ارزیابی تأثیر نوع و نحوه توزیع مشاهدات بر دقت شبکه‌های فتوگرامتری برد کوتاه

سید محسن میری

mohsen_miri@alborz.kntu.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دکتر مسعود ورشوساز

varshosazm@kntu.ac.ir

مدیر گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع خیابان میرداماد، شماره ۱۳۶۴

چکیده

امروزه استفاده از فتوگرامتری بردکوتاه در کاربردهایی که نیاز به اندازه‌گیریهای دقیق دارند بسیار مورد توجه قرار گرفته است. هزینه‌های سنگین استفاده از دوربینهای متریک و نرم‌افزارهای حرفه‌ای فتوگرامتری باعث توجه بیشتر کاربران به استفاده از دوربینهای غیرمتریک و نرم‌افزارهای ساده فتوگرامتری در انجام مدلسازیهای دقیق گشته است. در این تحقیق حالتهای مختلف مشاهداتی از نظر نوع مشاهدات نقطه‌ای و خطی، تعداد و تراکم مشاهدات و همچنین حالتهای مختلف تشکیل مدل با استفاده از نقاط کنترل به منظور ایجاد شبکه مناسب جهت انجام مدلسازیهای دقیق مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته اند. در این راستا، یک رویهٔ سهمیگون کاسه‌ای برای مدل کردن دقت در سه بعد Z,Y,X تهیه و با تفسیر مقاطعی از آن رفتار خطا در کل مدل مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که حل معادلات شبکه در حالت آزاد دارای بیشترین دقت مختصاتی خواهد بود. افزایش دقت مدل در هریک از ابعاد مسطحاتی و عمقی با اضافه کردن نقاط کنترل مناسب در ابعاد مورد نظر از دیگر نتایج این تحقیق بشمار می‌رود. قیدهای امتدادهای موازی و فاصله نیز مورد بررسی قرار گرفتند که مورد اول منجر به واگرا شدن معادلات و مورد دوم باعث افزایش استحکام شبکه گشت.

واژگان کلیدی: طراحی شبکه، فتوگرامتری بردکوتاه، توزیع نقاط کنترل، قیدهای شبکه.

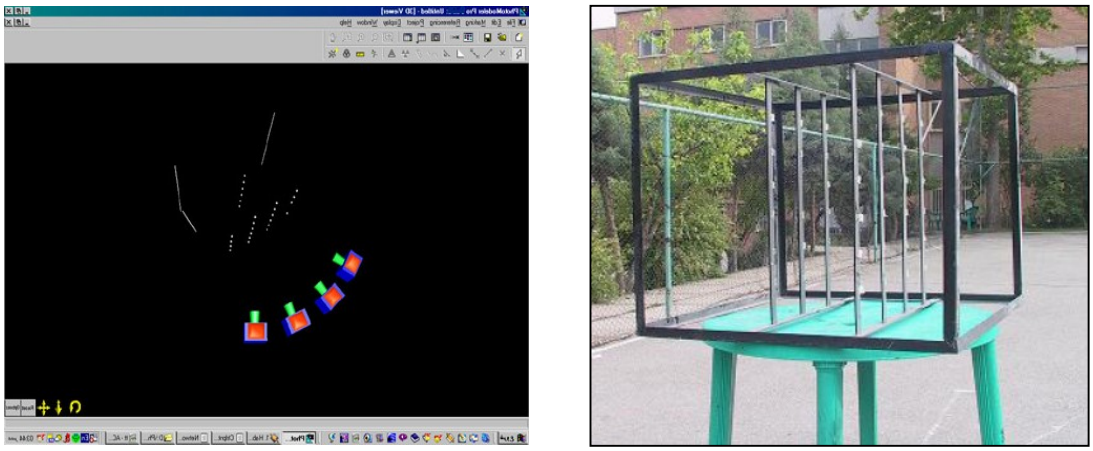
۱- مقدمه

با گسترش زمینه‌های نفوذ فتوگرامتری برد کوتاه در کاربردهایی که نیاز به اندازه‌گیری دقیق دارند استفاده از روشها و تجهیزاتی با هزینه کمتر بیش از پیش مورد اهمیت قرار می‌گیرد. استفاده از دوربینهای غیرمتریک بجای دوربینهای متریک و بکارگیری نرم‌افزارهای ساده فتوگرامتری بجای نرم‌افزارهای حرفه‌ای فتوگرامتری منجر به کاهش چشمگیر هزینه‌های چنین پروژه‌هایی می‌گردد. از اینرو نیاز به بررسی دقت روشهای ساده فتوگرامتری بردکوتاه (غیر حرفه‌ای) و پارامترهای مؤثر بر آنها مورد توجه قرار می‌گیرد. در این مقاله ضمن طراحی یک شبکه فتوگرامتری بردکوتاه به ارزیابی دقت این روش با استفاده از تجهیزات مذکور پرداخته می‌شود. از آنجایی که در طراحی شبکه‌های فتوگرامتری تأثیر پارامترهایی چون زاویه تقارب عکسبرداری و فاصله مورد بررسی قرار گرفته

است (Atkinson et al,) این تحقیق به بررسی پارامتر سوم با عنوان نوع مشاهدات (نقاط کنترل و قیدها) و تعداد و نحوه توزیع آنها به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر طراحی شبکه می‌پردازد. در قسمتهای بعدی ضمن معرفی تجهیزات و روش مورد استفاده در این تحقیق به بررسی حالتهای مختلف در بکارگیری این نقاط در شبکه مذکور پرداخته می‌شود.

۲- تجهیزات مورد استفاده

در انجام این بررسی، شبکه‌ای از نقاط با فواصل مشخص نسبت به یکدیگر که برروی یک تست فیلد مکعبی شکل به ابعاد تقریباً ۱ متر نصب شده‌اند مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱ سمت راست). فضای داخل این اسکلت فلزی از دو ردیف نوار فلزی تشکیل شده است که در ردیف اول چهار نوار فلزی و در ردیف دوم سه نوار با استحکام قرار دارند. بر روی هر نوار ۶ نقطه با فواصل ۱۰cm از هم علامتگذاری شده‌اند. در مرحله تصویربرداری، از دوربین غیرمتریک Canon Pro 90 با تنظیم فاصله کانونی در حالت ثابت ۷ میلیمتر استفاده گردید. چهار تصویر در فاصله ۱/۵ متری از عارضه و با فواصل زاویه‌ای ۲۰ درجه نسبت به یکدیگر اخذ گردید (شکل ۱ سمت چپ) تا اولاً پوشش مناسب تصاویر باعث گردد نقاط بیشتری در هر ۴ تصویر مشاهده شود و ثانیاً زاویهٔ تقارب زیاد باعث کاهش دقت نشانه‌روی نقاط نگردد. تصاویر مورد استفاده ۲۴ بیتی و به ابعاد ۱۲۰۰×۱۶۰۰ می‌باشند.



شکل ۱: تست فیلد مورد استفاده (سمت راست) و موقعیتهای مختلف تصویر برداری (سمت چپ)

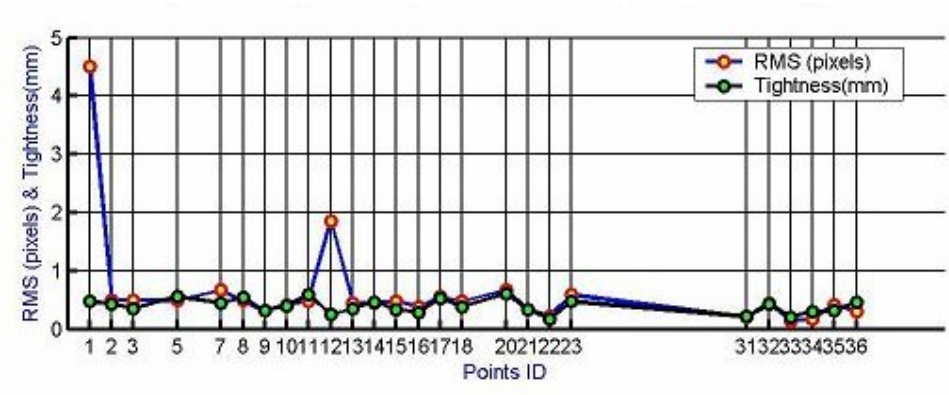
۳- روش و پارامترهای مورد استفاده در بررسی

به منظور انجام پردازشهای فتوگرامتری از نرم‌افزار PhotoModeler استفاده شد. در این نرم افزار، از معادلات ریاضی DLT برای حرکت از فضای تصویر به فضای مدل واقعی استفاده می‌شود که در بر گیرنده ۱۱ مجهول در هر تصویر می‌باشد. با توجه به اینکه هر نقطه از عارضه (نقاط تست فیلد) دو معادله در هر تصویر ایجاد می‌کند برای حل شبکه به حداقل ۶ نقطه (با یک درجهٔ آزادی) در هر تصویر نیاز می‌باشد. مسلماً با افزایش تعداد نقاط مشترک در تصاویر، تعداد نقاط مورد نیاز جهت حل معادلات را می‌توان به ۳ نقطه نیز کاهش داد. به منظور تفکیک خطاهای

مشاهداتی در هر کدام از مراحل اخذ تصاویر و توجیه نسبی در انجام بررسیهای این مقاله از سه پارامتر tightness، RMS نقاط تصویری و دقت مختصاتی که از طریق نرم‌افزار PhotoModeler محاسبه می‌گردند استفاده گشته است. پارامتر اول بیانگر اطلاعاتی در مورد وضعیت تقاطع اشعه‌هایی است که موقعیت یک نقطهٔ سه‌بعدی را تعریف می‌کنند. به دلیل دقت کم در توجیه ایستگاههای تصویربرداری و یا ضعف نشانه گذاری کردن نقاط ، ممکن است اشعه‌های متناظر در یک نقطه بهم برخورد نکنند و تا حدودی با هم فاصله داشته باشند. بنابراین کمتر بودن میزان tightness بیانگر تقاطع خوب اشعه‌ها در نقطه مورد نظر می‌باشد.RMS نقاط در تصاویر نیز در حقیقت RMS میزان خطای مشاهدات در مرحله تناظریابی است که بر حسب Pixel بیان شده و بیشتر وابسته به پارامترهای مؤثر در تناظریابی (مثل دقت انتخاب نقاط متناظر، لبه ها و قیدها و ...) و کیفیت توجیه ایستگاههای تصویربرداری نسبت به یکدیگر می‌باشد. سومین پارامتر نیز دقت محاسباتی مختصات نقاط را معرفی می‌نماید. در کلیه بررسیهای زیر، دو نوع نمودار تهیه گشت که دو پارامتر tightness و RMS بطور همزمان در یک نمودار و پارامتر دقت مختصاتی در نمودار دوم مورد بررسی قرار می‌گیرند. واحد اندازه‌گیری در کلیه نمودارها میلیمتر می‌باشد.

۴- بررسی شبکه در حالت آزاد

شبکه آزاد به شبکه‌هایی گفته می‌شود که در یک سیستم مختصات غیرمشخص قرار گرفته باشند. به منظور قرار گرفتن این مدلها در یک سیستم مختصات معلوم نیاز به معرفی یک پارامتر مقیاس، سه پارامتر دوران و سه پارامتر انتقال می‌باشد. از آنجایی که مدلهای آزاد (free networks) به دلیل عدم نیاز به نقاط کنترل زمینی در بسیاری از کاربردهای مدلسازی با استفاده از فتوگرامتری بردکوتاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. در این قسمت به بررسی دقت شبکه مذکور در یک سیستم مختصات آزاد پرداخته می‌شود. به منظور بررسی خطاهای مشاهداتی در این حالت ابتدا نمودار مربوط به RMS و tightness تهیه گشت (نمودار ۱).

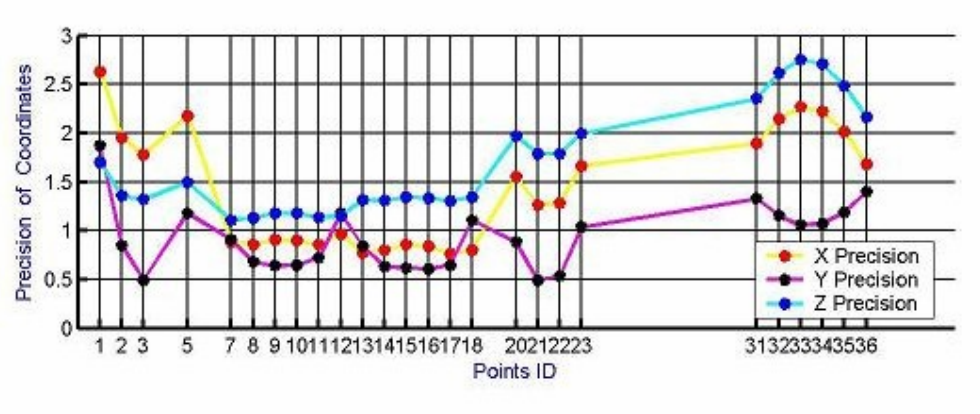


نمودار (۱): خطاهای مشاهداتی مربوط به نحوه تقاطع اشعه‌ها و تناظریابی در هر نقطه

با مشاهدهٔ این نمودار می‌توان تا حدودی به وابستگی بین دو معیار RMS و tightness پی برد. بجز در نقاط ۱و ۱۲ این دو منحنی رفتار تقریباً مشابهی دارند. به منظور برطرف نمودن امکان اشتباه در مرحله تناظریابی مشاهدات عکسی در هر بررسی با چندین بار تکرار انجام شده است. با این وجود چنین رفتاری در این دو نقطه

مجدداً تکرار شد که بیانگر وجود نوعی خطای سیستماتیک است که بطور مشهودی در این دو نقطه (بخصوص در نقطهٔ ۱) نمایان می‌شود. فاصلهٔ زیاد نسبت به مرکز تصویر و در نتیجه تأثیرپذیری این نقاط از خطاهای مربوط به عدسی و همچنین زاویهٔ تقارب کم در این نقاط به علت موقعیت آنها در منتهی‌الیه تصویر از جمله دلایلی به شمار می‌روند که ممکن است وضعیت تقاطع این اشعه‌ها را دچار مشکل نمایند.

در ادامه، به منظور ارزیابی دقت مختصاتی شبکه در حالت آزاد، مدلسازی عارضه (تست فیلد) بدون استفاده از نقاط کنترل صورت پذیرفت. به منظور سهولت در مقایسه داده‌های این مرحله با داده‌های مراحل بعدی، پارامتر مقیاس با تعریف فاصله بین دو نقطه به این شبکه معرفی گشت. دقت مختصاتی شبکه در حالت سه‌بعدی در نمودار (۲) ارائه شده است.



نمودار (۲): خطای مختصاتی در هر سه بعد در حالت شبکه آزاد

با بررسی این نمودار و مشاهدهٔ دقت مختصاتی خوب نقاط ۷ تا ۱۸ که در مرکز مدل و در صفحهٔ جلویی قرار دارند می‌توان چنین استنباط کرد که این نقاط کمتر از نقاط کناری از خطاهای سیستماتیک تأثیر گرفته‌اند. از طرفی دقتهای کم نقاط ۳۱ تا ۳۶ که در صفحهٔ پشتی قرار دارند بیانگر تأثیر توزیع نامناسب این نقاط در این صفحه بر دقت مختصاتی آنها می‌باشد.

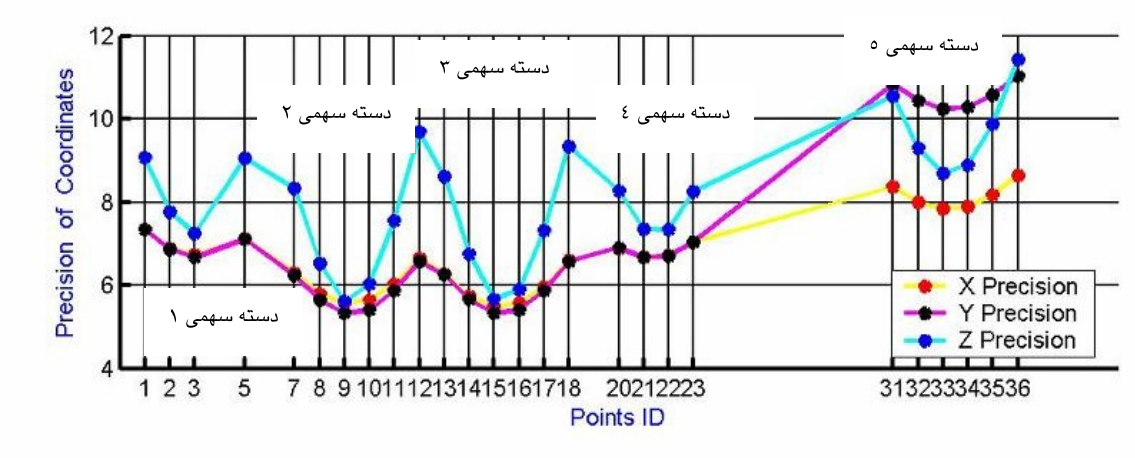
۵- ارزیابی شبکه با اعمال نقاط کنترل

در این بخش به منظور بررسی تأثیر نحوه توزیع نقاط کنترل بر دقت شبکه حالتهای مختلفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ابتدا با استفاده از نقاط کنترل نصب شده در وجه جلویی اسکلت فلزی، دقت شبکه در حالتی که نقاط کنترل دارای تغییرات در عمق نیستند بررسی می‌گردد. سپس با دخالت دادن نقاط کنترلی که در صفحات میانی و پشتی قرار دارند تأثیر توزیع نقاط کنترل در عمقهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجایی که با وجود انجام تکرار در مشاهدات تغییر چشمگیری در نمودار tightness و RMS که در بررسیهای بعدی تهیه گشت حاصل نشد

می‌توان مرحله مشاهدات را از خطاهای دیگر مشاهداتی ایمن دانست. در بررسیهای بعدی، تنها نمودارهای دقت مختصاتی ارائه می‌گردد.

۵-۱- بررسی اثر نحوه توزیع نقاط کنترل مسطحاتی بر دقت مدل

در این حالت به منظور بررسی دقت شبکه‌ای که با استفاده از نقاط مسطحاتی (نقاطی با اختلاف عمق کم) در سیستم مختصات مربوطه توجیه شده‌است ابتدا از ۴ نقطه انتهایی موجود بر نوارهای صفحه جلویی استفاده گشت. سپس با افزایش نقاط کنترل در قسمتهای مختلف این صفحه تأثیر این نقاط بر دقت و استحکام شبکه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نمودار (۳) ارزیابی دقت مختصاتی نقاط را در این حالت نشان می‌دهد.



نمودار (۳): خطای مختصاتی در هر سه بعد با استفاده از ۴ نقط کنترل در نوارهای کناری شبکه

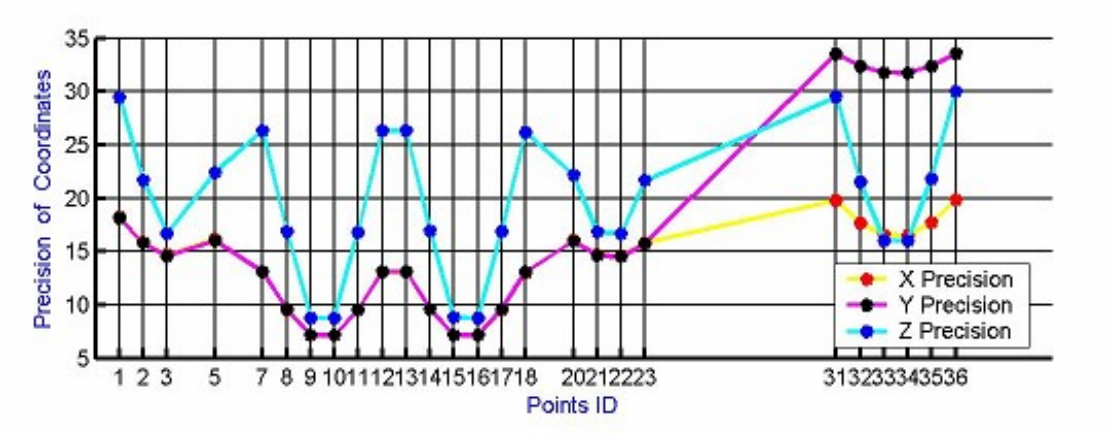
مقایسه نمودار فوق با حالت شبکه آزاد نشان می‌دهد که انتخاب نقاط کنترل در شبکه و خارج کردن آن از حالت Free-network ، دقت شبکه را تحت تأثیر قرار داده است. از طرفی چون نقاط کنترل با وزن ۵ میلیمتر وارد محاسبات شده‌اند باعث می‌شود تا شبکه تا رسیدن به یک مدل با حداکثر انطباق، خود را بیشتر جابجا کند. با توجه به نمودار می‌توان مشاهده کرد که خارج کردن شبکه از حالت آزاد و محدود کردن آن به تعداد کمی نقاط کنترلِ مسطحاتی، باعث افت شدید دقت (بطور میانگین ۷ میلیمتر) در هر سه بعد شده است. به دلیل عدم توزیع مناسب نقاط کنترل در عمق این خطا در بعد Z بیشتر ظاهر می‌شود. از طرفی عدم توزیع مناسب نقاط در نوار پشتی باعث کاهش دقت مختصاتی نقاط این محدوده در هر سه بعد شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد این نمودار از پنج دسته سهمی U شکل تشکیل شده است که نقطهٔ مینیمم این سهمی‌ها بیانگر دقت مختصاتی در نقطهٔ وسطی هر نوار است. بنابراین می‌بایست تحلیل نقاط بصورت نقاط همرفتار و با توجه به موقعیت آنها در هر نوار صورت گیرد. مثلاً نقطهٔ 3 با نقاط 9، 15، 21 و33 که دارای وضعیت مشابهی در راستای قائم (ارتفاع ثابت نسبت به زمین) هستند باید مقایسه شود. علاوه بر این ملاحظه می‌شود که هر دسته از این نقاط همرفتار خود بر روی یک سهمی قرار دارند. بنابراین اگر بخواهیم این نقاط را در نوارهای فرضی قائمی مرتب کنیم به شکلی مشابه حالت قبل با این نمودار مواجه می‌شویم. به عنوان مثال از وصل کردن

مینیمم‌ها سهمی دیگری تشکیل می‌گردد. در نهایت با به تصویر کشیدن نمودار دقت در دو بعد و به دو ترتیب نوارهای افقی و قائم، به شکلی سهمیگون (کاسه‌ای) خواهیم رسید. بنابراین علت تشابه رفتاری دو سهمی "1-2-3-5" (دسته سهمی شمارهٔ ۱) و "20-21-22-23" (دسته سهمی شمارهٔ ۴) این است که این دو سهمی در حقیقت مقطعهای نسبتاً متقارنی از شکل سهمی گون دقتها هستند. این مطلب در مورد دو سهمی "7-8-9-10-11-12" (سهمی شمارهٔ ۲) و "13-14-15-16-17-18" (سهمی شمارهٔ ۳) نیز صادق است. به دلیل رفتار متقارن این سهمیگون می‌توان به بروز یک خطای سیستماتیک در دو راستای قائم و افق پی برد. با توجه به رفتار متقارن خطای خروج از مرکزیت عدسی یا به عبارتی خطای اعوجاج شعاعی عدسی (Matsuoka 2003)، می‌توان علت بروز این خطا را ناشی از این پدیده دانست. جابجایی دسته سهمی پنجم نسبت به سایر دسته سهمی‌ها را می‌توان به اثر پارامتر فاصله در اندازه‌گیری این نقاط نسبت داد.

با مقایسه سهمی‌های موجود در هر دسته سهمی می توان به تقعر کمتر سهمی‌های دقت مسطحاتی (x,y) نسبت به سهمی خطای عمقی (z) پی‌برد که این مطلب گویای تأثیر توزیع مناسب نقاط در دو بعد (x,y) بر دقت مسطحاتی مدل و اثر توزیع نامناسب نقاط در بعد سوم بر دقت عمقی مدل می‌باشد.

پس از انجام این مرحله به منظور بررسی تأثیر افزایش نقاط میانی شبکه بر دقت مسطحاتی مدل، طی سه مرحله و تا حداکثر سه نقطه از نقاط موجود بر نوارهای میانی وارد مدل گشت. از آنجایی که تغییر چشمگیری در دقت مدل در این حالتها مشاهده نشد می‌توان تا حدودی انتخاب نقاط گوشه‌ای مدل را راه مناسبی جهت برطرف کردن خطاهای تصویری عنوان نمود.

در مرحله بعد به منظور بررسی اثر توزیع نقاط کنترل در قسمتهای میانی مدل بر دقت مسطحاتی، بجای استفاده از نقاط گوشه‌ای، از ۴ نقطه کنترل موجود بر نوارهای میانی ردیف اول استفاده گردید (نمودار ۴).

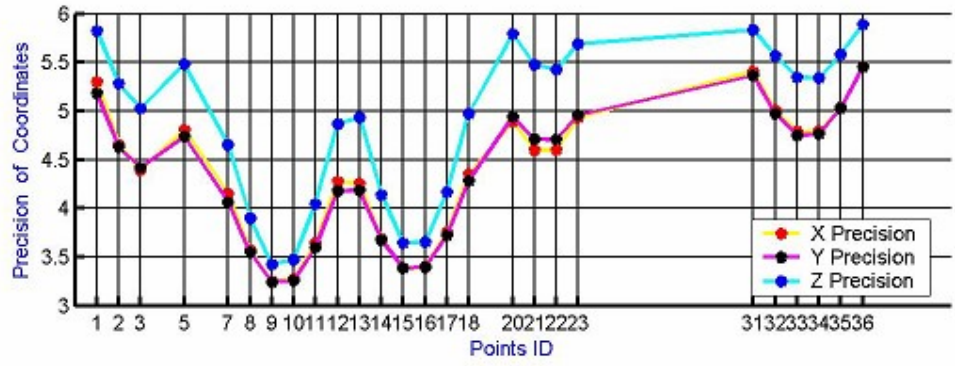


نمودار (۴): خطای مختصاتی در هر سه بعد با استفاده از ۴ نقط کنترل در نوارهای میانی شبکه

همانطور که در نمودار (۴) مشاهده می‌گردد مشابه با حالت قبل ۵ دسته سهمی خطا در این نمودار نیز ظاهر می‌شوند. در این نمودار نیز وضعیت مناسب دقت در دو محور x و y نسبت به دقت عمقی مؤید تأثیر توزیع مناسب نقاط در مسطحات می‌باشد. اما در مقایسه با نمودار قبلی می‌توان به تغییرات شدید دقت دسته سهمی‌های اول و چهارم نسبت به دسته سهمی‌های میانی پی‌برد. علت این امر را می‌توان ناشی از تراکم نامناسب نقاط کنترل در محدوده‌های کناری شبکه عنوان نمود. از آنجایی که تأثیر خطاهای شعاعی در تصویر با فاصله گرفتن از مرکز تصویر افزایش می‌یابد [3,5] چهار نقطه کنترل مورد استفاده در محدوده میانی مدل نتوانسته‌اند اثر این خطاها را به خوبی برطرف نمایند. از سویی دیگر به دلیل کمتر بودن این خطاها در محدوده‌های میانی مدل توزیع این نقاط در قسمت میانی مدل تأثیر چندانی بر دقت مختصاتی این قسمتها ندارد. با مشاهده تغییرات شدید دقت در دسته سهمی پنجم (در حد چند سانتیمتر) می‌توان به ناپایداری شبکه در این حالت پی برد. چراکه توزیع نامناسب نقاط کنترل در شبکه اجازهٔ حرکت شبکه در هر سه بعد را افزایش می دهد. این عدم ثبات شبکه در نقاط کناری بیشتر نمایان است که نشان می‌دهد شبکه توانسته است حول محورهای قائم مرکزی که توسط نقاط کنترل ثابت شده‌اند اندکی دوران کند.

۵-۲-بررسی اثر توزیع نقاط کنترل عمقی بر دقت سه بعدی مدل

در این بخش با هدف بهبود دقت مختصاتی نقاط در بعد سوم علاوه بر ۴ نقطه موجود بر نوارهای کناری ردیف اول (با هدف حفظ استحکام شبکه در بعد مسطحاتی) و ۲ نقطه در هرکدام از نوارهای ردیف وسط (با هدف حفظ استحکام شبکه در مرکز مدل)، دو نقطه دیگر نیز برروی نوار ردیف دوم (با تغییر عمق تقریباً ۳۰ سانتیمتری) به عنوان نقاط کنترل وارد مدل شدند و نمودار زیر تهیه گشت.



نمودار (۵): خطای مختصاتی در هر سه بعد با استفاده از ۶ نقطه کنترل در نوارهای ردیف اول و دو نقطه در نوار ردیف دوم شبکه

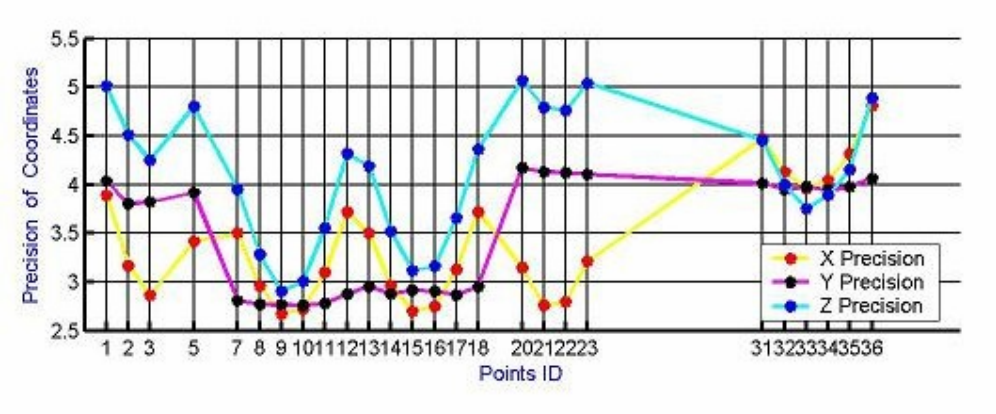
با توجه به دسته سهمی‌های ارائه شده در نمودار (۵) افزایش دقت کلی مدل در حد ۳ تا ٤ میلیمتر نسبت به حالتهای دیگری که از نقاط کنترل جهت حل معادلات شبکه استفاده نمودند ملاحظه می‌گردد. علاوه بر این، همرفتار شدن منحنی دقت عمقی (z) با سایر منحنیها نیز به نوعی بیانگر اثر انتخاب دو نقطه کنترل

موجود بر ردیف دوم در بهبود دقت عمقی شبکه می‌باشند. با این وجود هنوز اختلافی در حد ۰/۸ میلیمتر بین منحنی‌های مسطحاتی با منحنی عمقی وجود دارد که می‌توان آنرا به دلیل کمتر بودن تعداد نقاط کنترل عمقی دانست. همچنین در این حالت، دقت نقاط مرکزی حتی از دقت اولیهٔ نقاط کنترل هم بهتر شده است. این امر نشان می‌دهد که با انتخاب نقاط کنترل مناسب می توان به افزایش دقت نقاط کنترل نیز کمک نمود.

۵-۳- بررسی اثر افزایش قیدها بر دقت سه بعدی مدل

در این بخش با هدف بررسی تأثیر مشاهدات خطی بر دقت شبکه دو نوع قید امتداد و طول وارد محاسبات مدل گشت. اولین دسته از مشاهدات عبارت بودند از خطوطی با امتدادهای موازی که در راستای محور y و برروی لبه‌های کنجی شبکه قرار داشتند. اعمال قید ***خطوط موازی*** با وجود تعداد نقاط زیاد برای حل شبکه، باعث Singular شدن شبکه گردید. دلیل این امر را می‌توان ناشی از وابستگی خطوط انتخابی به امتداد خط واصل نقاط موجود بر نوارهای اسکلت فلزی دانست.

در مرحله بعد اندازه چند طول در اسکلت فلزی به عنوان دومین دسته از قیود وارد محاسبات شبکه گشتند. همچنین با هدف بررسی اثر این دسته از قیود بر دقت عمقی شبکه یکی از طولها برروی نوار فلزی ردیف دوم انتخاب گشت. نمودار (۶) بیانگر خطای مختصاتی شبکه در این حالت می‌باشد.



نمودار (۶): خطای مختصاتی در هر سه بعد با اضافه کردن قید فاصله به حالت قبلی

همانطور که در این نمودار مشاهده می‌گردد در این حالت با اضافه نمودن قید ***فاصله*** دقت کلی شبکه بخصوص در قسمتها میانی آن به میزان ۱ میلیمتر بهبود یافته است. از سویی دیگر به دلیل انتخاب یکی از طولها بر نوار فلزی ردیف دوم دقت مختصاتی سه‌بعدی نقاط موجود بر این نوار به میزان ۰/۵ میلیمتر بهبود یافت.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

به منظور بررسی اثر نوع و نحوه مشاهدات بر دقت مختصاتی مدلهای فوگرامتری ساده تأثیر دو نوع مشاهدات نقطه‌ای و خطی بر دقت مدلسازی یک تست فیلد مکعبی شکل مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا دقت مختصاتی شبکه در دو حالت آزاد و تثبیت شده در یک سیستم مختصات مشخص بررسی گشت.

بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق تنها در شرایطی استفاده از نقاط کنترل ضروری می‌باشد که یا پارامترهای دوربین در دست نباشد و یا تنها یک تصویر برای تشکیل مدل موجود باشد. زمانی که دقت نقاط کنترل کمتر از دقت قابل استخراج از تصاویر باشد امکان ضعیف شدن دقت مختصاتی مدل افزایش می‌یابد.

خطای مختصاتی مورد محاسبه برای نقاط تصویری به شکل یک سهمیگون در سه بعد خواهد بود که در صورت یکنواخت بودن خطا در کل تصویر، انحنای سهمیگون مورد نظر کاهش می‌یابد. وزن اولیهٔ نقاط کنترل در وزن و دقت نهایی نقاط و کاهش مراحل تکرار تأثیر مستقیم دارد ولی در تشکیل مدل سه بعدی، دقت مشاهداتی این نقاط در فضای تصویر مثل اندازهٔ تارگت، رزولوشن تصاویر و وضوح تصاویر از اهمیت بیشتری برخوردار است.

استفاده از عوارض خطی وسایر مشاهدات اضافی، در صورتی که با مشاهدات قبلی وابستگی داشته باشند، نمی تواند در دقت نهایی شبکه تأثیر چندانی بگذارد و گاه منجر به singular شدن معالات می‌گردد.

توزیع مناسب نقاط در تصاویر، می تواند نیاز به مشاهدات اضافی را به حداقل برساند. با توجه به اینکه محدوده‌های کناری هر تصویر بیشترین تأثیر را از خطاهای شعاعی می‌پذیرد انتخاب نقاط کنترل در گوشه‌های مدل می‌تواند منجر به کاهش خطاها در این محدوده‌ها گردد. از سویی دیگر به دلیل کمتر بودن خطاها در محدوده‌های میانی تصاویر، انتخاب نقاط کنترل در این مناطق تأثیر چشمگیری بر بهبود دقت مدل نخواهد داشت.

۷- منابع

[1]: Atkinson, K.B., 1996 ed., Close Range Photogrammetryand Machine Vision, Whittles Publishing, Scotland.

[2]: Clarke, T.A. & Fryer, J.F. (1998). “The development of camera calibration methods and models”, Photogrammetric Record, 16(91): pp 51-66.

[3]: Fryer, J.G. Clarke, T.A. & Chen, J., (1994). “Lens distortion for simple 'C' mount lenses", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 30(5): 97-101.

[4]: Karara, H.M. 1980 Non-metric cameras, Developments in closer range photogrammetry - 1. Ed. K.B. Atkinson. Applied Science publishers, London. 222 pages.

[5]: Ryuji Matsuoka, Kiyonari Fukue, Kohei Cho, Haruhisa Shimoda, Yoshiaki Matsumae, (2003), “Numerical simulation on evaluating calibration results of non-metric cameras”, ISPRS Archives, Vol. XXXIV, Part 3/W8, Munich, 17.-19. Sept. 2003