌کنیم. بدین صورت که پس از جدا سازی پاها از پس زمینه، ناحیه متناظر پاهای چپ و راست حاصله از تصاویر حرارتی را در ماتریس دمایی نیز جدا می‌کنیم. همین‌طور تمامی پارامترها که توسط اجرای الگوریتم بر روی تصاویر حرارتی به دست آمده را از ماتریس دمایی استخراج می‌کنیم و در نهایت نواحی مشکوک پُر حرارت در پاهای چپ و راست را از ماتریس دمایی استخراج کرده و به صورت نظیر



شکل ۱۱- مقایسه (هر دو پا) دمای نواحی گرم هر پا با طرف مقابل که از میزان استاندارد ۲ درجه کمتر است

التهاب مشاهده می‌شود و همین‌طور ۱۶ نفر از افرادی که بدون علائم التهاب بوده‌اند به درستی شناسایی شده و تنها ۲ نفر از افراد که علائم التهاب نداشته به اشتباه دارای التهاب شناسایی می‌شوند. بدین ترتیب ما موفق به طراحی یک سیستم هوشمند با دقت بالا، صحت و مقبولیت مناسب برای تشخیص التهاب به منظور پیش‌گیری از زخم پای دیابتی شدیم.

سپاسگزاری

از همکاری صمیمانه دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه حکیم سبزواری سپاسگزاریم. این مقاله منبع تأمین مالی نداشته است.

نتیجه گیری

بر خلاف تحقیقات گذشته که بیشتر به صورت کیفی بر روی تصاویر حرارتی عمل می‌کردند، ما موفق به طراحی سیستمی کاملاً هوشمند جهت مقایسه کمی نقاط نظیر به نظیر در کف پای چپ و راست افراد به منظور شناسایی ناحیه التهاب شدیم. این در حالی است که به گفته محققان زمانی که یک بیمار آزمایش مونوفیلمان را حس نمی‌کند و نمی‌تواند دمای کف پای خود را متوجه شود، در واقع تنها روش پیش‌بینی و پیش‌گیری از ایجاد زخم پا در یک پای بدون حس، تشخیص تفاوت دما است. در این پژوهش نشان داده شد از بین ۲۰ تصویری که الگوریتم قابلیت اجرا بر روی آنها را داشته ۲ نفر که در کف پای آنها علائم

۱. باقر؛ فروزنده، فرشاد. اختلالات پای دیابتی. مجله دیابت و لیپید ایران، بهار و تابستان ۱۳۸۲؛ دوره ۲ (شماره ۲).
۲. سروش، احمدرضا و همکاران "اصول برخورد بالینی با زخم‌ها و سوختگی‌ها". تهران: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی تهران؛ ۱۳۸۲. ص ۲۴۴-۲۶۲.
3. Inlow Sh, Orsted H, Sibbald RG. Best practices for the prevention, diagnosis and treatment of diabetic foot ulcers. *Ostomy/Wound Management* 2000; 46: 55-68.
4. Fryberg RG, et al. Diabetic foot disorders, a clinical practice guideline. *American College of*

Foot and Ankle Surgeons and the American College of Foot and Ankle Orthopedics and Medicine 2000: 1-48.

5. لاریجانی، باقر و همکاران. شیوع آمپوتاسیون عضو در بیماران مبتلا به زخم پای دیابتی بستری شده در بیمارستان شریعتی و امام خمینی تهران از سال ۱۳۵۸ تا ۱۳۷۳. *مجله دیابت و لیپید ایران، بهار و تابستان ۱۳۸۰؛ دوره ۱ (شماره ۱): ۵-۸۳.*
6. Boyko EJ, Ahroni JH, Stensel VL. Skin temperature in the neuropathic diabetic foot. *J. Diabetes Complications* 15 (2001):260-264.

7. Armstrong DG, Lavery LA, Liswood PJ, Todd WF, and Tredwell J. *Infrared dermal thermometry of the high-risk diabetic foot*. Phys Ther, vol. 77, pp. 169–177, 1997.
8. Lavery LA, Armstrong DG, Vela S, and Fleishli JG. *Practical criteria to screen patients at risk for diabetic foot ulceration*, Arch. Int. Med., vol. 158, pp. 157–162, 1998.
9. Chen Y, Kaabouch N, Anderson J, Forrest Ames F. *Static and dynamic skin thermal distributions for early detection/prediction of foot ulcers*. 2008 North Dakota EPSCoR State Conference, Grand Forks, September 19, 2008.
10. Pi-Chang Sun, Hong-Da Lin, Shyh-Hua Eric Jao, Yan-Chiou Ku, Rai-Chi Chan, Cheng-Kung Cheng. *Relationship of skin temperature to sympathetic dysfunction in diabetic at-risk feet*. 2006 Elsevier Ireland Ltd.
11. Oe M, Yotsu RR, Sanada H, Nagase T, Tamaki T. Thermographic findings in a case of type 2 diabetes with foot ulcer and osteomyelitis. *J Wound Care*. 2012;21(6):274, 276-8.
12. Sumpio BE. Foot ulcers. *N. Engl. J. Med*. 2000; (343): 787–793.
13. Sun PC, Jao SH, Cheng CK. Assessing foot temperature using infrared thermography. *Foot Ankle Int* 2005; (26): 847–853.
14. Liu C, van der Heijden F, and van Netten JJ. *Towards surface analysis on diabetic feet soles to predict ulcerations using photometric stereo*, SPIE (2012).
15. Kaabouch N, Chen Y, Anderson J, Ames F, and Paulson R. *Asymmetry Analysis Based on Genetic Algorithms for the Prediction of Foot Ulcers*. Visualization and Data Analysis 2009, SPIE Vol. 7243.
16. Yadon A. Beyond the Monofilament for the Insensate Diabetic Foot A systematic review of randomized trials to prevent the occurrence of plantar foot ulcers in patients with diabetes. *Diabetes Care* 2011; 34:4 1041-1046.
17. Ng EYK. A review of thermography as promising noninvasive detection modality for breast tumor. *International Journal of Thermal Sciences* 2009, 48 (5): 849-859.
18. Ring EFJ, Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermology International* 2000; 7: 7–14.
19. Roback K. An overview of temperature monitoring devices for early detection of diabetic foot disorders. *Expert Rev Med Devices* 2010; 7(5):711-8.
20. Armstrong DG, Lipsky BA, Polis AB, and Abramson MA. Does dermal thermometry predict clinical outcome in diabetic foot infection? Analysis of data from the SIDESTEP trial. *Int Wound J* 2006; 3(4): 302-7.

PROVIDE AN AUTOMATED METHOD FOR QUANTITATIVE COMPARISON OF PEER TO PEER AT THE FEET OF DIABETIC FOOT ULCERS IN ORDER TO PREDICT THE THERMAL IMAGES AND COMPUTER VISION TECHNIQUES

Alireza Kashefi^{1*}, Javad Haddadnia¹

1. Department of Biomedical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

ABSTRACT

Background: Diabetic foot ulcers are one of the most common complications of diabetes that affect more than 15 percent of diabetic people. In the other hand, due to problems in the immune system of diabetic patients, these ulcers are often slow to take hold and this dramatically increase the risk of gangrene, amputation and even death. Conventional methods to identify vulnerable areas to ulcers that are based on the examination and palpation of the skin, this usually can't reveal changes of integrity of the skin at the right time to prevent the ulcers. Therefore in recent years, thermal imaging from the body as a new method to early diagnosis has been considered to be as a ulcers area. This method is based on comparing the left and right feet's temperature to identify areas of inflammation occurs.

Methods: In this study from 25 participants feet's thermal images were taken in the Image Processing Laboratory, University of Hakim Sabzevari at standard conditions and Then The algorithm is fully automatic order to compare the thermal image accurately and extraction of passionate area from the temperature matrix for correspondent comparison of left and right feet's temperature Is designed to identify areas of hidden inflammation.

Results: The proposed system is designed based on image processing and computer vision techniques, Able to find two cases of inflammation were among the participants in the study. The accuracy, sensitivity and specificity of the algorithm, respectively equal of % , % and % achieved.

Conclusion: Unlike past researches that is more for the quality of their action on the thermal images, we managed to design quite a smart system that quantitatively comparing peer to peer parts of the left and right people' planetary, in order to identify the inflammation area. While the researchers said that when a patient does not feel the monofilament testing and couldn't noticed the temperature of his/her soles of his/her feet, In fact, the only method to prediction and prevention of creating ulcers in a foot without sense, is detecting the temperature difference, that designed algorithm in this research well and accurately, makes meet The authenticity and acceptability of this demands.

Keywords: Diabetic foot ulcers, thermal image, computer vision techniques