بررسی تاثیر پارامترهای رابطه اساسی طراحی شبکه بر دقت نهایی فتوگرامتری بردکوتاه

امیرشاهرخ امینی (کارشناس ارشد فتوگرامتری)
آدرس: تهران – خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
Email:amirshahrokh_amini@yahoo.com

مسعود ورشوساز (عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی)
آدرس: تهران – خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
Email: varshosazm@yahoo.com

محمد سعادت‌سرشت (عضو هیات علمی دانشگاه تهران)
آدرس: تهران – خیابان کارگر شمالی، بعد از آل‌احمد، پردیس۲ دانشکده فنی، دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه تهران.
Email: msaadat@ut.ac.ir

چکیده

هدف اصلی این مقاله، بررسی تاثیر پارامترهای رابطه بنیادی طراحی شبکه بر دقت نهایی بدست آمده از فتوگرامتری برد کوتاه می‌باشد. رابطه اساسی طراحی شبکه بصورت $\sigma_c = q.s.\sigma / \sqrt{k}$ بیان می‌گردد که در آن k تعداد تصاویر اخذ شده در هر ایستگاه، s مقیاس تصویربرداری، k فاکتور طراحی شبکه و σ_c دقت شئ روی نقاط می‌باشد. جهت بررسی تاثیر این سه پارامتر اصلی، با استفاده از یک دوربین غیرمتریک از تست‌فیلدهای مختلف متشکل از تارگتهای دست‌ساز تصویربرداری از فواصل متنوع (موثر بر پارامتر s)، با تعداد مختلف اخذ تصویر از هر ایستگاه (موثر بر پارامتر k) و نهایتا از زوایای متنوع و با آرایش مختلف تارگتها در سطح تست‌فیلد (موثر بر پارامتر q) انجام گردید و در هر مرحله نتایج حاصل از سرشکنی بروش دسته اشعه روی دقت نهایی (σ_c) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد، بطور کلی با اخذ تصاویر بیشتر در هر ایستگاه تصویربرداری تا حد خاصی، کاهش فاصله تصویربرداری و همچنین پراکندگی مناسب تارگتها در سطح تصاویر بطوری که تقریبا تمام سطح آنرا بپوشانند؛ و همچنین آرایش مناسب ایستگاههای تصویربرداری بطوری که بزرگترین حجم هرم را در فضا تشکیل دهند، دقت نهایی حاصل از فتوگرامتری برد کوتاه روی نقاط شئ افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: *فتوگرامتری بردکوتاه، طراحی شبکه، تست‌فیلد، دوربین غیرمتریک، تارگت بازتاباننده*

۱- مقدمه

بطور کلی طراحی شبکه های بردکوتاه را در چهار فاز کاری می توان پیشنهاد کرد. بر همین اساس، می-توان طراحی شبکه‌های فتوگرامتری را بصورت زیر مطرح نمود:

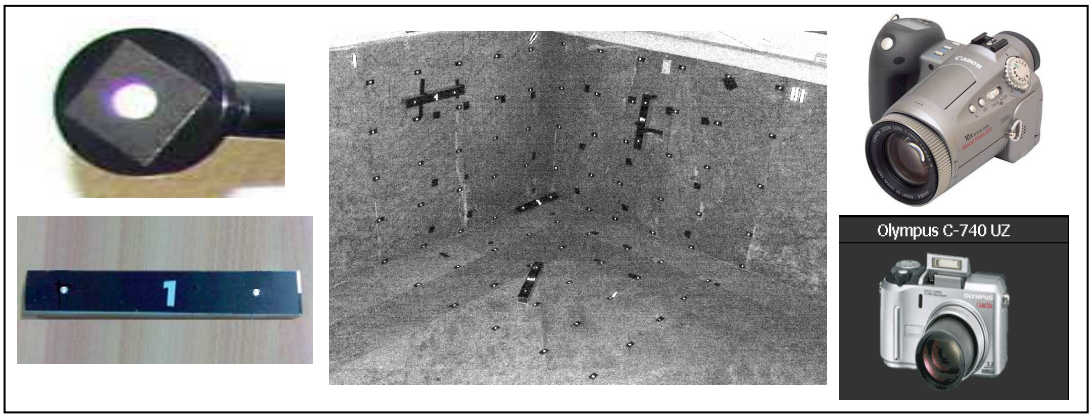
- ZOD: مرحله اول یا فاز صفر: انتخاب دیتوم یا سیستم مناسب که در بسیاری از کاربردهای فتوگرامتری بردکوتاه، سرشکنی بصورت شبکه های آزاد انجام می شود.
- FOD: مرحله دوم یا فاز اول: تعیین هندسه تصویربرداری که در این فاز، تعداد و محل دوربینها مشخص می‌شود و هدف آن بهبود q (فاکتور طراحی) و مقیاس تصوربرداری تا حد امکان می‌باشد.
- SOD: مرحله سوم یا فاز دوم: تعیین ماتریس وزن مشاهدات و دقت اندازه گیری آنها است.
- TOD: مرحله آخر یا فاز سوم: بهبود فاز اول و دقت مورد نظر با افزایش ایستگاهها و همچنین تارگتهای کمکی.

با توجه به مراحل فوق، می‌توان گفت که مهمترین عامل در دستیابی به دقت بهینه در فتوگرامتری برد کوتاه، تعیین مناسب FOD می‌باشد. رابطه کلی انتشار خطا را می‌توان بعنوان مبنایی برای طراحی شبکه های فتوگرامتری بردکوتاه بصورت زیر در نظر گرفت:

$$\sigma_c = \frac{q.s.\sigma}{\sqrt{k}} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، σ_c متوسط انحراف معیار خطای مختصات XYZ نقاط شیءای، q فاکتور طراحی یا ضریب استحکام هندسی شبکه، k تعداد متوسط تصاویر اخذ شده در هر ایستگاه دوربین، s عدد مقیاس برابر با نسبت d فاصله متوسط دوربین تا شئ به c فاصله اصلی دوربین و σ خطای متوسط مختصات xy نقاط عکسی می باشد. لذا دقت اندازه گیری وابستگی زیادی به استحکام هندسی شبکه و مقیاس تصویربرداری دارد.

با توجه به مطالب فوق، در این تحقیق تاثیر عوامل و پارامترهای ذکر شده بر روی دقت نهایی مختصات شئ نقاط مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی با استفاده از دو دوربین رقومی غیرمتریک Canon powershot و Olympus، یک تست‌فیلد سه وجهی با تعدادی تارگتهای بازتاباننده هر یک به قطر ۵mm، و تعدادی scale bar با طولهای معلوم انجام پذیرفت که این ابزارها در شکل (۱) دیده می‌شوند. جهت انجام محاسبات و سرشکنی دسته‌اشعه، از نرم‌افزار Australis در این تحقیق استفاده گردید.



شکل (۱): دوربین‌های رقومی(سمت راست)، تست‌فیلد (وسط)، و تارگت و scale bar (سمت چپ) مورد استفاده

در این تحقیق و در ابتدا، اثر تغییر فاصله دوربین تا تست فیلد و در واقع تغییر مقیاس روی دقت نهایی مختصات نقاط شئ مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله دوم، تاثیر چگونگی آرایش دوربین‌ها در فضا بررسی گردید و در بررسی سوم، اثر تعداد تصاویر اخذ شده در هر ایستگاه بر دقت نقاط تارگت بررسی شد. در ادامه مراحل فوق و نتایج آنها بیان می‌گردد.

۲- بررسی اثر فاصله عارضه تا دوربین بر دقت نقاط

در مرحله اول تحقیق، تاثیر تغییر فاصله تصویربرداری بر دقت مختصات نهایی نقاط بررسی گردید. مراحل انجام این پروژه شامل زیر می‌باشد:

۲-۱- آماده سازی

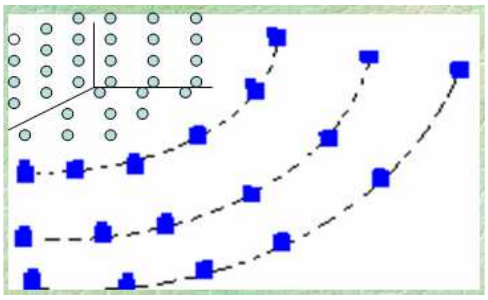
مراحل آماده‌سازی شامل تهیه و نسب تارگتها روی تست فیلد، تهیه scale bar و اندازه‌گیری فواصلی بعنوان طولهای کنترلی و چک می‌باشد.

- تهیه تارگتها و تست فیلد: در این پروژه از تارگتهای بازتاباننده به قطر ۵ میلیمتر استفاده گردید و همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود، یک تست‌فیلد سه وجهی با کمک این تارگتها تهیه شد.
- تهیه scale bar: به منظور معرفی مقیاس واقعی به نقاط، از چهار scale bar در تست فیلد استفاده شد. روی هر یک از این scale bar ها دو تارگت در دو طرف آن قرار داده شده است (شکل ۱) که طول بین آنها با استفاده از یک کولیس دقیق صنعتی و با دقت ۸ میکرون برآورد شده است. این scale bar ها بصورت همگن در تست فیلد قرار داده شدند.
- جهت کنترل دقت نتایج در هر مرحله، تعداد ۱۰ طول بین نقاط مختلف تست فیلد با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شدند تا بعد از انجام سرشکنی، طولهای بدست آمده از محاسبات با طولهای اندازه‌گیری شده کنترل گردند.

۲-۲- تصویربرداری

مرحله تصویربرداری شامل دو مرحله تنظیم دوربین و تعیین فاصله تصویربرداری می‌باشد.

- تنظیم دوربین: در این پروژه از دوربین Canon powershot با تعداد ۱۳۹۲×۱۸۵۶ پیکسل و ابعاد پیکسلی ۴ میکرون استفاده شد. تنظیم دوربین روی زوم بینهایت قرار گرفت و جلوی فلاش آن از یک فیلتر استفاده گردید و عکس‌برداری در یک محیط نیمه باینری انجام شد.
- تصویربرداری: جهت بررسی تاثیر فاصله تصویربرداری بر روی دقت نقاط، این عمل در سه مرحله و در فواصل ۲ متری، ۲/۵ متری و سه متری انجام گرفت. در هر مرحله از شش ایستگاه تصویربرداری انجام پذیرفت و در هر ایستگاه سه تصویر گرفته شد که در شکل (۲) دیده می‌شود.



شکل (۲): نحوه تصویربرداری از تست فیلد در فواصل ۲، ۲/۵ و ۳ متری

۳-۲- پردازش تصاویر هر مرحله

در این مرحله، هر دسته از داده‌های اخذ شده با استفاده از نرم‌افزار Australis مورد پردازش قرار گرفتند. این پردازش شامل انتخاب اتوماتیک مراکز نقاط متناظر بر روی تصاویر و توجیه نسبی آنها، انجام ترفیع، مثلث‌بندی و در نهایت سرشکنی دسته‌اشعه می‌باشد که در این حین پارامترهای کالیبراسیون دوربین نیز بدست آمد. با توجه به وابستگی بیش از حد برخی از پارامترهای کالیبراسیون (بیش از ۰/۷)، این سرشکنی بار دیگر و با حذف پارامترهای وابسته به هم انجام پذیرفت. در نهایت نتایج حاصل از سرشکنی برای هر سه فاصله و هم با در نظر گرفتن وابستگی و هم بدون در نظر گرفتن آن در جداول شماره (۱) آورده شده است.

جدول (۱): میزان متوسط دقت روی نقاط شئ برای فاصله دور، متوسط و نزدیک (۲، ۲/۵ و ۳ متری)

		RMSE(mm)			
		x	y	z	total
فاصله ۳ متری	بدون حذف وابستگی	0.0793	0.0977	0.0816	0.1499
	با حذف وابستگی	0.0662	0.0850	0.0724	0.1298
فاصله ۲/۵ متری	بدون حذف وابستگی	0.0730	0.0812	0.0696	0.1295
	با حذف وابستگی	0.0594	0.0753	0.0676	0.1173
فاصله ۲ متری	بدون حذف وابستگی	0.0532	0.0711	0.0653	0.1102
	با حذف وابستگی	0.0527	0.0617	0.0610	0.1015

همچنین با مقایسه طولهای اندازه‌گیری شده بعنوان مقادیر چک و مقدار طولهای بدست آمده آنها از سرشکنی، نتایج اختلاف متوسط آنها در هر سه مرحله در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): متوسط اختلاف محاسباتی و اندازه‌گیری شده طولهای چک برای فاصله دور، متوسط و نزدیک

	Mean Deviation (mm)
فاصله ۳ متری	0.0999
فاصله ۲/۵ متری	0.0915
فاصله ۲ متری	0.0762

۴-۲- نتیجه تحقیق اول

با توجه به نتایج بدست آمده از جداول فوق، می‌توان نتایج زیر را ارائه کرد:

- وابستگی بین پارامترها روی دقت تاثیر قابل توجهی می گذارند و بطور کلی با حذف این وابستگی می توان دقت را بهبود بخشید.
- بطور کلی در شرایط یکسان با افزایش فاصله دقت کاهش می یابد. باید اضافه نمود که در صورت کم شدن بیش از حد فاصله، از آنجا که پارامترهای دیگر از جمله تعداد و توزیع نقاط تارگت نیز تغییر می‌کنند، نمی‌توان به نتیجه قابل قبولی رسید؛ چون پارامترهای دیگری نیز بر دقت تاثیر خواهند گذاشت. در این حالت با کاهش فاصله، حتی ممکن است دقت کاهش یابد.
- با در نظر گرفتن رابطه $d = \sigma.q.\sqrt{k.\sigma_a}$، با افزایش فاصله خطا افزایش یابد. در نتیجه این فرمول نیز نتایج را تایید می کند. همچنین در یک محاسبه معکوس، d بدست آمده از این رابطه که با توجه به دقت حاصل شده از آزمایشها، تعداد عکسهای اخذ شده، اندازه پیکسل و فاکتور طراحی که ۰/۷ محاسبه شد، با d یا فاصله واقعی در هر سه حالت برابر می باشد.

۳- بررسی نحوه آرایش دوربین‌ها بر دقت نقاط

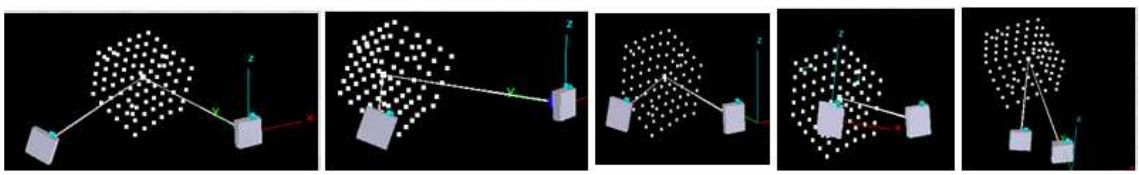
در مرحله دوم تحقیق، تاثیر چگونگی آرایش دوربینها در فضای اطراف جسم و زوایای آنها با یکدیگر بر دقت مختصات نهایی نقاط بررسی گردید.

۳-۱- آماده سازی

در این بررسی نیز از تست فیلد قبلی استفاده گردید و چهار scale bar نیز جهت معرفی مقیاس در نظر گرفته شد که محل این scale bar ها در تمام حالات تصویربرداری ثابت بودند. در این مرحله از کار، از دوربین رقومی Olympus استفاده گردید که دارای ۲۰۴۸×۱۵۳۶ پیکسل بوده و ابعاد هر پیکسل ۲/۳ میکرون می‌باشد. همچنین برای کنترل بیشتر پروسه، از تعداد ۱۰ طولهای چک که طول آنها با دقت ۸ میکرون اندازه‌گیری شده بودند در فضای تست فیلد استفاده شد.

۳-۲- تصویربرداری

جهت بررسی اثر تغییر زاویه بین ایستگاههای تصویربرداری، دو ایستگاه در نظر گرفته شد و از هر ایستگاه چهار تصویر اخذ گردید. در هر محله از تصویربرداری، فاصله ایستگاه‌ها تا تست فیلد ثابت مانده و تنها زاویه بین دو دوربین تغییر یافت. بطور کلی تصویربرداری در ۵ مرحله با زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه انجام گردید که موقعیت ایستگاههای تصویربرداری در هر مرحله در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳):تصویربرداری از تست فیلد با زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰و ۷۵ درجه (از راست به چپ)

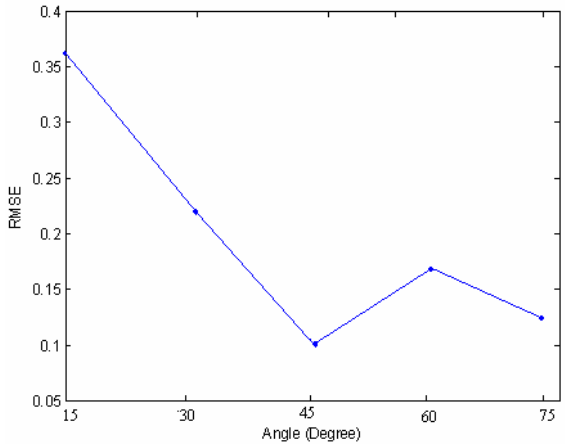
۳-۳- آنالیز هر مرحله

در این مرحله، هر دسته از داده‌های اخذ شده با استفاده از نرم‌افزار Australis مورد پردازش قرار گرفتند. نتایج حاصل از سرشکنی برای هر پنج مرحله در جدول شماره (۳) آورده شده است. نتایج کلی هر مرحله نیز در نمودار(۱) نشان داده شده است.

جدول (۳): میزان متوسط دقت روی نقاط شئ با تغییر زاویه بین ایستگاهها

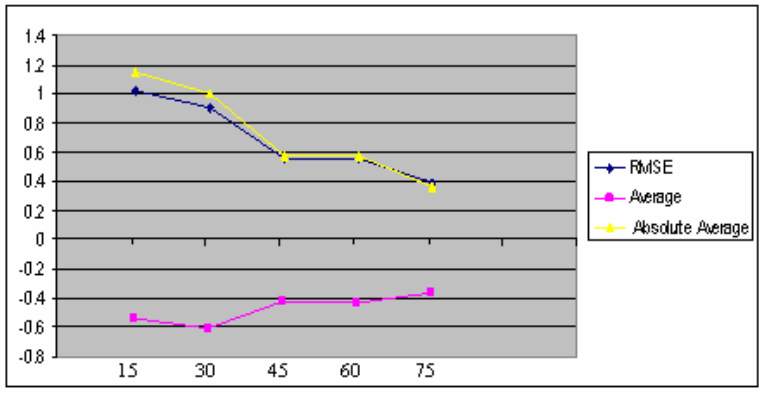
	RMSE(mm)			
زاویه بین دو ایستگاه (درجه)	x	y	z	total
۱۵	0.1061	0.3293	0.1039	0.3612
۳۰	0.1079	0.1562	0.1088	0.2188
۴۵	0.0407	0.0648	0.0377	0.0853
۶۰	0.0991	0.1265	0.0893	0.1838
۷۵	0.0676	0.0833	0.0611	0.1235

نمودار (۱): تغییر دقت روی مختصات نقاط شئ با تغییر زاویه بین ایستگاهها



همچنین با مقایسه طولهای اندازه‌گیری شده بعنوان مقادیر چک و طولهای بدست آمده آنها از سرشکنی، نتایج اختلاف متوسط آنها در هر پنج حالت در نمودار (۲) نشان داده شده است.

نمودار (۲): متوسط اختلاف محاسباتی و اندازه‌گیری شده طولهای چک با تغییر زاویه بین ایستگاهها



۴-۳- نتیجه تحقیق دوم

با توجه به نتایج بدست آمده از جدول و نمودارهای فوق، می‌توان نتایج زیر را ارائه کرد:

- همان طوری که مشاهده شد، با کاهش زاویه بین ایستگاههای عکسبرداری دقت تعیین موقعیت نقاط در مدل فتوگرامتری کاهش می یابد.
- بین زوایای ۷۵ و ۶۰ کاهش دقت بسیار ناچیز است. اما از زاویه ۶۰ به بعد تا زاویه ۳۰ درجه کاهش شدید دقت را داریم. در زاویه ۱۵ درجه سرکنی باندل واگرا می شود و دقت به شدت کاهش می یابد.
- بطور کلی می توان نتیجه گرفت که حدودا در بازه ۹۰ تا ۶۰ درجه بهترین دقتها را خواهیم داشت.

۴- بررسی اثر تکرار عکسبرداری بر دقت مختصات نقاط

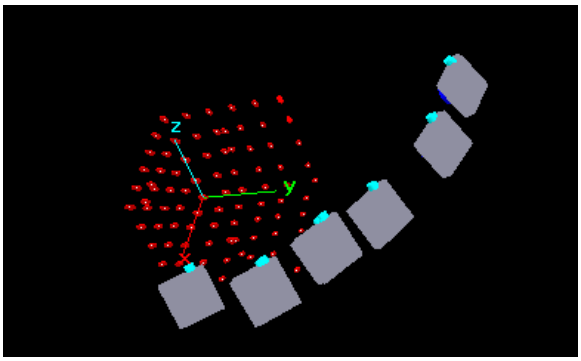
در مرحله آخر تحقیق، تاثیر افزایش تصاویر اخذ شده در هر ایستگاه و در واقع تکرار عکسبرداری بر دقت مختصات نهایی نقاط بررسی گردید.

۴-۱- آماده سازی

در این بررسی نیز از تست فیلد قبلی استفاده گردید و چهار scale bar نیز جهت معرفی مقیاس در نظر گرفته شد که محل این scale bar ها در تمام حالات تصویربرداری ثابت بودند. در این مرحله از کار، از دوربین رقومی Canon powershot استفاده گردید. همچنین برای کنترل بیشتر صحت نتایج، همانند مرحله قبل، تعداد ۱۰ طول بعنوان چک که طول آنها با دقت ۸ میکرون اندازه‌گیری شده بودند در فضای تست فیلد استفاده شد.

۴-۲- تصویربرداری

جهت بررسی اثر تکرار عکسبرداری در هر ایستگاه، تصویربرداری از شش ایستگاه همانطور که در شکل (۴) دیده می‌شود انجام گرفته و از هر ایستگاه تعداد پنج تصویر اخذ گردید.



شکل (۴): ایستگاههای تصویربرداری از تست فیلد

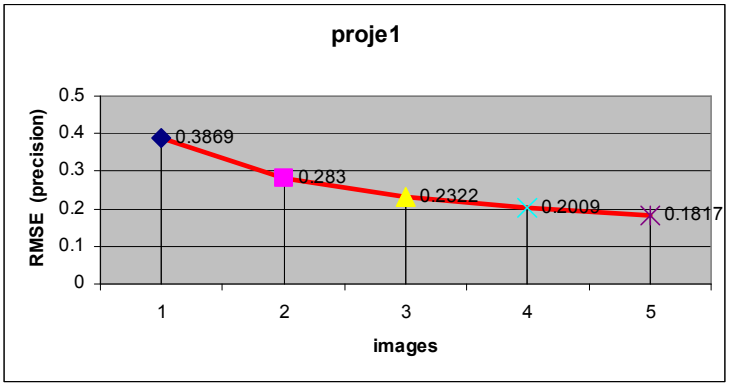
۳-۴- آنالیز نتایج هر مرحله

در بخش محاسبات، سرشکنی داده‌ها در پنج مرحله انجام گردید. در مرحله اول تنها در هر ایستگاه یک تصویر انتخاب شده و سرشکنی دسته اشعه با استفاده از این شش عکس انجام گردید. در مراحل بعدی، به ترتیب یک عکس به هر ایستگاه اضافه شده و پردازش با ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۰ تصویر انجام شد. نتایج حاصل از سرشکنی در هر مرحله شامل دقتهای بدست آمده روی نقاط شئ در جدول (۴) آورده شده است. نتایج کلی هر مرحله نیز در نمودار(۳) نشان داده شده است.

جدول (۴): متوسط دقت مختصات نقاط شئ با توجه به تغییر تعداد تصاویر در هر ایستگاه

	RMSE (mm)			
تعداد تصاویر در هر ایستگاه	x	y	z	total
۱	0.2224	0.2478	0.1970	0.38969
۲	0.1613	0.1844	0.1417	0.2830
۳	0.1324	0.1513	0.1162	0.2322
۴	0.1142	0.1307	0.1011	0.2009
۵	0.1031	0.1186	0.0912	0.1817

نمودار (۳): تغییر دقت روی مختصات نقاط شئ با تغییر تعداد تصاویر در هر ایستگاه



همچنین با مقایسه طولهای اندازه‌گیری شده بعنوان مقادیر چک و طولهای بدست آمده آنها از سرشکنی، نتایج اختلاف متوسط آنها در هر پنج حالت در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): متوسط اختلاف محاسباتی و اندازه‌گیری شده طولهای چک با تغییر تعداد تصاویر در هر ایستگاه

تعداد تصاویر در هر ایستگاه	Mean Deviation (mm)
۱	0.2248
۲	0.1736
۳	0.1563
۴	0.1329
۵	0.1387

۴-۳- نتیجه تحقیق سوم

با توجه به نتایج بدست آمده از جدول و نمودارهای فوق، می‌توان نتایج زیر را ارائه کرد:

- بطور کلی می توان نتیجه گرفت که با افزایش تعداد تصاویر در هر ایستگاه، دقت بهبود می‌یابد.
- همیشه بیشتر بودن تعداد عکس ها دلیل دقت بهتر نمی باشد. با توجه به فرمول fraser باید به مسئله استحکام شبکه، تعداد عکس، فاصله تا عارضه و خطای اندازه گیری عکسی در کنار هم توجه نمود.
- با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت، با اینکه با افزایش تعداد تصاویر در هر ایستگاه دقت بهبود می‌یابد، اما این بهبود دقت تا حدی روند صعودی دارد و معمولا از تعداد چهار تصویر در هر ایستگاه به بعد، تغییرات آن ناچیز است.

۵- نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق، ، بررسی تاثیر تغییرات پارامترهای رابطه بنیادی طراحی شبکه بر دقت نهایی بدست آمده از فتوگرامتری برد کوتاه می‌باشد. با توجه به اینکه در بحثهای طراحی شبکه‌های فتوگرامتری، معمولا رابطه فوق بعنوان معادله اساسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، جهت دستیابی به دقت بهینه و در این راستا، در تحقیق پیش رو سه عامل موثر بر دقت نهایی بدست آمده شامل مقیاس تصویربرداری، نحوه آرایش ایستگاههای تصویربرداری و زوایای بین آنها، و در نهایت تعداد تصاویر گرفته شده در هر ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به تحقیق انجام شده می توان نتایج زیر را ارائه کرد:

- با حذف correlation بین پارامتر های وابسته، دقت نسبت به حالتی که پارامترها بصورت آزاد وارد سرشکنی می‌شوند، افزایش می یابد.
- بطور کلی در شرایط یکسان، با افزایش فاصله دقت کاهش می یابد. باید اضافه نمود که در صورت کم شدن بیش از حد فاصله، از آنجا که پارامترهای دیگر از جمله تعداد و توزیع نقاط نیز تغییر می کنند، نمی توان به نتیجه قابل قبولی رسید. چون عوامل دیگری نیز تاثیرگذار می شوند. در این حالت با کاهش فاصله حتی ممکن است دقت کاهش یابد.
- با افزایش فاصله دقت کاهش می یابد، بنابراین افزایش فاصله اولا باید در عمق میدان دید عارضه باشد و ثانیا توزیع تارگت ها را تحت تاثیر قرار ندهد.
- همان طوری که مشاهده شد، با کاهش زاویه بین ایستگاههای عکسبرداری دقت تعیین موقعیت نقاط در مدل فتوگرامتری کاهش می یابد. بطور کلی می توان نتیجه گرفت که حدودا در بازه ۹۰ تا ۶۰ بهترین دقتها را خواهیم داشت.
- بطور کلی می توان نتیجه گرفت که با افزایش تعداد تصاویر در هر ایستگاه، دقت بهبود می‌یابد. اما همیشه افزایش تعداد عکس ها دلیل بر دقت بهتر نمی باشد. با توجه به فرمول fraser باید به مسئله استحکام شبکه، تعداد عکس، فاصله تا عارضه و خطای اندازه گیری عکسی در کنار هم توجه نمود.

مراجع

[۱] امیر شاهرخ امینی، ۱۳۸۵، " بررسی کنترل کیفیت تجهیزات صنعتی بروش فتوگرامتری برد کوتاه "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

[۲] محمد سعادت سرشت ، ۱۳۸۳ "اصول طراحی شبکه در فتوگرامتری برد کوتاه"، پیوست سوم رساله دکترا، دانشکده نقشه‌برداری، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

[۳] *C. Fraser, 1999, "Automated Vision Metrology for Precise 3D Engineering and Industrial Surveying", the Department of Geomatics the University of Melbourne Parkville VIC 3052.*

[۴] *C. Fraser, 1996, (Industrial Measurement Applications), Whittles Publishing,*

[۵] *K. Atkinson, 1996, (Close Range Photogrammetry and Machine Vision), whittles publishing.*