

ارزیابی کارایی فتوگرامتری در مدلسازی مبلمان شهری

سید یاسر محسنی زنوزی

دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تهران - خیابان ولیعصر تقاطع میرداماد - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده مهندسی نقشه برداری

Email: symohseni@yahoo.com

دکتر مسعود ورشوساز

مدیر گروه مهندسی فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تهران - خیابان ولیعصر تقاطع میرداماد - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده مهندسی نقشه برداری

Email: varshosazm@kntu.ac.ir

چکیده

یکی از مسائل مورد بحث در مدیریت شهری و صنعت گردشگری مدلسازی شهری می باشد. هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان بکارگیری فتوگرامتری در مدلسازی شهری بخصوص سازه های متوسط و کوچک نمایشی مانند حوضچه ها، سازه های پارکی و مجسمه های موجود در میداين می باشد که در مدلسازی مبلمان شهری کاربرد دارد. بدین منظور یک حوضچه در محیط دانشکده نقشه برداری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی در نظر گرفته شد و مراحل مختلف مدلسازی بوسیله فتوگرامتری انجام گردید. در ابتدای کار و قبل از اندازه گیری، ابتدا در یک مرحله، پارامترهای اولیه کالیبراسیون بدست آمده و وابستگی این پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. سپس پارامترهای داخلی دوربین بصورت سلف کالیبراسیون محاسبه گردیدند. در نهایت صحت طول های بکار گرفته شده در این پروژه مورد بررسی قرار گرفتند و مدل سه بعدی حوضچه تولید گردید.

در طول این پروژه مشاهده شد که رفت و آمد افراد، انعکاس شدید نور بدلیل وجود آب بر روی عارضه باعث ایجاد مشکل در روند اجرای کار می شود. به منظور ایجاد مدل نهایی نیز مسائل مختلفی مانند شکل خاص عارضه، توجه به نوع بافت عارضه و امکان مدلسازی قسمتهای داخلی عارضه مد نظر قرار گرفت. این تحقیق نشان داد که با استفاده از فتوگرامتری می توان مدل های واقعی و جذابی را با کیفیت بالا، و با دقتی حدود 0/4 میلیمتر و با سرعتی بهتر و هزینه ای کمتر از روشهای مستقیم همچون نقشه برداری تهیه نمود

کلمات کلیدی: فتوگرامتری برد کوتاه، مدلسازی شهری، طراحی شبکه، مبلمان شهری، دوربین غیر متریک، کالیبراسیون

1- مقدمه

مدلسازی سه بعدی نیاز اساسی بسیاری از صنایع می باشد. صنعت گردشگری و مدیریت شهری به منظور توسعه و پیشرفت نیازمند استفاده از فن آوری های نوین می باشند. یکی از مسائل مطرح در این زمینه مدلسازی مبلمان شهری می باشد [8]. هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان مدلسازی سازه های مورد استفاده در مدلسازی شهری بخصوص سازه های متوسط و کوچک نمایش می باشد. این قطعات اغلب متقارن بوده و بصورت کامل از همه جهات قابل رویت می باشند لذا نحوه عملکرد فتوگرامتری برای این سازه ها وابسته به شکل و اندازه و پیچیدگی هندسی این عوارض می باشد. سازه مورد بررسی در این تحقیق یک حوضچه متقارن بوده که دارای قطر تقریبی 4 متر می باشد. برای مدلسازی این حوضچه پس از مرحله طراحی، تصویربرداری با استفاده از یک دوربین غیرمتریک انجام گرفت. به منظور کالیبراسیون دوربین، در دو مرحله قبل و بعد از عکسبرداری پارامترهای کالیبراسیون با نرم افزار *Australis* محاسبه شد که صحت این پارامترها مورد ارزیابی قرار گرفته است. مدلسازی عارضه با استفاده از نرم افزار *PhotoModeler* بطور جداگانه انجام گرفته و در نهایت مدل سه بعدی واقعی ایجاد گردید. در ادامه به تشریح موارد فوق و ارزیابی مراحل مختلف اعم از پردازش و مدلسازی پرداخته شده است.



شکل 1: حوضچه مورد اندازه گیری

2- ابزارهای مورد استفاده

ابزارهای اصلی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند، شامل دوربین رقومی، تارگتها، نرم افزار *Australis 6.06* و نرم افزار *PhotoModeler Pro 5* می باشد که به معرفی آنها پرداخته می شود. دوربین مورد استفاده در این تحقیق، دوربین دیجیتال غیرمتریک *Canon powershot pro90 IS* بوده که دارای سنجنده از نوع *CCD* با فاصله کانونی 7 تا 70 میلیمتر و با ابعاد پیکسل 4 میکرون می باشد. از خصوصیات مهم این دوربین، ابعاد کوچک آرایه های آن است که قدرت تفکیک مناسبی را ارائه می دهد. دوربین مورد نظر دارای کنترل از راه دور می باشد [2].



شکل 2: دوربین *Canon powershot pro90 IS*

2-1- تارگتهای مورد استفاده

در این تحقیق از دو نوع تارگت استفاده شده است. یک نوع تارگتهای بازتابنده که برای انجام پیش کالیبراسیون و پس کالیبراسیون با استفاده از نرم افزار *Australis* مورد استفاده قرار گرفته اند. دیگری تارگتهای کاغذی که برای مدلسازی در نرم افزار *PhotoModeler* بکار گرفته شد. البته از آنجایی که عارضه مورد نظر دارای نقاط قابل استفاده فراوانی جهت مدلسازی می باشد تارگتهای کاغذی صرفاً جهت تشخیص موقعیت عارضه و ایجاد امکان تناظر یابی در نرم افزار *PhotoModeler* جهت ایجاد مدل سه بعدی مورد استفاده قرار گرفته اند.



شکل 3: نمونه‌ای از تارگتهای بازتابنده (سمت راست) و تارگتهای کاغذی (سمت چپ) مورد استفاده

2-1- نرم افزار *Australis*

تصاویر اخذ شده در این پروژه برای پیش کالیبراسیون و پس کالیبراسیون بوسیله نرم افزار *Australis* پردازش و آنالیز می شوند. نرم افزار مذکور، محصول دانشگاه ملیبورن استرالیا می باشد که کارایی بسیار بالایی داشته و قادر است که بسیاری از عملیات پردازش را بصورت اتوماتیک انجام دهد. این نرم افزار می تواند بسیاری از عملیات مرتبط با فتوگرامتری، از جمله اندازه گیری اتوماتیک عکسها، سلف کالیبراسیون و باندل اجسمنت، برآورد خطاها، شبیه سازی، و غیره را با دقت بالا انجام دهد. همچنین قابلیت ارائه خروجی داده ها بصورت فایل های متنی و نمایش سه بعدی آنها را دارا می باشد [6].

2-2- نرم افزار *PhotoModeler*

مدلسازی عارضه با استفاده از تصاویر اخذ شده، توسط این نرم افزار انجام می گیرد. این نرم افزار قابلیت بالایی در مدلسازی و ترسیمات هندسی داشته و نیز قادر به انجام کالیبراسیون اتوماتیک می باشد. این نرم افزار بدلیل داشتن قابلیت های فراوان ترسیمی و سادگی استفاده در این تحقیق بکار گرفته شد [7].

3- کالیبراسیون دوربین

جهت برآورد اولیه پارامترهای کالیبراسیون، از یک تست فیلد¹ بصورت سه کنج (شکل 4) تصویربرداری انجام شد. هر یک از ابعاد این تست فیلد حدود یک متر مربع می باشد که روی آن به فواصل تقریباً برابری تارگتهای بازتابنده چسبانده شده است. ایستگاههای تصویربرداری طوری تعیین شدند که تصویربرداری بسمت مرکز تست فیلد می باشد و فاصله تصویربرداری از هر ایستگاه تا مرکز تست فیلد یکسان بماند. در اینجا لازم است که تست فیلد مورد نظر تمام سطح تصویر را بپوشاند تا پیش کالیبراسیون بدرستی انجام گردد. برای این منظور، می توان با توجه به ابعاد فریم دوربین، ابعاد جسم و فاصله کانونی دوربین، فاصله مناسب تصویربرداری که تست فیلد

¹ Test Field

تمام سطح تصویر را ببوشاند را تعیین کرد. در هر ایستگاه، یک تصویر نیز با چرخش 90 درجه ای دوربین گرفته شد [4]. در کل، تعداد تصاویر گرفته شده 8 تصویر می باشد. پارامترهای پیش کالیبراسیون و پس کالیبراسیون در جداول زیر آورده شده است.

جدول 1: مقادیر اولیه پارامترهای پیش کالیبراسیون

پارامترهای کالیبراسیون	مقادیر اولیه	تصحیح کلی	مقادیر نهایی
C(mm)	7.0000	1.16086	8.1609
X _p (mm)	0.00000	-0.02166	-0.0217
Y _p (mm)	0.00000	-0.07648	-0.0765
K ₁	0.00000	3.196e-003	3.19621e-003
K ₂	0.00000	-1.600e-005	-1.60015e-005
K ₃	0.00000	-2.600e-006	-2.59965e-006
P ₁	0.00000	1.348e-004	1.34794e-004
P ₂	0.00000	-7.721e-005	-7.72140e-005
B ₁	0.00000	-3.654e-004	-3.65417e-004
B ₂	0.00000	3.222e-004	3.22214e-004



شکل 4: تست فیلد استفاده شده

3-1- بررسی وابستگی بین پارامترهای کالیبراسیون

با بررسی ماتریس واریانس-کوواریانس نتایج بدست آمده، می توان به ارزیابی صحت مقادیر بدست آمده و میزان وابستگی بین پارامترها پرداخت. بنا به تجربیات بدست آمده، وابستگی پارامترهای بدست آمده نباید بیشتر از یک حد معین (معمولا 0/7) باشد [5]. بطور کلی، در صورت وجود وابستگی بین پارامترها در هنگام تعدیل شبکه، حالت *ill-Condition* ایجاد شده و صحت پارامترهای برآورد شده کاهش می یابد [5]. میزان وابستگی پارامترها با توجه به خروجی نرم افزار *Australis* در جدول (3) آمده است.

جدول 2: مقادیر وابستگی پارامترهای پیش کالیبراسیون

پارامترها	C	X _p	Y _p	K ₁	K ₂	K ₃	P ₁	P ₂	B ₁	B ₂
C	1.000	0.048	0.133	0.186	-0.196	0.159	0.005	-0.116	-0.005	-0.001
X _p		1.000	0.019	0.059	-0.057	0.068	-0.972	-0.021	-0.146	0.369
Y _p			1.000	-0.029	0.009	0.004	-0.014	-0.976	-0.417	-0.158
K ₁				1.000	-0.959	0.895	-0.035	0.022	0.037	0.014
K ₂					1.000	-0.978	0.053	-0.018	-0.018	-0.036
K ₃						1.000	-0.063	0.006	-0.003	0.044
P ₁							1.000	0.008	0.166	-0.401
P ₂								1.000	0.439	0.175
B ₁									1.000	0.002
B ₂										1.000

همانطور که در جدول (3) مشخص است، وابستگی بین پارامترهای اعوجاج شعاعی یعنی K_1 ، K_2 و K_3 و همچنین وابستگی بین پارامترهای اعوجاج مماسی P_1 و P_2 با X_p و Y_p بیش از حد مجاز است. می توان اینطور تفسیر کرد که در مورد پارامترهای وابسته، بکارگیری یکی از آنها جهت تعیین کالیبراسیون دوربین کافی است، و

بکارگیری همه آنها تأثیری در بهبود برآورد پارامترهای کالیبراسیون نخواهد داشت. [3] در نتیجه تنها کافی است بجای ضرایب K_1 ، K_2 و K_3 ؛ یک ضریب، مثلاً K_1 را در برآورد پارامترهای اعوجاج شعاعی کالیبراسیون بکار برد. همچنین بجای پارامترهای اعوجاج مماسی P_1 و P_2 و پارامترهای X_p و Y_p ؛ فقط ضرایب X_p و Y_p را بکار برد. با در نظر گرفتن این موضوع، کالیبراسیون یکبار دیگر و با حذف پارامترهای K_2 ، K_3 ، P_1 و P_2 انجام شد. برای پس کالیبراسیون نیز کلیه مراحل فوق انجام گرفته و نتایج پس کالیبراسیون با حذف پارامترهای K_2 ، K_3 ، P_1 و P_2 محاسبه گردید.

جدول 3: مقادیر پارامترهای پیش کالیبراسیون پس از

ثابت قرار دادن ضرایب K_2 ، K_3 ، P_1 و P_2

پارامترهای کالیبراسیون	مقادیر
C(mm)	8.1623
X _p (mm)	0.0116
Y _p (mm)	-0.0954
K ₁	2.72493e-003
B ₁	-3.54690e-004
B ₂	4.94698e-004

جدول 4: مقادیر پارامترهای پس کالیبراسیون پس از

ثابت قرار دادن ضرایب K_2 ، K_3 ، P_1 و P_2

پارامترهای کالیبراسیون	مقادیر
C(mm)	8.1944
X _p (mm)	0.0153
Y _p (mm)	-0.0810
K ₁	2.87244e-003
B ₁	-3.58879e-004
B ₂	6.66195e-004

جدول 5: مقادیر وابستگی پارامترهای پیش کالیبراسیون

پارامترها	C	X _p	Y _p	K ₁	K ₂	K ₃	P ₁	P ₂	B ₁	B ₂
C	1.000	0.191	0.096	-0.136	0.000	0.000	0.000	0.000	0.066	0.049
X _p		1.000	-0.180	0.498	0.000	0.000	0.000	0.000	0.097	-0.081
Y _p			1.000	-0.362	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.072
K ₁				1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	-0.033
K ₂					1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K ₃						1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P ₁							1.000	0.000	0.000	0.000
P ₂								1.000	0.000	0.000
B ₁									1.000	-0.004
B ₂										1.000

جدول 6: مقادیر وابستگی پارامترهای پس کالیبراسیون

پارامترها	C	X _p	Y _p	K ₁	K ₂	K ₃	P ₁	P ₂	B ₁	B ₂
C	1.000	-0.158	0.111	-0.425	0.000	0.000	0.000	0.000	0.134	0.013
X _p		1.000	-0.399	0.441	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105	-0.290
Y _p			1.000	-0.601	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.163
K ₁				1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.071	-0.044
K ₂					1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K ₃						1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P ₁							1.000	0.000	0.000	0.000
P ₂								1.000	0.000	0.000
B ₁									1.000	-0.073
B ₂										1.000

همانگونه که ملاحظه می‌گردد، نتایج بدست آمده از هر دو مرحله نشان دهنده موارد زیر است:

1- نتایج حاصل از ماتریس وابستگی ضرایب در مرحله اول نشان می‌دهد که وابستگی شدیدی بین پارامترهای اعوجاج شعاعی، یعنی ضرایب K_1 ، K_2 و K_3 و همچنین وابستگی بین پارامترهای اعوجاج مماسی P_1 و P_2 با X_p

و Y_p وجود دارد. در واقع در هر عکس، پارامترهای K_2, K_3, P_1 و P_2 تغییر کرده، لذا امکان برآورد این پارامترها وجود ندارد.

2- نتایج حاصل از ماتریس وابستگی در مرحله دوم نشان می دهد که وابستگی شدیدی بین سایر پارامترهای توجیه داخلی وجود ندارد که نشان دهنده تایید پروسه کالیبراسیون انجام شده است.

2-3- بررسی استحکام دوربین

جهت بررسی صحت پارامترهای توجیه داخلی بدست آمده و همچنین استحکام دوربین مورد استفاده، بعد از تصویربرداری از حوضچه نیز از تست فیلد مذکور با همان شرایط ایستگاهها و تنظیمات قبلی تصویربرداری شده است (پس کالیبراسیون). نتایج حاصل از دو مرحله تصویربرداری از تست فیلد بصورت زیر است.

جدول 7: پارامترهای کالیبراسیون حاصل از تست فیلد پیش و پس از تصویربرداری

پارامترهای کالیبراسیون	مقادیر اولیه پیش از تصویربرداری	مقادیر ثانویه پس از تصویربرداری	درصد اختلاف
C(mm)	8.1623	8.1944	3.93
X _p (mm)	0.0116	0.0153	31.9
Y _p (mm)	-0.0954	-0.0810	15.09
K ₁	2.72493e-003	2.87244e-003	5.41
B ₁	-3.54690e-004	-3.58879e-004	1.18
B ₂	4.94698e-004	6.66195e-004	34.67

با توجه به مقادیر بدست آمده برای پارامترهای توجیه داخلی در مرحله قبل و بعد از تصویربرداری از حوضچه، مشاهده می شود که بین دو دسته از مقادیر، در پارامترهای Y_c, X_c و B_2 اختلاف نسبتاً زیادی وجود دارد. این اختلاف می تواند بدلیل عدم استحکام هندسی مناسب دوربین در بازه زمانی قبل و بعد از تصویربرداری باشد.

4- طراحی شبکه

جهت دستیابی به دقتهای مورد نظر لازم است یکسری قیود² تاثیرگذار در دقت نهایی اعمال گردد. در این قسمت به بررسی این قیود می پردازیم [1]. با توجه به این که عارضه مورد نظر متقارن می باشد و حالت استوانه ای دارد تصمیم به اخذ تصاویر از 8 ایستگاه بصورت متقارن گرفته شد تا به این طریق کل عارضه را پوشش داده و برای تناظر یابی حداقل پوشش 50% از عارضه در تصاویر اخذ شده وجود داشته باشد. تصویربرداری در هر ایستگاه با فواصل یکسان از عارضه طراحی گردید که در هر ایستگاه 4 تصویر با دوران 90 درجه حول محور اپتیکی اخذ شده است. لذا برای عارضه مورد نظر تعداد 32 تصویر از 8 ایستگاه اخذ شده است. این نحوه تصویر برداری بر اساس شکل و محیط اطراف عارضه طراحی شده است.

برای محاسبه قیود داریم [1]:

1. قید مقیاس تصویر: با توجه به دقت مورد نیاز 0/5 میلیمتر و با توجه به اینکه ابعاد عارضه در حدود 4 متر

$$S = \frac{d_c \cdot \sqrt{k}}{d \cdot q} = \frac{0.5 \text{ mm} \times \sqrt{4}}{(0.5 * 4 \text{ m}) \times 0.5} = 1000 \text{ عدد مقیاس داریم:}$$

² Constraints

در نتیجه با دانستن فاصله کانونی داریم:

$$H = \frac{f}{S} = \frac{0.007}{\frac{1}{1000}} = 7m$$

$$D_{Fov}^{max} = \frac{D_0 \sin(a+j)}{2 \sin(a)} = \frac{4m \times \sin(18.87+45)}{2 \times \sin(18.87)} = 5.55m \quad 2. \text{ قید میدان دید:}$$

3. با توجه به فضای موجود در اطراف حوضچه و ساختمانها و درختان اطراف در بعضی مناطق محدودیت حرکتی وجود دارد که به عنوان قید محدودیت فضای کاری در تعیین ایستگاهها مد نظر قرار گرفت. در هر صورت محدودیت فضای کاری با توجه به عوارض اطراف در حدود 10 متر می باشد.

$$D_{lim}^{max} = 10m$$

$$D_{Res}^{max} = \frac{f D_t \sin j}{I_{Res} T_{PolNo}} = \frac{7 \times 20 \times \sin(45)}{4 \times 5} = 4.95m \quad 4. \text{ برای قید قدرت تفکیک نیز خواهیم داشت:}$$

حداکثر فاصله مجاز بین دوربین و شیء برابر است با حداقل فواصل محاسباتی از قیود مقیاس، فضای کاری، قدرت تفکیک و میدان دید. در نتیجه بیشترین فاصله مجاز بین دوربین و شیء برابر است با:

$$D_{max} = \min(D_{scale}^{max}, D_{Fov}^{max}, D_{Res}^{max}, D_{Lim}^{max}) = \min(7, 5.55, 4.95, 10) = 4.95m$$

5. حداقل فاصله مجاز برای تصویربرداری برابر حداکثر فواصل محاسباتی از دو قید عمق میدان و تعداد نقاط

$$d_{near} = \frac{d}{1 + \frac{d-f}{D_{HF}}} = \frac{4}{1 + \frac{4-0.007}{1.5}} = 1.09m \quad \text{تصویر است. با توجه به رابطه حداقل عمق میدان داریم:}$$

$$D_{Point}^{min} = \frac{af \sqrt{k}}{d} = \frac{10cm \times 7mm \times \sqrt{200}}{5mm} = 1.98m \quad 6. \text{ قید تعداد و پراکندگی نقاط عکسی:}$$

در نتیجه، حداقل فاصله مناسب بین دوربین و شیء برابر است با:

$$D_{min} = \max(D_{Dof}^{min}, D_{point}^{min}) = \max(1.09, 1.98) = 1.98m$$

با توجه به فاصله حداقل $1/98m$ و حداکثر $4/95m$ فاصله متوسط تصویربرداری $3/46m$ بدست می آید.

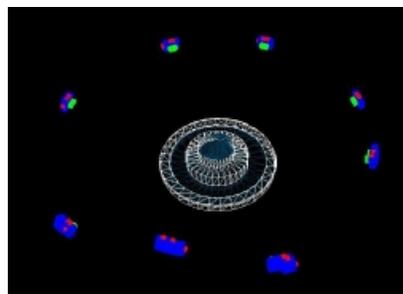
با توجه به ابعاد عارضه و عدم امکان جابه جایی عارضه ایستگاهها در اطراف عارضه و در محدوده بدست آمده از قیود طراحی گردید. همچنین بدلیل وجود عوارض مختلف اطراف عارضه مانند درختان و پله و ... سعی شد تا حد امکان اصل تقارن ایستگاهها حول عارضه حفظ گردد. از طرفی با توجه به اینکه عارضه در محیط بیرون قرار دارد زمان عکسبرداری بعد از ظهر زمانی که کل عارضه در سایه قرار دارد انتخاب شد تا نور محیط همگن باشد.

5- عکسبرداری

با توجه به نتایج بدست آمده از مرحله طراحی شبکه و رعایت فواصل اندازه گیری و جانمایی دوربین ها، اقدام به تصویربرداری از جسم گردید. با توجه به اینکه این سازه قابل جابه جایی نمی باشد، ایستگاه های عکسبرداری در اطراف این سازه انتخاب شده اند. محیط تصویر برداری نیز فضای باز می باشد لذا عکسبرداری بدون فلاش در زمانهایی که نور محیط همگن شده است انجام گرفته است. همانطور که در تصاویر مشخص است ایستگاههای تصویر برداری دور تا دور عارضه قرار دارند تا بتوانند پوشش مناسبی از عارضه ایجاد نمایند. تصاویر اخذ شده با فرمت JPEG، و با ضریب فشردگی کم (super fine) و با ابعاد 1856×1392 ذخیره شدند.



شکل 6: نمونه ای از تصاویر اخذ شده از حوضچه



شکل 5: موقعیت دوربینها و نحوه عکسبرداری

6- پردازش

پس از انجام مراحل ذکر شده اقدام به تولید مدل سه بعدی با استفاده از نرم افزار PhotoModeler گردید. پس از انتخاب نقاط متناظر در تصاویر و معرفی قیود تصاویر توجیه شده و مدل سه بعدی ایجاد گردید. سپس ترسیمات به منظور ایجاد بافت بر روی مدل انجام شد و در نهایت دقت مدل مورد ارزیابی قرار گرفته است.

6-1- انجام محاسبات دسته اشعه و self calibration با نرم افزار PhotoModeler

در این مرحله، نسبت به انجام محاسبات دسته اشعه اقدام می‌گردد. این محاسبات با استفاده از 32 تصویر اخذ شده از عارضه انجام گردید. در اینجا 84 قید (Constraint) شامل 43 قید خطوط عمود بر هم و 28 قید خطوط موازی و 13 طول وارد محاسبات می‌شوند. پارامترهای بدست آمده از این نرم افزار برای دوربین در جدول زیر آمده است. نکته قابل توجه اینکه مقادیر اولیه پارامترها بر اساس تصاویر موجود توسط خود نرم افزار تعیین شده است.

جدول 8: مقادیر اولیه پارامترهای سلف کالیبراسیون

پارامترهای کالیبراسیون	مقادیر اولیه	تصحیح کلی	مقادیر نهایی
C(mm)	7.0000	0.03215	7.0321
X _p (mm)	3.1767	-0.02166	3.1561
Y _p (mm)	2.3826	-0.07648	2.4588
K ₁	0.00000	3.759e-003	3.759e-003
K ₂	0.00000	1.143e-004	1.143e-004
K ₃	0.00000	-1.529e-005	-1.529e-005
P ₁	0.00000	2.046e-004	2.046e-004
P ₂	0.00000	-1.262e-005	-1.262e-005

جدول 9: مقادیر پارامترهای سلف کالیبراسیون پس از

ثابت قرار دادن ضرایب P_2 و P_1 , K_3 , K_2

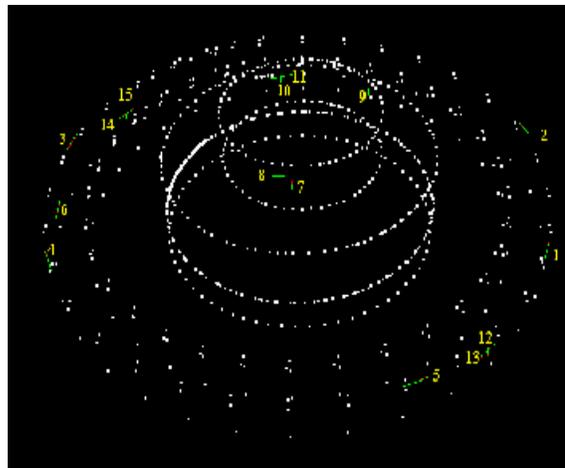
پارامترهای کالیبراسیون	مقادیر
C(mm)	7.0188
X _p (mm)	3.1962
Y _p (mm)	2.4666
K ₁	3.635e-003

6-2- کنترل نتایج بدست آمده

با توجه به طولهای بدست آمده پس از سرشکنی دسته اشعه، این مقادیر را می‌توان با مقادیر اندازه‌گیری شده آنها مورد مقایسه قرار داد. چنانچه مقادیر محاسبه شده برای این طولها اختلاف فاحشی با مقادیر اندازه‌گیری آنها نداشته باشند، می‌توان صحت مقادیر معرفی شده برای این طولها را مورد تایید قرار داد. با توجه به نتایج بدست آمده که در جدول (14) آمده است حداکثر اختلاف طولها به حدود 778 میکرون می‌رسد.

جدول 10: اختلاف دو طول محاسباتی و اندازه گیری

شماره نقطه	اختلاف دو طول محاسباتی و اندازه گیری (mm)
1	0.021
2	0.539
3	0.412
4	0.235
5	0.305
6	0.071
7	0.455
8	0.05
9	0.778
10	0.373
11	0.539
12	0.333
13	0.095
14	0.722
15	0.225
میانگین خطا	0.343



شکل 7: موقعیت طولهای مورد بررسی

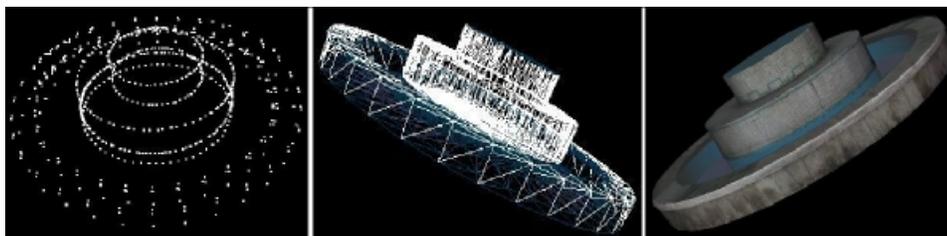
با توجه به اینکه دقت مورد نیاز 0/5 میلیمتر می باشد، در این پروژه دقت مورد نظر برای طولها ارضا می گردد.

7- مدلسازی

در این بخش نکات زیر در مدلسازی عارضه مورد توجه قرار گرفته است.

- توجه به شکل خاص عارضه
- توجه به بافت هر قسمت از عارضه
- ایجاد بافت بصورت قطعه قطعه با توجه به هندسه عارضه
- برداشت بافت بصورت جداگانه از تصاویر متناظر

خروجی مرحله پردازش را می توان بصورت مدلهای مختلف نشان داد. عوارض را می توان بصورت ابر نقطه ای نشان داد یا اینکه می توان بصورت یک مدل سه بعدی با فرمتهای مختلف ایجاد نمود. همچنین می توان بافت عارضه را نیز به مدل سه بعدی اضافه نمود تا یک دید سه بعدی واقعی از عارضه داشته باشیم. به منظور ایجاد بافت واقعی برای عارضه مجدداً از عارضه مورد نظر تصویر برداری گردید با این تفاوت که این بار هیچگونه تارگتی روی عارضه وجود نداشت تا بافت واقعی عارضه ایجاد گردد. بدلیل متقارن بودن عارضه و اینکه از هر ایستگاه فقط قسمتی از عارضه قابل رویت می باشد، برای ایجاد بافت، مدل سه بعدی به قسمتهای مجزا تقسیم شد. برای بافت هر قسمت از تصویری استفاده شد که پوشش کامل و قابل قبولی از آن قسمت داشته است. نتیجه نهایی حاصل از مدلسازی با نرم افزار PhotoModeler در شکل (8) ارائه گردیده است.



شکل 8: مدل ابر نقطه ای، مدل سیمی، مدل واقعی حوضچه

8- نتیجه گیری

در این مقاله دقت برآورده شده توسط فتوگرامتری برای یک حوضچه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه برای این نوع عوارض، می توان به دقتهای بسیار خوبی در حدود 0/4 میلیمتر برای طولها دست یافت. همچنین علاوه بر دقت مناسب در مقایسه با روشهای سنتی مانند نقشه برداری با توجه به تجهیزات و حمل و نقل و مدت زمان، بسیار سریع تر و نسبتا ارزان می باشد. با توجه به شرایط محیطی عارضه مورد نظر، مرحله طراحی نقش بسیار زیادی در ارضای دقت درخواستی ایفا می کند، بطوریکه در این مرحله بایستی پوشش کافی در تصویربرداری مدنظر قرارگیرد تا از ایجاد مشکل به هنگام تولید بافت جلوگیری گردد. همچنین با توجه به مدل سه بعدی بدست آمده، با در نظر گرفتن اینکه این روش قابلیت ارائه مدل در حالتی مختلف را دارا می باشد، می توان چنین نتیجه گرفت که فتوگرامتری می تواند برای مدلسازی شهری در امر گردشگری کمک شایانی نماید. در مورد پارامترهای کالیبراسیون بدست آمده از دو نرم افزار می توان چنین اظهار نظر نمود که از آنجاییکه دقت مورد نظر در هر دو دسته از پارامترها ارضا می گردد، تفاوت در نتایج بدست آمده دلیل محکمی بر رد صحت تعیین این پارامترها نمی باشد، بلکه تایید صحت این پارامترها بوسیله مقایسه نتایج حاصل از آنها با واقعیت امکان پذیر می باشد. در نهایت با توجه به توضیحات ذکر شده و نتایج حاصل برای مدلسازی حوضچه، این روش برای سایر سازه های مورد استفاده در مدلسازی و مبلمان شهری می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

9- منابع

- 1- امینی، (امیرشاهرخ)، "بررسی کنترل کیفیت تجهیزات صنعتی با استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه" پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فتوگرامتری، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، (1385).
- 2- باباپور، "امکان سنجی تلفیق روش فتوگرامتری برد کوتاه و روش ژئودتیک در اندازه گیری دقیق سه بعدی"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، (1382).
- 3- داوری مجد، "بررسی روشهای کالیبراسیون دوربین رقومی با تاکید بر کاربردهای فتوگرامتری رقومی"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، (1382).
- 4- سعادت سرشت، "اصول طراحی شبکه در فتوگرامتری برد کوتاه"، رساله دکترای دانشکده نقشه برداری، دانشگاه تهران، (1383).

5- K. Atkinson, "Close range Photogrammetry and Machine Vision," whittles publishing, 1996.

6- Photometric Pty Ltd, "Photometrix", address: PO Box 3023 – kew, VIC 3101 – Australia, site: <http://www.photometrix.com.au>, (accessed 24-02-2007)

7- Photometric Pty Ltd, "Eos Systems", site address: <http://www.photodeler.com>, (accessed 01-03-2007)

8- Seth Teller, "Toward Urban Model Acquisition from Geo-Located Images," pg, p. 45, Sixth Pacific Conference on Computer Graphics and Applications (PG'98), 1998.