

امکان‌سنجی اتوماسیون طراحی شبکه برای لیزراسکنر زمینی

محمد سعادت سرشت*

دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، قطب مهندسی نقشه‌برداری و مقابله با سوانح طبیعی

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۵/۴/۱۰، تاریخ دریافت نسخه اصلاح‌شده: ۱۳۸۶/۸/۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۸۶/۱۲/۲۳

چکیده در دهه اخیر به‌کارگیری لیزراسکنرهای زمینی برای بازسازی محیط، بناها و اشیاء مختلف رشد چشمگیری در کاربردهای گوناگون داشته است. اگرچه مزیت سرعت بالا در برداشت حجم زیاد ابرنقاط سه‌بعدی، لیزراسکنرها را به‌صورت روشی کارآمد در نقشه‌برداری مطرح ساخته است، مشکلاتی نظیر برداشت غیرانتخابی نقاط، وجود سایه‌ها و نواحی پنهان، تغییر تراکم نقاط به‌دلیل تغییر امتداد و فاصله سطوح، وابستگی شدت بازتاب پرتو لیزر و نویز اندازه‌گیری به جنس، زبری، رنگ، دما و رطوبت جسم و محیط مربوط، باعث پیچیدگی و تسلط نداشتن کاربران بر طراحی یک برنامه‌مشاهداتی بهینه برای اطمینان از حصول کیفیت درخواستی در کار با این تجهیزات نسبتاً گران‌قیمت شده است. منظور از برنامه‌مشاهداتی، همان طراحی شبکه یا تعیین موقعیت ایستگاه‌های لیزراسکنر و تارگت‌های موردنیاز در شبکه به‌شکل بهینه است. در این مقاله ایده اولیه طراحی شبکه در کار با لیزراسکنرهای زمینی روی داده‌های شبیه‌سازی شده دویبعدی مطرح می‌شود. نتایج تحقیق نشان‌دهنده امکان حصول یک سیستم طراحی شبکه اتوماتیک با استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی برای تعیین برنامه‌مشاهداتی لیزراسکنرهای زمینی است.

کلمات کلیدی لیزراسکنر زمینی، طراحی شبکه، هوش مصنوعی، بهینه‌سازی.

A Novel Idea on Automatic Network Design for Terrestrial Laser Scanner

M. Saadatsereht*

Center of Excellence for Disaster Management and Geometrics Engineering,
Engineering Department, Tehran University

Abstract In recent decade, use of terrestrial laser scanners (TLS) are rapidly grew up for reconstruction of environment, buildings, and various objects in different applications. Though, TLS is capable to rapidly acquire a huge volume of 3D point clouds, it involves with several problems such as non-selective sampling, shadows and occluded areas, variable point density due to different object surface distance and orientation, dependency of laser signal gain and so measurement noise to surface material, roughness, color, temperature and moisture. These problems cause to not anybody able to prepare a perfect observational plan before filed measurement, in order to acquire a complete and high quality raw data by this expensive equipment in the field. The observational plan means network design which is optimal determination of TLS stations and required targets. In this paper, general idea of TLS network design is presented on a 2D simulated data. The result demonstrates it is possible to implement the idea of automatic TLS network design using artificial intelligent tools.

Keywords Terrestrial Laser Scanner, Network Design, Artificial Intelligent, Pre-Analysis, Optimization.

*عهده‌دار مکاتبات

نشانی: دانشگاه تهران، دانشکده فنی، قطب مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی.

تلفن: ۰۲۱-۸۸۳۳۴۳۸۰، دورنگار: ۰۲۱-۸۸۰۰۸۸۳۷، پیام‌نگار: msaadat@ut.ac.ir

۱- مقدمه

مشاهداتی به عملیات نقشه برداری با لیزراسکرها پردازیم، نه تنها مجبور به اخذ حجم بسیار زیادی ابرنقاط سه بعدی به شکل غیربهمینه‌ای خواهیم بود، بلکه ممکن است در نواحی خاصی داده‌ها ناکامل و کم دقت باقی بمانند [۹]. به عبارت دیگر باینکه هزینه و زمان عملیات صحرایی و محاسبات دفتری افزایش خواهد یافت، حتی ممکن است خروجی باکیفیتی نیز حاصل نشود. به همین منظور فاز طراحی شبکه قبل از عملیات برداشت با لیزراسکرها زمین‌ی امری ضروری است و به نظر می‌رسد در کاهش زمان و هزینه و افزایش کیفیت داده‌ها نقش مهمی ایفا کند.

روش معمول برای طراحی شبکه، روش تجربی (Add.Hoc) است که در آن کاربر با بررسی منطقه و براساس تجربه خود به صورت ذهنی یا در روی یک کروکی ایستگاه‌های لیزراسکرها و محل تارگت‌های مورد نیاز برای یکپارچه‌سازی ابرنقاط را مشخص می‌کند. در این روش فاکتورهایی نظیر حداکثر برد دستگاه، شرایط محیطی، ملاحظات کلی قابلیت دید، ناهمواری زمین و گاهی امتداد سطوح بصورت کیفی بررسی می‌شود. حصول داده‌های باکیفیت، به خصوص در نواحی وسیع و با شکل پیچیده به شدت به تجربه کاربر وابسته است و عموماً کاربر باید به روش سعی و خطا پس از پردازش اولیه ابرنقاط موجود، نواحی کم دقت و ناکامل را دوباره از ایستگاه‌های مناسب تری برداشت کند. در این حالت حجم داده‌ها و بالطبع هزینه و زمان مشاهده و محاسبه افزایش می‌یابد.

در این مقاله ایده طراحی شبکه در یک محیط شبیه‌سازی همانند آنچه امروزه برای شبکه‌های ژئودتیک و فتوگرامتری برد کوتاه طرح شده، بیان می‌شود. مؤلف باتکیه بر سلسله تحقیقات خود در زمینه اتوماسیون طراحی شبکه‌های فتوگرامتری برد کوتاه [۴-۷] برآن شد تا این تجربیات را برای طراحی شبکه‌های لیزراسکرها زمین‌ی به کار گیرد. در بخش بعد روش‌های ممکن برای طراحی شبکه لیزراسکرها زمین‌ی شامل روش‌های تجربی، تحلیلی، شبیه‌سازی و هوشمند بیان می‌شود.

امروزه به کارگیری سیستم‌های مختلف لیزراسکرها زمین‌ی در مدل‌سازی سه بعدی محیط با برد، تراکم و دقت بالای ابرنقاط (برای مثال دقت اندازه‌گیری ۵ میلی‌متر با تراکم ۲ میلی‌متر در ۵۰ متر و قابلیت اندازه‌گیری تا برد ۶۰۰۰ متر [۱]) بسیار مطرح شده است. اگرچه استفاده از روش‌های اندازه‌گیری هندسی سه بعدی متنوعی مانند نور ساخت و یافته، فتوگرامتری برد کوتاه، لیزر پروجکشن و ردیاب لیزری نیز به موازات در حال توسعه‌اند؛ اما سرعت بالا و برد بلند لیزراسکرها زمین‌ی در برداشت نقاط، حوزه کاربرد آنها را تاحدی متمایز ساخته است [۲]. مراحل اجرایی در یک پروژه برداشت با لیزر اسکن زمین‌ی عبارت است از [۳]:

(الف) شناسایی اولیه.

(ب) تعیین موقعیت ایستگاه‌ها و تارگت‌ها (طراحی شبکه).

(ج) نصب تارگت‌ها و ایستگاه‌گذاری برای عملیات برداشت.

(د) پیش‌پردازش داده‌ها شامل محاسبات شبکه، فیلتر داده‌ها و همگون‌سازی داده‌ها.

(ه) پردازش داده‌ها شامل مدل‌سازی سطوح، استخراج عوارض، بازسازی اشیاء و تحلیل داده‌ها.

شاید در نگاه اول کار با لیزراسکرها زمین‌ی برد بلند برای بازسازی سه بعدی محیط ساده به نظر برسد. از سوی دیگر با توجه به به کارگیری نقاط گره‌ای و نقاط کنترل سه بعدی، حتی برای برداشت داده‌های نیاز به تراز کردن دستگاه لیزراسکرها نیست [۳]. کافی است دستگاه را در محل مستقر و روشن کرد تا در عرض چند دقیقه میلیون‌ها نقطه سه بعدی از محیط استخراج شود. اما فیزیک لیزر، هندسه سنجنده، پیچیدگی‌های شکل عوارض و شرایط محیطی باعث شده است تا دستیابی به دقت اندازه‌گیری و اطمینان از کامل بودن نقاط برداشت شده به آسانی دست‌یافتنی نباشد. در صورتی که بدون انجام پیش‌تحلیل^۱ برای تعیین برنامه

روش هوشمند است که حالت تعمیم یافته روش شبیه سازی است. در این روش به جای تعامل کاربر با محیط شبیه سازی، یک الگوریتم هوشمند به صورت اتوماتیک عمل جابه جایی دوربین ها را برای طراحی شبکه انجام می دهد. به عبارت دیگر حل مسئله بهینه سازی چندگانه یعنی تعیین موقعیت و وضعیت دوربین ها، تارگت ها و منابع روشنایی براساس مدل تحلیلی و لحاظ قیود دید چاره ای جز استفاده از روش های نامعین مانند شبکه های عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی، الگوریتم های تکاملی و مانند آن و روش های تلفیقی ندارد [۵].

اگرچه روش هوشمند در طراحی شبکه نیاز به مدل سه بعدی شبیه سازی شده از جسم و محیط اطراف آن دارد، این مشکل می تواند با تلفیق روش تجربی و هوشمند تا حد زیادی مرتفع شود. برای این منظور کاربر شبکه اولیه ای مبتنی بر مفاهیم و قواعد مشخصی تشکیل می دهد و سپس ضعف های این شبکه اولیه به جای روش سعی و خطا با استفاده از مدل پیش بینی عدم قطعیت قیود دید استخراج شده از اطلاعات مندرج در شبکه اولیه برطرف می شود. به بیان دیگر پیش بینی شرایطی نظیر قابلیت دید تارگت ها یا قابلیت دسترسی دوربین برای هر موقعیت و وضعیت دلخواه دوربین، در یک سطح از عدم قطعیت قابل استخراج از نقاط قابل دید در تصاویر و موقعیت ایستگاه های دوربین موجود در شبکه اولیه می گردد [۶]. برای جمع بندی باید گفت نتیجه تلفیق روش تجربی و هوشمند، اتوماسیون طراحی شبکه بدون نیاز به مدل CAD اولیه است.

این مفاهیم در زمینه طراحی شبکه برای لیزراسکنر زمینی نیز تا حدی صادق است. همان طور که ذکر شد در نقشه برداری با لیزراسکنر به طور معمول از روش تجربی برای طراحی شبکه استفاده می شود. به همین ترتیب می توان سه روش دیگر نظیر روش های تحلیلی، شبیه سازی و هوشمند طراحی شبکه را برای آن در نظر گرفت که در ادامه بحث و بررسی می شود.

سپس در بخش سوم امکان سنجی طراحی شبکه لیزراسکنر زمینی به روش هوشمند دقیق تر بررسی می شود. برای این منظور روابط تحلیلی بین پارامترهای طراحی و مشاهدات لیزراسکنر و قیود دید مربوط شامل میدان دید لیزراسکنر، میدان بازتابش سطح و نواحی پنهان مدل سازی می شود. در ادامه فلوچارت جانمایی ایستگاه های لیزراسکنر عرضه شده و بر مبنای آن روی داده های شبیه سازی دوبعدی عملکرد الگوریتم بررسی می شود. در نهایت نتایج آزمون های اولیه نشان داد که ایده طراحی شبکه به روش هوشمند می تواند موقعیت بهینه ایستگاه بعدی را تا زمانی تعیین کند که کیفیت داده ها تأمین شود.

۲- روش های طراحی شبکه

در فتوگرامتری برد کوتاه چهار روش کلی طراحی شامل روش تجربی، تحلیلی، شبیه سازی و هوشمند وجود دارد [۴]. در روش تجربی، کاربر با حضور در محل و مبتنی بر تجربه خویش طراحی شبکه اولیه را انجام می دهد و ضعف های آن را به روش سعی و خطا برطرف می کند. در روش تحلیلی ابتدا مدل ریاضی بین پارامترهای مجهول و مشاهدات، تعیین می شود و براساس آن در یک فرایند انتشار خطا سطوح مینا، پیکربندی شبکه و وزن مشاهدات مورد نیاز برای دستیابی به معیارهای کیفیت نظیر دقت، قابلیت اعتماد و حساسیت شبکه تحلیل و پیش بینی می شود. روش شبیه سازی حالت تعمیم یافته تر روش تحلیلی است که در آن قیود دید نظیر قابلیت دید تارگت ها، قابلیت دسترسی دوربین و فاصله دوربین و شیء نیز با تعامل کاربر در یک محیط شبیه سازی شده سه بعدی در نظر گرفته می شود. بدیهی است که این روش برخلاف دو روش قبل نیاز به مدل اولیه ای از شیء و محیط اطراف آن دارد تا بتواند با صحت بیشتری طراحی شبکه را به انجام برساند [۴]. روش آخر

۱-۲_ طراحی شبکه به روش تحلیلی

مختصات موضعی (سه دوران، سه انتقال و مقیاس ثابت) هر ایستگاه لیزراسکتر محاسبه و به مختصات موضعی نقاط نمونه برداری مربوط اعمال می شود.

بنابراین در این حالت دقت نهایی مختصات نقاط تابعی خواهد بود از دقت مشاهدات طول و زاویه سنجش گر و دقت مثلث بندی زمینی که خود تابع تعداد و پراکندگی تارگت ها، خطاهای مشاهداتی و تعداد، پراکندگی و دقت نقاط کنترل است که بازم با انجام پیش تحلیل به روش انتشار خطا قابل محاسبه و پیش بینی است.

۲-۲_ طراحی شبکه به روش شبیه سازی

در این روش درکنار اعمال پیش تحلیل در طراحی تحلیلی، قیود دید نیز در طراحی به حساب می آیند. قیود دید را که دو عامل تراکم و دقت نقاط نمونه برداری را تحت تأثیر قرار می دهند، می توان به قیود کیفی و قیود هندسی تقسیم بندی نمود.

منظور از قیود دید هندسی عواملی مانند قابلیت دید سطح، شیب نسبی سطح و شکل و انحنای سطح و منظور از قیود دید کیفی عواملی مانند میزان بازتابش سطح (تابع جنس، رنگ، زبری، رطوبت و حرارت) و شرایط محیطی (تابع رطوبت، دما، گرد و غبار) است [۹]. بدیهی است برای مدل سازی قیود دید به مدل CAD اولیه ای از جسم و محیط اطراف آن نیاز است.

۳-۲_ طراحی شبکه به روش هوشمند

همان طور که ذکر شد در این روش به جای تعامل کاربر در انجام طراحی شبکه در محیط شبیه سازی، از یک الگوریتم هوشمند استفاده می شود. برای این منظور کافی است تعداد و پراکندگی نقاط گره ای و موقعیت ایستگاه های لیزراسکتر را به شکل

در روش تحلیلی برای تعیین رابطه ریاضی بین مشاهدات و مجهولات ابتدا باید مدل فیزیکی سنجش گر لیزراسکتر به خوبی شناسایی شود. این موضوع هنوز یکی از زمینه های تحقیقاتی روز و پیشنهادی گروه کاری ISPRS است [۱۰]. در ساده ترین حالت می توان یک مدل قطبی برای مشاهدات لیزراسکتر زمینی در نظر گرفت که در آن دو زاویه افقی و قائم و یک طول مایل در سیستم مختصات لیزراسکتر برای هر نقطه سطح شیء اندازه گیری می شود. حد تفکیک زوایای افقی و قائم نشان دهنده میزان تراکم نقاط نمونه برداری از سطح شیء است که البته با افزایش فاصله و شیب سطح نسبت به هر پرتو لیزر کاهش می یابد. البته باید توجه شود که نقاط نمونه برداری نه تنها غیرانتخابی اند، بلکه در واقع لکه هایی از مخروط پرتو لیزر هستند که سطح آنها به نسبت مجذور فاصله افزایش می یابد. بنابراین مختصات نقاط نمونه برداری در عمل مختصات متوسط سطوح نمونه برداری است که به دلیل عوامل کیفی ناشی از سطح شیء و محیط به نوبت آلوده شده اند.

صرف نظر از همه این موارد، دقت تحلیلی نقاط نمونه برداری را می توان از انتشار خطای مشاهدات فاصله و زوایای افقی و قائم و دقت توجیه مطلق سیستم مختصات لیزراسکتر محاسبه و با تقریب پیش بینی کرد. باید توجه داشت که در صورت ایجاد شبکه ای از ایستگاه های لیزراسکتر، مدل ریاضی فوق پیچیده تر می شود. به بیان دیگر برای یکپارچه سازی مختصات نقاط نمونه برداری برداشت شده از ایستگاه های مختلف، باید از نقاط گره ای استفاده کرد. مختصات تعدیل شده سراسری این نقاط که به صورت تارگت های خاص و عموماً با حد تفکیک بالاتری مشاهده می شوند، در یک فرایند مثلث بندی زمینی به دست می آیند. از این طریق پارامترهای انتقال سیستم های

(د) طراحی تنها براساس قیود دید هندسی صورت گرفته و قیود دید کیفی مانند جنس، زبری، رنگ، دما و رطوبت شیء و محیط لحاظ نشده است.

(ه) بازسازی هر ناحیه از سطح جسم تنها توسط نقاط برداشت شده از یک ایستگاه صورت می گیرد.

(و) الگوریتم جانمایی سنجنده براساس روشی معین و سیستماتیک است که البته درمقایسه با روش های نامعین به دلیل محاسبات تکراری و سنگین آن کارایی کمتری دارد.

۳-۱. مدل ریاضی برای طراحی تحلیلی

با در نظر گرفتن پیش فرض های فوق برای طراحی تحلیلی، رابطه ریاضی بین مشاهدات و مجهولات برای هر ایستگاه تراز و توجیه شده لیزراسکنر در حالت دوبعدی به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l \sin \alpha \\ l \cos \alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه X_0 و Y_0 مختصات دوبعدی ایستگاه لیزراسکنر، l و α مشاهدات طول و زاویه افقی X و Y مختصات سطحی نقاط نمونه برداری هستند. با اعمال قانون انتشار خطا، ماتریس کوواریانس مختصات نقاط نمونه برداری از رابطه ۲ به دست می آید.

$$C_{XY} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 \sin^2 \alpha + l^2 \cos^2 \alpha \sigma_\alpha^2 + \sigma_{X0}^2 & \\ \sin \alpha \cos \alpha \sigma_1^2 - l^2 \sigma_\alpha^2 & \\ \sin \alpha \cos \alpha \sigma_1^2 - l^2 \sigma_\alpha^2 & \\ \sigma_1^2 \cos^2 \alpha + l^2 \sin^2 \alpha \sigma_\alpha^2 + \sigma_{Y0}^2 & \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۲)}$$

بهینه ای با روش هایی مانند الگوریتم های تکاملی به طور اتوماتیک براساس مدل های تحلیلی و شبیه سازی مذکور انجام داد. در ضمن برای افزایش سطح اتوماسیون می توان از روش تلفیقی طراحی شبکه (تلفیق روش تجربی و هوشمند) همزمان با طراحی شبکه، مدل شبیه سازی CAD را در یک سطح عدم قطعیت پیش بینی و بهینه کرد.

در بخش بعد نمونه ای ساده از طراحی شبکه به روش هوشمند مبتنی بر داده های شبیه سازی شده عرضه می شود تا مفهوم اتوماسیون طراحی شبکه برای لیزراسکنر زمینی در عمل امکان سنجی گردد. بدیهی است برای اجرای کامل طراحی شبکه به روش هوشمند به تحقیقات و آزمون های گسترده تر و عملی تری می باشد که خارج از این مقاله نیاز است.

۳-۲. امکان سنجی طراحی شبکه به روش هوشمند

برای انجام طراحی شبکه به روش هوشمند باید ابتدا روش های طراحی تحلیلی و شبیه سازی پیاده سازی اجرا شود؛ بنابراین امکان سنجی اجرای طراحی شبکه به روش هوشمند تمامی روش های دیگر را نیز دربر می گیرد. به منظور انجام آزمون اولیه در این مقاله از داده های شبیه سازی شده استفاده شده است. پیش فرض های اصلی برای انجام این آزمون عبارت اند از: (الف) خطای ناشی از نقاط کنترل و محاسبات مثلث بندی زمینی ناچیز است.

(ب) مدل CAD تقریبی اولیه به صورت دوبعدی موجود است و طراحی در محیط دوبعدی صورت می گیرد.

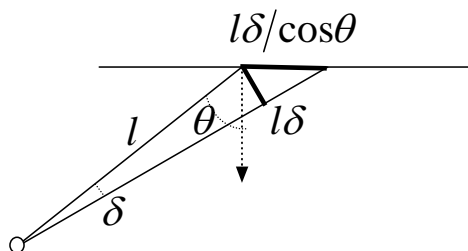
(ج) هدف از طراحی شبکه تعیین موقعیت ایستگاه های لیزراسکنر زمینی تراز شده است و تعیین تعداد و پراکنندگی تارگت ها به دلیل ناچیز فرض شدن خطای مثلث بندی زمینی، در این مقاله بررسی نمی شود.

به دست آورد و آن را میدان دید اسکنر به شمار آورد. لازم به ذکر است در این تحقیق میدان دید لیزراسکنر به صورت دوبعدی و دایره‌ای به شعاع I_{max} است که البته در آن محدودیت حداقل فاصله، مدل‌سازی نشده است.

(ب) میدان بازتابش سطح: برای هر نقطه از سطح مورد نظر

می‌توان یک میدان بازتابش تعریف کرد. در صورتی که پرتو لیزر دریافتی خارج از این میدان بازتابش باشد، عبور می‌کند یا جذب می‌شود و به سنجنده بازگشت نمی‌کند. میدان بازتابش برای هر نقطه از سطح تابعی از پارامترهای کیفی و هندسی است؛ اما در این مقاله صرفاً مهم‌ترین آنها یعنی پارامتر هندسی شیب سطح به صورت دوبعدی مدل‌سازی می‌شود. اگر l فاصله مایل نقطه، θ زاویه نرمال بر سطح در نقطه با پرتو دریافتی و δ حد تفکیک زاویه‌ای لیزراسکنر باشد، آنگاه تراکم نقاط نمونه‌برداری در نقطه روی سطح مطابق شکل ۱ برابر است با $l\delta/\cos\theta$. پرتوهای با تراکم نقاط نمونه‌برداری کمتر از یک حد آستانه Δ_{max} خارج از میدان بازتابش است و بنابراین فرض می‌شود که لیزراسکنر آن نواحی را نمی‌بیند.

(ج) موانع و نواحی پنهان: هرگونه مانع بین ایستگاه



شکل ۱. مفهوم میدان بازتابش سطح و تراکم نقاط نمونه‌برداری.

که در این رابطه σ_a^2 ، σ_1^2 ، σ_{Y0}^2 ، σ_{X0}^2 واریانس موقعیت X_0 و Y_0 ایستگاه، مشاهده طول و مشاهده زاویه است. برای تعیین معیار کلی برای خطای موقعیت نقاط نمونه‌برداری، کافی است $\text{Trace}(C_{XY})_2$ در رابطه ۲ به صورت رابطه ۳ به دست‌آید.

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + l^2 \sigma_a^2 + \sigma_0^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه σ^2 واریانس موقعیت نقاط نمونه‌برداری و σ_0^2 واریانس موقعیت ایستگاه ($\sigma_0^2 = \sigma_{X0}^2 + \sigma_{Y0}^2$) است. به این ترتیب دقت موقعیت نقاط نمونه‌برداری قبل از انجام مشاهده برای هر ایستگاه مشخص با انتشار خطاها قابل پیش‌بینی می‌شود.

۲-۳. مدل‌سازی قیود دید برای طراحی شبیه‌سازی

از آنجا که دقت نهایی بازسازی سطح، علاوه بر دقت نقاط نمونه‌برداری به تراکم آنها نیز وابسته است، پارامترهای دیگری نظیر فاصله و شیب سطح و امکان تکرار نمونه‌برداری سطح از یک یا چند ایستگاه نیز بر دقت نهایی بازسازی سطح مؤثر است. به بیان دیگر مسئله تراکم نقاط نمونه‌برداری به قابلیت دید لیزراسکنر روی سطوح بستگی دارد که خود به پارامترهای زیر وابسته است:

(الف) میدان دید لیزراسکنر: با توجه به برد دستگاه یک

حد آستانه I_{max} برای l در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین برای نقاط دورتر از این حد آستانه، لیزراسکنر نمی‌تواند آنها را ببیند. البته می‌توان از طریق قید حداقل تراکم نقاط نمونه‌برداری روی سطح نرمال و قید حداکثر خطای مجاز نقاط، حداکثر فاصله مجاز را

که در آن ایستگاه‌های لیزراسکنر یک‌به‌یک و به‌صورت متوالی جانمایی می‌شوند. روش جانمایی هر سنجش‌گر مبتنی بر یک الگوریتم جستجوی معین است. در این الگوریتم برای اجتناب از حجم محاسبات بسیار زیاد، منطقه به شبکه‌ای فرضی و منظم از سلول‌های مربعی تقسیم‌بندی می‌شود. ابعاد سلول‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که از یک‌سو حجم محاسبات بالا نرود و از سوی دیگر دقت طراحی شبکه کاهش نیابد.

الگوریتم مربوط با توجه به شکل ۲ به این شرح است: ابتدا سلول‌های غیرقابل دسترس برای ایستگاه‌گذاری شناسایی و از حلقه تکرار حذف می‌شود. سپس سلول‌های حاوی سطح جسم شناسایی و جدا می‌شود. برای هر سلول در دسترس با فرض جانمایی لیزراسکنر در مرکز آن محاسبات زیر صورت می‌گیرد. ابتدا سلول‌های سطح با فاصله کمتر از l_{max} انتخاب می‌شود (قید میدان دید لیزر اسکنر). سپس امتداد دید هر سلول تا ایستگاه بررسی می‌شود و در صورت وجود مانع، سلول مربوط از فهرست سلول‌های انتخابی حذف می‌شود. در مرحله بعد برای هر سلول باقی‌مانده تراکم نمونه‌برداری محاسبه می‌شود و سلول‌های با تراکم کمتر از Δ_{max} حذف می‌شوند. در انتها برای سلول‌های باقی‌مانده دقت تعیین مختصات براساس رابطه (۴) محاسبه و سلول‌های با دقت کمتر از حد آستانه E_{max} حذف می‌شوند. آنگاه تعداد سلول‌های باقی‌مانده شمارش می‌شود و این حلقه برای کل سلول‌های در دسترس تکرار می‌شود. ایستگاهی که بیشترین سلول سطح قابل دید را دارد، به‌منزله اولین ایستگاه جانمایی شده انتخاب می‌شود و سلول‌های سطح مربوط از فهرست کل سلول‌های سطح حذف می‌شود. همه محاسبات فوق برای سلول‌های سطح باقی‌مانده تکرار می‌شود تا ایستگاه‌ها یکی‌یکی جانمایی گردند. انتهای الگوریتم زمانی است که هیچ سلول سطح مشاهده‌نشده‌ای باقی نمانده باشد.

لیزر اسکنر و جسم باعث نرسیدن پرتو لیزر به سطح جسم و ایجاد سایه و در نتیجه عدم نمونه‌برداری از آن می‌شود. موانع را می‌توان به موانع ناشی از خود جسم و محیط آن تقسیم‌بندی کرد. علاوه بر وجود موانع در محیط، سطوحی از جسم که زاویه بین بردار نرمال بر سطح آنها و پرتو لیزر رسیده بیشتر از یک حد آستانه θ_{max} باشد، در سایه قرار می‌گیرد و دیده نمی‌شود. زاویه θ_{max} به خصوصیات کیفی سطح بستگی دارد. به‌هر حال در صورت وجود مدل CAD جسم و محیط می‌توان این قید را مدل‌سازی و اعمال کرد. در آزمون‌های اجرا شده این قید به‌صورت دوبعدی با فرض وجود مدل CAD اعمال شده است.

علاوه بر قابلیت دید لیزراسکنر، قابلیت دسترسی آن نیز در طراحی شبکه اهمیت دارد. منظور از قابلیت دسترسی امکان استقرار دستگاه در مکان طراحی شده است. برای مثال نمی‌توان دستگاه را در نواحی ناامن یا بسیار نزدیک به دیوار مستقر کرد. همچنین موانع علاوه بر اینکه قابلیت دید سنجش‌گر را مختل می‌نمایند قابلیت دسترسی آن را نیز مخدوش می‌سازند. مدل‌سازی این قید بسیار پیچیده است و عموماً به تعامل کاربر در محیط شبیه‌سازی شده نیاز دارد. در آزمون‌های انجام‌گرفته تنها موانع، خود جسم و یک حاشیه از کناره دیوارها به منزله نواحی غیرقابل دسترس به‌صورت دوبعدی شبیه‌سازی شده است.

۳-۳. الگوریتم جانمایی سنجنده برای طراحی هوشمند

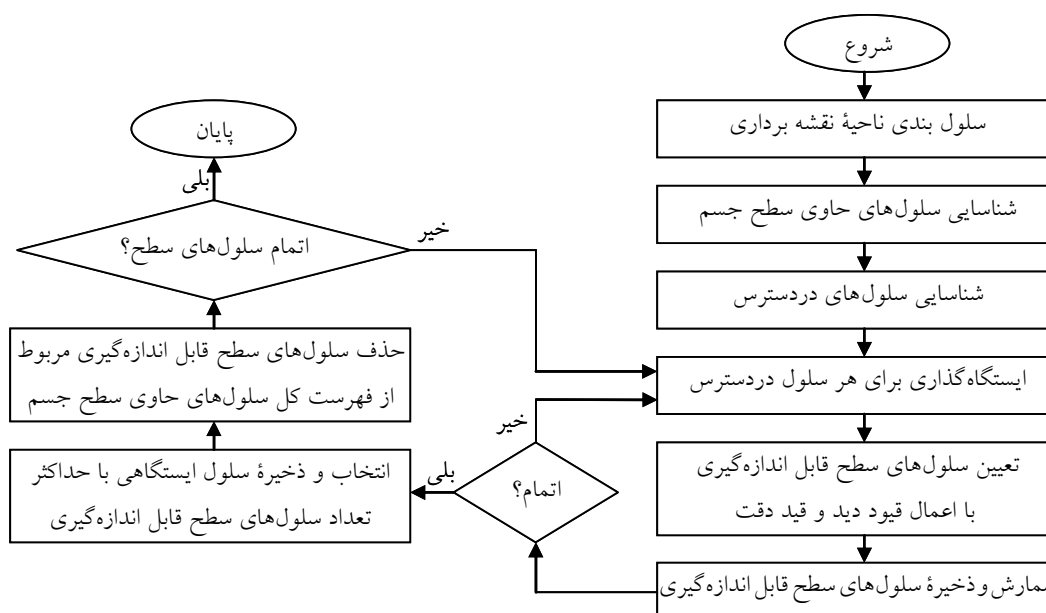
از آنجاکه هدف این مقاله عرضه ایده کلی اتوماسیون در طراحی شبکه و امکان‌سنجی اجرای آن است، از به‌کارگیری روش‌های پیچیده بهینه‌سازی نامعین مبتنی بر هوش مصنوعی صرف‌نظر شده است. در این مقاله روشی نسبتاً ساده عرضه می‌شود

توجه شود که اگر برای یک فاصله I_{max} خطای اندازه گیری برای سطوح نرمال بیشتر از E_{max} باشد، آنگاه لازم است یا فاصله کاهش یابد یا تعداد تکرار اسکن ها از یک یا چند ایستگاه افزایش یابد. در هر دو حالت افزایش دقت بازسازی جسم اسکن های بیشتری را به دنبال خواهد داشت. در این تحقیق با توجه به پیش فرض (ه) در بخش ۳ فرض می شود دقت درخواستی E_{max} به صورتی است که نیاز به چندین اسکن هم پوشان

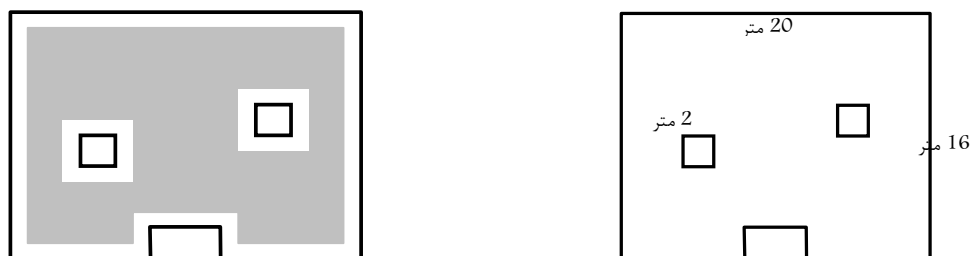
از جسم مرتفع گردد.

۴- پیاده سازی طراحی شبکه به روش هوشمند

بر اساس مطالب ذکر شده در بخش ۳، الگوریتم مربوط به شکل ۲ به طور کامل در محیط Matlab اجرا شد. لازم به ذکر است



شکل ۲. الگوریتم جانمایی ایستگاه لیزراسکنر.



شکل ۳. پلان بنای باستانی به منزله داده شبیه سازی مورد آزمون (راست) و فضای در دسترس در آن (چپ).

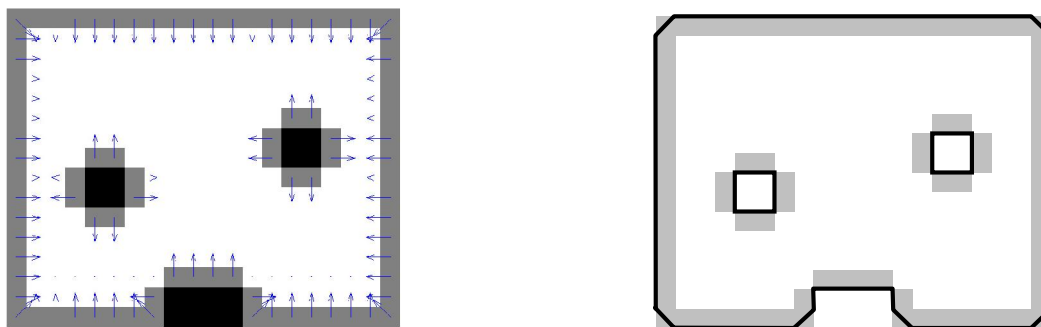
خواهد شد.

همچنین سلول‌های حاوی سطح مورد نظر برای نمونه برداری نواحی خاکستری مطابق شکل ۴-راست خواهد بود. در این مرحله باید بردار نرمال متوسط هر قطعه سطح در هر سلول به طور اتوماتیک محاسبه شود (شکل ۴-چپ). توجه شود که گوشه‌ها به دلیل متوسط‌گیری از شیب سطوح نرم شده است.

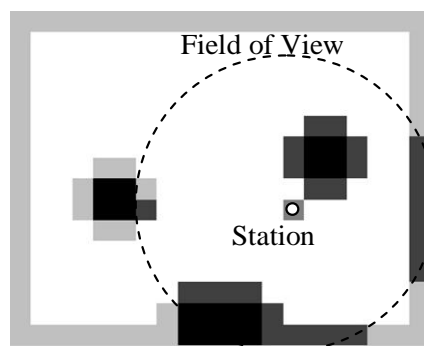
اکنون باید برای تمامی سلول‌های در دسترس، محاسبات مربوط به قیود دید و قید دقت برای تعیین سلول‌های سطح قابل اندازه‌گیری انجام پذیرد. برای روشن‌تر شدن موضوع فرض کنید می‌خواهیم محاسبات مربوط به ایستگاه در دسترس نمایش یافته در شکل ۵ را انجام دهیم. برای اعمال قید میدان دید دوربین با

باتوجه به پیش فرض‌های بخش ۳ در این مقاله از داده‌های شبیه‌سازی شده دوبعدی استفاده شده است. فرض می‌شود منطقه مورد نظر داخل یک بنای باستانی به وسعت ۲۰ در ۱۶ مترمربع است که باید با استفاده از لیزراسکنرزمینی شناسایی و بازسازی شود. در این بنای باستانی مطابق شکل ۳-راست دو ستون با ابعاد ۲ متر در ۲ متر قرار گرفته است که در نقش مانع برای بخش‌های دیگر است.

برای کاهش محاسبات، یک شبکه منظم فرضی با ابعاد سلول یک متر در نظر می‌گیریم. اگر فرض شود که ایستگاه‌گذاری در یک متری دیواره‌ها امکان پذیر نباشد، نواحی در دسترس برای ایستگاه‌گذاری، ناحیه خاکستری مطابق شکل ۳-چپ



شکل ۴. سلول‌های حاوی سطح (راست) و نرمال بر سطح متوسط در هر سلول (چپ).



شکل ۵. ایستگاه دوربین و سلول‌های موجود در میدان دید لیزراسکنر.

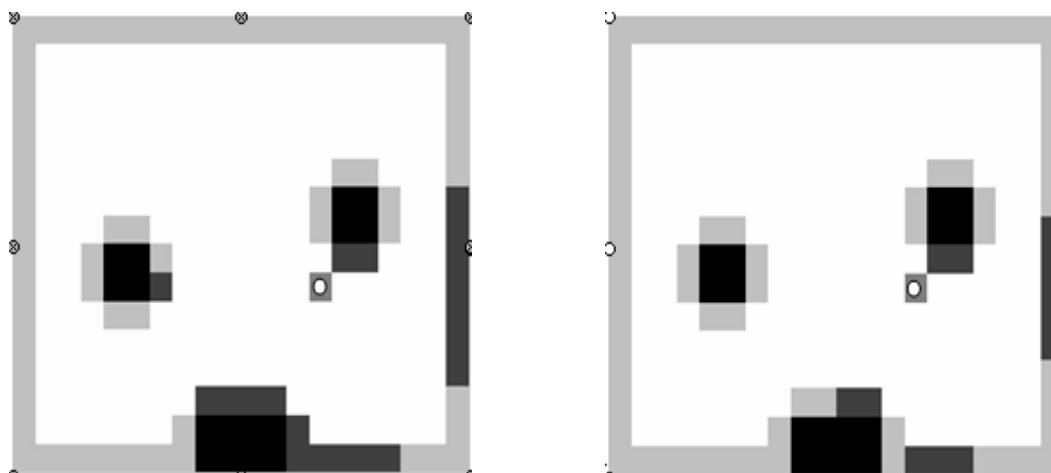
آستانه θ_{max} است. در اینجا حد آستانه را برابر 80° درجه در نظر می‌گیریم. همچنین شکل ۴-چپ موانع را به رنگ سیاه نشان می‌دهد. پس از اعمال قید نواحی پنهان سلول‌های سطح باقی‌مانده مطابق شکل ۶-راست خواهد بود.

قید دید دیگر قید میدان بازتابش سطح است که برای هر سلول سطح براساس رابطه شکل ۱ محاسبه می‌شود. سلول‌های سطح با تراکم نمونه برداری کمتر از حد آستانه Δ_{max} به میزان دو میلی‌متر حذف می‌شوند. با اعمال این قید سلول‌های مربوط به سطوح با شیب نسبتاً زیاد حذف می‌شوند. همین‌طور از آنجا که تمامی سلول‌های سطح در فاصله کمتر از 10 متر قرار گرفته‌اند، قید دقت برای تمامی آنها برقرار است و بنابراین سلول‌های سطح قابل دید برای ایستگاه دوربین طراحی شده به صورت شکل ۶-چپ هستند.

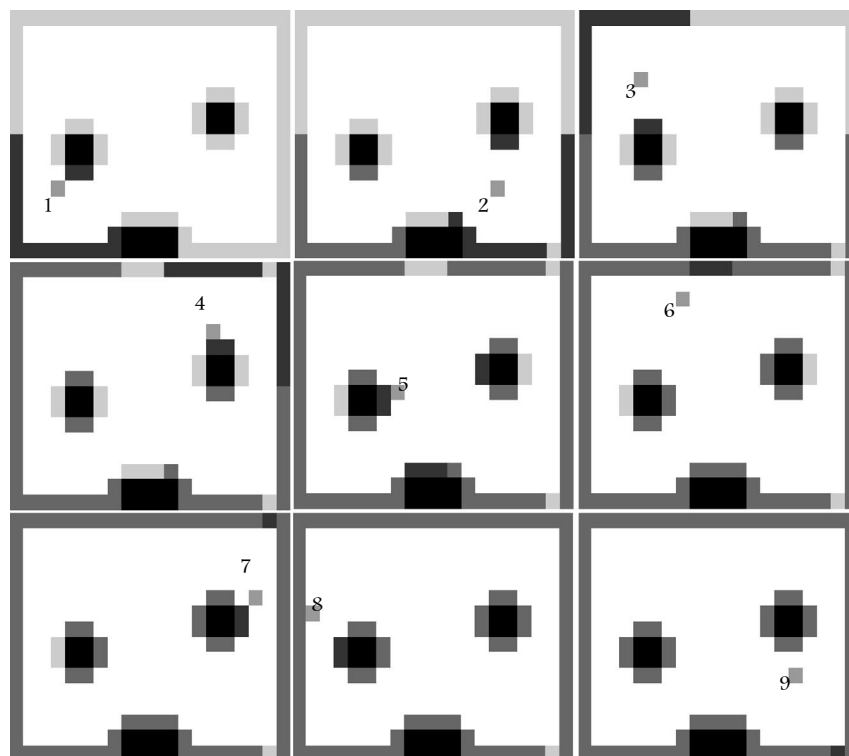
عملیات فوق براساس الگوریتم شکل ۲ برای تمامی سلول‌های در دسترس شکل ۳-چپ تکرار شده و ایستگاه با بیشترین سلول سطح قابل دید انتخاب می‌شود. شکل ۷ ایستگاه‌های متوالی طراحی شده بهینه و سلول‌های قابل دید مربوط به هر یک

در نظر گرفتن دو قید تراکم نقاط نمونه برداری و قید دقت اندازه‌گیری فاصله مجاز I_{max} محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن حد تفکیک زاویه‌ای δ یک دقیقه و تراکم مجاز نقاط نمونه برداری Δ_{max} به میزان دو میلی‌متر برای سطوح نرمال براساس رابطه شکل ۱ حد مجاز فاصله I_{max} حداکثر حدود 7 متر خواهد شد ($0.002/[1/60*\pi/180]=7m$). از سوی دیگر براساس رابطه (۴) و فرض دقت اندازه‌گیری مورد نیاز نقاط به میزان دو میلی‌متر، خطای اندازه‌گیری طول به طور متوسط یک میلی‌متر، خطای زاویه 20 ثانیه و خطای استقرار یک میلی‌متر، حداکثر فاصله مجاز I_{max} برابر 10 متر خواهد شد. بنابراین با در نظر گرفتن دو قید فوق سطوح دورتر از 7 متر در میدان دید لیزر اسکنر قرار نمی‌گیرند. شکل ۵ سلول‌های سطحی را نشان می‌دهد که در میدان دید لیزراسکنر قرار می‌گیرند.

قید دیگر قید موانع و نواحی پنهان است. برای اعمال این قید کافی است برای هر سلول سطح دو شرط تست شود: شرط اول نبودن هیچ مانعی در راستای پرتو لیزر است و شرط دوم کوچک تر بودن زاویه پرتو با نرمال سطح از حد



شکل ۶. سلول‌های سطح قابل دید پس از اعمال قید نواحی پنهان و میدان دید (راست) و همچنین قید میدان بازتابش و دقت (چپ).



شکل ۷. ایستگاه‌های بهینه طراحی شده متوالی و سلول‌های سطح مربوط (به ترتیب شماره ۱ تا ۹ از چپ به راست و بالا به پایین).

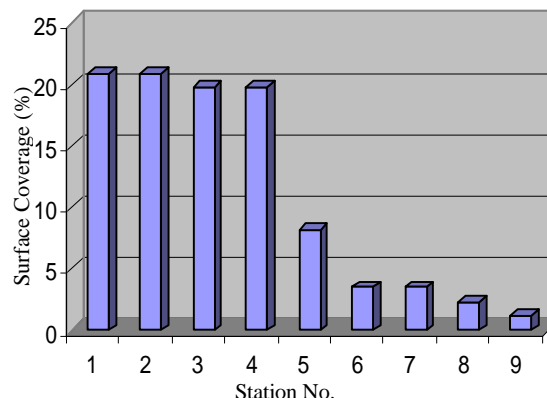
برداشت می‌کنند و ایستگاه‌های بعدی برای پرکردن سطوح غیرقابل دید کوچک باقی مانده طراحی شده‌اند. برای مثال با توجه به شکل ۸ پنج ایستگاه اول ۹۰٪ کل سطوح و چهار ایستگاه آخر تنها ۱۰٪ از آن را پوشش داده‌اند. این مطلب نشان می‌دهد طراحی شبکه به روش هوشمند به شکل بهینه‌ای به جانمایی ایستگاه‌های لیزراسکنر می‌پردازد. همچنین با توجه به کیفیت مورد نیاز کاربر، می‌توان تعداد بهینه‌ای از ایستگاه‌ها را در عمل به صورت ایستگاه‌های طراحی شده برای انجام مشاهدات معرفی کرد. لازم به ذکر است ایستگاه‌های اخیر عموماً بخش‌هایی از سطوح قبلی را دوباره برداشت می‌کنند که نیاز نیست. برای

را نشان می‌دهد. برای مثال ایستگاه شماره ۴ در شکل ۷ با این فرض طراحی شده است که ایستگاه‌های لیزراسکنر ۱ و ۲ و ۳ قبلاً بخشی از سطح جسم (سلول‌های خاکستری روشن) را اندازه‌گیری کرده‌اند (سلول‌های خاکستری با روشنایی متوسط) و موقعیت ایستگاه ۴ به صورتی است که بیشترین تعداد سلول از ناحیه مشاهده نشده باقی مانده را اندازه‌گیری کرده است (سلول‌های خاکستری تیره).

به این ترتیب در این مثال با نه ایستگاه طراحی شده، کل سطح جسم با اطمینان کافی برداشت می‌شود. توجه شود که ایستگاه‌های طراحی شده اولیه درصد زیادی از سطوح را

اتوماسیون طراحی شبکه برای لیزراسکنرزمینی منجر خواهد شد، امکان‌سنجی شد و روی داده‌های شبیه‌سازی دوبعدی اجرا شد. نتایج اجرا نشان‌دهنده قابلیت بالای ایده پیشنهادی در طراحی شبکه‌های لیزراسکنرزمینی است.

پیشنهاد مؤلف برای تحقیقات آتی عبارت است از مدل‌سازی و فرمولاسیون کامل‌تر برای اجرا در محیط سه‌بعدی و نیز، انجام آزمون روی داده‌های واقعی و اجرای روش نامعین برای جانمایی همزمان سنجنده‌ها با روش‌های هوشمند مانند الگوریتم‌های تکاملی است.



شکل ۸ درصد پوشش سطح برای هر یک از ایستگاه‌های بهینه طراحی شده متوالی.

مراجع

1. Website: http://www.riegl.com/terrestrial_scanners (access on 2007-10-24).
2. Website: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner (access on 2007-10-25).
3. Bornaz, L. and Rinaudo, F., "Terrestrial Laser Scanner Data Processing", ISPRS (2004) Istanbul 514-520.
4. Saadatseresht, M., "To Develop the Automation of Vision Metrology Network Design via Vision Constraint Uncertainty Modeling and Camera Placement", PhD Thesis, Tehran University (2004) 140.
5. Samadzadegan, F., Saadatseresht, M. and Azizi, A., "Vision Metrology Network Design Based on AI." Tehran University, Faculty of Engineering, Research No. 621 Vol. 3 (2004) 863.
6. Saadatseresht, M., Fraser, C.S., Samadzadegan, F. and Azizi, A., "Visibility Analysis in Vision Metrology Network Design", Photogram Metric Record, Vol. 19 No. 107 (2004a) 219-236.
7. Saadatseresht, M., Samadzadegan, F. and Azizi, A., "Automatic Camera Placement in Vision Metrology based on Fuzzy Inference System.", Photogram Metric Engineering and Remote Sensing, Vol. 71 No. 12 (2004b) 1375-1385.
8. Mason, S., "Expert System-Based Design of Photogram Metric Networks. Institute of Geodesy and Photogrammetry", ETH Zurich, Switzerland, PhD Thesis, (1994).
9. میری، سید محسن، ارزیابی جایگاه تکنولوژی لیزراسکنر زمینی در کاربردهای میراث فرهنگی. دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۵، ص ۱۴۹.
10. ISPRS, Commission V/III, Website: <http://www.commission3.isprs.org/wg3> (access on 2007-10-24).

جلوگیری و یا کاهش این مشکل باید ایستگاه‌ها را به طور همزمان و نه متوالی جانمایی کرد. شکل ۸، درصد سطوح برداشت شده هر یک از ایستگاه‌های طراحی شده متوالی را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

موضوع طراحی شبکه برای تهیه برنامه مشاهداتی لیزراسکنر زمینی امری حساس است و علاوه بر افزایش کیفیت، هزینه و زمان مشاهدات و به‌خصوص محاسبات را کاهش خواهد داد. در این مقاله برای اولین بار با استفاده از مفهوم طراحی شبکه‌های فتوگرامتری برد کوتاه، طراحی شبکه در لیزراسکنرزمینی توصیف و به‌صورت نظری بررسی شد. چهار روش طراحی شبکه تجربی، تحلیلی، شبیه‌سازی و هوشمند تشریح شد و پارامترهای مؤثر در هر یک برای طراحی شبکه‌های لیزراسکنرزمینی مطرح شد. در انتها اجرای طراحی شبکه به روش هوشمند که به