

پایش درجه حرارت محدوده گوش و صورت هنگام مکالمه با تلفن همراه با استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه

آرش فتحی^۱، حمید عبادی^۲، فرید اسماعیلی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد نقشه برداری، دانشکده مهندسی ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- دانشجوی دکتری فتوگرامتری، دانشکده مهندسی ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده

امروزه فتوگرامتری برد کوتاه و زمینه‌های کاربرد آن بسیار گسترده شده است. فتوگرامتری برد کوتاه به تصاویر مرئی محدود نشده و از آن هم فراتر رفته به طوری که از تصاویر حاصل از انواع سنجنده‌های مختلف از جمله تصاویر مادون قرمز، تصاویر حرارتی و ... در فتوگرامتری برد کوتاه برای تولید مدل سه‌بعدی و همچنین محصولات دیگر استفاده می‌شود. در این مقاله به بررسی پایش کمی افزایش درجه حرارت محدوده گوش و صورت هنگام مکالمه با تلفن همراه با استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه مبتنی بر سنجنده‌های حرارتی پرداخته شده است. برای این کار با استفاده از تصویربرداری همگرای حرارتی از سر انسان در حین مکالمه با تلفن همراه، عکس نقشه عارضه در اپک‌های زمانی مختلف تولید شده است. سپس با استفاده از روش‌های ناحیه مبنا، محدوده تغییر حرارت داده شده از عکس نقشه حرارتی به صورت اتوماتیک استخراج و برهم منطبق گردیده اند. نتایج نشان‌دهنده تولید موفق مدل سه‌بعدی مبتنی بر تصاویر حرارتی و استخراج صحیح عوارض موضعی هدف از عکس نقشه حرارتی است. تحلیل‌های موفق در اندازه‌گیری‌های فتوگرامتری حرارتی مبنا، نشان می‌دهند که با گذشت زمان مساحت محدوده گرم شده به صورت نمایی افزایش می‌یابد و در نتیجه هرچه مدت زمان مکالمه با تلفن همراه بیشتر شود مساحت محدوده گرم شده بیشتر شده و در نتیجه احتمال بروز مشکلات در سلامتی افراد نیز افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: فتوگرامتری برد کوتاه، تصاویر حرارتی، مدل سه بعدی، عکس نقشه، تلفن همراه.

۱- مقدمه

فتوگرامتری برد کوتاه شاخه‌ای از علم فتوگرامتری است که در چند دهه‌ی اخیر با پیشرفت تکنولوژی پیشرفت چشمگیری داشته است. فتوگرامتری برد کوتاه با توجه به مزایای آن از جمله دستیابی به هدف مورد نظر با دقت مورد نظر در مدت زمان کمتر و با هزینه کمتر، در اغلب موارد سبب صرفه جویی در زمان و هزینه شده است. در بسیاری از موارد، تکنیک‌های مبتنی بر فتوگرامتری برد کوتاه به خوبی جایگزین روش‌های مرسوم گردیده و از جایگاه مناسبی در حوزه‌های مختلف علوم برخوردار گردیده است. امروزه فتوگرامتری برد کوتاه در زمینه‌های مختلف از جمله در پزشکی [۶، ۱۲، ۱۳]، صنعت [۱۰، ۱۱]، باستان‌شناسی [۴، ۹]، جابجایی سنجی سازه‌های عمرانی [۳، ۷] و ... به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر تصاویر مرئی از تصاویر مختلفی از جمله تصاویر مادون قرمز و تصاویر حرارتی و ... در فتوگرامتری برد کوتاه برای انجام اندازه‌گیری‌های دقیق و مدل‌سازی سه بعدی استفاده می‌شود. ویژگی‌های خاص تکنیک‌های فتوگرامتری مبنا از جمله امکان اندازه‌گیری‌های بلادرنگ و آنلاین، عدم نیاز به تماس فیزیکی با عارضه حین برداشت مشاهدات، امکان آرشیو برداری، پتانسیل بالا در دستیابی به دقت‌های زیاد، بصری‌سازی مناسب در کنار خروجی‌های اندازه‌گیری، موفقیت و جذابیت به کارگیری این روش را در کاربردهای مختلف افزایش داده است.

تحقیقات مختلفی در حوزه فتوگرامتری حرارتی در زمینه به کارگیری و کاربردهای تصاویر حرارتی در روش‌های فتوگرامتری مبنا و کالیبراسیون دوربین‌های حرارتی انجام شده است. جاویدی و همکاران در سال ۱۳۹۶ ارزیابی توانایی روش‌های کالیبراسیون در تصحیح هندسی دوربین‌های حرارتی با استفاده از تارگت‌های مربعی و دایره‌ای انجام دادند و

*نویسنده مکاتبه کننده: آرش فتحی

آدرس کامل پستی: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد
کد پستی: ۱۵۴۳۳-۱۹۹۶۷

تلفن: ۰۹۱۸۷۲۳۹۴۳۱

در نهایت به این نتیجه رسیدند که روش استفاده از تارگت های دایره ای روش دقیق تری برای کالیبراسیون دوربین های حرارتی است [۱]. آل بویه و همکاران در سال ۱۳۹۶ کار کالیبراسیون سیستم های حرارتی و مرئی در پهپادها را انجام دادند و در نهایت به نتیجه قابل قبولی برای کالیبراسیون دوربین های حرارتی همچون دوربین های مرئی رسیدند [۲]. Samuel و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۷ کار پایش قله کوه آتشفشانی را با استفاده از تصاویر حرارتی انجام دادند. Rasiwala و همکاران [۶] کار تشخیص سرطان سینه را با استفاده از تصاویر حرارتی انجام دادند.

امروزه تلفن همراه یک وسیله ضروری در زندگی بشریت است و استفاده از آن در زندگی روزمره انکارناپذیر است و هر کسی روزانه بدون توجه به پیامدها و تاثیرات منفی ناشی از این وسیله بر روی بدن از آن استفاده می کند. یکی از پیامدهای استفاده از تلفن همراه افزایش حرارت بدن ناشی از امواج الکترومغناطیس تلفن همراه می باشد. دلیل این افزایش حرارت، حرکت مولکول های قطبی موجود در بافت های بدن به دلیل قرار گرفتن در میدان مغناطیسی امواج تلفن همراه می باشد. این افزایش حرارت می تواند تاثیراتی بر روی پوست از جمله تغییر رنگ پوست با نقاط تیره و پراکنده بر روی پوست و همچنین تاثیراتی بر روی مغز از جمله سردرد، سرگیجه و تومور های مغزی در طولانی مدت و در صورت استفاده مکرر، داشته باشد. آگاهی از میزان و نحوه افزایش حرارت یا به عبارتی آهنگ افزایش دما و سطح گرم شده، سبب می شود تا با استفاده از الگوی صحیح استفاده از تلفن همراه میزان آسیب ها و صدمات ناشی از تلفن همراه را به حداقل رساند. بنابراین فاکتور " آهنگ افزایش دما و سطح گرم شده " پارامتر مهمی است که علاوه بر پایش آن در تحقیقات محققان در حوزه پزشکی، در صورت اندازه گیری و درج این پارامتر توسط شرکت های سازنده می توان با توجه به آن آسیب های ناشی از تلفن همراه را کاهش داد.

برای اندازه گیری این افزایش دما در هنگام استفاده از تلفن همراه می توان مدتی پس از استفاده از تلفن همراه بعضی از نقاط بدن را که در نزدیکی تلفن همراه بوده اند با استفاده از دماسنج دقیق و مخصوص اندازه گیری کرد. اما در این اندازه گیری، با توجه به این که اندازه گیری زمانبر بوده و به صورت نقطه ای انجام می گیرد امکان اندازه گیری کل محدوده مورد نظر به صورت پیوسته و جود ندارد بلکه اندازه گیری به صورت گسسته انجام می شود همچنین با توجه به اینکه اندازه گیری تمام نقاط به صورت همزمان انجام نمی شود امکان اتلاف انرژی وجود دارد و به همین دلیل در این روش، میزان دمای اندازه گیری شده با میزان دمای واقعی آن متفاوت می باشد.

با توجه به این که با استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه با تصاویر حرارتی می توان کل محدوده مورد نظر را پوشش داد می توان از فتوگرامتری برد کوتاه برای اندازه گیری میزان افزایش دما همزمان با اندازه گیری کمی آهنگ گسترش سطح حرارت در صورت انسان بهره مند شد. به این صورت که بلافاصله پس از استفاده از تلفن همراه بدون اتلاف انرژی از محدوده مورد نظر در زمان کمتر از ۱ دقیقه تصویربرداری کرده و پس از آن با ایجاد مدل سه بعدی از عارضه مورد نظر می توان مساحت سطح گرم شده را به صورت پیوسته اندازه گیری کرد. با تکرار این کار در چند اپک زمانی می توان نرخ افزایش سطح گرم شده بر حسب زمان را بدست آورد. در ادامه توضیحات روش پیشنهادی برای مدلسازی مبتنی بر تصاویر حرارتی و الگوریتم استخراج محدوده هدف به عنوان یک عارضه موضعی حرارتی توضیح داده می شود و جزئیات پیاده سازی ها و ارزیابی ها تشریح می گردند.

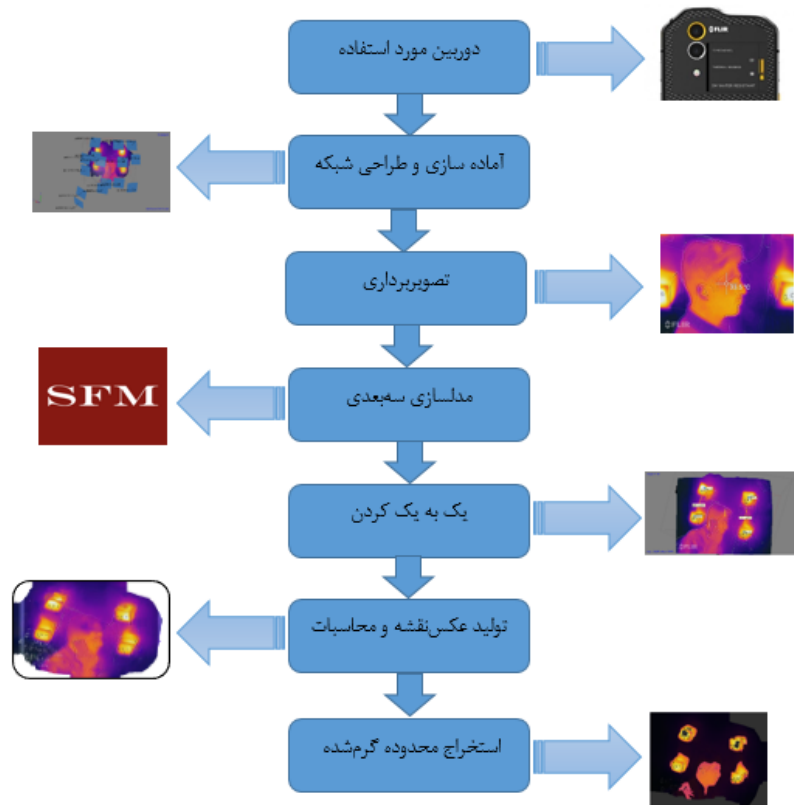
۲- روش انجام تحقیق

با توجه به هدف تحقیق، دوربین حرارتی-اپتیکی با ویژگی های مورد نظر انتخاب شده و از یک شخص در حال مکالمه با تلفن همراه در اپک های مختلف تصویر برداری شد. پس از آن مدلسازی سه بعدی تصاویر حرارتی به روش SFM و با استفاده از نرم افزار AgisoftPhotoScan انجام شد. و پس از یک به یک کردن مدل ها با واقعیت با استفاده از میله های مقیاس با استفاده از الگوریتمی ناحیه مبنا محدوده های گرم شده از عکس نقشه های اپک های زمانی مختلف

استخراج شده و با مقایسه محدوده‌های گرم شده در اپک‌های زمانی مختلف نرخ افزایش سطح گرم شده بر حسب زمان محاسبه شده است.

روش SFM روش تولید اطلاعات سه‌بعدی از تصاویر دوبعدی است. روند کلی کار مدل سازی به روش SFM به این صورت است که ابتدا در تمامی تصاویر نقاطی که دارای ماهیت اطلاعاتی بالایی هستند که به این نقاط، اصطلاحاً نقاط کلیدی گفته می‌شود، استخراج می‌شوند. هر یک از این نقاط با یک توصیفگر مشخص می‌شود و با مقایسه هر یک از این نقاط در هر تصویر با تصاویر دیگر، نقاط متناظر بین تصاویر مشخص می‌شود و به این ترتیب تصاویر مختلف با استفاده از این نقاط با همدیگر منطبق می‌شوند. سپس این نقاط گسترش داده می‌شوند و ابر نقاط با استفاده از تناظرابی متراکم با کمک قید حاصل از نقاط کلیدی ساخته می‌شود. پس از تولید ابر نقاط، یک مش بر روی کل نقاط برازش داده می‌شود و پس از آن با اعمال بافت بر روی سطح برازش داده شده مدل سه‌بعدی نهایی ایجاد می‌شود.

در تصویر شکل ۱ نمایی از مراحل اجرای کار در این تحقیق مشاهده می‌شود که در ادامه این هر یک از مراحل به تفصیل تشریح می‌شود.



شکل ۱: نمای کلی مراحل اجرای تحقیق

۲-۱- دوربین مورد استفاده

در این تحقیق از دوربین گوشی CAT S60 استفاده شده که این گوشی مجهز به دوربین حرارتی FLIR است. در شکل ۲ تصویری از این دوربین را مشاهده می کنید.



شکل ۲ : دوربین حرارتی-اپتیکی مورد استفاده در این پژوهش

مشخصات این دوربین در جدول ۱ قابل مشاهده می باشد:

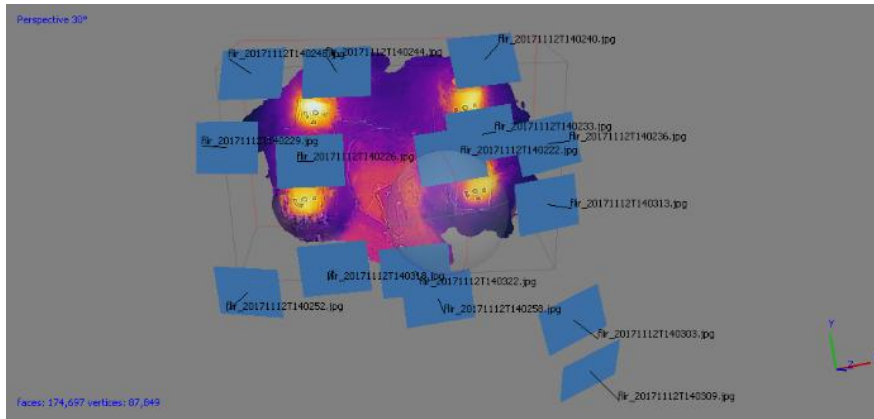
جدول ۱: مشخصات دوربین حرارتی

فاصله کانونی	VFOV / HFOV	پیکسل سائز	رزولوشن	بازه حرارتی
۳ میلیمتر	38°±1° / 50°±1°	۱۷ میکرون	VGA ۴۸۰×۶۴۰	۴- تا ۲۴۸ درجه فارانهایت

۲-۲- تصویر برداری

باتوجه به اینکه در این تحقیق تصاویر حرارتی هستند شرایط تصویر برداری با شرایط تصویر برداری در حالت مرئی اندکی متفاوت است و شرایط خاصی را می طلبد. در طول انجام پروژه تصویر برداری در شرایط تقریباً یکسان انجام شد تا خطا های ممکن حداقل شده و تغییرات ایجاد شده فقط به دلیل تغییرات مورد مطالعه (امواج تلفن همراه) باشد. تصویر برداری در این پروژه در یک اتاق نسبتاً تاریک انجام شد ; به دلیل اینکه گرمای حاصل از سیستم روشنایی (لامپ) بر شرایط پروژه تاثیر نگذارد و باعث ایجاد خطا نشود. تعداد تصاویر به طور میانگین در هر اپک ۱۵ تصویر بوده که به صورت همگرا گرفته شده اند.

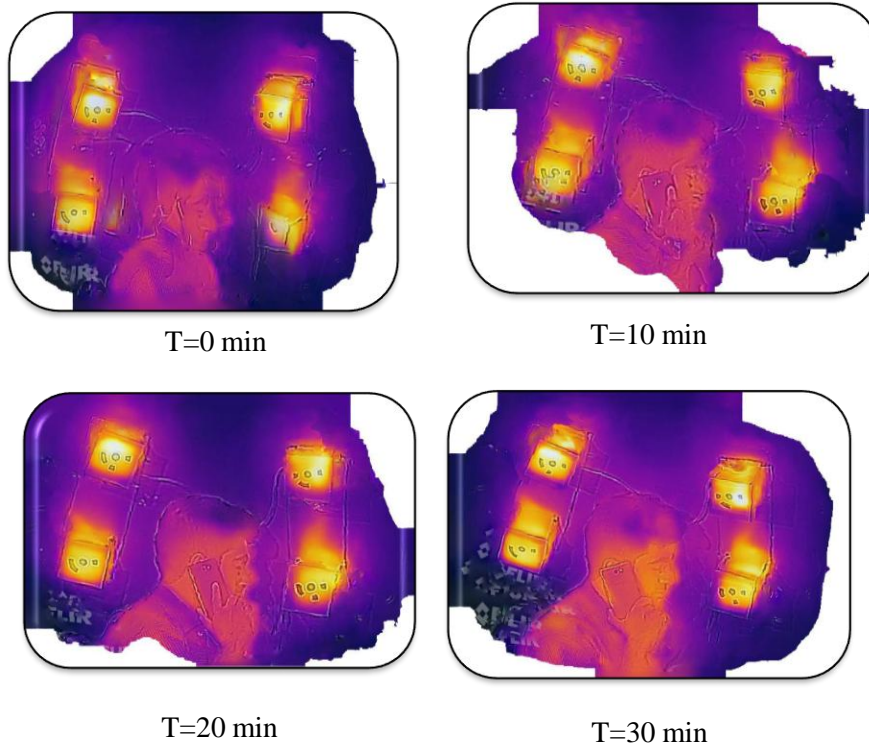
در شکل ۳ تصویر موقعیت ایستگاه های تصویر برداری نسبت به عارضه مورد نظر در شبکه طراحی شده مشاهده می شود.



شکل ۳: موقعیت ایستگاه‌های تصویر برداری نسبت به عارضه در شبکه طراحی شده

۳-۲- مدلسازی سه بعدی

برای مدلسازی سه بعدی تصاویر حرارتی به روش SFM از نرم افزار ابزار AgiSoftPhotoScan استفاده شد. در شکل ۴ عکس نقشه های اپک های زمانی مختلف مشاهده می شود.



شکل ۴: عکس نقشه های اپک های زمانی مختلف

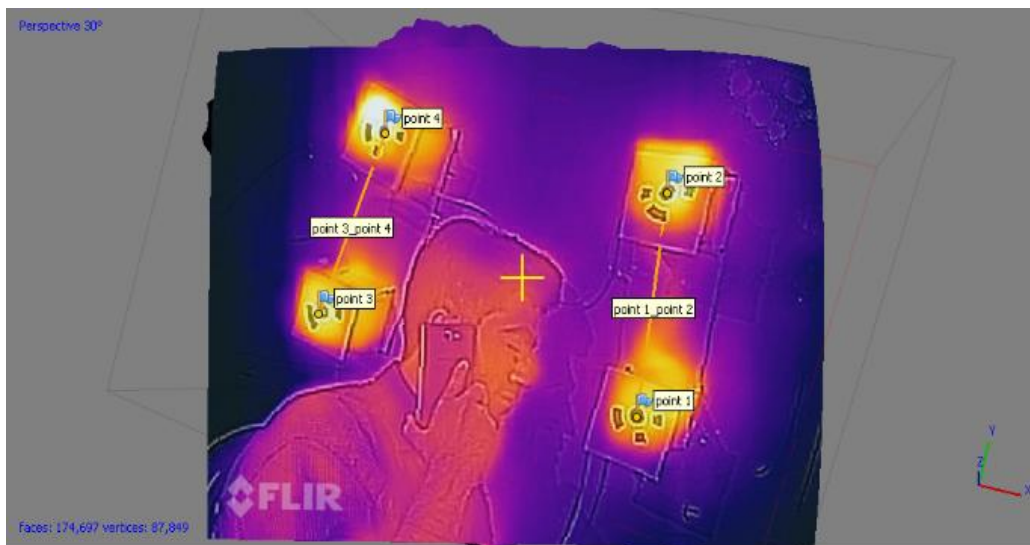
۴-۲- میله های مقیاس

برای ایجاد مقیاس در مدل و یک به یک کردن محصولات نهایی از دو میله مقیاس که اندازه ی آنها با استفاده از خطکش به صورت دقیق ($\sigma \approx 1\text{mm}$) اندازه گیری شده بود، استفاده شد. برای این کار تارگت هایی با یک الگوی مشخص که مرکز

آنها در تصاویر قابل تشخیص و نقطه گذاری باشد ساخته شد و با فاصله مشخص از هم به طوری که در اپک های مختلف ثابت و بدون تغییر بماند در یک محل مناسب نصب شدند.

باتوجه به اینکه تصاویر در این تحقیق به صورت ترکیبی حرارتی-مرئی هستند برای تشخیص بهتر تارگت ها در زیر آنها از لامپ به عنوان منشاء حرارتی استفاده شد. به این صورت که قبل از تصویر برداری لامپ ها را روشن کرده و مدتی صبر کرده تا تارگت ها گرم شوند و سپس لامپ های تارگت ها را خاموش کرده و تصویر برداری انجام می شود. سپس مرکز هر یک از تارگت ها مشخص گردیده و به عنوان یک نقطه به نرم افزار معرفی می شود و باتوجه به اینکه فاصله بین نقاط با استفاده از خطکش اندازه گیری شده، این فاصله های مشخص را به عنوان میله مقیاس به مدل ایجاد شده اعمال می شود. در نهایت تمامی محصولات خروجی ما یک به یک بوده و هر اندازه گیری بر روی آنها با مقدار واقعی آنها برابر است. جهت ارزیابی صحت اندازه گیری در شبکه فتوگرامتری ایجاد شده، یکی از میله های مقیاس به عنوان طول چک در نظر گرفته شده که طول برآورد شده برای آن با طول واقعی اندازه گیری شده آن با خطکش، $1/1$ میلیمتر اختلاف داشت. با توجه به هدف اندازه گیری های مساحت در این پژوهش و تعیین مقیاسه ای نرخ رشد مساحت ناحیه گرم شده بر روی صورت، این مقدار صحت $1/1$ میلیمتر برای این منظور مناسب می باشد.

در شکل 5 میله های مقیاس استفاده شده در این تحقیق جهت یک به یک کردن مدل سه بعدی با واقعیت مشاهده می شود.

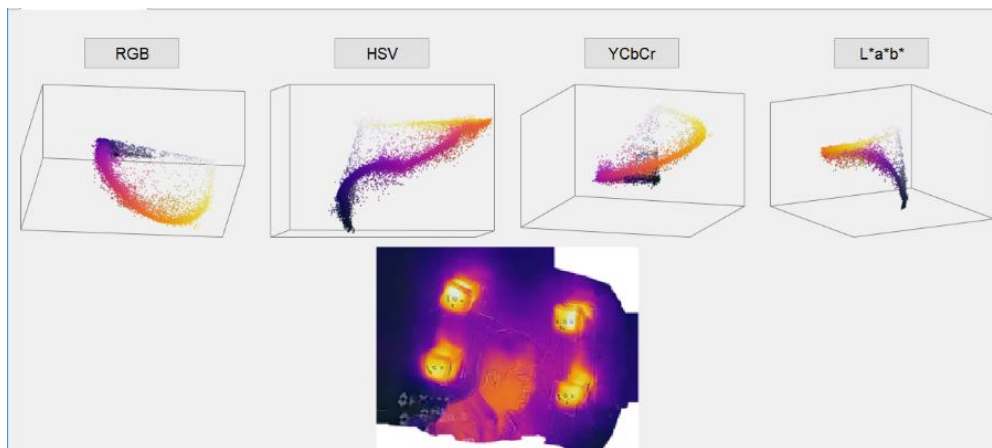


شکل 5: میله های مقیاس

۲-۵- استخراج محدوده گرم شده

برای استخراج محدوده های گرم شده از روش استخراج ناحیه مبتنی بر حد آستانه گذاری بر روی درجات خاکستری استفاده شده است. با توجه به دیاگرام پراکنش پیکسل های تصاویر مورد استفاده در این تحقیق، در سیستم های رنگی مختلف از جمله RGB، HSV و ...، حد آستانه گذاری در سیستم HSV (Hue, Saturation, Value) انجام شده است.

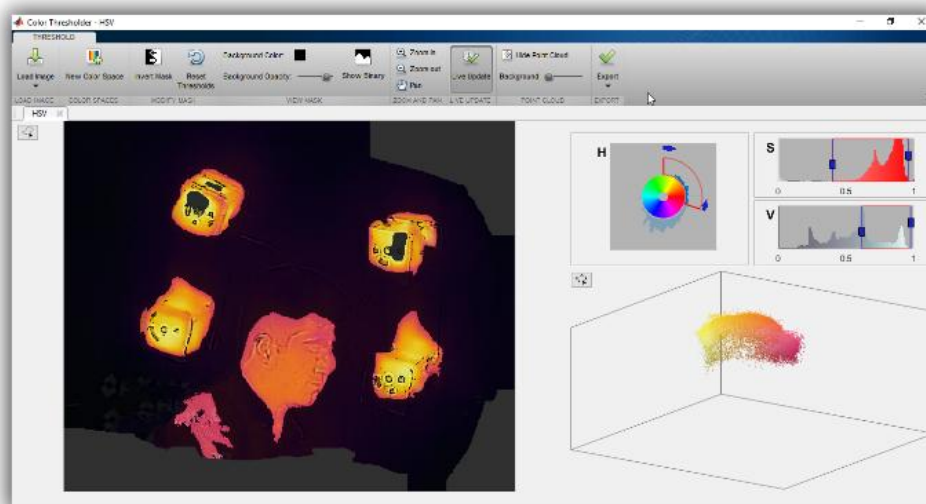
با توجه به شکل 6 که پراکنش پیکسل های تصویر مورد نظر در سیستم های رنگی مختلف را نمایش داده و به صورت تجربی این نتیجه بدست آمده است که برای استخراج محدوده های با دمای بیشتر در سیستم رنگی HSV تفکیک پذیری بیشتری برای ناحیه بندی تصویر در عارضه هدف (نواحی گرم شده در صورت) وجود دارد.



شکل ۶: پراکنش پیکسل های تصویر در سیستم های رنگی مختلف

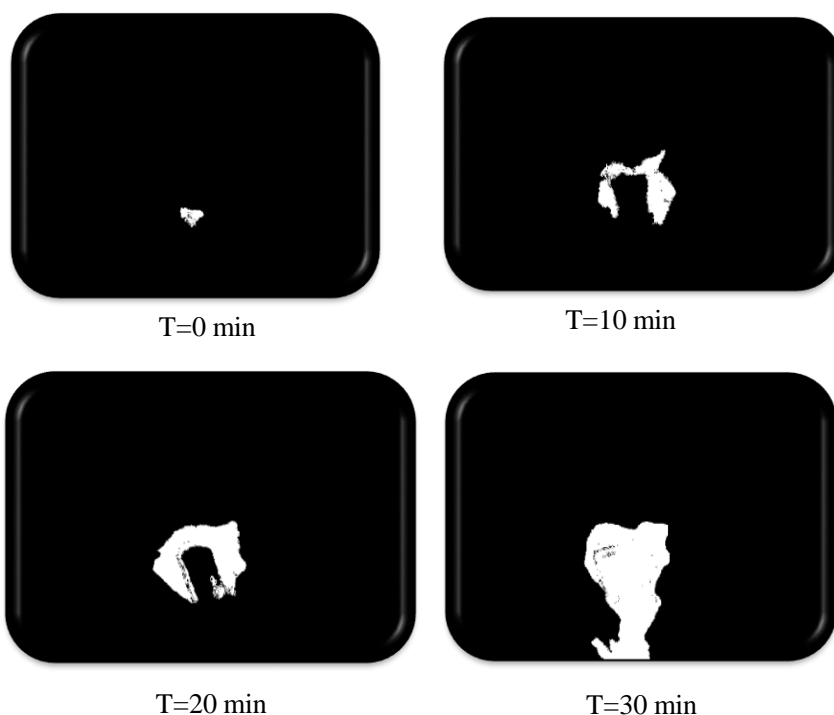
برای حد آستانه گذاری بر روی هر یک از هیستوگرام های H و S و V محدوده ای به عنوان محدوده مورد نظر انتخاب شده است و با اعمال این حد آستانه های هریک از محورهای سیستم رنگی بر روی تصاویر، پیکسل هایی که در محدوده رنگی مشخص شده قرار دارند استخراج شده و دیگر پیکسل هایی که در این محدوده قرار ندارند حذف می شوند. به این صورت محدوده هایی که از دیگر قسمت های تصویر گرم تر اند و در نتیجه رنگ این محدوده ها از قسمت های دیگر متفاوت است به این روش در تصاویر استخراج می شوند. تا نواحی استخراج شده به عنوان محدوده های هدف، در سیستم رنگی طبیعی قابل نمایش بوده و برای ارزیابی های بعدی مبتنی بر خروجی های الگوریتم این پژوهش، مناسب باشد.

پس از تولید اورتوفتو در هر اپک محدوده هایی که گرم تر شده اند در هر مرحله استخراج می شوند که برای این کار یک حد آستانه ای تجربی انتخاب کرده و سپس این حد آستانه بر روی عکس نقشه های همه اپک ها اعمال می شود و در نتیجه ی این عمل محدوده های گرم شده در دمای مشترک برای همه ی اپک ها استخراج می شود.



شکل ۷: حد آستانه گذاری

بر اساس الگوریتم مورد استفاده فقط قسمت هایی که مربوط به صورت می باشند را به صورت یک سگمنت جدا کرده و بقیه قسمت های اضافه حذف می شوند. در شکل ۸ تصویر باینری محدوده های گرم شده مربوط به صورت در اپک های زمانی مختلف مشاهده می شود.



شکل ۸: محدوده‌های استخراج شده

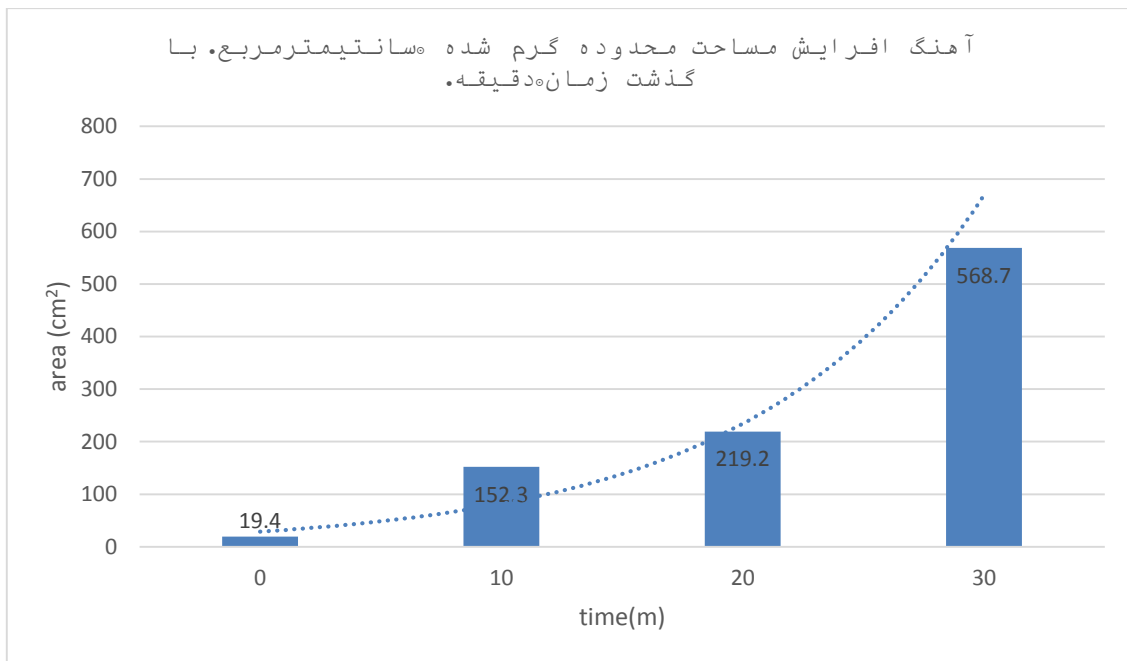
۶-۲- ارزیابی نتایج

با توجه به اینکه هدف از انجام این تحقیق بررسی گرم شدن گوش و ناحیه اطراف آن هنگام استفاده از تلفن همراه بود. برای انجام این کار از شخصی در هنگام مکالمه با تلفن همراه در اپک‌های زمانی مختلف تصویر برداری شد و طی انجام مراحل که در بخش‌های قبلی مقاله توضیح داده شد محدوده‌های گرم شده در هر اپک به صورت یک به یک استخراج شده و در نهایت مساحت محدوده گرم شده از صورت در اپک‌های زمانی مختلف به صورت متریک و یک‌به‌یک محاسبه شد که نتایج آن به صورت جدول زیر می‌باشد:

جدول ۲: مساحت محدوده گرم شده در اپک‌های زمانی مختلف

زمان	مساحت (سانتیمترمربع)
در ابتدا	۱۹٫۴
پس از ۱۰ دقیقه	۱۵۲٫۳
پس از ۲۰ دقیقه	۲۱۹٫۲
پس از ۳۰ دقیقه	۵۶۸٫۷

نتایج بدست آمده در جدول ۲ به صورت یک نمودار در شکل ۹ مشاهده می‌شود. در این نمودار محور x ها محور زمان بر حسب دقیقه است و محور y ها محور مساحت محدوده گرم شده بر حسب سانتیمترمربع است.



شکل ۹: نمودار آهنگ افزایش مساحت محدوده گرم شده با گذشت زمان

همانطور که در نمودار بالا مشخص است هرچه زمان مکالمه با تلفن همراه بیشتر شود مساحت محدوده گرم شده نیز بیشتر می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش زمان مکالمه با تلفن همراه از بیست دقیقه به سی دقیقه مساحت محدوده گرم شده شدیداً افزایش می‌یابد، که با توجه به این موضوع می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش زمان مکالمه با تلفن همراه، محدوده گرم شده به صورت نمایی افزایش می‌یابد.

۳- نتیجه گیری

در این تحقیق چالش‌های ایجاد مدل سه بعدی با تصاویر حرارتی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با استفاده از تلفیقی از تصاویر حرارتی و مرئی مدل سه بعدی تشکیل شد که تلفیق تصاویر حرارتی و مرئی در این تحقیق، در قالب کالیبراسیون و انطباق و تنظیم درصد ترکیب توسط کاربر، به صورت اتوماتیک توسط دوربین مورد استفاده، انجام شد. پس از تشکیل مدل سه بعدی الگوریتمی جهت استخراج محدوده گرم شده از عکس نقشه حرارتی ارائه شد. از این الگوریتم در جهت بررسی آهنگ نحوه گرم شدن گوش و ناحیه اطراف آن استفاده شد و در نهایت این نتیجه حاصل شد که با افزایش مدت زمان مکالمه با تلفن همراه مساحت محدوده گرم شده افزایش می‌یابد. این افزایش مساحت محدوده گرم شده به صورت نمایی است به صورتی که نرخ افزایش محدوده گرم شده پس از سی دقیقه مکالمه با تلفن همراه خیلی بیشتر از نرخ افزایش محدوده گرم شده پس از ده دقیقه مکالمه است. قابلیت تناظریابی متراکم بر روی تصاویر حرارتی و امکان تولید مدل سه بعدی با دقت داخلی و صحت خارجی مناسب با نیاز کاربرد مورد نظر این پژوهش، بررسی گردید. نتایج حاصل نشان داد که فرآیند کالیبراسیون دوربین حرارتی، مدلسازی حرارتی و تولید عکس نقشه حرارتی متناسب با کاربرد هدف در این مقاله با موفقیت انجام گردید.

به عنوان نتیجه‌گیری در خصوص کاربرد مورد نظر مبتنی بر فتوگرامتری برد کوتاه مبتنی بر تصاویر حرارتی، مشخص شد که مکالمه با تلفن همراه در دقایق ابتدایی مکالمه در گرم شدن گوش و ناحیه اطراف آن تاثیر محسوسی ندارد، اما اگر زمان مکالمه افزایش یابد مساحت محدوده گرم شده به تدریج به صورت نمایی افزایش می‌یابد و به این ترتیب اگر زمان مکالمه از حدی بیشتر شود در طولانی مدت باعث ایجاد مشکلاتی در سلامتی فرد می‌شود.

به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آینده، می‌توان از ترکیب تصاویر NIR و حرارتی برای این کاربرد و یا کاربردهای مشابه همچون تشخیص و یا پایش سرطان، استفاده نمود. همچنین عملکرد الگوریتم‌های استخراج عوارض موضعی ناحیه منبای دیگر و حدآستانه‌گذاری ترکیبی مرئی و میزان دما بر روی عکس نقشه حرارتی با قدرت تفکیک بیشتر می‌تواند بررسی گردد.

مراجع

- [۱] جاویدی، صمد زادگان، دادرس جوان. ۱۳۹۶، ارزیابی توانایی روش های کالیبراسیون در تصحیح هندسی. تهران: دانشکده نقشه برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران.
- [۲] آل بویه، صمد زادگان، دادرس جوان. ۱۳۹۶، کالیبراسیون سیستم های تصویر برداری مرئی و حرارتی در پهپادها. تهران: دانشکده نقشه برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران.
- [۳] رفیعی، کاظمی، ۱۳۹۳، رفتارسنجی سازه های ساختمانی با استفاد از فتوگرامتری برد کوتاه. شیراز: شرکت مهندسی مشاور صدرآب فارس-شیراز
- [۴] عسگری، وروشوساز، دانشگر اصل، ۱۳۸۰، کاربرد فتوگرامتری در ترمیم و بازسازی آثار باستانی، تهران، دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- [۵] Samuel T. Thiele, Nick Varley, Mike R. James (۲۰۱۷). Thermal photogrammetric imaging: A new technique for monitoring dome eruptions. Universidad de Colima, av. Universidad 333, Las Viboras 28040, Colima, Mexico.
- [۶] Muffazzal Rasiwala, Poonam Mathur, MS, Rajkumar Mathur, Khan Farid, Sapna Shukla, P.K. Gupta, Beena Jain. (۲۰۱۴) Evaluation of digital infrared thermal imaging as an adjunctive screening method for breast carcinoma: A pilot study. M.G.M. Medical College and M.Y. Hospital, Indore, Madhya Pradesh, India.
- [۷] Fraser, C.S., 1989. Non Topographic Photogrammetry, 2nd edition ed. Edwards Brothers Inc.
- [۸] Fraser, C., Cronk, S. and Hanley, H., 2008, July. Close-range photogrammetry in traffic incident management. In Proceedings of XXI ISPRS congress commission V, WG V, Citeseer (Vol. 1, pp. 125-128).
- [۹] Pierdicca, R., 2018. Mapping Chimu's settlements for conservation purposes using UAV and close range photogrammetry. The virtual reconstruction of Palacio Tschudi, Chan Chan, Peru. Digital applications in archaeology and cultural heritage, 8, pp.27-34.
- [۱۰] Luhmann, T., 2010. Close range photogrammetry for industrial applications. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(6), pp.558-569.
- [۱۱] Faig, W., 1981. Close-range precision photogrammetry for industrial purposes. *Photogrammetria*, 36(5), pp.183-191.
- [۱۲] Patias, P., 2002. Medical imaging challenges photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56(5-6), pp.295-310.

[۱۳]Kandlikar, S.G., Perez-Raya, I., Raghupathi, P.A., Gonzalez-Hernandez, J.L., Dabydeen, D., Medeiros, L. and Phatak, P., 2017. Infrared imaging technology for breast cancer detection-Current status, protocols and new directions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, pp.2303-2320.