

کاربرد تکنولوژی لیدار در بازسازی مدل سه بعدی شهری

محمد رضا عزیزخانی^۱، رامین کیامهر^۲

چکیده

دستیابی به مدل سه بعدی واقعی و دقیق عوارض مصنوعی و دست ساز انسان یکی از موضوعات مورد علاقه متخصصان در زمینه های مختلف علم مهندسی و مدیریت می باشد. مدل سه بعدی شهری در کاربردهایی نظیر برنامه ریزی شهری، کارتوگرافی، معماری، برنامه ریزی، محیطی، سیستم های اطلاعات مکانی، توریسم، ارتباطات و غیره، مورد استفاده قرار می گیرد؛ از این رو به عنوان اطلاعات و ابزاری مهم در علوم مهندسی دارای اهمیت و کاربرد فراوانی است. یکی از عوارض مهم در مدل های شهری، ساختمان و بلوک های ساختمانی می باشد. استخراج و بازسازی مدل سه بعدی ساختمان ها به یکی از مسائل پرچالش در مهندسی ژئوماتیک و فتوگرامتری بدیل گشته است. بازسازی مدل سه بعدی ساختمان به روش های مختلفی انجام می پذیرد که این روش ها در حال توسعه می باشند. در این مقاله سعی شده است تا روش های بازسازی مدل سه بعدی ساختمان در مهندسی ژئوماتیک مورد بررسی قرار گرفته و ارزیابی شوند.

واژگان کلیدی: مدل سه بعدی ساختمان، سنجش از دور، بازسازی مدل سه بعدی، فتوگرامتری، مهندسی ژئوماتیک.

۱. مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان

۲. دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه زنجان ramini@znu.ac.ir

در سالهای اخیر، تقاضا برای استفاده از مدل های سه بعدی شهری به شدت رو به افزایش بوده است [۱]، [۲]. مدل سه بعدی شهری در کاربردهایی نظیر برنامه ریزی شهری، کارتوگرافی، معماری، برنامه ریزی محیطی، سیستم های اطلاعات مکانی، توریسم، ارتباطات و غیره، مورد استفاده قرار می گیرد [۳]. امروزه بازسازی خودکار مدل سه بعدی ساختمان ها از منابع داده مختلف به ویژه منابع داده لیزر اسکنرهای هوایی به یکی از مسائل پرچالش در فتوگرامتری و بینایی ماشین تبدیل شده است [۴]. بر طبق تحقیقات موسسه تحقیقاتی فتوگرامتری تجربی اروپا^۱ مهمترین قسمت مورد علاقه در یک مدل مجازی شهری، مدل سه بعدی ساختمان ها می باشد. این تحقیقات همچنین نشان می دهد استفاده از روش های فتوگرامتری و سنجش از دور، تنها راه حل اقتصادی برای تولید این گونه مدل ها می باشد [۵]. به همین دلیل شناسایی و استخراج ساختمان ها و در راس آن بازسازی سه بعدی آن ها به یکی از عرصه های مهم تحقیقاتی در فتوگرامتری و بینایی کامپیوتری تبدیل گشته است [۶]. پیچیده بودن مدل سه بعدی ساختمان ها و تنوع در یک امر از یک سوء و عدم قطعیت بالا در تعیین مدل سه بعدی ساختمان از سوی دیگر، این مسئله را به یک مسئله چالش برانگیز در فتوگرامتری و بینایی کامپیوتری تبدیل کرده است [۷]. با ورود لیدار هوایی به عرصه ژئوماتیک، به عنوان یک سنجیده فعال تولید کننده داده های سه بعدی، تحول بزرگی در عرصه تهیه داده های اولیه جهت تولید مدل های سه بعدی از مناطق شهری ایجاد شد [۸]. به دنبال آن توسعه دهندگان و محققین علوم ژئوماتیک به سمت ارائه تکنیک های مختلف در زمینه استخراج عوارض مورد علاقه از داده های بیرونی نظیر ساختمان ها و جاده ها با استفاده از داده های لیزر متمایل شدند [۹]. درجه بالای خودکار سازی در پیاده سازی الگوریتم ها و پردازش های ساده و در عین حال استفاده مستقیم از داده های زمین مرجع، مهمترین مزایای این منبع داده، نسبت به بقیه منابع داده می باشند [۱۰]. به هر حال مشکلاتی نظیر، پردازش حجم بسیار بالای داده، وجود نویز در داده ها، ناتوانی در

نمایش لبه‌ها به صورت آشکار و نبود تعبیری صریح از مولفه بافتی در داده‌های لیزر اسکنر باعث شده است، بسیاری از محققان به تلفیق این داده با دیگر منابع داده (مانند تصاویر هوایی، داده‌های نقشه‌های موجود و داده‌های InSAR) نگاهی ویژه داشته باشند [۱۱]. در مسئله بازسازی ساختمان در مناطق شهری متراکم، همانند دیگر مسائل سخت^۱، عملاً امکان یافتن یک راه حل فراگیر و استفاده از آن در تمام مجموعه داده‌ها، با ساختمان‌هایی با اشکال متفاوت میسر نمی‌باشد [۷]. بسیاری از الگوریتم‌های ارائه شده در این زمینه مختص نوع مشخصی از ساختمان‌ها با شکل سقف مشخص، می‌باشد [۱۲].

پیشینه تحقیق

اگر چه تحقیقات فراوانی برای بازسازی مدل ساختمان به صورت خودکار (و بعضاً نیمه خودکار) انجام گرفته است؛ لکن ارائه روشی خودکار، بدون محدودیت در نوع داده مورد استفاده و همچنین ساختار سقف مورد بازسازی، مستلزم تحقیقات بیشتر و وسیعتری است [۱۳]. به نظر می‌رسد روش‌هایی که برای بازسازی مدل ساختمان، نگاه به روشهای تلفیق داده چند سنجنده ای دارند، در این میان از بخت بیشتری برخوردار هستند [۵]. دلیل این امر استفاده همزمان از مزایای هر کدام از منابع داده است که منجر به ارائه روشی مکمل با درجه اعتماد پذیری بالا خواهد شد. به عنوان مثال در حالیکه داده‌های لیدار در ارائه اطلاعات سطحی هندسی بسیار موفق عمل می‌کنند، از سوی دیگر داده‌های تصویری (مانند عکس‌های هوایی)، در شناسایی و آشکار سازی لبه‌ها، بسیار کارآمدتر به نظر می‌رسند [۱۱]. در این رابطه معمولاً در کنار داده‌های لیدار از تصاویر رقومی نیز استفاده می‌شود. به جز تصاویر رقومی، استفاده از اطلاعات کمکی نظیر نقشه‌های دو بعدی نیز در کنار داده‌های لیدار بسیار پر کاربرد می‌باشد. روش تلفیق داده‌های لیدار هوایی با داده‌های زوج عکس هوایی توسط شِنک^۲ و همکاران

1- Hard Problem
2- schenk

در سال ۲۰۰۳ ارائه شد. الگوریتم فوق عوارضی مانند خطوط مستقیم و قطعات سطح را در هر کدام از دو مجموعه داده شناسایی و سعی در ایجاد ارتباط بین آنها می نماید [۱۴]. ارتباطات فوق برای بهبود هم مرجع سازی بین دو مجموعه داده که عمل تلفیق بر روی آنها صورت گرفته، استفاده می شوند کراپنیک مک ایتاش^۱ در سال ۲۰۰۱ برای تلفیق لیدار و اطلاعات زوج عکس هوایی تلاش نمودند. در روش پیشنهادی لبه های متناظر در زوج عکس هوایی به وسیله قیود اپی پلار محاسبه می گردد. بخش خط های سه بعدی با تناظریابی جفت های دو بعدی، تولید و برای پالایش مدل سطحی بدست آمده از لیدار استفاده می شوند [۱۱]. در سال ۲۰۰۳، زاخور فروه^۲ روشی برای هم مرجع نمودن داده های لیدار زمینی و لیدار هوایی ارائه نمودند [۱۵]. در این روش از دو اسکنر لیزری، یکی برای جمع آوری داده فاصله^۳ و دیگری برای زمین مرجع نمودن این داده ها استفاده شده است. ناردینوچی^۴ و همکاران در سال ۲۰۰۱ الگوریتمی برای بازسازی سقف های با ساختار نسبتاً ساده ارائه نمودند که تنها از داده های لیدار به عنوان تنها منبع داده، استفاده شده است. مدل سازی سقف ها با استفاده از قطعات صفحه ای و با استفاده از الگوریتم RANSAC انجام شده است [۱۶]. در این الگوریتم از شروط خاص هندسی برای ساخت مدل استفاده شده است. الهارتی^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۲ روشی برای استخراج ساختمان ها از روی داده لیدار ارائه نمودند. در این روش فرض شده است اطلاعات خاص در مورد ارتفاع ساختمان ها موجود است همچنین شروط خاص هندسی مانند عمود بودن دیوار ساختمان ها ملحوظ گشته است [۱۷]. با استفاده از این اطلاعات، سقف های با ساختار مسطح مدل شده اند. نکته اساسی در روش یاد شده استفاده از آنالیز بازگشت چندگانه برای جداسازی نقاط درخت، از نقاط ساختمان می باشد در مطالعات بعدی، صافی سطح با استفاده از آنالیزهای آماری محلی، برای

1- krupnik,McIntosh
 2- Zakhor,Frueh
 3- Range
 4- Nardinochi
 5- Alharty

اختلاف ارتفاعات روی سطوح کوچک به دست آمد. الاکشیر^۱ و همکاران نیز در تحقیقی مشابه در سال ۲۰۰۲ روشی برای مدل کردن ساختمان ها، با استفاده از محاسبه پارامترهای صفحه برای نواحی کوچک و سپس استفاده از روش بسط ناحیه، ارائه نمودند [۱۸]. پالایش‌های بعدی به وسیله اجبار شروط هندسی خاص مانند صفحات افقی، شیب‌های متقارن و... اعمال می‌گردد. نقاط ساختمان و نقاط زمین لخت به وسیله فیلتر ارتفاع کمینه از یکدیگر تفکیک می‌شوند. در این تحقیق مشخص نشده است که نقاط درخت و نقاط ساختمان به چه شکل از یکدیگر جدا می‌شوند.

لی^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۶ روشی ارائه نمودند که در آن از نقشه دو بعدی برای استخراج پای ساختمان‌ها استفاده می‌شود [۱۹]. روش مزبور یک روش داده‌مبنای دو مرحله‌ای است. در مرحله اول سعی در بخش‌بندی وجوه مختلف سقف با استفاده از روش افزایش ناحیه می‌گردد و سپس در مرحله بعد به مدلسازی بخش‌های تفکیک شده می‌پردازد. وُسلْمَن^۳ و همکارانش در سال ۲۰۰۱ از جای پای ساختمان‌ها برای جدا کردن ساختمان‌ها از دیگر اشیا استفاده نمودند در این روش بخش‌های صفحه‌ای سقف هر ساختمان با استفاده از تبدیل سه بعدی هاف بدست می‌آیند. این بخش‌ها سپس با استفاده از تخمین کمترین مربعات ادغام می‌گردند. لبه‌های داخلی سقف با استفاده از تقاطع صفحات بدست آمده و مرزهای پلان زمینی شناسایی می‌گردند. برای ساده‌سازی، فرض شده است لبه‌های داخلی موازی لبه‌های پلان زمینی می‌باشند [۲۰]. در سال ۱۹۹۹، مَس^۴ و همکاران دو الگوریتم برای تولید مدل ساختمانی با استفاده از لیدار هوایی ارائه نمودند. نقاط ساختمان با استفاده از ترکیب پایگاه داده GIS دو بعدی و برخی تکنیک‌های فیلترینگ استخراج می‌گردند. الگوریتم اول پارامترهای مدل ساختمانی را با استفاده از متد گشتاورهای ناوردا، استخراج می‌کند. الگوریتم دوم با استفاده از تقاطع سطوح تخت سقف، پی به ساختار سقف مورد نظر می‌برد [۲۱]. شایان

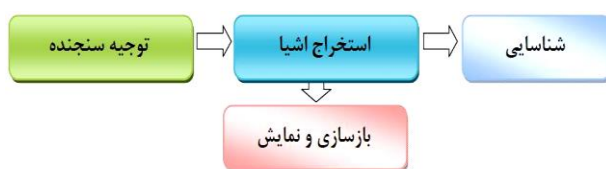
1- Elaksher
2- Lee
3- Vosselman
4- Mass

ذکر است هر دو الگوریتم فقط بر روی سقف های شیروانی Gable تست شده اند و نتایجی برای سقف هایی با ساختارهای متفاوت ارائه نشده است. تحقیقات بسیاری در زمینه تلفیق اطلاعات نقشه دو بعدی GIS و داده های لیدار وجود دارد. از آن جمله می توان به تحقیقات لودها^۱ در سال ۲۰۰۵ اشاره نمود [۲۲]. روش وی یک روش نیمه خودکار است که از الگوریتم k-menas برای خوشه بندی داده لیدار استفاده می کند. محدودیت این روش، معرفی تعداد کلاس اولیه به الگوریتم خوشه بندی است که باعث می گردد از این روش به عنوان یک روش نیمه خودکار یاد گردد. در سال ۲۰۱۲ کابلی زاده و همکارانش روشی را برای بازسازی سه بعدی ساختمان ارائه دادند که بر اساس بهینه سازی پارامترهای استخراج شده از مرحله بخش بندی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بازسازی می پرداخت [۲۳].

مفاهیم اولیه در بازسازی مدل سه بعدی ساختمان

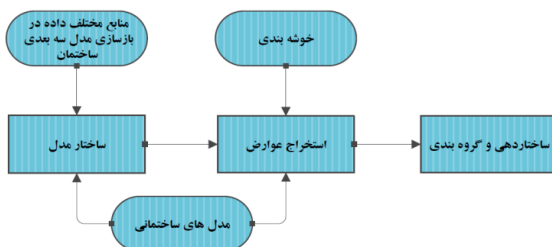
در شکل ۱ می توان روند کلی آنالیزها و پردازش ها در فتوگرامتری و بینایی ماشینی را به طور خلاصه مشاهده نمود. همانطور که در این شکل مشخص است، «توجه سنجنده» معمولاً اولین گام در آنالیزها و پردازش های بینایی ماشینی می باشد. اهمیت این مرحله خصوصاً در تلفیق اطلاعات در سطح داده، به وضوح مشخص است. اعمال تصحیحات هندسی بر روی داده، استفاده از الگوریتم های هم مرجع سازی و بحث های مربوط به کالیبراسیون سنجنده در این مرحله جای می گیرند. مرحله دوم، «استخراج اشیا» و مشخصه های اشیا می باشد که پس از مرحله توجه سنجنده انجام می گیرد. در این مرحله سعی در جدا نمودن اشیا مطلوب از یکدیگر و از پس زمینه می گردد. بدیهی است در این مرحله هیچ گونه شناسایی و نامگذاری شیئی صورت نمی گیرد. خروجی این مرحله در مرحله شناسایی اشیا به کار می رود. در اینجا با استفاده از یک یا چند ویژگی از اشیا متفاوت، اقدام به استخراج اشیا از یکدیگر می شود. در اکثر تحقیقات در فاز پیاده سازی، دو مرحله «شناسایی اشیا» و مرحله بعد از آن یعنی مرحله «بازسازی و

نمایش» را نمی توان به طرز بارز از یکدیگر تفکیک نمود. گو این که این دو مرحله از لحاظ معنایی با یکدیگر تفاوت زیادی دارند. در واقع در بسیاری از موارد، بازسازی اشیا، همزمان با شناسایی اشیا صورت می گیرد. مرحله شناسایی شیئی با اطلاق برچسب به اشیا به اتمام می رسد. معمولاً بلافاصله پس از اطلاق برچسب، به مدلسازی و نمایش شی مزبور مبادرت می ورزند. در نهایت، مدل سه بعدی شی (با دقت هندسی قابل قبول)، عالی ترین محصول در فتوگرامتری محسوب می گردد و به عنوان هدف غایی و مورد استفاده در سامانه اطلاعات مکانی، مد نظر قرار دارد.



شکل ۱- روند پردازش ها در فتوگرامتری و بینایی ماشین

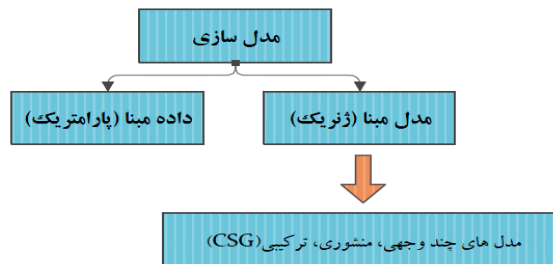
مسائل مطرح در روندهای مختلف بازسازی را می توان در قالب سه مقوله اصلی، ساختار مدل، استخراج عوارض مبنایی، ساختاردهی و گروه بندی مورد بررسی قرار دارد [24]. همچنین موضوع مهم دیگر در روش های مختلف بازسازی مدل سه بعدی ساختمان ها منابع مختلف داده و شناخت انواع مدل های ساختمانی می باشد. در ادامه به موارد ذکر شده و همچنین موضوع خوشه بندی که یکی از زیرمراحل بسیار مهم در روند اجرای روش های مختلف بازسازی (به ویژه روش های داده مبنا) می باشد، پرداخته خواهد شد. شکل ۲ موارد مذکور را نشان می دهد.



شکل ۲- بازسازی مدل سه بعدی ساختمان

ساختار مدل

انتخاب مدل ساختمانی بهینه یک گام ضروری و اساسی برای اکتساب ساختمان می- باشد و می-بایستی که قبل از مرحله اکتساب انجام شود تا بتوان فرایند اکتساب را هدایت نمود. در حقیقت هدف فرایند بازسازی، تعیین کردن ویژگی های هندسی و روابط توپولوژیکی بین اجزاء شیء است. در تحقیقات انجام گرفته در زمینه بازسازی ساختمان معمولاً عنوان می شود که مدل سازی ساختمان به دو صورت عام و خاص تجسد و عینیت پیدا می کند [۵]، [۲۵]. منظور از مدلسازی خاص، تهیه مدل ساختمان به گونه ای است که در دنیای واقعی نیز وجود دارند. این نوع مدلسازی عموماً مدلسازی داده مبنا نام گرفته است. در حالی که در مدلسازی عام، منظور یک توضیح پارامتریک از شکل عمومی ساختمان است که معمولاً با پارامترهایی نظیر موقعیت، ارتفاع، عرض، زاویه توجیه و غیره، بیان می گردد. به این روش، مدلسازی مدل مبنا نیز می گویند. در مدلسازی ترکیبی که روشی تلفیقی از دو استراتژی فوق می باشد؛ از اشیا پایه کمی پیچیده برای مدلسازی استفاده می گردد. در انتهای طیف، مدل های بر مبنای نظریه گشتالت^۱ قرار دارند که کمی پیچیده تر بیان می گردند و از خصوصیات نظیر همسایگی، نزدیکی، پیوستگی و تقارن برای شناسایی و بیان شیء استفاده می کنند [۲۶]. روش معمولی که بسیاری از محققان برای مدلسازی به کار می برند استفاده از اشیا پایه نظیر خط، نقطه، دایره، صفحه و غیره، برای بیان مدل هندسی شیء می باشد. شکل ۳ گویای همین مطلب است.



شکل ۳- روش های مختلف مدل سازی

روش مدل‌سازی مدل‌مبنا ساده بوده و از نظر هزینه محاسباتی ارزان است، اما عموماً به دقت بالایی نیز نخواهد رسید [۲۶]. در واقع الگوریتم‌های این گروه سعی در برآزش یک مدل مشخص به کل داده می‌باشند. این الگوریتم‌ها در مناطقی که شکل سقف‌ها مشابه است و می‌توان یک مدل عمومی برای ساختمان‌ها پیشنهاد کرد، مناسب می‌باشند. در این روش هر مدل به عنوان یک فرض بر روی داده امتحان می‌شود و در صورت رد شدن، مدل بعدی امتحان می‌گردد. معیار این فرض معمولاً یک معیار ریاضی مانند برآزش داده به صورت کمترین مربعات می‌باشد. حسن این روشها، سادگی اجرا و درک آسان آن می‌باشد و برای ساختمان‌های مشخص در مناطق مشخص (خصوصاً اروپا) بسیار خوب جواب می‌دهد. در مدل‌سازی داده مبنا یا همان مدل‌سازی عام، چندین زیرمدل شامل مدل‌های منشوری و مدل‌های چند وجهی وجود دارد [۵]. این گروه از روشهای مدل‌سازی، عموماً دو مرحله‌ای هستند. در مرحله اول اشیا پایه مربوطه (عموماً خطوط یا صفحات ساختمان‌ها) استخراج می‌گردند و در مرحله دوم این اشیا با یکدیگر ترکیب و مدل نهایی با توپولوژی مربوطه ساخته خواهد شد. حسن این روش‌ها عدم تقید مدل‌سازی به نوع خاصی از ساختمان‌ها می‌باشد. عموماً دقت این روش‌ها بالاتر اما در اجزا نیز پیچیده تر می‌باشند. همچنین هزینه محاسباتی در این روشها بسیار بالاست.

استخراج عوارض مبنایی

پس از انتخاب مدل، استخراج عوارض مبنایی، در مدل‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار است. انتخاب و جدا کردن این عوارض و مشخص نمودن موقعیت فضایی عوارض فوق در داده مد نظر مهمترین بخش در این قسمت می‌باشد. در داده‌های تصویری عوارض فوق، لبه‌های اشیا به صورت دو بعدی و یا سه بعدی می‌باشد. در داده‌های لیدار عوارض استخراجی عموماً صفحات تشکیل دهنده وجوه ساختمان می‌باشد [۲۱].

ساختاردهی و گروه‌بندی

ساختاردهی و گروه‌بندی داده‌ها، یک بخش بسیار دشوار دیگر در فرآیند بازسازی سه بعدی ساختمان، است. عمل ساختاردهی اساساً عبارت از ایجاد روابط همجواری، برای مثال توپولوژی بین بخش‌های مختلف یک ساختمان و سازماندهی و نمایش آنها در یک شکل و فرم مناسب به منظور ایجاد فرضیه‌های ساختمانی می‌باشد [24]. با استخراج اشیاء سه بعدی از درون مجموعه داده، مدل‌سازی هندسی و ساختاردهی آنها به صورت سه بعدی در کنار اعمال قیود هندسی سه بعدی مبتنی بر دانش خاص مساله انجام می‌شود.

منابع مختلف داده در بازسازی مدل سه‌بعدی ساختمان

برای چندین دهه، استفاده از عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای تنها انتخاب متخصصین برای بازسازی مدل ساختمان‌ها و تهیه مدل سه بعدی شهرها بود [۲۷]. در واقع تا سال‌های اخیر فتوگرامتری هوایی روشی مناسب برای بدست آوردن اطلاعات سه بعدی از سطح زمین بود [۶]. بازسازی ساختمان‌ها با استفاده صرف از تصاویر رقومی (هوایی و ماهواره‌ای) به عنوان تنها منبع داده، یک مسئله چالش برانگیز و پیچیده می‌باشد. از دهه ۱۹۸۰ میلادی با توسعه الگوریتم‌هایی که در زمینه تناظریابی تصاویر رقومی برای تولید مدل رقومی زمین^۱ (DTM) صورت پذیرفت، پیشرفت‌هایی در این زمینه حاصل شد. روش‌های ارائه شده اغلب در مناطق شهری با ساختمان‌های مرتفع و لبه‌های تیز، به نتایج قابل قبولی نمی‌رسید. همچنین این روشها وابستگی شدیدی به کیفیت تصاویر اخذ شده و درجه سایه روشن بین عوارض همسایه در یک ناحیه از تصویر دارند. پیچیدگی فرآیند بازسازی را می‌توان با ترکیب تصاویر رقومی و دیگر منابع داده تسهیل نمود [۵]. روش‌های مختلفی از سوی محققین و متخصصین در این زمینه ارائه شده است. این روش را در یک تقسیم‌بندی می‌توان به روشهای تک سنجنده ای و روشهای چند سنجنده ای تقسیم نمود. در روش‌های تک سنجنده ای تنها از یک منبع داده اولیه، برای

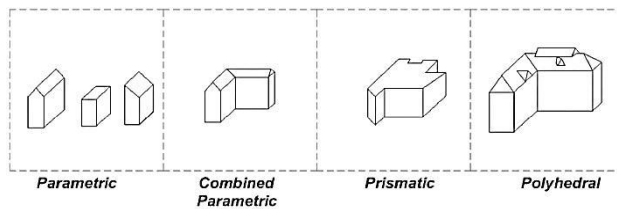
بازسازی سه بعدی ساختمان‌ها استفاده می‌گردد. حسن این روشها سرعت عمل بالا و سادگی محاسبات می‌باشد. در روشهای چند سنجنده ای، اطلاعات سنجنده های گوناگون در سطوح مختلف ادغام با یکدیگر تلفیق شده و باعث بالا رفتن دقت و درجه اعتماد پذیری نتایج می‌گردد. منابع اصلی در بازسازی ساختمان را می‌توان به دو دسته «منابع تصویری» و «داده های لیدار» تقسیم نمود. بقیه منابع عمدتاً از تلفیق این دو دسته و یا استفاده از اطلاعات کمکی به همراه هر دسته، تشکیل شده اند. استفاده از تصویر از دیرباز در فتوگرامتری و سنجنش از دور، کاربردهای فراوانی داشته است. مسئله بازسازی سه بعدی ساختمان نیز از این امر مستثنی نیست. اما در خلال دهه ۱۹۹۰ با معرفی تکنولوژی لیزر اسکنر هوایی به جامعه مهندسی ژئوماتیک و پیشرفت های چشمگیر در راستای ساخت و توسعه اسکنرهای لیزری، بسیاری از کاربردها در زمینه مهندسی ژئوماتیک دچار تغییر و تحول بنیادی گشت. همزمان اسکنر لیزری در زمین مرجع کردن مستقیم به عنوان روشی کارا و دقیق به کار گرفته شد. در جدول ۱ مقایسه بین قابلیت داده های لیدار و تصاویر هوایی، در بازسازی مدل ساختمان نشان داده شده است.

جدول ۱- معایب و مزایای لیدار و تصاویر هوایی در بازسازی مدل ساختمان

مشکلات و محدودیت‌ها	فواید	نوع داده
اطلاعات تکراری به شدت بالا درجه پایین خودکار سازی وجود مناطق مخفی تناظر بایی جفت عکس و مشکلات آن عدم توانایی در ارائه اطلاعات سطحی	اطلاعات تکراری به شدت بالا دقت نسبتا بالا در هر دو مولفه H و V رسیدن به اطلاعات صحنه مورد سنجنش قابلیت بالا در شناسایی مرزها و لبه‌ها قابلیت بالا در نقاط ناپیوستگی	تصاویر هوایی
دقت پلاتیمتری پایین نواحی با کمبود اطلاعات توانایی پایین در نمایش لبه‌ها و شکستگیها و عوارض خطی	درجه خودکار سازی بالا استفاده از تحلیل شکل موج قابلیت بالا در ارائه اطلاعات سطحی	داده‌های لیدار

مدل‌های ساختمانی

فورسترن^۱ در سال ۱۹۹۹ مدل‌های ساختمانی را تعریف و دسته بندی نمود [۵] این تقسیم‌بندی بر مبنای پیچیدگی این مدل‌ها، انجام گرفته است. در شکل ۴ این تقسیم بندی قابل مشاهده است. در این بین مدل‌های پارامتریک و پرزماتیک^۲ معمولاً به صورت عمومی تری تعریف می‌گردند. در اغلب موارد سعی می‌گردد مدل ساختمان‌های پیچیده به اشکال از پیش مشخص و یا بلوک‌هایی با ارتفاع یکسان کاهش داده شوند.



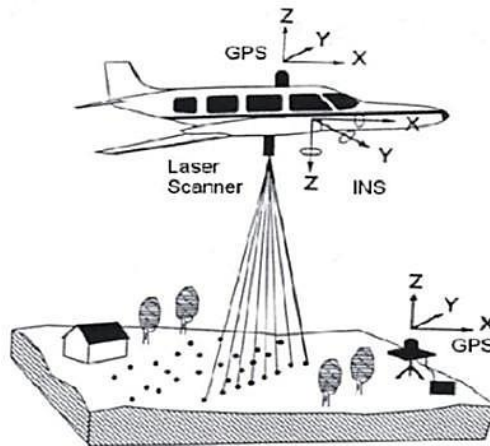
شکل ۴ - کلاس‌های مختلف ساختمان‌ها بر اساس [۲۸]

مدل‌های چند وجهی ساختمان پیچیدگی بیشتری دارند. خصوصیت اصلی سقف، قابل مشاهده بودن آن است. به هر حال در این روش‌ها قسمت‌های غیر ضروری سقف مانند دودکش و... در نظر گرفته نمی‌شوند. همه مدل‌های ساختمان چند فرض اولیه و ساده را دنبال می‌کنند:

- سقف‌ها و دیوارها صفحات تختی هستند.
 - شیارها و به همین ترتیب لبه‌ها یک سری خطوط افقی می‌باشند.
 - شیب سقف‌ها از ۷۵ درجه تجاوز نمی‌کند.
- معمولاً یک مدل ساختمانی به وسیله لبه‌ها، خطوط و یا صفحات ساخته شود، با استفاده از خطوط و رئوس یک اسکلت از ساختمان بدست می‌آید، که با نام مدل سیمی یا (wire-Frame) نیز شناخته می‌شود. خطوط و رئوس می‌توانند با یکدیگر ترکیب و تشکیل پلیگون‌های ساختمان را دهند. مدل ساختمانی که به وسیله سطوح و رئوس نمایش داده می‌شود یک مدل سطحی است.

اصول اولیه لیزر اسکنرهای هوایی

لیزر اسکنرهای هوایی^۱ که از آن با نام لیدار^۲ نیز یاد می شود، تقریباً دو دهه پیش به صورت ابتدایی وارد کاربردهای فتوگرامتری شدند. سیستمی که بر مبنای سنجش از دور فعال به اندازه گیری زمان ارسال و برگشت موج از لیزر بیم^۳ تا سطح جسم روی سطح زمین می پردازد. لیزر بیم یا همان پرتوافکن لیزر به صورت مستقیم در جهت عمود بر جهت پرواز به مثابه یک آینه دوران کننده، مورد استفاده قرار می گیرد. مختصات نقاط روی زمین که به وسیله پرتوافکن لیزر مورد اصابت قرار می گیرند، با در نظر گرفتن زمان رفت و برگشت سیگنال، موقعیت آینه در سیستم موقعیت جهانی^۴ و سیستم ناوبری مانا^۵، محاسبه می گردد. شکل ۵ ارتباط بین این اجزا را نشان می دهد.



شکل ۵: اصول لیزر اسکنر هوایی مطابق [۲۹]

در [۸] اولین خلاصه مدون از قابلیت های اسکنر لیزری هوایی آورده شده است. در هنگام استفاده از تکنیک لیدار، با استفاده از یک نمونه برداری ارتفاعی متناوب، مجموعه داده ارتفاعی با چگالی بالا، تولید می شود [۳۰]. مهمترین کاربرد اسکنر لیزری تولید مدل رقومی زمینی DTM می باشد.

- 1- Aerial Laser Scanner
- 2- LiDAR (Light Detection and Ranging)
- 3- Laser Beam
- 4- GPS (Global Positioning System)
- 5- INS (Inertial Navigation system)

نتیجه گیری و جمع بندی

بازسازی و تولید مدل سه بعدی ساختمان، به دلیل طیف وسیع کاربردها در زمینه های مختلف اعم از برنامه ریزی شهری، مهندسی عمران، سیستمهای اطلاعات مکانی، مدیریت بحران، آشکارسازی تغییرات و غیره، به یکی از موضوعات مورد علاقه در سطح جهان بدل شده است. از آنجا که رقومی سازی و بازسازی سه بعدی سطح اجسام به صورت دستی، کاری پر هزینه و زمان بر می باشد. از این رو توسعه الگوریتم های استخراج و بازسازی خودکار عوارض از اهمیت ویژه ای در علوم مهندسی ژئوماتیک برخوردار است. از سوی دیگر استفاده از لیدار به عنوان یک تکنولوژی نسبتاً جدید برای اخذ داده پایه در تولید مدل سه بعدی شهری و مدل سطح زمین، بسیاری از محققین را به توسعه الگوریتم های کاملاً خودکار در این زمینه، ترغیب نموده است. مهمترین مزیت سنجنده لیدار نسبت به دیگر سنجنده ها امکان خودکار سازی پردازشها و الگوریتم های استخراج و بازسازی عوارض، از داده های حاصله می باشد. همین امر باعث شده است بازسازی خودکار مدل سه بعدی ساختمان با استفاده از داده های لیدار، زمینه بسیاری از تحقیقات انجام گرفته در سال های اخیر باشد. پردازش حجم زیاد داده، ناتوانی در نمایش لبه ها به صورت آشکار و نبود تعبیری صریح از مولفه بافتی، از مهمترین چالشهای مطرح در این رابطه می باشند.

در این مقاله روش های مختلف بازسازی سه بعدی ساختمان بررسی و ارزیابی گردید. بازسازی ساختمان به وسیله داده های سنجنش از دور به ویژه داده های لیزر اسکنر هوایی یکی از زمینه های تحقیقی پر چالش بین متخصصین مهندسی ژئوماتیک می باشد و با توسعه لیدار و ابر نقاط مربوط به آن شاهد پیشرفت های چشمگیری در این زمینه خواهیم بود.

مراجع

- [1] R. Ma, "Building model reconstruction from LiDAR data and aerial photographs," The Ohio State University, Geodetic Science, 2004.

- [2] A. D. Hofmann, "An Approach to 3D Building Model Reconstruction from Airborne Laser Scanner Data Using Parameter Space Analysis and Fusion of Primitives," Munchen University, Geodesy Commission, 2007.
- [3] S. O. Elbernik and H. G. Mass, "The use of anisotropic height texture measurements for the segmentation of airborne laser scanner data," presented at the IAPRS, Amsterdam, 2000, vol. 33.
- [4] M. Kabolizade, H. Ebadi, and A. Mohammadzadeh, "Design and implementation of an algorithm for automatic 3D reconstruction of building models using genetic algorithm," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, pp. 104–114, 2012.
- [5] W. Forstner, "3D-City Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods," presented at the Photogrammetrische Woche, 1999.
- [6] C. Brenner, "Building reconstruction from images and laser scanning," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 6, pp. 187–197, 2005.
- [7] F. Rottensteiner and J. Jansa, "Automatic extraction of buildings from lidar data and aerial images," pp. 569–574, 2002.
- [8] F. Ackerman, "Airborne laser scanning - present status and future expectations," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 54, pp. 64–67, 1999.
- [9] M. Hebel, "Pre-classification of points and segmentation of urban objects by scan line analysis of airborne lidar data," *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Science*, vol. XXXVII, 2008.
- [10] T. Rabbani, S. Dijkman, F. Heuvel, and G. Vosselman, "An Integrated Approach for Modelling and Global Registration of Point Clouds," pp. 355–370, 2007.
- [11] MacIntosh and Kurpnik, "Integration of laser-derived DSMs and matched image edges for generating an accurate surface model," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 56, pp. 167–176, 2002.
- [12] C. Jaynes, E. Riseman, and A. Hanson, "Recognition and reconstruction of buildings from multiple aerial images," *Computer Vision and Image Understanding Journal*, vol. 90, pp. 68–98, 2003.
- [13] S. O. Elbernik, "Problem in automated building reconstruction based on dense airborne laser scanner data," presented at the The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, 2008, vol. XXXVII.
- [14] T. Schenk and B. Csathó, "Fusing Imagery and 3D Point Clouds for Reconstructing Visible Surfaces of Urban Scenes," presented at the

EEE GRSS/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, 2007.

[15] A. Zakhor and C. Frueh, "Constructing 3D city models by merging ground-based and airborne views," presented at the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003.

[16] C. Nardinocchi, M. Scaioni, and G. Forlani, "Building extraction from LIDAR data," presented at the IEEE/ISPRS Joint workshop on remote sensing and data fusion over urban areas, 2001, pp. 79–83.

[17] A. Alharty and J. Bethel, "Heuristic filtering and 3D feature extraction from lidar data," *IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Science*, vol. 34, pp. 23–28, 2002.

[18] A. F. Elaksher and J. Bethel, "Reconstructing 3D buildings from LIDAR data," *IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Science*, vol. 34, pp. 102–106, 2002.

[19] I. Lee, J. Park, Y. Choi, and Y. J. Lee, "Automatic extraction of large complex building using lidar data and digital maps," *IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Science*, 2006.

[20] G. Vosselman and S. Dijkman, "3D building model reconstruction from point clouds and ground plans," *IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 34, pp. 37–43, 2001.

[21] H. G. Mass, "Methods for measuring height and planimetry discrepancies in airborne laserscanner data," *PE&RS Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 68, pp. 933–940, 1999.

[22] S. . Lodha, "Semi automatic roof reconstruction from aerial LiDAR data using K-means with refined seeding," presented at the ASPRS 2005 Annual Conference "Geospatial Goes Global: From Your Neighborhood to the Whole Planet, Baltimore, Maryland, 2005.

[23] M. Kabolizade, H. Ebadi, and A. Mohammadzadeh, "Design and implementation of an algorithm for automatic 3D reconstruction of building models using genetic algorithm," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, pp. 104–114, 2012.

[24] ف. صمدزادگان، "استخراج اتوماتیک عوارض و بازسازی آنها بر مبنای مفاهیم هوش مصنوعی و تئوری ادغام،" پایان نامه دکتری، گروه مهندسی ژئوماتیک دانشکده مهندسی تهران،

- [25] H. G. Mass and G. Vosselman, "Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 54, pp. 153–163, 1999.
- [26] C. Lin, A. Huertas, and R. Nevatia, "Detection of buildings from monocular image," in *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images*, Agouris, 1995.
- [27] A. Alharty and J. Bethel, "Detailed building reconstruction from airborne laser scanner data using a moving surface method," *IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 34, pp. 213–219, 2004.
- [28] C. Brenner, "Towards fully automatic generation of city models," *IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Science*, vol. 34, pp. 169–174, 2000.
- [29] M. Flood and B. Gutelius, "Commercial Implication of Topographic Terrain Mapping Using Scanning Airborne Laser Radar," vol. 63, p. 327ff, 1997.
- [30] E. P. Baltsavias, "Airborne laser scanning: basic relations and formulas," *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 54, pp. 199–214, 1999.