بررسی روشهای استخراج ساختمان در مناطق شهری با استفاده از داده های لیدار

مرتضی اسدی1، مسعود ورشوساز2، سعید صادقیان3

1 دانشجوی کاشناسی ارشد رشته فتوگرامتری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، morteza_set@yahoo.com

2 استادیار گروه فتوگرامتری، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، varshosazm@yahoo.com

3 رئیس آموزشکده سازمان نقشه برداری کشور، سازمان نقشه برداری، sadeghian@ncc.neda.net.ir

آدرس: تهران- خیابان ولیعصر- دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی- دانشکده نقشه برداری- گروه فتوگرامتری-تلفن:02188770218

چکیده:

کشف و استخراج عوارض(ساختمان ها) در مناطق شهری از دو جهت حائز اهمیت است: اولاً: کشف و حذف ساختمان از اطلاعات شهری جهت تهیه DTM[1] و ثانیاً: کشف و استخراج ساختمان ها جهت بازسازی ساختمان ها و تهیه مدل رقومی سطح (DSM[2]). لیزر اسکنر هوایی (لیدار[3])، ابزاری است که با توجه به خصوصیات و ویژگی های آن، با سرعت و دقت مناسب مستقیماً اطلاعات ساختار هندسی سطوح عوارض را برداشت می کند. روشهای کشف ساختمان عموماً مبتنی بر فیلترینگ بوده و فیلترهای شیب مبنا و مورفولوژیکال، در این موارد مناسبتر هستند. در روند استخراج ساختمان دو روش عمده مطرح می گردد. در روش اول با استفاده از داده های کمکی (عکس هوایی، نقشه موجود و ...) اقدام به استخراج عوارض میگردد، در روش دوم بدون بهره گیری از داده کمکی، فقط براساس داده های لیدار، استخراج ساختمان صورت می گیرد. در این مقاله پس از بررسی چندین روش متداول در این زمینه و مقایسه آنها، نتیجه می شود که توابع بیز به عنوان روشی مناسب، جهت هر نوع بافت منطقه و داده ای میباشد. همچنین توصیه می گردد از تلفیق تکنیکهای گوناگون (نظیر توابع بیز و داده های شدت موج بازگشتی) در یک تحلیل فازی، به عنوان روشی مطمئن در خودکار سازی استخراج عوارض شهری، استفاده گردد.

واژگان کلیدی: استخراج ساختمان، انحراف معیار اصلاحی، تشخیص ساختمان، توابع بیز ، فیلترینگ، لیدار، مدلهای پایه

1- مقدمه:

اطلاعات هندسی از ساختار محیط پایه و اساس تمام مطالعات مهندسی و مدیریت و ..... می باشد. این اطلاعات به طرق مختلف قابل دستیابی است. دسترسی سریع و ارزان به این اطلاعات یکی از عوامل تسریع پیشرفتهای اخیر در روشهای فتوگرامتری و سنجش از دور در این زمینه می باشد. لیدار تکنولوژی است که امکان تهیه سریع و دقیق اطلاعات سه بعدی ساختاری را فراهم می آورد و در قیاس با تکنولوژی های مشابه فعلی، دارای هزینه کمتری میباشد[1]. لیدار با برداشت پر حجم نقاط سه بعدی از سطوح عوارض، امکان اتوماسیون در این زمینه را تا حد بسیار مطلوبی بهبود بخشیده است. تهیه سریع مدلهای سه بعدی شهری، نیاز به تشخیص و کشف عوارض

[1] Digital Terrain Model
[2] Digital Surface Model
[3] LIght Detection And Ranging(LIDAR)

تشکیل دهنده آن و تفکیک آنها دارد. ساختمان یکی از اساسی ترین عناصر شهری است که با کشف آن بقیه اجزاء محیط شهری اعم از شبکه معابر و زمینهای طبیعی قابل شناسایی میشوند. در این راستا تشخیص و شناسایی خودکار ساختمانها و مرزهای پیرامونی آن اولین قدم در روند اتوماسیون بازسازی مدلهای شهری میباشد که این کشف و شناسایی از دو جهت حائز اهمیت است: اولاً، کشف و حذف ساختمان از اطلاعات شهری جهت تهیه DTM و ثانیاً، کشف و بازسازی ساختمانها جهت تهیه مدل رقومی سطح (DSM) در این مقاله سعی بر شناخت روشهای کشف و استخراج ساختمان ها و مرزهای آنها از اطلاعات لیدار میباشد. در این راستا در ادامه سه بخش کلی مطرح می گردد. پس از مقدمه، در بخش دوم جهت آشنایی با سیستم لیدار و داده های آن و آماده سازی داده ها جهت پردازش (به منظور کشف ساختمان) مطالب مختصری ارائه می گردد. در بخش سوم، پردازش داده های لیدار به منظور تشخیص ساختمان که عموماً مبتنی بر تکنیکهای فیلترینگ می باشد مطرح می گردد. اطلاعات خروجی این مرحله (که معمولاً در دو بخش زمینی و غیر زمینی تفکیک شده اند) در بخش چهارم، که روشهای خاص استخراج ساختمان بیان می گردد، وارد شده و مرزها پیرامونی ساختمان ها استخراج می شود، و در انتها نیز به جمع بندی و نتیجه گیری و پیشنهادی در این زمینه پرداخته می شود.

2- آشنائی با سیستم لیدار

در این بخش جهت آشنایی مقدماتی با سیستم لیدار، داده و آماده سازی داده لیدار، به عنوان پیش نیاز بخش تشخیص عارضه مطالب مختصری در این رابطه، ارائه خواهد شد.

لیدار تکنولوژی است که با بهره گیری از امواج لیزر و تکنیکهای تعیین موقعیت و توجیه دورانی سیستم پرواز، توانائی ارائه همزمان و سریع مختصات سه بعدی از سطح عوارض تحت پوشش خود را دارد. این سیستم، از نوع سنجیده های فعال (بدون نیاز به منبع انرژی خارجی) است که در هر شرایط آب و هوایی و تمام ساعات شبانه روز قادر به فعالیت میباشد. سیستم لیدار از ترکیب سه تکنولوژی ذیل تشکیل شده است:

سیستم اسکن لیزری، جهت اندازه گیری طول پالس لیزر

سیستم تعیین موقعیت تفاضلی دینامیک، جهت تعیین موقعیت آنی مرکز اسکن

سیستم اندازه گیری اینرسی، جهت تعیین آنی زوایای دورانی مرکز اسکن

مجموعه سه سخت افزار فوق به صورت یکپارچه در یک مجموعه مستحکم با موقعیت نسبی دقیق می باشد. این سیستم دارای اجزاء فرعی نظیر: کامپیوتر- حافظه جانبی و اجزاء اختیاری نظیر دوربین دیجیتال نیز میباشد[2].

مجموعه داده های لیدار عبارتند از نقاط دارای سه موقعیت، یک زمان ثبت واحد و شدت موج بازگشتی میباشد. به علت تفاوت اشیاء زمینی در مواد، ترکیبات و ارتفاع آنها، انعکاسات متعدد از یک پالس ممکن است به دست آید. اگر سیگنال لیزری ارسال شده به سطح سختی مانند سطح زمینی و ساختمان برخورد کند، فقط یک بازگشت وجود دارد و اگر پالس لیزری به سطوح تنک و نرم مانند شاخ و برگ گیاهان یا مرز بامهای ساختمان برخورد کند، حداقل دو بازگشت ثبت میشود. یکی از روی درخت و دیگری از سطح زمین ثبت میشود. بنابراین اولین پالس بازگشتی بیشتر نشان دهنده گیاهان (مناطق پرنویز) است ودر محصولات اورتوفتو و گیاه شناسی و جنگلداری کاربرد دارد و پالسهای بازگشتی دوم برای کاربردهای اندازه گیری زمینی و DTM و DSM کاربرد دارد. این نقاط دارای دقت

ارتفاعی 0/15 تا 0/25 متر و دقت مسطحاتی 1 تا 0/3 متر (در ارتفاع پرواز کمتر از دو کیلومتر) و تراکم یک نقطه در مترمربع (یا بیشتر) میباشند [3]. شدت موج بازگشتی هم میتواند اطلاعات طیفی ضعیفی از محیط منعکس کند که با توجه به طول موج آن، شبیه مادون قرمز می باشد که در آن گیاهان تقریباً روشن (با انعکاس حدود 60٪) و زمین و آسفالت تیره (با انعکاس حدود 20٪) و صحنه های آبی بدون انعکاس میباشند[4].

آماده سازی اطلاعات لیدار اصولاً شامل دو بخش عمده میباشد، در ابتدا پیش پردازش داده های خام جهت حصول اطمینان از صحت داده ها و حذف مشاهدات اشتباه (ناشی از خطا یا نویز) و حذف مشاهداتی که به توپو گرافی منطقه تعلق ندارند (اشیا متحرک ناخواسته مثل پرندگان و هواپیما و...) با اعمال قیودی به داده ها، صورت می گیرد. سپس جهت سهولت ذخیره نقاط و برنامه نویسی و پردازش نقاط، باید داده های نامنظم لیدار را به داده های منظم (شبکه ای) تبدیل کرد (ساختار دهی داده ها). در این راستا دو پارامتر را باید تعیین کرد، فاصله نقاط شبکه (با توجه به تراکم نقاط لیزر تعیین می شود) و مقدار نقاط شبکه، که با استفاده از روشهای درون یابی داده ها (با توجه به هدف پردازش، روش را میتوان انتخاب کرد) بدست می آید[5]. پس از آماده سازی داده های خام، پردازش های اصلی روی داده ها به منظور تشخیص عوارض (ساختمان) صورت می گیرد.

3- پردازش داده های لیدار به منظور کشف عوارض شهری (ساختمان)

در این مرحله داده های آماده سازی شده مرحله قبل به منظور کشف و تشخیص عوارض ساختمانی مورد پردازش قرار میگرد. این پردازش ها عمدتاً مبتنی بر فیلترینگ داده ها می باشند. در فیلترینگ، ابتدا داده ها به دو بخش عمده تقسیم بندی میشوند: داده های زمینی و داده های غیر زمینی. داده های زمینی؛ شامل نقاط زمین طبیعی و نقاط زمینی غیر از عوارض دست ساز آن (در مناطق شهری) میباشند این داده ها عموماً در تهیه DTM به کار برده میشوند، تفکیک عوارض جزئی تر مانند رودخانه، خطوط شکست و .... در مراحل بعدی فیلترینگ یا طبقه بندی صورت می گیرد. داده های غیر زمینی؛ بسیار متنوع بوده ودر مناطق شهری به سه نوع خاص تقسیم بندی میشوند: درختان(و گیاهان) ؛ ساختمانها و نقاط طبقه بندی نشده کوچک (ماشین ها، خطوط انتقال نیرو و ...).پس از فیلترینگ، داده های کشف شده، قطعه بندی می شود (مناطق یکنواخت بهم پیوسته تشکیل می گردد) و سپس قطعات یکنواخت، طبقه بندی می شوند (بر اساس خصوصیت آنها ویا مقایسه با نمونه های آموزشی). حال مرزهای پیرامونی و محیط مناطق ساختمانی تشخیص داده شده، در مرحله بعد، استخراج می گردند. در ادامه اساسی ترین بخش این پروسه (فیلترینگ)، تشریح می گردد.

3-1-فیلترینگ: فیلترها از یک سری مفروضات در مورد ساختار نقاط سطح زمین در یک همسایگی محلی استفاده میکنند و با پیش فرض گرفتن یک معیار ناپیوستگی، فضا را به بخشهایی تقسیم بندی میکنند. مبنای این معیارهای ناپیوستگی میتواند پارامترهایی نظیر ارتفاع، اختلاف ارتفاع، شیب، کوتاهترین فاصله به سطوح TIN[1] یا سطوح پارامتر یک، مساحت، شکل هندسی، رابطه توپولوژیکی یا هندسی خاص یا ترکیبی از آنها باشد. بر این اساس ساختار فیلترها را میتوان به چها ر دسته کلی تقسیم بندی کرد[6]:

[1] Triangulation Irregular Network

- **فیلترهای بر مبنای شیب:** در این فیلترها، شیب یا اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه گیری شده و اگر شیب از حد آستانه تعریف شده ای بیشتر باشد بالاترین نقطه در طبقه آن جسم خاص قرار می گیرد.
- **فیلترهای بر مبنای کمترین بلوک:** در این فیلتر، تابع تشخیص یک صفحه افقی و یک ناحیه حائل بالای آن است. صفحه و ناحیه حائل، نقاطی از فضا را شامل میشوند که به سطح زمین مربوط میشود نقاط خارج آن به سطح غیر زمینی تعلق دارند.
- **فیلترهای بر مبنای سطح:** این فیلترها به فیلترهای برازش سطح موسومند. در این الگوریتم ها یک صفحه پارامتریک و ناحیه حائل بالای آن تعریف میشود و نقاط شامل سطح و ناحیه حائل آن به سطح زمین تعلق دارند و نقاط خارج آن به سطح غیر زمینی تعلق دارند.
- **فیلترهای قطعه بندی:** فرض این فیلتر ها این است که نقاط دسته بندی شده در یک قطعه به یک شی تعلق دارند این فیلترها براساس قیود و شرایط حدی خاصی تقسیم بندی را انجام میدهند.

3-2- بررسی چند روش عمده در فیلترینگ داده های لیدار[3].

در این قسمت جهت آشنایی با عملکرد فیلترها چند روش مختلف در این زمینه بررسی می گردد.

- **فیلتر Sohn**- این فیلتر از دو مرحله، متراکم سازی رو به پایین(که یک تقریب اولیه از سطح زمینی حاصل می شود) و متراکم سازی رو به بالا(که TIN اولیه درمرحله قبلی بهینه میگردد و با لحاظ یک منطقه حائل بعمق ΔH ، نقاط زمینی در نظر گرفته می شوند). با تکرار در نهایت DTM سطح زمینی بدست میآید.
- **فیلتر Wack**- این فلیتر بر مبنای داده های منظم کار میکند. المان شبکه ای عوارض با یک روش سلسله مراتبی بر مبنای کمترین بلوک مشخص میشود. در مرحله اول یک مدل رقومی ارتفاعی با تنک(با فواصل 9 متری) از ابر نقاط اولیه تولید میشود (اکثر ساختمانها و عوارض گیاهی در این مرحله مشکل ساز نمی شود).. با فرض اینکه تمام عوارض غیر زمینی دارای تغییرات ارتفاعی شدید هستند، با اعمال عملگر لاپلاسین گوسین(LOG) بر مدل رقومی ارتفاعی 9 متری، این عوارض حذف میشوند. این مدل رقومی 9 متری، مبنای محاسبه مدل رقومی 3 متری و متراکم تر(1 متری) می شود، تا تمام نقاط غیر زمینی حذف شوند.
- **فیلتر Sithole & Vosselman**- این فیلتر از جمله فیلترهای شیب مبنا و مورفولوژیکال میباشد. فیلترهای مورفوژیکال، با حرکت یک مولفه ساختاری برداده ها عمل میکنند. یک مولفه ساختاری با ابعاد و شیب مشخص که میتواند متغییر باشد، طرح میگردد. پارامترهای مولفه ساختاری (ابعاد) میتواند با توجه به ابعاد کوچکتری عارضه که باید حذف شود و (شیب) نیز با توجه به نقشه گرادیان که از داده های خام تهیه میشود، طرح گردند. این مولفه ساختاری روی تک تک نقاط حرکت کرده و نزدیکترین نقطه به آن از نظر ارتفاعی، (غیر از نقطه مرکزی) به عنوان نقطه زمینی در نظر گرفته میشود.
- **فیلتر Pfeifer & Briese** – این فیلتر بر مبنای تعریف یک سطح پارامتریک می باشد. ابتدا یک سطح اولیه روی نقاط موجود تعریف میشود و سپس فاصله عمودی نقاط تا این سطح، توسط یک تابع وزن دهی میشود. حال با استفاده از تابع وزن (که تاثیر نقاط را وزن دار تاثیر میدهد) سطح جدیدی تعریف میشود که

به نقاط با ارتفاع کمتر، نزدیکتر میشود. بعد از چندین تکرار به سطحی میرسیم که تابع وزن تاثیری در سطح جدید نمی گذارد.

- **فیلتر Axelsson** – در این فیلتر ابتدا با استفاده از حداقل همسایه ها، یک TIN تشکیل میشود و سپس با استفاده از ابر نقاط لیزری، در چند مرحله متراکم تر میشود. در هر مرحله، هر نقطه ای که در حدود آستانه تعریف شده قرار گیرد، به TIN اضافه میشود. پارامترهائی که برای آنها حد آستانه تعریف میشود. زاویه ای است که هر نقطه با صفحات TIN میسازد و فاصله تا نزدیکترین سطح است. در پایان هر مرحله، TIN و حدود آستانه مجدداً محاسبه میشود. این فرآیند تکراری آنقدر ادامه می یابد تا هیچ نقطه ای پایین تر از حد آستانه قرار نداشته باشد. مهمترین مزیت این الگوریتم در توانائی آن در مواجهه با سطوحی است که ناپیوستگی های زیادی دارد. این خاصیت الگوریتم یک ویژگی مهم در مناطق شهری است.

4- روشهای تشخیص و استخراج ساختمان در داده های لیدار

با اعمال تحلیل هایی (فیلترینگ) روی داده های غیر زمینی میتوان عوارض ساختمانی را تشخیص داد و با بخش بندی و طبقه بندی داده ها به پیکسلهای شامل عوارض ساختمانی رسید. سپس در مرحله استخراج، اقدام به تعیین مرزهای پیرامونی ساختمان و تعیین پلان یا جانمائی ساختمان در روی زمین می شود. پس از آن میتوان به بازسازی مدل سه بعدی بنا پرداخت که در این به آن پرداخته نمی شود. در یک تقسیم بندی کلی روشهای تشخیص و استخراج ساختمان به کمک داده های لیدار را میتوان به دو بخش تقسیم کرد:

4-1- روشهای کشف و استخراج ساختمان به کمک داده های لیدار و داده های کمکی

در این روشها علاوه بر داده های لیدار از داده های دیگر جهت کمک در روشهای تحلیلی بهره گرفته میشود. این روشها با توجه به نوع داده کمکی به چهار بخش کلی تقسیم بندی میگردد:

- **استفاده از اطلاعات شدت موج بازگشتی:**شدت موج بازگشتی مانند یک تصویر رادیومتریک ضعیف و با توجه به محدوده طول موج پالسهای لیدار، همانند امواج مادون قرمز، بازتابی از محیط ارائه میدهد [4]، که در کنار داده های ساختار هندسی (مختصات سه بعدی) لیدار میتواند اطلاعاتی از بافت محیط ارائه دهد. بنابراین برای هر یک از اجزاء محیط دو مشخصه ساختاری (هندسی) و بافتی قابل بیان می باشد.

در روشی بر این مبنا که توسط صمدزادگان [7]، ارائه شده است، سیستمی فازی مشتعل به دو مرحله استخراج و تشخیص عوارض سه بعدی با منطق فازی پیاده سازی شده است.

- **استفاده از نقشه های دو بعدی موجود:** در این روش محدوده مسطحاتی عوارض و ساختمانها از نقشه های CAD[1] یا GIS[2] تعیین میگردد و در بازسازی این عوارض از داده های ارتفاعی لیدار استفاده میشود[8].

[1] Computer Aides Design
[2] Geographic Information System

- **استفاده از تصاویر هوائی:** در این روش تشخیص و کشف ساختمان از تصاویر هوایی به دست آمده و مدل سازی سه بعدی بامها از داده های ارتفاعی لیدار به دست می آید. موقعیت دقیق دیوارهای ساختمانها با ترکیب داده های لیدار و لبه های استخراج شده از تصاویر طیفی به دست می آید [9].
- **استفاده از داده های DTM منطقه:** در این روش DTM موجود منطقه و مدل رقومی حاصل از داده های ارتفاعی لیدار با قدرت تفکیک یکسان بازنویسی میشود و در یک سیستم یکسان قرار می گیرند. با ایجاد یک شبکه منظم یکسان از داده های دو مجموعه فوق، میتوان با تفاضل نقاط ارتفاعی مشابه به ارتفاعات نرمال شده منطقه رسید. این ارتفاعات نرمال شده در مناطق زمینی صفر و یا حدود صفر میباشند (در حد دقت سیستم جمع آوری داده لیدار) و در مناطق با عوارض غیر زمینی، برابر ارتفاع نسبی آن عوارض میباشد و بدین ترتیب میتوان به کشف و تشخیص عوارض پرداخت [4].

4-2- روشهای کشف و استخراج ساختمان بدون داده کمکی (فقط به کمک داده لیدار)

این روشها تنها مبتنی بر داده های لیدار می باشند و بدون داده کمکی در روشهای تحلیلی به تشخیص عوارض شهری(ساختمانها) می پردازند. این روشها را براساس مبنای آنالیز آنها میتوان به چندین بخش تقسیم بندی کرد:

4-2-1- روشهای تحلیل واریانس: در این روشها از تحلیل واریانس و اجزاء آن به مشخصه های هندسی و آماری عوارض پی برده میشود.در این راستا دو روش عمده مطرح میگردد:

- **روش تحلیل تفاضل پالس اولیه و ثانویه و تحلیل آماری**

این روش توسط Alharthy [10]، بیان گردید که ابتدا داده ها به دو بخش زمینی و غیر زمینی تقسیم می شوند. حال در داده های غیر زمینی دو مرحله اجرا می شود: (الف) تحلیل تفاضل پالس ثانویه و اولیه؛ با استفاده از تحلیل امواج بازگشتی اولیه و ثانویه میتوان به اختلاف عمق عوارض پی برد. اگر پالسهای اولیه و ثانویه هم ارتفاع باشند (با لحاظ کردن دقت سیستم) شی منعکس کننده پالس، شی سخت و غیر قابل نفوذ مانند سطح زمینی و یا ساختمان میباشد و در صورت وجود اختلاف ارتفاع میان پالسهای اولیه و ثانویه، میتوان به وجود مناطق درختی یا جنگلی و گیاهی پی برد. (ب) تحلیل آماری؛ در این مرحله یک پنجره با ابعاد محدود (مثلا 3×3 یا 5×5) بر روی داده های منظم شبکه ای حرکت کرده و با توجه به ارتفاع متوسط نقاط شبکه به آن فیت میشود. معیار فیت شدن RMSE میباشد. RMSE بالا، نشان دهنده سطوحی ناهموار مانند درختان یا عوارض غیر صاف میباشد و RMSE پایین نشان دهنده سطوح صاف و کم شیب که عموماً ساختمان هستند میباشد. در تعیین چند ضلعی پلان ساختمان، در این روش، جهت سرعت دادن به اجرای برنامه، یک فرض اولیه در نظر گرفته میشود و آن این است که ساختمانها را با دو جهت اصلی عمود بر هم در نظر میگیریم و با استفاده از برآورد جهات اصلی ساختمان به وسیله تکنیک انطباق هم بستگی[1]، یکی از زوایا که بیشترین انطباق زاویه ای را با داده ها دارد را به دست می آوریم و با ترسیم هیستوگرام زوایای برآورد شده، جهات اصلی محل ساختمان برآورد میشود. حال شیب هر قطعه محدوده ساختمانی را منحصر به یکی از دو جهت اصلی در نظر گرفته و قطعات خطوط به دست می آید و با اتصال قطعات منفرد به دست آمده محدوده ساختمان تعیین میگردد.

[1] Cross Correlation Matching

- **روش الگوریتم انحراف معیار اصلاحی[1]**

این روش توسط Dash و همکاران [11]، در چهار قسمت ارائه شده است:

آماده سازی مدل ارتفاعی رقومی نرمال: در ابتدا پس از تفکیک داده های زمینی و غیرزمینی، از داده های زمینی جهت تهیه DTM منطقه مورد نظر استفاده میگردد و میتوان به سادگی تفاضل DTM از DEM[2] را به دست آورد. مدل رقومی حاصل را مدل ارتفاعی رقومی نرمال (NDEM[3]) می نامند. NDEM به دست آمده نشان دهنده عوارض دست ساز سطح زمین (درختان،گیاهان، ماشین ها و ساختمانها) میباشد.

قطعه بندی: به منظور مطالعه تغییرات ارتفاعی نقاط محدوده اشیاء، عوارض در NDEM به مناطقی با ارتفاع های مختلف قطعه بندی می شود. با اعمال حدود آستانه عوارضی نظیر گیاهان و ماشین ها حذف می شوند و درختان با ارتفاع بزرگ مخصوصاً درختان اطراف عوارض ساختمانی هنوز باقی مانده اند. حال پیکسلهای باقیمانده با روش رشد ناحیه قطعه بندی و به صورت محدوده های به هم پیوسته تبدیل میشوند.

استخراج مرز: برای تحلیل مقادیر ارتفاعی مرز محدوده ها نیاز به تعیین خطور مرزی محدوده ها میباشد که این کار به روش مثلث بندی بین نقاط مرزی و نقاط غیر مرزی صورت میگیرد. پردازش مثلث بندی براساس روش Delaunay و قوانین Voronoi صورت می پذیرد و نهایتاً پلی گون های دارای مرزبندی مشخص میشوند.

استفاده از الگوریتم انحراف معیار اصلاحی: مقادیر مرزهای نواحی ساختمانی معمولاً نواحی با تغییرات ارتفاعی یکنواخت و ملایم میباشد. در مقابل نواحی گیاهی چنین نیست و تغییرات ارتفاعی شدیدی دارند. محدوده های مخلوط هم دارای هر دو نوع تغییرات ملایم و شدید است و نشان دهنده ترکیب مرز از دو عارضه ساختمان و درخت میباشد.انحراف معیار، شاخصی نشان دهنده توزیع داده هاست. در این مطالعه به جای انحراف معیار تمام داده ها، انحراف معیار پیکسلهای مرزی را در نظر می گیریم و آن را انحراف معیار اصلاحی می نامیم، با تحلیل آن روی محدوده های با تغییرات کم و ملایم و محدوده های با تغییرات شدید میتوان مرزهای ساختمانی و درخت را از یکدیگر تفکیک کرد. این روش در مرزهای ترکیبی از درخت و ساختمان که همسایه میباشند دچار اشکال میشود ولی در مرزهای خالص(ساختمان به تنهایی) روش بسیار کارا میباشد.

4-2-2- روش فیت کردن مدل های پایه

در این روش که توسط You و همکاران [12]، توسعه داده شده است. در این روش از ترکیبات اشکال پایه هندسی (صفحه، رویه، کره، استوانه، هرم و...)، اشکال پارامتریک متنوعی را میتوان تولید کرد. استفاده از قیودی نظیر خطوط موازی یا متعامد ساختمانها و یا سطوح شیبدار یکنواخت و در یک جهت در بامها میتوان تعدادی از پارامترهای محاسباتی را برابر صفر قرار داد و حجم محاسبات را کاهش داد. در نهایت با آنالیز فیت کردن اشکال

[1] Modified Standard Deviation (MSD)
[2] Digital Elevation Model
[3] Normalized Digital Elevation Model

پایه به نقاط ساختمانی میتوان مدل سه بعدی ساختمان و محدوده های آن را بازسازی و ایجاد کرد. در این روش چون از اشکال پایه و ابتدایی هندسی در بازسازی مدل بهره گرفته میشود بنابراین در مواجهه با اشکال پیچیده و خارج از ترکیبات ابتدایی ایجاد مشکل میشود و توانایی کافی در بازسازی هر نوع مدلی را ندارد.

4-2-3- تشخیص عوارض (ساختمانی) با بررسی روابط توپولوژیکی میان بخشها

در این روش توسط Nardinocchi و همکاران [13]، ارائه شده است. دراین روش ابتدا پس از اعمال فیلتر روی داده ها و قطعه بندی و طبقه بندی اولیه، برای هر منطقه پارامترهای آماری پایه محاسبه میشود سپس در مرحله توصیفات هندسی و توپولوژیکی، اطلاعات توپولوژیکی در دو گراف (گراف مجاورت خارجی[1] و گراف ارتفاعات[2]) تهیه می شود و با تعیین پیکسلهای مرزی هر منطقه، پارامترهای ارتباط مجاورت و ارتباط مجاورت خارجی در منطق نسبت بهم بررسی می گردد. با استفاده از تحلیل خصوصیات هندسی و توپولوژیکی میتوان مناطق را به شش کلاس: زمین، ساختمان، گیاه، حیاط، آب (مناطق خالی) ومناطق باریک و نویز طبقه بندی کرد. در این روش از آنجا که نیاز به تعریف قوانین و روابط توپولوژی بین اجزاء و مناطق آن را دارد، باید به مطالعه اولیه منطقه پرداخت و بدون اطلاعات اولیه، نمیتوان به نتایج صحیصی دست یافت. همچنین کلاسهای کوچک و ناشناخته که روابط خاصی برای آنها تعریف نمی گردد، از هسته تشخیص کنار گذاشته می شوند.

4-2-4- استفاده از توابع احتمالی (توابع بیز و....)

در این روش که توسط Wong و همکاران [14]، ارائه شده است، از یک تکنیک بیزین جهت تعیین محل ساختمان از داده های پیش طبقه بندی شده لیدار استفاده میکند. در مرحله پیش پردازش، داده ها ابتدای به کلاسهای: ساختمان ها، درختان و علفها طبقه بندی شده اند و نواحی بخش بندی شده این کلاسها تعیین شده اند و به عنوان ورودی وارد این پروسه میشوند.

پیش پردازش داده ها و طبقه بندی مقدماتی: با توجه به مفاهیم فیلترینگ ابتدا داده های خام فیلتر شده و داده های غیر زمینی در یک پروسه قطعه بندی (با روش رشد ناحیه) و طبقه بندی (با داده های آموزش) به سه کلاس مقدماتی ساختمان، درخت و علف طبقه بندی میشود. خروجی این مرحله که ساختمانهای منفرد میباشد به عنوان ورودی مرحله بعد در نظر گرفته میشود.

یافتن نقاط محدود موقعیت ساختمان: یافتن نقاط محدوده ساختمان به وسیله یک همسایگی محلی انجام میشود. ایده کلی این است که یک نقطه محدوده باید منطقه بزرگی در جهات مختلف داشته باشد. برای هر نقطه Pi، فرض کنیم Ci دایره ای به شعاع R و مرکز Pi باشد. بزرگترین منطقه زاویه ای Ci که نقطه ساختمان موجود نبا شد، محاسبه میگردد، اگر این زاویه از یک حد آستانه(70 درجه)، بزرگتر باشد، Pi نقطه ای محدوده ای است. در این الگوریتم، نقاط محدوده جزئی از دست میرود. این مسئله مهمی نیست، زیرا در این مرحله، یک تقریب خام و اولیه از ساختمان کافی است.

[1] External Adjacency Graph
[2] Height Graph

یافتن تقریبی از موقعیت ساختمان: نقاط محدوده یافت شده در مرحله قبل، ورودی این مرحله میباشد. در این مرحله با یک الگوریتم خلاصه سازی خطوط شکسته محدوده ساختمان، ایجاد میشود. این مرحله اهمیت خاصی دارد و نتایج به دست آمده در آن در یک پروسه بهینه سازی در مرحله بعد وارد میشود و مجموعه خطوط مرزی باید به گونه ای تعیین گردند که مانع از واگرایی مسئله مینیم کردن مرحله بعد گردد. در خلاصه سازی خطوط از الگوریتم های کوتاهترین مسیر وایجاد خطوط دیجیتال استفاده میشود(نظیر Floyd Warshall).

یافتن بیشترین احتمال موقعیت ساختمان با تابع بیز: در مرحله قبل خطوط مستقیم مرزی تعیین شده اند، این خطوط تبدیل به چند ضلعی بسته میگردند و حال برای هر ساختمان یک چند ضلعی بسته داریم که با روش بیز، این چند ضلعی به داده های مرزی ابر نقاط لیدار فیت میشود. معیار ارزیابی فیت شدن چند ضلعی به نقاط محدوده، فاصله نقاط از اضلاع، چند ضلعی میباشد که اندازه گیری میگردد.

این الگوریتم دو مشکل دارد، یکی در مناطق درختی که به اشتباه ساختمانی طبقه بندی شده اند و نمیتواند مرز بسته و چند ضلعی تعیین کند و دیگری در محدوده های مرزی اشتباه تعیین شده در مرحله دوم که تصمیم گیری یافتن بیشترین احتمال براساس آنها صورت می گیرد. در نمونه ای اجرای شده از این الگوریتم با ارزیابی نتایج با واقعیت زمینی از میان 4781 زاویه، تعداد 3677 زاویه (حدود 77٪) به درستی تعیین شده اند و در مناطق ساختمانی خالص و صاف به دقت 86٪ در تعیین و کشف ساختمان می رسیم و در 14٪ موارد به نتایج ضعیف در کشف ساختمان می رسیم.

علاوه بر گروه بندی ارائه شده فوق، روشهای دیگری (نظیر روش اپراتور اولر [15] و روش مدلهای **برازش** [16]) وجود دارند که از ذکر به علت پرهیز از تنوع و پراکندگی مطلب، خودداری می شود.

5- ارزیابی، نتیجه گیری و کارهای آینده

در یک نگاه اجمالی در پروسه کشف و استخراج ساختمان، دو مرحله اساسی داریم ؛ فیلترینگ، که داده های زمینی و غیر زمینی را از یکدیگر تفکیک می کند، و روشهای استخراج ساختمان و مرزهای پیرامونی آن. در ارزیابی روشهای استخراج ساختمان میتوان معیارهایی بدین ترتیب در نظر گرفت: کار با داده های خام، کار با داده های بزرگ، تعیین دقیق مرز، کشف اشکال نامنظم و غیر هندسی و قابلیت کشف دیگر عوارض دست ساز. در یک مقایسه اجمالی بین روشهای مختلف این نتایج بدست آمده است[17]: در کار با داده خام و بزرگ، روش توابع بیز، روشی مناسب و کارا می باشد.در تعیین دقیق مرزها، روشهای استفاده از داده کمکی دقیقتر بوده و بعد از آن روش توابع بیز، و روش تعیین مرز با مثلث بندی TIN بعلت تقریب دقیقتر مرز، دقت بهتری دارند. همچنین در تعیین اشکال مختلف غیر هندسی، روشهای با داده کمکی و توابع احتمال بعلت کشف تمام لبه های موجود، بهتر عمل می کنند و روش فیت کردن عناصر پایه بعلت تبعیت از الگوهای خاص چندان موفق نیست

اکثر روشهای تعیین و تشخیص ساختمان از داده های لیدار به علت پیش فرضهای خاصی که در آنها مدنظر گرفته اند، نمیتواند کاملاً خودکار و با دقت بالا ارائه شوند (این پیش فرضها همانگونه در روشهای قبلی ذکر شده اند عموماً مفروضاتی از محیط های شهری اند، مانند: موازی بودن دیوارهای جانبی یا متعامد بودن آنها، پیروی از اشکال

خاص هندسی یا برقراری روابط منطقی بین اجزاء شهری و .....) همچنین این روشها به علت وجود نویز در اطراف لبه های ساختمان موفق نیستند(این نویزها میتواند به علت اثر چند بازگشتی اطراف لبه های ساختمان و نویز سیستم و یا وجود درختان و گیاهان در مرز ساختمانها باشند که در تشخیص مرز ایجاد ابهام میکند). استفاده از ابزار کمکی نظیر دوربین دیجیتال همراه اسکنر (و پردازش همزمان داده هـای طیفـی و هندسـی) مناسـبترین گزینـه در کشـف عوارض می باشد، اما در غیر اینصورت روشهای توابع احتمال بعلت عدم تبعیت از الگوهای خاص منطقه و در نظر نگرفتن پیش فرضهای خاص و تقریب دقیقتر مرز، روشی بسیار مناسب، جهت تعیین مـرز و روش انحـراف معیـار اصلاحی در حذف محدوده های گیاهی اطراف ساختمان مناسب می باشد. همچنین میتوان از خصوصـیات مناسـب روشهای دیگر نیز بهره برد و از ترکیب آنهاو استفاده از اطلاعات شدت پالس بازگشتی در یک سیستم تحلیل فـازی به تقریب بهتری از واقعیت دست یافت.

منابع و مآخذ

[1] فرهاد صمدزادگان، "طرح پژوهشی ارزیابی داده های لیدار در تهیه اطلاعات مکانی"، طرح پژوهشـی، سـازمان نقشـه برداری، 1383

[17] مرتضی اسدی، " بررسی روشهای استخراج ساختمان در مناطق شهری با داده های لیدار"، سمینار کارشناسی ارشـد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، 1385

[2] Baltasavias,E., "Airborn laser scanning: basic relations and formulas",1999, ISPRS jornal of photogrammetry and remote sensins

[3] Sithole,G., "Segmentation and classification of airborne laser scanner data",2005, Netherlands Geodetic Commission Delft, phd thesis

[4] Charaniya,A.P., "3D Urban Reconstruction from Aerial LIDAR data",2004, ISPRS Computer Science University of California, Santa Cruz, phd thesis

[5] Morgan,M., Habib,A., "Interpolation of lidar data and automatic building extraction",2002, Ohio State University, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science

[6] Sithole,G., Vosselman,G., "Comparison of filtering algorithms",2003,Commission III, Working Group3

[7] Samadzadegan,F., "Object extraction and recognition from lidar data based on fuzzy reasoning and information fusion techniques",2005,www.elsevier.com/locate/isprsjprs

[8] Teo,T., Rau,J., Chen,L., "Reconstruction of Complex Buildings using LIDAR and 2D Maps",

[9] Ma,R., "Building model reconstruction from lidar data and aerial photographs",2004,The Ohio State University,phd thesis

[10] Alharthy,A., Bethel,J.," Heuristic filtering and 3d feature extraction from lidar data", 2002, ISPRS Commission III, Symposium

[11] Dash,J., Steinle,E., Singh, R.P., Bahr,H.P., "Automatic building extraction from laser scanning data: an input tool for disaster management",2004,Advances in Space Research, www.elsevier.com/locate/asr

[12] You,S., Hu,J., Neumann,U., Fax,P., "Urban site modeling from lidar",2003,In Second International Workshop on Computer Graphics and Geometric Modeling

[13] Nardinocchi,C., Forlani,G., Zingaretti,P., " Classification and filtering of laser data",2003,ISPRS Commission III, WG3

[14] Wang,O., Lodha,K., Helmbold,D.," A bayesian approach to building footprint extraction from aerial lidar data",2004, ISPRS Commission III, WG3

[15] Tse,O., Gold,C., Kinder,D.,"A new approach to urban modeling based on lidar",2005, WGCS'2005, university of goamorgan

[16] Crasilla,F., Visintini,D., Prearo,G.," A robust method for filtering non-ground measurements from airborne lidar data, 2003,ISPRS Commission III, WG3