



کاربرد فتوگرامتری برد کوتاه در سنجش تغییر شکل بدنه اتومبیل در اثر برخورد با مانع

فرید اسماعیلی^{۱*}، حمید عبادی^۲

۱- دانشجوی دکتری فتوگرامتری دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده:

فتوگرامتری برد کوتاه در دهه های اخیر در حوزه های مختلفی از علوم همچون صنعت، میراث فرهنگی، پزشکی و عمران، در کاربرد های موثقی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش به عنوان ابزاری جهت سنجش تغییر شکل در قطعات صنعتی، مزیت های بسیاری همچون قابلیت اندازه گیری بلادرنگ، سهولت در انجام مشاهدات، قابلیت دستیابی به دقت های بالا و ایجاد آرشیوی از مشاهدات جهت پردازش های آتی را دارا می باشد. در این مقاله از فتوگرامتری برد کوتاه برای اندازه گیری بدنه یک اتومبیل قبل و بعد از برخورد به مانع جهت تعیین میزان تغییر شکل بر روی آن، استفاده شده است. برای این کار یک سیستم اندازه گیری در قالب اجزاء اصلی طراحی شبکه و ساختار فنی سیستم، برداشت مشاهدات، سرشکنی و محاسبات، طراحی گردیده است. جهت امکان دستیابی به صحت و دقت های بالا در جابجایی سنجی، در بخش سرشکنی و محاسبات از متد CPDA که توسط نگارنده معرفی گردیده، در این حوزه استفاده شده است. نتایج نشان دهنده قابلیت این روش در دستیابی به دقت کمتر از ۱ میلیمتر در اندازه گیری تغییر شکل بدنه اتومبیل می باشد. همچنین این روش از نظر هزینه، سرعت و سهولت اندازه گیری نسبت به سایر روشها در این حوزه برتری دارد.

واژه های کلیدی: فتوگرامتری برد کوتاه، جابجایی سنجی، سنجش تغییر شکل، کالیبراسیون، طراحی شبکه



۱- مقدمه

استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه در کاربرد های صنعتی جهت کنترل کیفیت، مهندسی معکوس، و اندازه گیری های دقیق متداول می باشد [1] [2] [3] [4] [5] [6]. با توجه به قابلیت فتوگرامتری برد کوتاه در دستیابی به دقت های بالا، اندازه گیری های دقیق صنعتی همواره یکی از کاربرد های اصلی این روش بوده است [7]. تعیین دقیق میزان تغییر شکل اجسام موضوعی حساس و پیچیده در زمینه کنترل کیفیت و رفتار جسم در شرایط مختلف می باشد. بسیاری از قطعات صنعتی و مصنوعات ساخت بشر با توجه به کاربردهایشان باید بتوانند ضربه و فشار های مختلف را تحمل کنند. عملکرد این قطعات در مواجهه با چنین استرس هایی به طور مستقیم وابسته به کیفیت طراحی و ساخت آنها می باشد. اینکه یک قطعه صنعتی تا چه اندازه بتواند در محل کاربرد خود عملکرد صحیحی داشته باشد مستلزم این است که آزمایش های بسیاری را جهت تعیین کیفیت گذرانده باشد.

اتومبیل ها یکی از عمومی ترین مصنوعات ساخت بشر می باشند که با توجه به حساسیت کاربرد آنها، نیازمند گذراندن تست های مختلف کنترل کیفیت هستند. یکی از این تست ها، تست ضربه می باشد. در این آزمایش اتومبیل در شرایط کنترل شده به مانع طراحی شده برخورد می کند و عملکرد اجزای مختلف آن در اثر این برخورد ارزیابی می گردد. اینکه اتومبیل تا چه حد بتواند در اثر نیروی وارده، مقاومت برشی و خمشی از خود نشان دهد نشانگر کیفیت قطعات ساخته شده اتومبیل می باشد. همچنین بررسی متلاشی شدن قطعات اتصال یافته در اثر وارد شدن ضربه، معیاری برای تعیین کیفیت ساخت اتومبیل است.

روش های مختلفی برای اندازه گیری سازه های صنعتی وجود دارند. استفاده از بازو های مکانیکی [7]، لیزر اسکنرها [5] و فتوگرامتری برد کوتاه [8] متداولترین این روش ها می باشند. فتوگرامتری تکنیکی برای بدست آوردن اطلاعات در مورد موقعیت، ابعاد و شکل یک شیء به کمک اندازه گیری بر روی تصاویر اشیا، به جای اندازه گیری مستقیم روی آن ها است. فتوگرامتری برد کوتاه شاخه ای از فتوگرامتری است که در آن تصاویر عارضه از نزدیک و یا روی سطح زمین اخذ شده و اندازه شیء و فاصله دوربین از آن در حدود ۱۰۰ متر و یا کمتر می باشد [9]. این تکنیک اندازه گیری، روشی غیر مخرب و بدون تماس مستقیم با عارضه است که می تواند اندازه گیری های سه بعدی با هزینه و دشواری کم را فراهم آورد. جهت اندازه گیری های دقیق در تصاویر، تارگت های فتوگرامتری به آسانی می توانند در موقعیت های جدا از هم روی یک عارضه و روی دیگر موقعیت های مهم قرار داده شده و تصاویر به سرعت و بدون ایجاد اختلال در سایر فعالیت ها اخذ شوند. فتوگرامتری برد کوتاه به عنوان ابزاری جهت کنترل کیفیت قطعات صنعتی از ویژگی های منحصر به فردی برخوردار است. زمانی که فشار های وارد بر جسم به صورت آنی و لحظه ای اتفاق می افتد، فتوگرامتری برد کوتاه به عنوان تنها ابزاری است که می تواند رفتار جسم را در کسری از ثانیه به صورت بلادرنگ مدل سازی نماید. همچنین پتانسیل این روش در دستیابی به دقت های بالا و سهولت در اندازه گیری، فتوگرامتری برد کوتاه را به ابزاری مؤثر در این حوزه تبدیل کرده است.

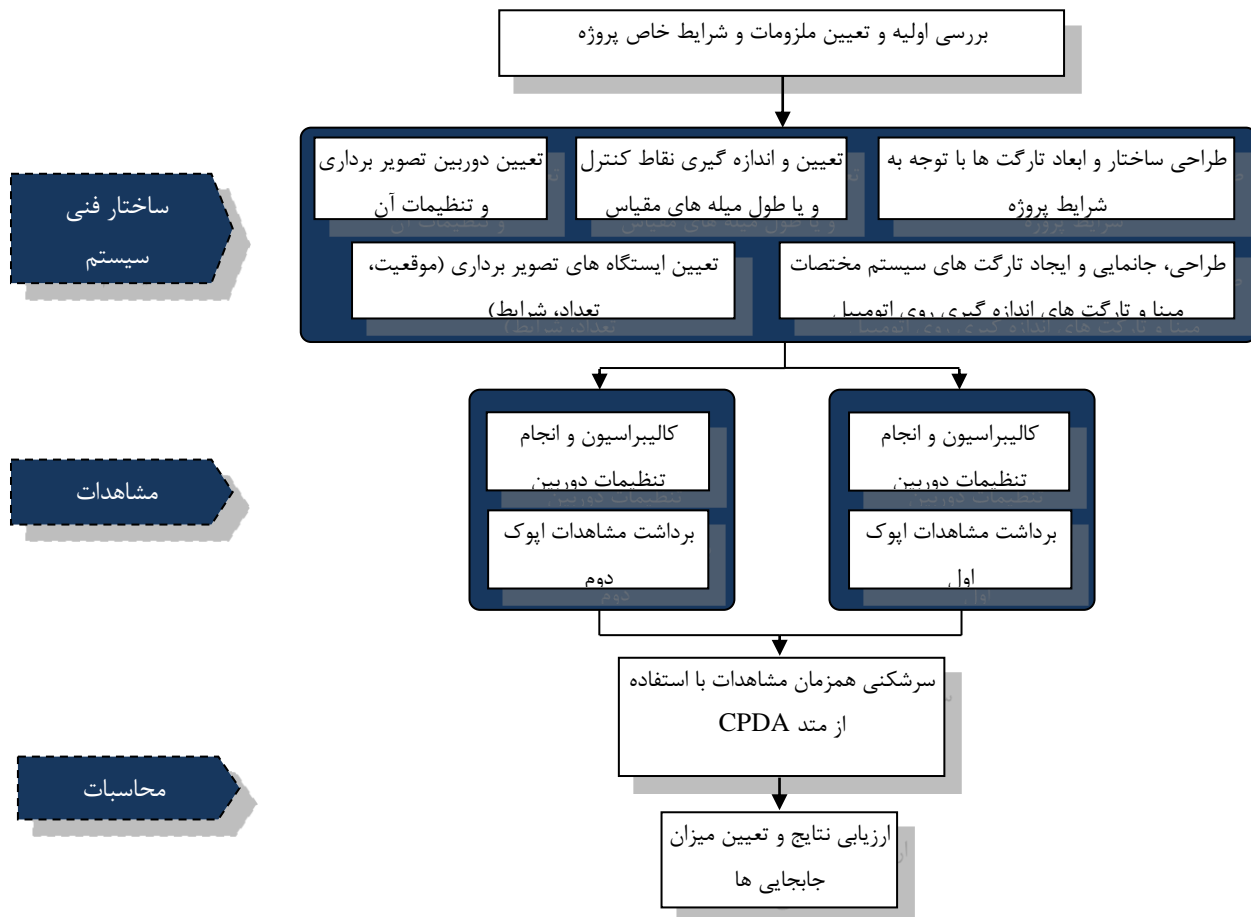
در این مقاله از فتوگرامتری برد کوتاه جهت اندازه گیری بدنه یک اتومبیل قبل و بعد از برخورد به مانع برای تعیین میزان تغییر شکل بر روی آن، استفاده شده است. جهت امکان دستیابی به صحت و دقت های بالا در جابجایی سنجی، از متد CPDA¹ که توسط نگارنده معرفی گردیده است [10]، در این حوزه استفاده شده است. در ادامه ابتدا ساختار سیستم فتوگرامتری برد کوتاه پیاده سازی شده معرفی می گردد. سپس پیاده سازی ها بر روی اتومبیل قبل و بعد از ضربه توضیح داده شده و نتایج مورد ارزیابی قرار می گیرند.

¹ Combined Photogrammetry Displacement Adjustment



۲- معرفی سیستم فتوگرامتری برد کوتاه مورد استفاده

کشف تغییر شکل^۲ به معنی اندازه‌گیری دقیق تغییرات در شکل، مقیاس، جهت و جابه‌جایی در یک قطعه صنعتی می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان تخریب یک اتومبیل در اثر وارد شدن ضربه به آن با روش فتوگرامتری برد کوتاه، می‌توان یک سیستم اندازه‌گیری را مطابق نمودار زیر طراحی کرد.



شکل ۱: روند پیاده‌سازی یک سیستم فتوگرامتری برای سنجش تغییر شکل قطعات صنعتی

مطابق شکل ۱ در مرحله اول ابتدا باید شرایط خاص اتومبیل مورد اندازه‌گیری بررسی و پارامترهای خاص مربوط به آن تعیین گردند. منظور از این پارامترها شرایط غیر قابل تغییری از پروژه است که بر آن اساس باید طراحی‌های قرار گرفته در مرحله ساختار فنی سیستم (شکل ۱) تعیین تکلیف گردند. سپس ساختار فنی سیستم طراحی و پیاده‌سازی می‌گردد؛ انجام مشاهدات در هر اپوک انجام می‌گیرند و مشاهدات هر دو اپوک با استفاده از متد CPDA به صورت یکجا سرشکن می‌گردند. برای نقاطی که در اثر ضربه وارد شده دچار تغییر شکل و جابجایی گردیده‌اند، ۲ سری مختصات قبل و بعد از ضربه محاسبه شده و با مقایسه آنها مقدار جابجایی تعیین می‌گردد. در طراحی ساختار مجموعه فوق، از اصول طراحی شبکه‌های فتوگرامتری استفاده شده است که در ادامه جزئیات طراحی اجزاء این سیستم توضیح داده می‌شود.

² The detection of deformation



۱-۲- طراحی ساختار و ابعاد تارگت ها

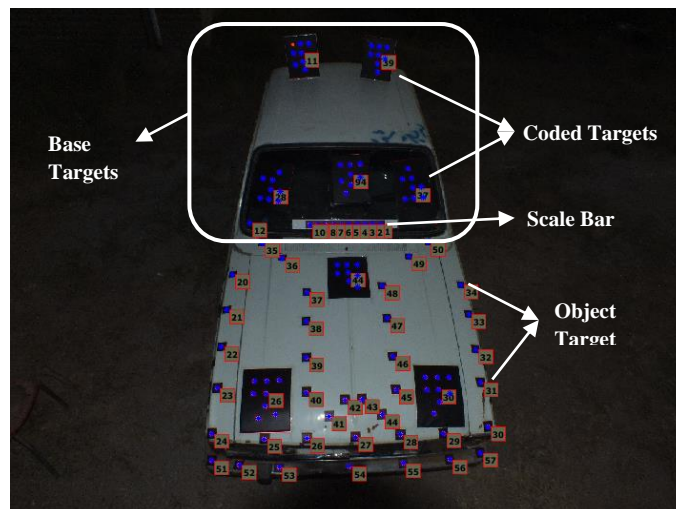
تارگت های فتوگرامتری در حقیقت نقاط نشانه ای هستند که بر روی عارضه نصب می شوند. مرکز این تارگت ها به عنوان نقطه ای منحصر به فرد در تصاویر همگرای اخذ شده از عارضه، در قالب مشاهدات عکسی استخراج می گردند. جهت ایجاد تمایز بیشتر مرکز تارگت با زمینه آن، از تارگت های بازتابنده به همراه تصویربرداری با نور فلاش در پروژه های فتوگرامتری برد کوتاه استفاده می گردد. هر یک از تارگت ها در یک سیستم فتوگرامتری جهت اندازه گیری تغییر شکل، عملاً نقش یک سنسور ابزار دقیق را ایفا می کنند. ابعاد این تارگت ها بر اساس **رابطه ۱** تعیین می گردد.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{ابعاد سنسور} \times \text{بیشترین فاصله} \times \text{پیکسل} \times 8 = \frac{\text{کمترین قطر تارگت}}{\text{فاصله کانونی} \times \text{ابعاد تصویر}}$$

در رابطه فوق پارامترهای بیشترین فاصله، دورترین تارگت تا دوربین؛ ابعاد سنسور، طول افقی صفحه سنسور تصویربرداری (عرض فیلم یا قطعه CCD)؛ ابعاد تصویر، تعداد پیکسل ها در عرض افقی فیلم یا قطعه CCD؛ و فاصله کانونی، فاصله کانونی مجموعه عدسی ها در لحظه تصویربرداری می باشند. بر این اساس مطابق رابطه فوق کمترین قطر تارگت در این پروژه برابر مقدار زیر خواهد بود.

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{کمترین قطر تارگت} = \frac{8 \times 4000 \times 6.40}{4608 \times 4.2} = 10.58 \text{ mm}$$

به طور کلی با توجه به رنگ زمینه محل نصب تارگت ها و فاصله دوربین تا عارضه، ابعاد تارگت باید به نحوی انتخاب گردد که امکان تشخیص مرکز تارگت ها در بدبینانه ترین شرایط نیز وجود داشته باشد. بنابراین ساخت تارگت ها با ابعادی کمی بیشتر از ابعاد محاسباتی (**رابطه ۲**) منطقی است. در این پروژه قطر تارگت های نصب شده برابر ۲ سانتیمتر طراحی و پیاده سازی گردیده است. همچنین از دو مجموعه تارگت های کددار و تارگت های معمولی استفاده شده است (شکل ۲). استفاده از تارگت های کد دار جهت اتوماتیک سازی فرآیند توجیه خارجی تصاویر می باشد. همچنین استفاده از تارگت های بازتابنده با رنگ قرمز، صحت تارگت های استخراج شده از تصاویر را افزایش می دهد [8]. لذا در این پژوهش نیز از تارگت های بازتابنده قرمز رنگ استفاده شده است.



شکل ۲: تارگت های کد دار و تارگت های معمولی با پس زمینه قرمز، میله مقیاس مورد استفاده در پروژه

ابعاد و شکل تارگت ها توسط نرم افزار Autocad طراحی گردیده و با کمک دستگاه پلاتر برشی بر روی برجسب های مشکی، بریده شده است. برجسب های مشکی بر روی صفحات بازتاب کننده نور قرمز رنگ مونتاژ گردیده اند و تارگت های تولید شده به صورت برجسبی بر روی سطح اتومبیل چسبانده شده اند.



۲-۲- تعیین و اندازه‌گیری نقاط کنترل و یا طول میله های مقیاس

در این پروژه جهت قرارگیری اندازه‌گیری ها در مقیاس واقعی، از میله مقیاس^۳ برای حل مسأله مقیاس در متد معرفی شده در این مقاله (CPDA) که مستقل از نقاط کنترل می باشد، استفاده گردیده است. تارگت های مستقر بر روی این میله آلومینیومی (شکل ۲) نیز طبق طراحی در Autocad و برش دقیق کامپیوتری، به فاصله ۵ سانتیمتر از یکدیگر قرار داشته و با توجه به اجرای پروژه در مدت زمان یک ساعت، دمای هوا در این مدت ثابت بوده و تغییر طولی برای میله در این ۱ ساعت در اثر انبساط یا انقباض وجود نداشته است.

۲-۳- تعیین دوربین تصویربرداری و تنظیمات آن

دوربین تصویربرداری یکی از اجزاء اصلی پروژه های فتوگرامتری می باشد. برای این پروژه مشاهدات توسط دوربین Fujifilm Digital Camera FINEPIX HS20EXR انجام شده است (

شکل ۳). پارامتر های این دوربین و صحت خروجی ها و قابلیت آن در پروژه های برد کوتاه، قبلاً در چندین پروژه ارزیابی گردیده است [10] [11].



³ Scale bar



16 Megapixel, 1/2-inch EXR CMOS with primary color filter - sensor size : 6.40×4.80 mm	
Focal	Length
f=4.2 - 126mm, equivalent to 24-720mm on a 35mm camera	
Number of Recording Pixels	
4608 × 3456 (4:3)	

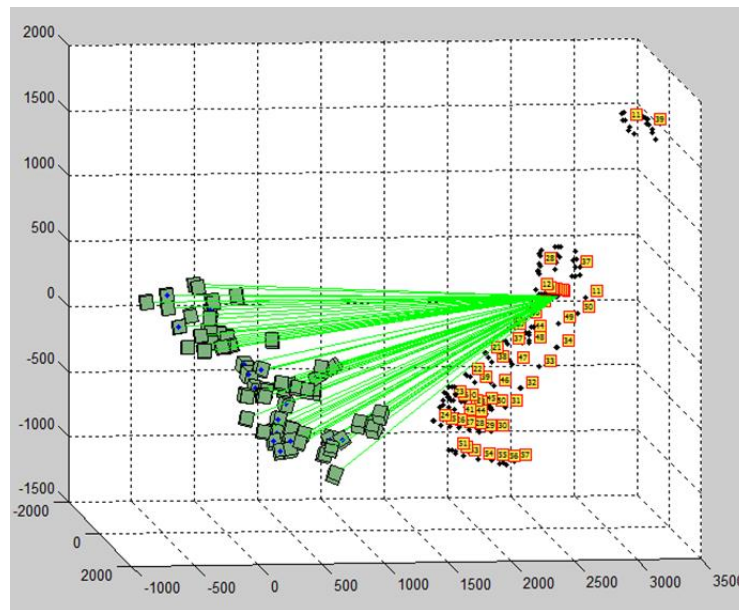
شکل ۳: مشخصات اصلی فنی دوربین مورد استفاده در این پروژه [12]

۲-۴- طراحی، جانمایی و ایجاد تارگت های سیستم مختصات مبنا و تارگت های اندازه گیری روی اتومبیل

با توجه به اینکه تست ضربه برای بخش جلویی اتومبیل طراحی گردیده است، لذا تارگتهای مانیتور کننده میزان جابجایی مطابق شکل ۲ در بخشهای سپر، کاپوت و گلگیر های طرفین بخش جلوی اتومبیل نصب شده اند. نصب تارگتها به گونه ای باید باشد که بتوانند در فواصل کوتاهی بر روی عارضه، تغییر شکل اجزای اتومبیل را اندازه گیری نمایند.

۲-۵- تعیین ایستگاه های تصویربرداری (موقعیت، تعداد، شرایط)

موقعیت و توجیه دوربین به طوری که هر نقطه برداشت حداقل توسط سه عکس پوشش داده شود، باید تعیین گردد. جهت ایجاد افزونگی در داده ها، افزایش درجه آزادی، پوشش مناسب عارضه در تمام جهات و نتیجتاً افزایش صحت تعیین مختصات زمینی نقاط، افزایش ایستگاه های تصویربرداری توجیه پذیر می باشد. در این پروژه در اپوک قبل از ضربه، در ۳۴ ایستگاه و در اپوک بعد از ضربه در ۳۱ ایستگاه تصویربرداری ها صورت گرفته است (شکل ۴). یک اصل اساسی که بر طراحی شبکه فتوگرامتری حاکم است، این است که اگر زاویه بین محور های نوری دوربین ها به زاویه قائمه نزدیک باشد، نتایج صحیح تری حاصل می شود. بنابر این تحدد ایستگاه های تصویربرداری و زاویه مناسب آنها نسبت به عارضه باید تا حد ممکن تأمین گردد.



شکل ۴: شبکه فتوگرامتری برد کوتاه پیاده شده، موقعیت ایستگاه های تصویربرداری و نقاط روی عارضه نسبت به هم

با توجه به میدان دید دوربین تصویربرداری، محدوده فاصله دوربین از شیء به نحوی که تارگت‌ها در داخل تصویر پراکندگی مناسبی داشته باشند، از رابطه ۳ تعیین می‌گردد.

$$D_{FOV}^{\max} = \frac{D_0 \times \sin(\alpha + \varphi)}{2\sin\alpha} = \frac{4 \times \sin(34.4 + 90)}{2 \times \sin(34.4)} = 3.02 \text{ m} \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه فوق مقدار D_0 بزرگ‌ترین قطر شیء در این پروژه برابر ۴ متر و φ زاویه امتداد دید دوربین با امتداد بزرگ‌ترین قطر شیء است که در کم پوشش‌ترین حالت یعنی تصویربرداری از روبرو، برابر ۹۰ درجه در نظر گرفته شده است. فاصله کانونی حین تصویربرداری نیز ۴.۲ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در رابطه ۳، α با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{0.9 \times d_0}{2f}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.9 \times 6.40}{2 \times 4.2}\right) = 34.4^\circ \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه فوق d_0 طول افقی صفحه سنسور تصویربرداری (عرض فیلم یا قطعه CCD) و f فاصله کانونی دوربین حین تصویربرداری می‌باشد. بر اساس محاسبات، برای اینکه بتوان با دوربین Fujifilm Digital Camera FINEPIX HS20EXR با فاصله کانونی ۴.۲ میلی‌متر پراکندگی مناسبی از تارگت‌های روی یک اتومبیل را در تصاویر بدست آورد، تصویربرداری‌ها از فاصله حدوداً ۳ متری نسبت به عارضه انجام گرفته است.

به طور کلی دقت اندازه‌گیری در یک شبکه فتوگرامتری برد کوتاه با تغییر مقیاس تصویربرداری، دقت اندازه‌گیری نقاط عکسی و تعداد تصاویر، تغییر می‌نماید. جهت طراحی شبکه و ارزیابی اولیه از دقت قابل دستیابی در یک شبکه فتوگرامتری برد کوتاه، از رابطه تجربی زیر [13] می‌توان استفاده کرد.

$$\bar{\sigma}_c = \frac{q}{k^{1/2}} S\sigma \rightarrow \bar{\sigma}_c = \frac{0.8}{\sqrt{1}} \times 720 \times 0.3 \times 1.38 \times 10^{-6} = 0.24 \text{ mm} \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه ۵، $\bar{\sigma}_c$ متوسط انحراف معیار خطای مختصات XYZ نقاط شیء ای، q فاکتور طراحی یا ضریب استحکام هندسی شبکه می‌باشد. در خصوص پارامتر q ذکر این نکته لازم است که این پارامتر استحکام یک شبکه همگرا نسبت به شبکه استریو است و مقداری بین ۰.۱ تا ۱ را می‌تواند اختیار کند. پارامتر k تعداد متوسط تصاویر اخذ شده در هر



ایستگاه دوربین، S عدد مقیاس برابر با نسبت d (فاصله متوسط دوربین تا شیء) به f (فاصله کانونی دوربین)، و σ دقت متوسط مختصات xy نقاط عکسی می‌باشند. در این پروژه مطابق رابطه فوق فاکتور طراحی شبکه برابر 0.8، تعداد متوسط تصاویر اخذ شده در هر ایستگاه برابر ۱ تصویر، مقیاس متوسط تصویربرداری ۷۲۰ و دقت تعیین مختصات عکسی مرکز تارگت ها، برابر ۰.۳ پیکسل می‌باشند. بر اساس محاسبات با چنین شبکه‌ای میتوان به دقت اندازه‌گیری حدوداً ۰.۲۴ میلیمتر بر روی عارضه دست یافت.

۲-۶- کالیبراسیون و انجام تنظیمات دوربین

تأثیر روش کالیبراسیون در دقت جابجایی سنجی توسط نگارنده در پژوهشهای مختلفی انجام گرفته است [10] [11]. به طور کلی در حالتی که پراکندگی و تعداد مناسب تارگت ها در پروژه اصلی وجود داشته باشد، روش سلف-کالیبراسیون با توجه به اینکه در شرایط اندازه‌گیری های پروژه انجام می‌گیرد، مناسبتر است. در این پروژه نیز با توجه به عدم محدودیت فضای تصویربرداری و پوشش مناسب تصویر توسط تارگتها، از روش سلف کالیبراسیون استفاده شده است. تنظیمات پارامتر های هندسی و رادیومتریکی دوربین تصویربرداری در زمان انجام مشاهدات متناسب با شرایط پروژه انجام می‌گیرد.

۲-۷- برداشت مشاهدات هر اپوک

در این مرحله با مشخص بودن ایستگاه های تصویربرداری، برداشت مشاهدات در قالب تصویربرداری همگرا از عارضه انجام می‌گیرد. محل ایستگاه های تصویربرداری نسبت به عارضه در دو اپوک باید تا حد ممکن مشابه یکدیگر باشند.

۲-۸- انجام محاسبات و تعیین مختصات نقاط در سیستم مختصات مبنا و مقایسه نتایج و تعیین میزان جابجایی ها

در روشهای معمول جابجایی سنجی همچون میکروژئودزی و یا استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)، عموماً جهت اندازه‌گیری تغییرات در موقعیت نقاط به عنوان نماینده ای از عوارض، مشاهدات دقیق در دو اپوک مجزا برداشت و سرشکن می‌گردند. سپس مجموعه نقاط با کمک یک سری از نقاط مشاهده شده که در هر دو اپوک ثابت بوده و جابجا نشده اند، با یک ترانسفورماسیون سه بعدی در یک سیستم مختصات واحد قرار میگیرند. در نهایت با مقایسه مختصات نقاط جابجا شده متناظر، میزان جابجایی ها تعیین می‌گردد. اما بر اساس ارزیابی های صورت گرفته [10]، چنین ساختار جابجایی سنجی ای در فتوگرامتری برد کوتاه، صحت مناسبی در نتایج تعیین جابجایی ها به همراه نخواهد داشت. یعنی زمانی که دو اپوک به صورت مجزا و با ساختار شبکه متفاوتی سرشکن می‌گردند، دقت و صحت تعیین مختصات نقاط مبنا که در هر دو اپوک ثابت بوده اند، متفاوت خواهد بود. زمانی که این نقاط به عنوان نقاط پایه جهت انطباق مختصات دو اپوک مورد استفاده قرار می‌گیرند، عملاً دقت جابجایی سنجی وابسته به تفاوت دقت تعیین مختصات این نقاط و محل قرار گیری آنها در مجموعه نقاط مشاهده شده بوده و نتایج غیر واقعی حاصل می‌گردند.

لذا جهت غلبه بر این مشکل، سرشکنی ترکیبی هر دو اپوک به صورت همزمان با فرض مشاهدات مشترک برای نقاط مبنا (شکل ۲) در هر دو اپوک و مشاهدات مستقل در هر اپوک برای نقاط جابجا شده پیشنهاد می‌گردد. در این روش شبکه حاصل از اپوک اول با توجیه داخلی مربوطه به همراه شبکه حاصل از اپوک دوم با توجیه داخلی شبکه دوم به صورت همزمان سرشکن می‌شوند. برای نقاط ثابت به صورت مشترک بین دو اپوک و برای نقاط جابجا شده با استفاده از تصاویر اپوک مربوطه، تعیین مختصات می‌گردد (CPDA) [10]. بنابراین در خروجی این روش یک مجموعه مختصات برای نقاط ثابت و دو مجموعه مختصات برای نقاط جابجا شده همگی در یک سیستم مختصات مشترک تعیین می‌گردند. این دو مجموعه مختصات نقاط جابجا شده یکی برای اپوک اول و دیگری مربوط به اپوک دوم می‌باشد. با مقایسه مختصات این نقاط جابجا شده، مقدار جابجایی در دو اپوک حاصل می‌گردد. در این حالت برای



قرارگرفتن اندازه ها در مقیاس واقعی از یک میله مقیاس می توان استفاده نمود. اندازه گیری و محاسبات توسط نرم افزار های MatLab و Australis انجام گرفته است.

۳- پیاده سازی و نتایج

جهت تعیین پتانسیل فتوگرامتری برد کوتاه در اندازه گیری میزان تغییر شکل بدنه یک اتومبیل در اثر وارد شدن ضربه به آن، اتومبیلی مطابق شکل ۵ انتخاب شده است. تارگت های فتوگرامتری در قالب دو نوع تارگت کد دار و تارگت های معمولی (شکل ۲) بر روی بدنه اتومبیل نصب گردیده اند. اندازه گیری های اپوک اول قبل از ضربه انجام شده است (شکل ۵- الف).



ج

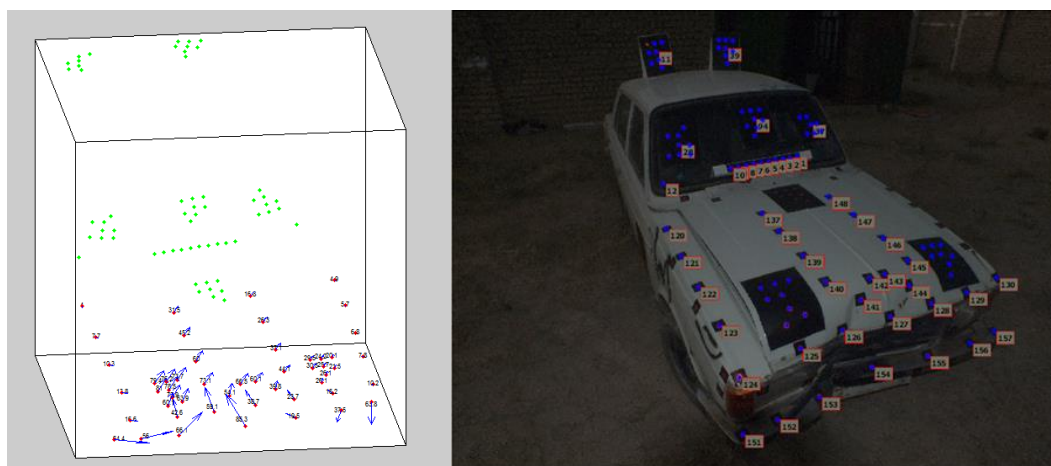
ب

الف

شکل ۵: الف) اپوک اول قبل از ضربه ب) وارد شدن ضربه به اتومبیل ج) اپوک دوم بعد از ضربه

پس از وارد شدن ضربه (شکل ۵-ب و ج) بلافاصله اندازه گیری های اپوک دوم نیز انجام گرفته اند. مشاهدات هر دو اپوک توسط متد CPDA سرشکن گردیده اند. نتیجتاً دو مجموعه مختصات برای نقاط جابجا شده تعیین گردیده است.

شکل ۶- الف نقاط اندازه گیری شده بر روی اتومبیل در اپوک دوم و شکل ۶- ب بردار جابجایی بین نقاط تغییر شکل یافته را به همراه میزان جابجایی آنها نمایش می دهد. در جدول ۱ مختصات برخی از نقاط جابجا شده در بخش جلوی اتومبیل قبل و بعد از وارد شدن ضربه، ارائه گردیده است. همچنین میزان جابجایی نقاط در اثر وارد شدن ضربه در ستون آخر این جدول، محاسبه شده است.



ب

الف

شکل ۶: الف) نقاط سرشکن شده بر روی عارضه بعد از ضربه ب) بردار جابجایی نقاط بین اپوک ها اول و دوم

جدول ۱: مختصات برخی از نقاط جابجا شده در بخش جلوی اتومبیل قبل و بعد از وارد شدن ضربه و میزان جابجایی آنها



(واحد : میلیمتر)

قبل از ضربه				بعد از ضربه				مقدار جابجایی
شماره نقطه	X	Y	Z	شماره نقطه	X	Y	Z	
24	-448.54	1698.31	-721.39	124	-437.85	1686.21	-717.42	16.62
25	-190.66	1724.10	-719.42	125	-195.91	1736.69	-679.03	42.63
26	9.32	1765.45	-706.22	126	-1.54	1801.67	-660.72	59.16
27	236.50	1813.91	-691.93	127	222.05	1832.71	-661.33	38.71
28	451.84	1866.91	-676.80	128	440.82	1871.04	-656.22	23.71
29	662.42	1920.33	-668.64	129	654.25	1913.35	-656.42	16.28
30	887.15	1986.50	-638.65	130	883.58	1977.57	-635.04	10.27
51	-516.04	1848.16	-952.25	151	-461.62	1814.11	-946.42	64.45
52	-368.27	1861.59	-959.53	152	-316.75	1853.57	-939.09	56.01
53	-161.07	1896.70	-956.97	153	-118.85	1925.24	-914.73	66.19
54	200.47	1970.93	-937.22	154	176.74	2033.32	-884.02	85.35
55	479.80	2037.42	-917.05	155	463.40	2039.53	-906.64	19.53
56	728.88	2102.31	-897.63	156	718.06	2069.94	-913.17	37.50
57	898.60	2161.89	-868.69	157	892.13	2106.07	-898.90	63.80

دقت متوسط تعیین مختصات زمینی نقاط در سرشکنی شبکه به روش CPDA، مطابق جدول ۲، ۰.۴۵ میلیمتر بوده است. همانطور که در رابطه طراحی شبکه (رابطه ۵) محاسبه شده بود، دقت حاصل با دقت پیش بینی شده مطابقت دارد. با توجه به جدول ۲ حداکثر خطای موجود در تعیین مختصات زمینی نقاط را می توان ۱ میلیمتر متصور بود. به بیان دیگر، با توجه به سرشکنی ترکیبی، مقدار جابجایی های تعیین شده در ستون آخر جدول ۱ با دقت حداقل ۱ میلیمتر می توانند بیانگر میزان جابجایی نقاط روی اتومبیل باشند.

جدول ۲: دقت مختصات زمینی برآورد شده برای کل نقاط در متد CPDA برای ۲ اپوک بر اساس پارامتر RMSE (ریشه دوم میانگین مربعات خطای برآورد مختصات زمینی نقاط) - (واحد : میلیمتر)

دقت شبکه سرشکنی ترکیبی برای مانیتورینگ جابجایی متد CPDA (mm)	
RMSE_X	0.3349
RMSE_Y	0.6553
RMSE_Z	0.3690
میانگین سه بُعد	0.4530

سرعت برداشت مشاهدات هر اپوک در روش فتوگرامتری در حدود چند دقیقه در قالب عکسبرداری در یک شبکه محدب از عارضه بود. در این پروژه با تصویربرداری بین ۳۱ تا ۳۴ تصویر در هر اپوک، شرط استحکام شبکه فتوگرامتری برای دستیابی به دقت های مورد نظر تأمین گردید. با توجه به اینکه روش CPDA پیشنهادی هیچ نیازی به نقاط کنترل نداشته و به کل مستقل از هرگونه مشاهدات میکروژئودزی یا ابزاردقیق می باشد، و همچنین به دلیل سهولت اجرا و سرعت سیستم پیشنهادی در کنار قابلیت دستیابی به دقت های زیر یک میلیمتر در جابجایی ها، به عنوان یک روش ایده آل برای مانیتورینگ و کنترل کیفیت اتومبیل معرفی می گردد. از سایر مزایای این روش می توان به امکان



مانیتورینگ یکجا از کل عارضه، عدم نیاز به تماس مستقیم با عارضه، قابلیت جابجایی سنجی تعداد زیادی از نقاط روی عارضه، ارائه مدارک بصری و قابلیت تکرار ارزیابی ها، امکان اندازه گیری در اتومبیل های نامنظم و پیچیده با درجه آزادی^۴ بالا و هزینه کم اشاره کرد. از محدودیت های این روش نیز امکان تخریب تارگت ها حین ضربه و نیاز به نقاطی بر روی عارضه یا محیط به عنوان نقاط مبنا که در اثر ضربه تغییری در آنها حاصل نشود، می باشد.

۴- نتیجه گیری

آنالیز های جابجایی به روش فتوگرامتری معمولاً در پروژه هایی وارد عمل می شوند که در آنها عارضه مورد نظر یا شرایط محیطی، امکان وجود زمان کافی و یا فضای مناسب برای نصب ابزار دقیق و یا اندازه گیری های وسیع ژئودتیکی را نمی دهند. همچنین استفاده از تصاویر، یک مستند سازی عینی از شرایط عارضه را در زمان اخذ تصاویر ارائه می- کند. مشکلات زمانی و مکانی اخذ داده و هزینه پروژه نیز از مواردی هستند که روش فتوگرامتری را در مقابل سایر روشها وارد عرصه رقابت می کنند.

سیستم فتوگرامتری جهت سنجش تغییر شکل بدنه اتومبیل در اثر وارد شدن ضربه که در این مقاله پیشنهاد گردید، شامل یک دوربین تصویربرداری رقومی غیر متریک (Fujifilm Digital Camera FINEPIX HS20EXR)، تارگت های بازتابنده کد دار و معمولی، شبکه طراحی شده برای قرارگیری دوربین ها و تارگت ها، میله های مقیاس و متد جدید و پیشنهادی CPDA برای سرشکنی در یک سیستم مختصات مشترک بین برداشت ها و افزایش صحت خروجی ها می باشد. در این سیستم انجام مشاهدات از اتومبیل با سهولت، سرعت و دقت بالایی صورت می گیرد به طوری که در این پروژه برداشت هر اپوک در کمتر از ۱۰ دقیقه، و جابجایی سنجی با دقت کمتر از ۱ میلیمتر در ابعاد عارضه انجام گردید.

سیستم معرفی شده بسیاری از محدودیت های روشهای استفاده از ابزار دقیق همچون مشکلات در نصب، تخریب در تست، هزینه بالا و امکان استفاده از تعداد محدود سیستم های ابزار دقیق در یک پروژه را مرتفع می کند. این روش مستقل از هرگونه مشاهده خارجی است و سرعت بالا در پیاده سازی و انجام مشاهدات، امکان ارزیابی های سریع بر روی نتایج را بلافاصله پس از وقوع ضربه میسر می سازد. فرآیند اتوماتیک محاسبات و توجیه تصاویر نیز بار محاسباتی و زمان لازم جهت دستیابی به نتایج را تا چند دقیقه کاهش میدهد. این اتوماتیک سازی سیستم را قادر می سازد تا در صورت نصب چند دوربین و تصویربرداری به صورت همزمان، بتوان به صورت بلادرنگ لحظه برخورد اتومبیل را در کسری از ثانیه مدلسازی نمود.

با توجه به ساختار معرفی شده و دستیابی به دقت های زیر ۱ میلیمتر، استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه در قالب سیستم معرفی شده برای ارزیابی کیفیت اتومبیل ها و اندازه گیری ها در تست ضربه، پیشنهاد می گردد.

۵- تقدیر و تشکر

نگارنده مراتب تشکر خود را از مرکز اسقاط خودروهای فرسوده زنجان بابت در اختیار قرار دادن اتومبیل جهت پیاده سازی پژوهش اعلام می دارد.

۶- مراجع

- [1] D. B. a. A. H. Clive Fraser, «Vision-based, multi-epoch deformation monitoring of the Atrium of federation square,» de *11th FIG Symposium on Deformation Measurements*, Santorini, 2003.
- [2] B. R. Clive S. Fraser a, «Monitoring the thermal deformation of steel beams via vision metrology,» *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, p. 268-276, 2000.

⁴ Degree Of Freedom



- [3] C. Fraser, A. Woods y D. Brizzi, «Hyper redundancy for accuracy enhancement in automatic close range photogrammetry,» vol. 20, n° 11, 2005.
- [4] C. Fraser, «Automated vision metrology: A mature technology for industrial inspection and engineering surveys,» de *6th South East Asian Surveyors Congress*, Western, 1999.
- [5] J. Fryer, H. Mitchell y J. H. Chandler, *Applications of 3D measurement from images*, Whittles, 2007.
- [6] T. Lee y R. Al-Mahaidi, «An experimental investigation on shear behaviour of RC T-beams strengthened with CFRP using photogrammetry,» *Composite Structures*, vol. 82, p. 185–193, 2008.
- [7] T. Koutecky, D. Paloušek y J. Brandejs, «Method of photogrammetric measurement automation using TRITOP system and industrial robot,» *Optik*, vol. 124, p. 3705–3709, 2013.
- [8] C. S. Fraser y S. Cronk, «A hybrid measurement approach for close-range photogrammetry,» *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 64, n° 3, pp. 328-333, may 2009.
- [9] R. Jiang, D. V. Jáuregui y K. R. White, «Close-range photogrammetry applications in bridge measurement: Literature review,» *Measurement*, vol. 41, n° 8, p. 823–834, 9 January 2008.
- [10] F. Esmaeili, M. Varshosaz y H. Ebadi, «Displacement measurement of the soil nail walls by using close range photogrammetry and introduction of CPDA method,» *Measurement*, vol. 46, n° 9, p. 3449–3459, November 2013.
- [11] F. Esmaeili, M. Varshosaz y M. Saadatesresht, «Displacement Measurement of Soil Nail Walls using Close Range Photogrammetry,» *Procedia Engineering*, vol. 54, p. 516–524, 2013.
- [12] F. Co., «Fujifilm Digital Camera FINEPIX HS20EXR Owner's Manual,» Fujifilm Co., 2010.
- [13] C. S. Fraser, «Network Design Consideration for Non-Topographic Photogrammetry,» *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, vol. 50, n° 8, pp. 1115-1126, August 1984.



Determination of Car Body Deformation due to Collision Using Close-Range Photogrammetry

Farid Esmacili *¹, Hamid Ebadi ²

1- Ph.D. Student of photogrammetry, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

2- Associate professor of Geodesy and Geomatics Eng. Faculty, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

In recent decades, close-range photogrammetry has been successfully used in various fields including industry, cultural heritage, health and civil. This method as a tool for measuring deformation in industrial parts, has many advantages such as capability of real-time measurement, ease of observation, the ability to achieve high accuracy and also capability of creating an archiving observations for future processing. In this paper, close-range photogrammetry is applied to measure a vehicle's body before and after collision to determine deformation on it. For this purpose, a measuring system is designed based on the core components of network and technical structure, taking observations, adjustment and calculation. Combined Photogrammetry Displacement Adjustment method (CPDA) has been applied in this research to achieve high accuracy in the measurement of displacement. The results revealed the ability of this method to achieve an accuracy of less than 1 mm in measuring the deformation of vehicle's body. Also this method is superior to other methods in terms of cost, speed and ease of measurements.

Keywords: Close-range Photogrammetry, Deformation Measurement, Calibration, Network Design, Scale Bar

* Correspondence Address: No. 1346, Vali-Asr Street, Mirdamad Crossing, Remote Sensing Dept, Geomatics Eng. Faculty, K.N.Toosi University of Tech. , Tehran ,Iran, Postal Code: 1996715433. **Tel:** +98 21 88770218.

Email: Faridesm@mail.kntu.ac.ir