استفاده از توتال استیشن بدون تراز و ایستگاه گذاری

علیرضا آزموده اردلان
دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری – پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران
قطب مهندسی نقشه برداری و مقابله با بلایای طبیعی
مهدی مسیب زاده
فارغ التحصیل کارشناسی ارشد ژئودزی گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده های فنی - دانشگاه تهران
عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرند کرمان

(تاریخ دریافت ۸۳/۷/۱۱، تاریخ تصویب ۸۴/۳/۷)

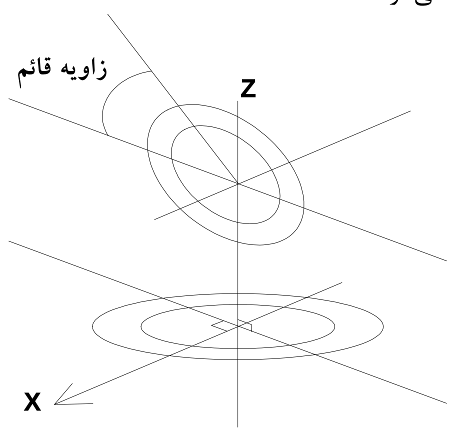
چکیده

در این مقاله مسالهٔ تراز و ایستگاه‌گذاری (یا سانتراژ) دستگاههای زاویه‌یاب و طولیاب و یا توتال استیشن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و اثبات گردیده است که اگر هدف، تعیین مختصات یک عارضه ویا تعیین هندسه یک جسم باشد، نیازی به تراز و ایستگاه‌گذاری[۱] نبوده و تنها با اندازه گیری طولها و زوایا در چارچوب[۲] متعامد تئودولیت یا توتال استیشن می‌توان به مختصات نقاط واقع بر روی یک عارضه که عموماً هدف نهایی یک پروژه نقشه برداری موضعی است رسید. اثبات روابط، جزئیاتِ نحوهٔ انجام محاسبات و حل معادلاتِ مربوطه در این مقاله آورده شده است.

واژه های کلیدی: تعیین موقعیت، سیستم مختصات، تئودولیت، توتال استیشن، نقشه برداری صنعتی

مقدمه

اساس ساختمان تئودولیت و توتال استیشنها بر مبنای ایجاد یک چارچوب (فریم) متعامد استوار می‌باشد [۲،۱] (شکل ۱). به صورت سنتی محور سوم این چارچوب متعامد از طریق تراز نمودن وسیله، در امتداد شاغولی قرار داده می‌شود. علت این امر از ژئودزی کلاسیک و انجام مشاهدات در سیستم "مختصات نجومی محلی" (LA[۳]) و نیاز به انتقال مشاهدات از سیستم مختصات LA به ژئودزی (G[۴]) به کمک مشاهدات نجومی ناشی می‌گردد.



شکل ۱: لمب افقی و قائم یک تئودولیت.

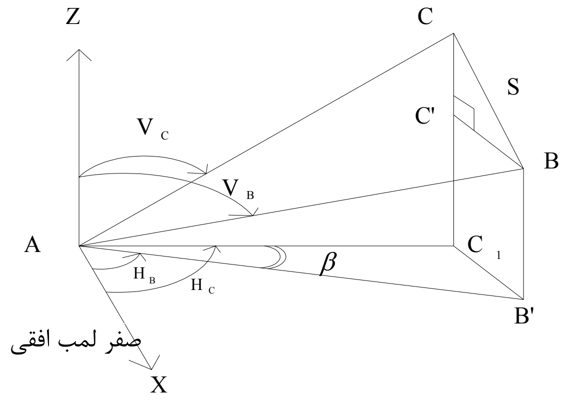
امروزه با گسترش روشهای ماهواره‌ای خصوصاً GPS، تئوری تعیین موقعیت دگرگون گردیده و کاربرد توتال استیشن‌ها عمدتاً به امور صنعتی و یا تعیین موقعیت محلی محدود می‌گردد. در این مقاله هدف ما ارائه روابط و مدلهای ریاضی جدیدی است که به کمک آنها می‌توان مرحلهٔ تراز و ایستگاه‌گذاری را از مراحل مشاهدات با توتال استیشن‌ها حذف نمود. این تغییر در نحوه بکارگیری مشاهدات موجب افزایش قابل ملاحظه در سرعت و سهولت انجام مشاهدات می‌گردد که می‌تواند جوابگوی بسیاری از کاربردهای صنعتی و تعیین موقعیتِ محلیِ نیازمندِ سرعتِ مشاهدهٔ بالا باشد. بعنوان مثال در یک کارخانه بدین ترتیب بدون تراز و ایستگاه‌گذاری در زمان اندکی می‌توان طولها و زوایای مورد نیاز تعیین موقعیت نقاط یک جسم[۵] صنعتی را اندازه گرفت، بدون آنکه لطمه‌ای به خاطر توقف طولانی در خط تولید پدید آید. ایده روش ما نشأت گرفته از فیزیک بوده که در آنجا برای حل مسائل از یکی از دو تکنیک هندسی[۶] و یا مختصاتی[۷] استفاده می‌شود. روش مختصاتی برای حل مسائل با ابعاد بیشتر از سه مفید می‌باشد، مانند مسائل مربوط به نسبیت

عام که در آن با فضای چهار بعدی مکان و زمان سروکار داریم. روش مورد استفاده در نقشه‌برداری نیز بصورت سنتی روش مختصاتی بوده است. روش مختصاتی هرچند که برای حل مسائل با ابعاد بالا موجب سهولت درک مسأله می‌گردد اما دارای مشکل وابستگی به سیستم مختصات است. در حالی که در مقابل روش هندسی مبتنی بر فواصل یا خطوط بین دو به دوی نقاط فضا بوده و بدین لحاظ تنها بستگی به پارامترهای ذاتی دارد. به این ترتیب نتایج حاصل از مطالعه در روش هندسی، عاری از اثر سیستم مختصات خواهد بود. کمیتهای عاری از اثر سیستم مختصات را در فیزیک کمیتهای ناوردا[۸] می‌نامند.

محاسبه طول در چارچوب متعامد یک توتال استیشن

فرض کنید که می‌خواهیم فاصله فضایی بین دو نقطه B و C را بدست آوریم (شکل۲) و برای این منظور یک تئودولیت را در محلی دلخواه مانند A قرار داده‌ایم. به این ترتیب با توجه به ساختمان داخلی تئودولیت، چارچوب متعامد XYZ در نقطه A تشکیل می‌گردد. کمیتهای قابل اندازه‌گیری در این چارچوب متعامد عبارتند از: (۱) طول فضایی AC، (۲) طول فضایی AB، (۳) امتداد H_B (زاویه قرائت شده در صفحه XAY چارچوب متعامد XYZ از صفر لمب افقی تا امتداد نقطه B)، (۴) امتداد H_C (زاویه قرائت شده در صفحه XAY چارچوب متعامد XYZ از صفر لمب تا امتداد نقطه C)، (۵) زاویه V_C (زاویه قرائت شده از محور Z چارچوب متعامد XYZ در صفحه AZC) و (۶) زاویه V_B (زاویه قرائت شده از محور Z چارچوب متعامد XYZ در صفحه AZB). با توجه به شکل (۲)، از طریق روابط مندرج در جدول (۱) که حاصل هندسه حاکم بر این شکل می‌باشد، می‌توان طول فضایی بین این دو نقطه $S_{B,C}$ را بدست آورد. این عمل می‌تواند بر روی تعداد بسیاری از نقاط روی عارضه صورت گیرد. بنابراین به این ترتیب ماحصل اندازه‌گیری‌های انجام شده با توتال استیشن، فواصل بین نقاط مورد نظر روی عارضه یا جسم خواهد بود.

از آنجایی که بین دو به دوی نقاط در نظر گرفته شده بر روی جسم می‌توان طول فضایی محاسبه نمود، مسأله سرشکنی و استفاده از طولهای بیش از حداقل مورد نیاز برای بهبود دقت مطرح خواهد شد. برای انجام سرشکنی می‌توان از روش معادلات شرط و یا معادلات پارامتریک استفاده نمود. از آنجایی که روش سرشکنی پارامتریک از نظر تشکیل معادلات از سهولت بیشتری برخوردار است، در اینجا نیز ما سرشکنی را بر این منوال بنا خواهیم نهاد.



شکل ۲: چارچوب متعامد XYZ یک تئودولیت یا توتال استیشن و طولها و زوایای قابل اندازه گیری در این چارچوب متعامد.

سرشکنی معادلات پارامتریک غیر خطی نیاز به مقادیر اولیه مجهولات (در اینجا مختصات) دارد لذا لازم است در ادامه، نحوه تعیین مختصات یا بعبارت بهتر انتقال مختصات از سیستم مختصات ایجاد شده بروی جسم به این نقاط را شرح دهیم. برای این منظور روش تقاطع طولی می‌تواند بهترین گزینه باشد. چرا که در فضای سه بعدی، از تقاطع سه طول از سه نقطه دارای مختصات معلوم، امکان تعیین مختصات محل تلاقی طولها، از طریق معادله تقاطع سه کره، امکان پذیر میباشد. برای ایجاد امکان چنین تقاطعی در جدول (۲) اقدام به حل تقاطع سه کره بصورت تحلیلی نموده‌ایم.

سرشکنی پارامتریک در تعیین موقعیت بدون تراز و ایستگاه گذاری

همانگونه که در بخش قبل ملاحظه گردید در این روش از طریق چارچوب متعامد توتال استیشن امکان تعیین فواصل دو به دوی نقاط مورد نشانه‌روی بر روی عارضه یا جسم مورد نظر پدید خواهد آمد. از آنجایی که این طولها می‌توانند بیش از حداقل مورد نیاز باشند، لازم است در مورد نحوه انجام سرشکنی در روش پیشنهادی

جدول ۱: محاسبه طول بین دونقطه B و C نشان داده شده در شکل ۲ با استفاده از مشاهدات توتال استیشن در حالت غیر تراز.

$$BC^2 = CC'^2 + BC^2$$

$$CC' = CC_1 - C'C_1 = CC_1 - BB' = AC\sin V_C - AB\sin V_B$$

$$\Rightarrow CC'^2 = AC^2\cos^2 V_C + AB^2\cos^2 V_B - 2\,AB\,AC\cos V_C\cos V_B$$

$$BC'^2 = C_1B_1^{\,2} = AC_1^{\,2} + AB_1^2 - 2\,AC_1\,AB_1\cos\beta = \mathrm{AC}^2\sin^2 V_C + AB^2\sin^2 V_B + 2\,AC\,AB\sin V_C\sin V_B\cos\beta$$

$$BC^2 = AC^2\cos^2 V_C + AB^2\cos^2 V_B - 2\,AB\,AC\cos V_C\cos V_B + AC^2\sin^2 V_C + AB^2\sin^2 V_B - 2\,AB\,AC\sin V_C\sin V_B\cos\beta$$

$$\Rightarrow BC^2 = AC^2 + AB^2 - 2\,AB\,AC(\cos V_C\cos V_B + \sin V_C\sin V_B\cos\beta)$$

با فرض $\beta = (H_2 - H_1),\ V_1 = V_B,\ V_2 = V_C,\ AC = S_1,\ AB = S_2,\ S_{12} = BC$ (H_1 و H_2 امتدادهای افقی قرائت شده توسط تئودولیت یا توتال استیشن هستند).

$$S_{1,2}^{\;2} = S_1^{\,2} + S_2^{\,2} - 2\,S_1\,S_2(\cos V_1\cos V_2 + \sin V_1\sin V_2\cos(H_2 - H_1))$$

نیز توضیحات لازم ارائه گردد. ما در اینجا سرشکنی را بر مبنای روش پارامتریک (معادلات مشاهدات) که از سهولت تشکیل معادلات و بکارگیری برخوردار می‌باشد استوار خواهیم نمود. روش پارامتریک بر مبنای مختصات استوار می‌باشد برای این منظور لازم است ابتدا یک سیستم مختصات در فضای جسم مورد نظر تعریف کنیم. توجه داشته باشید که بعد از تعیین فاصله دو به دوی بین نقاط واقع بر جسم، دیگر به چارچوب متعامد مشاهده (چارچوب متعامد توتال استیشن) نیازی نخواهد بود و می‌توان یک سیستم مختصات بر مبنای نقاط واقع بر روی جسم ایجاد نمود. برای تعریف سیستم مختصات بر روی جسم مورد نظر کافیست که مبدا و توجیه و مقیاس را برای یک سیستم مختصات سه بعدی تعریف کنیم. با معرفی مختصات سه بعدی $\{X,Y,Z\}$ به یکی از نقاط واقع بر روی جسم و دادن مختصات $\{X,Y\}$ به نقطه‌ای دیگر و دادن $\{Z\}$ به نقطه سوم، سیستم مختصات سه بعدی به طور کامل بر روی جسم تعریف خواهد شد. سپس این سیستم مختصات می‌تواند ملاک انتقال مختصات به سایر نقاط واقع بر جسم مورد نظر قرار گیرد. از آنجایی که در اینجا مشاهدات جدید ما روی جسم مورد نظر از نوع طول می‌باشد، رابطه مشاهدات و مجهولات از نوع غیر خطی ذیل خواهد بود.

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \tag{۱}$$

همانگونه که ملاحظه می‌گردد از طریق مشاهده سه طول از سه نقطه با مختصات معلوم به نقطه‌ای با مختصات مجهول از طریق روابط بسته غیر خطی ارائه شده در جدول (۲) می‌توان مختصات نقطه چهارم را بدست آورد. به این ترتیب می‌توان با استفاده از روابط ارائه شده در جدول (۲) و استفاده از مختصات معلوم، به کلیه نقاط واقع بر جسم مورد نظر مختصات تقریبی با استفاده از سیستم انتخابی، اختصاص داد. پس از تعیین مقادیر تقریبی مختصات اکنون می‌توان با تشکیل معادلات پارامتریک به سرشکنی کمترین مربعات پرداخت. اگر روی جسم مورد نظر n نقطه قابل مشاهده وجود داشته باشد، از طریق روابط ارائه شده در بخش قبل می‌توان به تعداد C_n^2 طول، بین نقاط روی جسم بدست آورد. برای هر کدام از این طولها می‌توان معادله‌ای از نوع (۱) ترتیب داد. این طولها عناصر بردار مشاهدات $\mathbf{l}$ را تشکیل داده و ماتریس ضرایب را می‌توان از مشتق معادلات مشاهدات (۱) نسبت به مجهولات (مختصات مجهول) بدست آورد.

$$A_{ij} = \frac{\partial l_{ij}}{\partial \mathbf{x}} \tag{۲}$$

$\mathbf{x}$ در رابطه (۲) بردار تمام مختصات مجهول و A_{ij} سطر متناظر با طول l_{ij} در ماتریس ضرایب $\mathbf{A}$ می‌باشد. با در اختیار داشتن مختصات تقریبی، امکان محاسبه $\mathbf{A}$ فراهم بوده و لذا از طریق تکرار بصورت ذیل می‌توان مجهولات را محاسبه نمود.

$$\mathbf{l} - \mathbf{l}_{|\mathbf{x}=\mathbf{x}_0} = \mathbf{A}_{|\mathbf{x}=\mathbf{x}_0}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) \tag{۳}$$

$$\Delta \mathbf{l} = \mathbf{A}\Delta \mathbf{x} \tag{۴}$$

$$\Delta \hat{\mathbf{x}}_1 = (\mathbf{A}^T\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^T\Delta \mathbf{l} \tag{۵}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{x}_0 + \Delta \hat{\mathbf{x}}_1 \tag{۶}$$

$$\Delta \hat{\mathbf{x}}_2 = (\mathbf{A}^T\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^T\Delta \mathbf{l}_{|\mathbf{x}=\hat{\mathbf{x}}_1} \tag{۷}$$

$$\Delta \hat{\mathbf{x}}_n = \mathbf{0} \quad \Rightarrow \quad \hat{\mathbf{x}} = \hat{\mathbf{x}}_{n-1} \tag{۸}$$

توجه داشته باشید که سرشکنی فوق الذکر را بصورت وزن‌دار نیز می‌توان انجام داد. وزنها می‌توانند از طریق دقت اندازه‌گیری طول و زاویه با توتال استیشن و اعمال قانون انتشار خطاها به معادله نهائی جدول (۱) بدست آیند.

مطالعه موردی

جهت انجام تست عملی روش، دو اقدام زیر صورت گرفت:

اقدام اول (تست صحت فرمول‌های طول فضایی): در این آزمایش چند نقطه بر روی دیوارهای ساختمان مرکزی دانشکده فنی دانشگاه تهران انتخاب و سپس فاصلهٔ این نقاط به سه صورت: (۱) به صورت مستقیم با استفاده از متر، (۲) با استفادهٔ از توتال استیشن در حالت تراز و (۳) با استفاده از توتال استیشن در حالت عدم تراز و استفاده از فرمول طول فضائی ارائه شده در این تحقیق تعیین گردید. نتایج حاصل از این مقایسه که در جدول (۳) آورده شده است حاکی از صحت فرمول‌های طول‌های فضایی و موفقیت روش ارائه شده در عمل می‌باشد.

اقدام دوم (بررسی صحت روابط ارائه شده جهت سرشکنی طول فضایی): در آزمایش دوم از یک مسئلهٔ شبیه‌سازی شده استفاده گردید. بدین صورت که فرض گردید مکعب مستطیلی مطابق شکل (۲) در اختیار بوده و هدف یافتن دقت مختصات نقاط ۱ تا ۲۴ نشان داده شده در شکل با استفاده از روش ارائه شده است. سپس فرض گردید توتال استیشن در فاصلهٔ حدود ۳۰ متری مکعب قرار داشته و به طریق یاد شده طولهای فضایی بین دو به دوی نقاط محاسبه گردیده‌اند. همچنین در این مسئلهٔ شبیه‌سازی شده دقت طولی توتال استیشن ۲ میلی‌متر و دقت زاویه‌ای آن ۳ ثانیه در نظر گرفته شد.

جدول ۲ : حل مسألهٔ تقاطع سه کره در فضا بصورت تحلیلی.

$$\begin{aligned}(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2&=c_1\\(x-x_2)^2+(y-y_2)^2+(z-z_2)^2&=c_2\\(x-x_3)^2+(y-y_3)^2+(z-z_3)^2&=c_3\end{aligned}$$

$$\Rightarrow\begin{cases}x^2+y^2+z^2+x_1^2+y_1^2+z_1^2-2xx_1-2yy_1-2zz_1=c_1\\x^2+y^2+z^2+x_2^2+y_2^2+z_2^2-2xx_2-2yy_2-2zz_2=c_2\\x^2+y^2+z^2+x_3^2+y_3^2+z_3^2-2xx_3-2yy_3-2zz_3=c_3\end{cases}\tag{I}$$

$$\Rightarrow\begin{cases}(2x_1-2x_2)x+(2y_1-2y_2)y+(2z_1-2z_2)z=x_1^2+y_1^2+z_1^2-x_2^2-y_2^2-z_2^2-c_1+c_2\\(2x_1-2x_3)x+(2y_1-2y_3)y+(2z_1-2z_3)z=x_1^2+y_1^2+z_1^2-x_3^2-y_3^2-z_3^2-c_1+c_3\\(2x_2-2x_3)x+(2y_2-2y_3)y+(2z_2-2z_3)z=x_2^2+y_2^2+z_2^2-x_3^2-y_3^2-z_3^2-c_2+c_3\end{cases}\tag{II}$$

از دو معادله اول II، x و y را برحسب z بدست آورده و در معادله کره اول بجای x و y جاگذاری کرده و یک معادله درجه ۲ برحسب z بدست می‌آوریم.

$$II_1, II_2 \Rightarrow x = \frac{\det\begin{vmatrix} x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 - c_1 + c_2 - 2(z_1 - z_2)z & 2(y_1 - y_2) \\ x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 - c_1 + c_3 - 2(z_1 - z_3)z & 2(y_1 - y_3) \end{vmatrix}}{\det\begin{vmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_1 - x_3) & 2(y_1 - y_3) \end{vmatrix}}$$

$$II_1, II_2 \Rightarrow y = \frac{\det\begin{vmatrix} 2(x_1 - x_2) & x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 - c_1 + c_2 - 2(z_1 - z_2)z \\ 2(x_1 - x_3) & x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 - c_1 + c_3 - 2(z_1 - z_3)z \end{vmatrix}}{\det\begin{vmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_1 - x_3) & 2(y_1 - y_3) \end{vmatrix}}$$

$$M = \det\begin{vmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_1 - x_3) & 2(y_1 - y_3) \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x = z\dfrac{4(z_1 - z_3)(y_1 - y_2) - 4(z_1 - z_2)(y_1 - y_3)}{M} \\ \quad + \dfrac{2(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 - c_1 + c_2)(y_1 - y_3) - 2(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 - c_1 + c_3)(y_1 - y_2)}{M} \\ y = z\dfrac{4(z_1 - z_2)(x_1 - x_3) - 4(z_1 - z_3)(x_1 - x_2)}{M} \\ \quad + \dfrac{2(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 - c_1 + c_3)(x_1 - x_2) - 2(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 - c_1 + c_2)(x_1 - x_3)}{M} \end{cases}$$

(۹)

$$\Rightarrow \begin{cases} X = a_1 Z + a_2 \\ Y = a_3 Z + a_4 \end{cases}$$

(۱۰)

$$\Rightarrow Z = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a.c}}{2a}$$

$$a = a_1^2 + a_3^2 + 1$$

$$b = 2a_1 a_2 + 2a_3 a_4 - 2X_1 a_1 - 2a_3 Y_1 - 2Z_1$$

$$c = a_2^2 + a_4^2 + X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2 - 2X_1 a_2 - 2Y_1 a_4 - c_1$$

(۱۱)

$$a_1 = \frac{4(z_1 - z_3)(y_1 - y_2) - 4(z_1 - z_2)(y_1 - y_3)}{M}$$

$$a_2 = \frac{2(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 - c_1 + c_2)(y_1 - y_3) - 2(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 - c_1 + c_3)(y_1 - y_3)}{M}$$

$$a_3 = \frac{4(z_1 - z_3)(y_1 - y_2) - 4(z_1 - z_2)(y_1 - y_3)}{M}$$

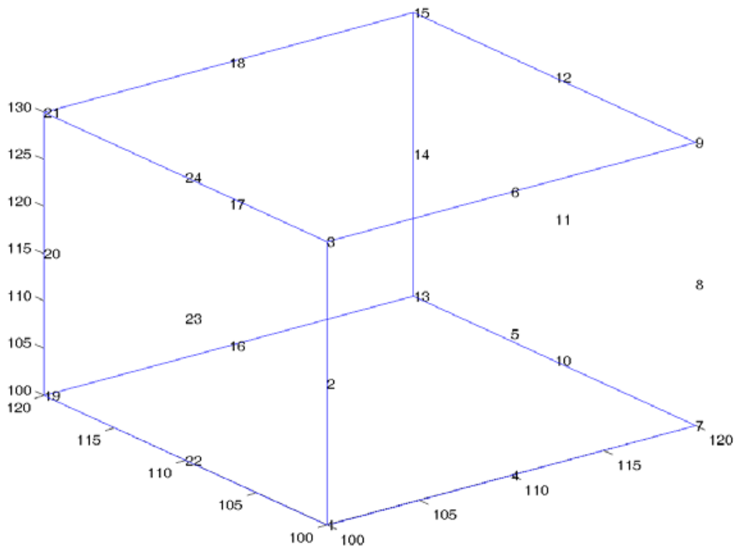
$$a_4 = \frac{2.(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 - c_1 + c_3).(x_1 - x_2) - 2.(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 - c_1 + c_2).(x_1 - x_3)}{M}$$

همچنین جهت معرفی پارامترهای سیستم مختصات، از روش مینیمم کنسترنت استفاده کرده و مولفه‌های مختصاتی X1، Y1، Z1، X7، Y13، Z15، ثابت فرض گردیدند.

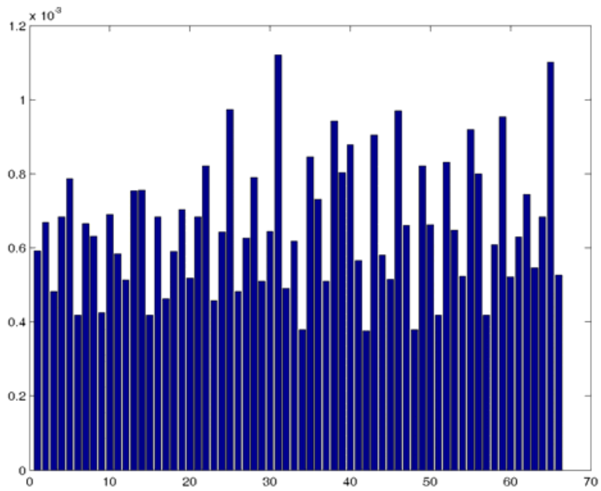
در نهایت دقت نقاط مجهول (جذر عناصر روی قطر اصلی ماتریس وریانس کوواریانس نقاط، که نشان دهندهٔ انحراف معیارمختصات نقاط می‌باشد)، محاسبه گردید (شکل ۴). همانطور که در شکل (۴) ملاحظه می‌گردد، حداکثر خطای مختصات نقاط برای این مسئلهٔ شبیه‌سازی شده ۱ میلی‌متر و خطای مختصات بطور متوسط ۰/۰۰۰۶۵۵۶ متر می‌باشد.

جدول ۳: مقایسه حالت تراز و عدم تراز برای یافتن طول فضایی.

فاصله بین نقاط	برداشت در حالت تراز(m)	برداشت در حالت عدم تراز(m)	برداشت با متر فلزی (m)
1-2	10.4713	10.4728	
1-4	14.0903	14.0901	
1-5	13.5928	13.5916	
1-6	12.4875	12.487	
2-4	21.7485	21.7484	
2-6	22.5805	22.5813	
2-8	6.0338	6.0333	
2-9	7.3612	7.3625	7.3632
4-5	2.225	2.2251	2.2254
4-6	8.4774	8.4778	
4-8	22.778	22.7772	
5-6	6.3102	6.3102	
6-8	25.6301	25.6301	
6-9	16.7144	16.7149	



شکل ۳: محل نقاط انتخابی روی سازه مکعب شکل (واحد طولها بر حسب متر می‌باشد).



شکل ۴ : انحراف معیار مختصات نقاط حاصل از سرشکنی (بر حسب متر).

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله نشان داده شد که چگونه می‌توان با بهره‌گیری از چارچوب متعامد تعریف شده در ساختمان یک توتال استیشن به تعیین مختصات پرداخت. به علاوه کلیه روابط ریاضی لازمه تعیین مختصات بدون تراز و ایستگاه گذاری ارائه و اثبات گردید.

نتایج عددی مطالعه موردی نشان دهندهٔ موفقیت کامل روش ارائه شده می‌باشد. بنابراین بدین ترتیب راه برای بکارگیری توتال استیشن به منظور ابزاری سریع در محیطهای صنعتی باز گردیده و تئوری ارائه شده می‌تواند راهگشای قابلیتهای صنعتی جدیدی برای نقشه برداری کلاسیک باشد.

مراجع

1 - Kavanagh B. F. and Glenbird S. J. (2000). *Surveying principles and applications*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

2 - Cooper, M. A.R. (1982). *Modern theodolites and levels*. Granda, London, New York.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Centering
2 - Frame
3 - Local Astronomy Coordinate System (LA)
4 - Geodetic Coordinate System (G)
5 - Object
6 - Geometric approach
7 - Coordinate approach
8 - Invariant