نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

Vol.10, No.1, Spring 2022

۱۰۹ -۱۳٤

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]

[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

استخراج خودکار تیرهای انتقال برق حاشیه راه‌ها با بهره‌گیری از داده‌های لیزر اسکنر موبایل

زهرا چمنی[۱]، حمید باقری[۲*]، حیدر راستی ویس[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی نقشه‌برداری فتوگرامتری, دانشگاه تفرش, ایران

۲- مربی, گروه مهندسی عمران, دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

۳- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰

چکیده

امروزه شناسایی عوارض سطح جاده برای امنیت، تهیه و بروزرسانی نقشه راه‌ها و مدل‌سازی و مدیریت تجهیزات راه امری ضروری است. هدف از این تحقیق، شناسایی خودکار تیرهای انتقال برق موجود در حاشیه راه‌ها با استفاده از ابر نقاط موبایل لیزر اسکنر می‌باشد. با توجه به اینکه تشخیص دستی این عوارض نیاز به صرف زمان و تلاش زیادی دارد، تشخیص خودکار عوارض با استفاده از کامپیوتر به دلیل کاهش زمان و هزینه، حائز اهمیت است. در این راستا، مجاورت عارضه‌های دیگر به تیر برق، حضور عوارض طبیعی میله‌ای شکل، ناقص بودن اطلاعات عارضه میله‌ای شکل و یکسان بودن توزیع مکانی یا الگوی شکلی سایر عوارض با تیر انتقال برق، از چالش‌های مطرح در شناسایی تیر انتقال برق می‌باشد. در روش پیشنهادی تحقیق، نقاط زمینی با استفاده از الگوریتم فیلتر مورفولوژی ساده (*SMRF*) حذف شده و نقاط غیر زمینی باقیمانده با الگوریتم فضایی مبتنی بر چگالی برنامه‌های کاربردی با نویز (*DBSCAN*) در گروه‌های مشابه از لحاظ چگالی گروه‌بندی شده‌اند. برای حذف نقاط اضافی سیم برق، با استفاده از ویژگی‌های چگالی و شدت نور نقاط، از خوشه‌بندی ژنتیک استفاده شده است. در نهایت نقاط پراکنده باقیمانده حذف و تیرهای انتقال برق به شکل دقیق و منظمی استخراج شده‌اند. روش پیشنهادی بر روی چهار مقطع جداگانه از داده‌ها با عوارض مختلف تست و ارزیابی شده است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی توانایی تشخیص ۱۰۰ درصد تیر برق‌ها را به طور خودکار داشته است؛ به گونه‌ای که نتایج استخراج شده به روش پیشنهادی، با نتایج استخراج شده به طور دستی از تطابق بسیار خوبی برخوردار بوده و تعداد تیر برق‌های استخراج شده نیز کاملا برابر بوده است.

کلید واژه‌ها : استخراج تیر انتقال نیرو، ابرهای نقطه‌ای، اسکن لیزری زمینی سیار، چگالی، خوشه‌بندی، اشیاء کنار جاده.

* نویسنده مکاتبه کننده: استان فارس- شهرستان نورآباد ممسنی- بلوار ولی عصر- بالاتر از هتل لیدوما- دانشکده فنی و حرفه‌ای ممسنی.

تلفن: ۰۷۱۴۲۵۳۱۴۲۰

Email: h-bagheri@tvu.ac.ir

۱- مقدمه

رفاه حال رانندگان در محیط جاده از موضوعات مهمی است که تحت تاثیر فاکتورهای مهمی از جمله سلامت جاده، وضعیت حمل و نقل، ترافیک، ساختار محیط ظاهری جاده و همچنین عوارض موجود در محیط جاده بوده است. از بین عوارض موجود در جاده، عموما یکسری عارضه‌ها مشترک هستند.

این عارضه‌ها شامل علائم ترافیکی، لامپ‌ها، تنه درخت، راهنماها، تیرهای انتقال برق و سیم برق‌ها هستند. در این راستا مدیریت تیرهای انتقال برق به منظور ایمنی و کنترل جاده، امنیت جاده و تهیه و بروزرسانی نقشه‌های شهری و مسیرها حائز اهمیت است و به این سبب لازم است سایر عوارض موجود در محیط جاده شناسایی شوند.

اهمیت شناسایی تیرهای انتقال برق در ارزیابی امنیت جاده به طور خودکار، بررسی ساختار و محیط ظاهری جاده و مدیریت حمل و نقل خلاصه می‌شود. ابر نقاط جمع‌آوری شده توسط سیستم‌های لیزر اسکنر متحرک زمینی با توجه به چگالی مناسب آن، برای شناسایی تیرهای انتقال برق بسیار مناسب هستند. انواع مختلف عوارض جاده‌ای برای رفاه رانندگان وجود دارد ; مثل راهنماها، انتقال ها، تیر برقها و غیره. عوارض میله‌ای شکل به عنوان عوارض بلند و باریک که اغلب از جنس چوب و فلز هستند و ارتفاع و شعاع مشخصی دارند؛ تعریف می‌شوند و در محیط جاده برای ایمنی و کنترل ترافیک حائز اهمیت هستند. همچنین اهمیت وجود تیرهای انتقال برق برای عابران پیاده و وسایل نقلیه، در تامین نوردهی در تاریکی و شب هنگام است. مدیریت تیر انتقال برق نیز برای مدیریت سیستم حمل و نقل اهمیت دارد.

تیرهای انتقال برق یک سیستم نوردهی هستند که در جاده، خیابان و میدان‌های عمومی تعبیه شده‌اند و معمولا در شب یا شروع تاریکی نوردهی می‌کنند. لامپ‌ها براساس ارتفاع، جنس، منبع نور و شکل تقسیم‌بندی شده‌اند و انتخاب نوع انتقال اهمیت زیادی دارد؛ به طوری که استفاده غلط از آن، وضعیت دید یا امنیت را بدتر می‌کند. بیشتر لامپ‌ها حساس به نور هستند و به طور خودکار زمان‌هایی که نیاز به نوردهی وجود دارد؛ مثل غروب، سپیده دم یا شروع تاریکی هوا، فعال می‌شوند. این عملکرد با کمک شاخص خورشیدی انجام می‌گیرد که کاربرد اصلی تیرهای انتقال برق در محیط جاده و به منظور تامین رفاه رانندگان است.

امروزه استخراج عوارض محیط جاده برای تامین امنیت، بازبینی محیط جاده، تامین رفاه رانندگان، ایمنی و کنترل ترافیک، بررسی ساختار و محیط ظاهری راه، تهیه و به‌روزرسانی نقشه‌های شهری و مسیرها، نقشه‌برداری جاده و مدیریت حمل و نقل، امری ضروری است [۱]. از آن‌جا که تشخیص دستی این عوارض نیاز به زمان، هزینه و زحمت زیادی دارد؛ تشخیص خودکار عوارض با یک عامل کامپیوتری به دلیل کاهش هزینه و کار دستی انجام شده توسط انسان، حائز اهمیت است [۲]. در این راستا، شناسایی عوارض میله‌ای شکل مثل تیر انتقال برق، علائم راهنمایی و رانندگی و مانند اینها برای مدل‌سازی و مدیریت تجهیزات مختلف جاده‌ای امری ضروری است [۳].

به منظور شناسایی خودکار موقعیت عوارض، از منابع اطلاعاتی زیادی مانند تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، لیزر اسکنرهای هوایی(*Lidar*)[1]، سیستم لیزری موبایل (*MLS*)[2] و یا تلفیقی از این‌ها استفاده می‌شود. استفاده از تصاویر هوایی به منظور شناسایی عوارض، به علت نداشتن اطلاعات ارتفاعی در نواحی دارای سایه ممکن است مشکل‌ساز باشد. در واقع از تصاویر هوایی، به علت داشتن اطلاعات طیفی، بیشتر برای تفکیک عوارض گیاهی و غیرگیاهی استفاده می‌شود. همچنین، هر چند سیستم‌های لیزر اسکنر هوایی می‌توانند سطح وسیعی از زمین را پوشش دهند ولی در به دست آوردن جزئیات عارضه کارساز نبوده و به دلیل این که چگالی

[1] *Light Detection and Ranging*
[2] *Mobile Laser Scanner*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

کافی از نقاط ندارند برای مدل‌سازی عوارض با جزئیات بالا مناسب نیستند.

در دو دهه اخیر با پیشرفت سریع فناوری لیدار، به دست آوردن اطلاعات مکانی در کاربردهای مختلف مثل برنامه‌ریزی شهری، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، مستندسازی میراث فرهنگی، سیستم‌های حمل و نقل هوشمند و مدیریت بحران کارایی زیادی داشته است. اخذ داده‌های لیدار توسط سیستم‌های موبایل لیدار، روشی مقرون به صرفه برای استخراج عوارض مختلف از جمله عوارض کنار جاده مثل تیر برق‌ها می‌باشد [۴].

سیستم‌های موبایل لیدار که از اواخر سال ۱۹۸۰ توسعه یافتند، یک سیستم زمین‌مبنا برای جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی هستند؛ لذا برای جمع‌آوری سریع و دقیق اطلاعات، پوشش‌دهی سطح وسیعی از زمین، جمع‌آوری اطلاعات نقاط با چگالی زیاد و نیز هزینه‌ی پایین جمع‌آوری اطلاعات مفید هستند. با وجود امتیازات ذکر شده، این نوع سیستم‌های جمع‌آوری داده بیش از پیش مورد توجه جامعه‌ی متخصصان نقشه‌برداری و سنجش از دور قرار گرفته است[۵]. روش‌های زیادی برای شناسایی عوارض میله‌ای شکل از داده‌های لیدار متحرک زمینی ارائه شده است. این روش‌ها عموماً بر اساس ویژگی‌های شکلی، پیش‌دانسته‌ها و یادگیری ماشین[1] می‌باشند و بر روی تشخیص عوارض عمودی شکل تمرکز دارند.

با وجود افزایش سطح اطلاعات برای استخراج خودکار عارضه میله‌ای شکل، هنوز چالش‌های زیادی از جمله وجود عوارض میله‌ای شکل تیلت‌دار، تنوع در الگوی شکلی عوارض میله‌ای شکل از نظر موقعیت یا ارتفاع، وجود عوارض طبیعی میله‌ای شکل مثل تنه درخت و نیز مجاورت بوته‌ها و برگ‌ها یا سایر عوارض به عارضه میله‌ای شکل در این زمینه وجود دارد. از این‌رو استخراج مجموعه‌ای از قوانین از کلاسه‌بندی داده‌ها می‌تواند در زمینه بهبود فرایند شناسایی عوارض راهگشا باشد [۳].

هدف از این تحقیق، ارائه یک روش جدید به منظور شناسایی تیرهای انتقال برق از داده‌های موبایل لیزر اسکنر می‌باشد. در روش پیشنهادی، ابتدا پس از حذف نقاط زمینی با استفاده از ویژگی‌های مربوط به نقاط باقیمانده، گروه‌های نقاط مختلف، استخراج شده و سپس با تعریف یکسری قوانین محدودکننده برای هر گروه، گروه تیرهای انتقال برق از سایرگروه‌ها تفکیک می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

روش‌های زیادی برای شناسایی عوارض میله‌ای شکل از داده‌های ابر نقاط لیدار متحرک زمینی ارائه شده است. اکثر روش‌های پیشنهادی بر روی شناسایی عوارض میله‌ای شکل با توجه به ویژگی عمودی شکل بودن آن‌ها تمرکز دارند. در ادامه مروری مختصر بر روی تحقیقات انجام شده در این زمینه ارائه شده است.

متی لهتوماکی (۲۰۱۰)، از قطعه‌بندی برای حذف نقاطی که طولشان یعنی فاصله اقلیدسی بین نقاط آنها در هر گروه، خارج از حد آستانه است استفاده کرد. در این روش با خوشه‌بندی گروه نقاط باقیمانده، خوشه‌هایی که مربوط به یک عارضه هستند ادغام می‌شوند. در این روش، خطوط جاروب شده‌ای که مربوط به یک عارضه میله‌ای شکل هستند شامل نقاط مجاورند و فاصله کمی از هم دارند. یک خط جاروب شده با روش لبه‌یابی قطعه‌بندی و بعد از قطعه‌بندی، گروه نقاط باقیمانده، در فضای دو بعدی خوشه‌بندی شد. به این صورت که ابتدا یک گروه دانه انتخاب و با همه گروه‌ها مقایسه می‌شود و در صورت مجاورت در یک خوشه قرار می‌گیرند. برخی عوارض میله‌ای ممکن است شامل چندین خوشه باشند و لازم است خوشه-هایی که مربوط به یک عارضه هستند با یکدیگر ادغام شوند. در پایان با کلاس‌بندی خوشه‌های کاندید براساس ویژگی‌های شکل، طول، جهت و چگالی نقاط،

[1] *Machine learning*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

خوشه‌ها به عوارض میله‌ای شکل و غیرمیله‌ای شکل دسته‌بندی شدند [۶].

یوکویاما و همکاران (۲۰۱۱)، بدون نیاز به داده‌های آموزشی، روشی با هدف استخراج عوارض میله‌ای شکل از داده‌های *MLS*، با زاویه تیلت و شعاع دلخواه پیشنهاد کردند. در روش پیشنهادی آنها، ابتدا قطعه‌بندی براساس گراف نزدیکترین همسایه [1] انجام شده است. سپس به‌دلیل وجود نویز، بایاس مربوط به توزیع نقاط و شعاع متفاوت عوارض میله‌ای شکل، عمل نرم‌سازی[2]، به نتایج قطعه‌بندی خروجی گراف اعمال شد. در نهایت با کلاس‌بندی آنالیز مولفه های اصلی(*PCA*)[3] و محاسبه مقادیر ویژه ماتریس کواریانس واریانس، عوارض میله‌ای شکل شناسایی شدند.

در این تحقیق، اگر مقدار ویژه اول از مقدار ویژه دوم و سوم کوچکتر باشد عارضه صفحه‌ای شکل و اگر مقدار ویژه اول بزرگتر از مقدار ویژه دوم و سوم باشد عارضه، میله‌ای شکل است. از بین عارضه‌های ستونی شکل، آنهایی که کمتر از دو متر(قد متوسط انسان) و تعداد نقاط آن کمتر از ۵۰ باشد حذف می‌شوند. در این روش صحت تشخیص عوارض میله‌ای شکل به طور میانگین ۹۷/۴ درصد بود. اما این روش تنها در صورتی که قطعه‌بندی عملکرد خوبی داشته باشد نتیجه شناسایی خوبی برای عوارض میله‌ای شکل دارد [۲].

یوجی هو و همکاران (۲۰۱۱) برای استخراج لامپ‌های خیابان از روش چگالی نقاط تصویر شده(*Dopp*)[4] استفاده کردند. در روش پیشنهادی، فاصله بین ابر نقطه و موقعیت تصویری محاسبه شده است تا نقاط لیزری که دور از آستانه فاصله‌ای هستند در نظر گرفته نشوند. بنابراین، بازه مطالعاتی به طور یقین کمتر شد. در مرحله بعدی، زاویه نسبی برای هر دو تصویر متوالی به دست آمد و مناطق سمت چپ و راست ابر نقاط مشخص شد. هدف، این بود که ابر نقاط دور از آستانه فاصله‌ای از هر موقعیت تصویری، حذف شوند. از آنجایی که وسیله نقلیه حامل لیزر اسکنر، فقط در یک جهت از جاده حرکت می‌کند؛ آستانه فاصله از سمت چپ و راست وسیله با هم فرق داشت. ساختمانها، درخت‌ها و بقیه تارگت‌های زمینی از عوارضی هستند که دور از جاده می‌باشند و در ابر نقاط حضور دارند. به منظور حذف این عوارض و کاهش حجم داده‌ها از آستانه فاصله‌ای استفاده شد و فقط جاده به عنوان قسمت اصلی باقی ماند. این روش برای وقتی که عوارض میله‌ای شکل نزدیک به هم باشند؛ نمی‌تواند عملکرد استخراج خوبی داشته باشد[۷].

دان‌لی (۲۰۱۳) براساس معیارهای نرمی و همگنی، قطعه‌بندی نقاط را انجام داد. سپس کلاس‌بندی سخت با هدف کاهش محاسبات غیرضروری و حذف نقاط غیرضروری انجام شد. در این روش کلاس‌بندی براساس اطلاعات اندازه و شکل انجام شده است و اطلاعات شکلی، مهمترین المان برای تشخیص انواع عوارض میله‌ای بود. مثلا عوارض دست‌ساز انسان اغلب شکلی منظم، در حالی که درخت‌ها شکل نامنظمی دارند و به طور رندوم در فضای سه بعدی پخش هستند. برای پیدا کردن عوارض میله‌ای شکل، پارامترهای بهینه الگوریتم شناسایی درصدمبنا، با استفاده از آنالیزهای آماری تعیین و عوارض میله‌ای، با استفاده از اطلاعاتی مثل اندازه، شکل، ارتفاع و اطلاعات شدت نور بازگشتی، کلاس‌بندی شدند. از مشکلات این روش این است که به دلیل نزدیکی برخی عارضه‌ها ممکن است چندین عارضه، یکی در نظر گرفته شوند؛ همچنین برخی عارضه‌های میله‌ای شکل به اشتباه حذف یا برخی دیگر به اشتباه به عنوان عارضه میله‌ای شکل تشخیص داده شوند[۸].

در روش دیگری بدون استفاده از منابع داده اضافی یا داده آموزشی، فقط از ابر نقاط سه بعدی برای شناسایی عوارض میله‌ای شکل استفاده شد. الگوریتم پیشنهادی،

[1] *k-nearest neighbor graph*
[2] *Smoothing*
[3] *Principal Component Analysis*
[4] *Density of Projected Points*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

به ترتیب شامل قطعه‌بندی نقاط براساس تراکم دو بعدی، ادغام قطعه‌های یک عارضه و کلاس‌بندی عوارض میله‌ای شکل براساس ارتفاع، جهت و بردار نرمال بر سطح است. این روش برای وقتی که عوارض میله‌ای شکل با درخت احاطه شده باشند یا عابر پیاده یا ساختمان نزدیک به عارضه‌ی میله‌ای شکل یا عارضه میله‌ای شکل ناقص باشد؛ قادر به شناسایی عوارض میله‌ای شکل نخواهد بود [۱].

یونگاتو و همکاران (۲۰۱۴)، لامپ‌های میله‌ای شکل خیابان را براساس روش شکل سه‌بعدی جفت نقاط[1] استخراج کردند. در این تحقیق، بعد از خوشه‌بندی براساس فاصله اقلیدسی، ویژگی‌های هندسی محلی و سراسری با استفاده از ساختار شکلی سه‌بعدی مدل-بندی و برای کاهش پیچیدگی محاسباتی، خوشه‌های با ارتفاع کم حذف شد و تطابق شکلی بین ابر نقاط برای شناسایی لامپ‌های خیابان مورد استفاده قرار گرفت. بعد از ایجاد منطقه مورد مطالعه (*ROI*)[2]، عملیات نمونه برداری نقاط از بین روش‌های مختلف انجام شد. در روش شکل سه‌بعدی جفت نقاط، پارامترهای مختلف بررسی شده و بهترین پارامترها انتخاب شد؛ به گونه‌ای که نرخ انتقال‌های صحیح پیدا شده بالا بوده و نرخ عوارض غلط پیدا شده کمتر شده است. اما از آنجایی که انتقال‌های خیابان‌ها به شکل‌های مختلفی هستند و رنگ‌های متفاوتی دارند و در بعضی موارد نیز، سایر عوارض مثل تبلیغات یا علائم راهنمایی به آنها چسبیده‌اند یا انتقال‌ها در لابه‌لای درخت‌ها پنهان شده‌اند؛ استخراج انتقال‌های میله‌ای شکل را با چالش-های زیادی روبه‌رو کرده است. این روش برای زمانی که سایر عوارض مثل درخت و عوارض میله‌ای شکل دیگر با لامپ‌های خیابان توزیع مکانی و الگوی شکلی یکسانی دارند، عملکرد شناسایی خوبی ندارد [۴].

شی پو و همکاران (۲۰۱۱) ، از آنالیز درصدمبنا به جای آنالیز کل قسمت‌های یک قطعه، استفاده کردند. در روش پیشنهادی، ابتدا هر قطعه به قسمت‌های ارتفاعی تقسیم‌بندی و سپس هر قسمت برای آنالیزهای بعدی و بررسی عارضه میله‌ای شکل انتخاب می‌شود. در این روش، مدیریت ابر نقاط لیزری، با توجه به حجم زیاد داده‌ها یک چالش مهم است. بنابراین به جای پردازش کل نقاط به طور مستقیم، ابتدا داده‌ها به قسمت‌هایی که در جهت جاده هستند تقسیم‌بندی می شوند. جهت جاده می‌تواند از داده‌های نقشه به دست آید یا از مسیر داده‌های متحرک لیزری حاصل شود. بعد از تقسیم‌بندی مکانی، ابر نقاط در هر قسمت از جاده با الگوریتم رشد سطحی قطعه‌بندی می-شوند. در این روش، کلاس‌بندی سخت با فرض اینکه قطعه‌های زمین در صفحه‌های بزرگ و در فاصله مشخص، تحت مسیر سه بعدی لیزر اسکنر هستند؛ انجام می‌شود. هدف از کلاس‌بندی سخت، تقسیم داده-ها به نقاط زمینی و غیر زمینی است. پس از حذف نقاط زمینی، نقاط غیر زمینی بررسی می‌شوند. این روش از لحاظ محاسباتی کمی پیچیده است و تنها در صورتی عملکرد خوبی برای شناسایی عوارض میله‌ای شکل دارد که عارضه به طورکامل جدا باشد. اما وقتی عارضه‌هایی مثل بوته یا برگ، به عارضه میله‌ای شکل متصل باشند؛ قطعه‌بندی و آنالیز درصد مبنا برای شناسایی عارضه میله‌ای شکل به مشکل بر می‌خورد [۹].

یانگ و همکاران (۲۰۱۳) روشی برای استخراج و ترسیم جاده‌ها از ابرهای نقطه‌ای اسکن لیزری موبایل(*MLS*) [3] در مقیاس بزرگ ارائه کردند. روش پیشنهادی ابرهای نقطه *MLS* را به مجموعه‌ای از «خطوط اسکن» متوالی تقسیم می‌کند که هر کدام از یک مقطع جاده تشکیل شده‌اند. برای ارزیابی اعتبار روش پیشنهادی، آزمایش‌هایی با استفاده از دو نوع ابر

[1] *Pairwise 3-D Shape Context*
[2] *Region of Interest*
[3] *Mobile laser scanning*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

نقطه‌ای از صحنه خیابان گرفته شده توسط سیستم نقشه‌بردار موبایل[1] انجام شد. کامل بودن، صحت و کیفیت جاده‌های استخراج شده به ترتیب بیش از ۹۴٫۴۲، ۹۱٫۱۳ و ۹۱٫۳۰ درصد است که ثابت می‌کند روش پیشنهادی راه‌حلی مفید برای استخراج جاده‌های سه بعدی از ابرهای نقطه *MLS* می‌باشد[۱۰] .

گوان و همکاران (۲۰۱۴) یک روش گام به گام برای تشخیص علائم جاده از ابرهای نقطه‌ای *MLS* ارائه کردند. برای بهبود کارایی محاسباتی، ابتدا یک الگوریتم مبتنی بر حاشیه برای استخراج سطح جاده پیشنهاد دادند. در این الگوریتم استخراج علامت‌گذاری جاده به طور جامع در تجزیه و تحلیل حساسیت پارامتر و عملکرد کلی مورد بحث قرار گرفت. در این تحقیق، یک مطالعه تجربی روی مجموعه‌ای از خط‌کشی‌های جاده واقعی زمینی انجام شده نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی راه‌حل امیدوارکننده‌ای برای استخراج علامت‌گذاری جاده از داده‌های *MLS* می‌باشد[۱۱]. وای یونگ و همکاران (۲۰۱۶) به استخراج تیرهای انتقال برق و برج‌های بزرگ‌راه‌ها براساس خوشه‌بندی *DBSCAN*[2] پرداختند. در روش پیشنهادی، برای استخراج انواع مختلف تیر برق و برج‌های بزرگ‌راه‌ها از داده‌های متحرک لیدار ردیفی، ابتدا با اعمال فیلتر زمینی و نرمال‌سازی ارتفاع و سپس خوشه‌بندی نقاط بالای زمین و ایجاد قوانین تصمیم-گیری، به کلاس‌بندی خوشه‌های ابر نقاط و استخراج کل عارضه میله‌ای شکل پرداختند. در این روش، برای تشخیص عوارض بالای زمین از ابر نقاط، فیلتر نقاط زمینی در نظر گرفته شده است. این مرحله در اصل به محاسبه تغییر شیب در هر ابر نقطه با توجه به ابر نقاط همسایگی می‌پردازد. اگر تغییرات شیب زیادی در نقاط همسایگی وجود داشته باشد؛ نشان‌دهنده این است که یک جهش بین زمین و عارضه بالای آن وجود دارد.

یکی از محدودیت‌های این روش، زمان انجام خوشه‌بندی *DBSCAN* است که با افزایش تعداد نقاط، زمان مصرفی نیز بیشتر می‌شود [۱۲].

لی یان و همکاران (۲۰۱۷)، به استخراج عوارض میله‌ای شکل براساس فقط اطلاعات مختصاتی *X, Y, Z* و آنالیز مقادیر ویژه پرداختند. در این تحقیق، برای تشخیص انواع مختلف عوارض میله‌ای شکل، از کلاس‌بندی نقاط براساس ویژگی‌های شکلی و هندسی استفاده شد. همچنین برای حذف نقاط زمینی، الگوریتم فیلتر زمینی بر اساس محدودیت ارتفاع کمینه محلی اعمال شد. در این روش، بعد از خوشه‌بندی نقاط غیرزمینی بر حسب فاصله‌ی اقلیدسی از فیلترهای سلسله مراتب برای پیدا کردن عوارض میله‌ای شکل استفاده می‌شود. اما برخی از تنه‌های درختان، چون برگ کمی دارند و از آن‌جایی که تنه درخت شبیه عوارض میله‌ای شکل است؛ به اشتباه به عنوان عارضه میله‌ای شکل شناخته می‌شوند. همچنین با توجه به پیچیدگی داده‌ها، تعدادی عارضه میله‌ای شکل پیدا نشده نیز وجود دارند[۱۳].

در یکی از تحقیقات اخیر، شکری و همکاران (۲۰۲۱) از یک روش مبتنی بر تبدیل هاف[3] اقدام به استخراج خطوط انتقال برق در حاشیه راه‌ها نمودند. در این تحقیق یک الگوریتم جدید برای استخراج خودکار قطب‌ها و کابل‌ها از ابرهای نقطه *MTLS* در سه فاز متوالی پیش پردازش، استخراج قطب‌ها و استخراج کابل‌ها ارائه شده است. این الگوریتم روی سه ابر نقطه *MTLS* مختلف از یک بخش جاده شهری ۱۳۷۱ متری و یک بخش جاده غیر شهری ۲۸۰۰ متر و ۵۰۰ متر آزمایش شد. هر یک از این مجموعه داده ها دارای چالش های منحصر به فردی هستند که برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی در شرایط مختلف مورد استفاده قرار گرفتند و نشان داده شد که روش

[1] *Lynx Optech*

[2] *Density-Based Clustering of Applications with Noise*

[3] *Hough Transform*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

پیشنهادی برای استخراج خطوط برق از یک ابر نقطه *MTLS* امکان پذیر است [۱۴].

در همه روش‌های اشاره شده، شناسایی تیر انتقال برق یا عوارض میله‌ای شکل، بسته به شرایط و ویژگی‌های تیر انتقال برق یا سایر عوارض دچار ضعف‌هایی هستند. مجاورت عارضه‌ها به تیر انتقال برق، حضور عوارض طبیعی میله‌ای شکل دیگر، ناقص بودن اطلاعات عارضه میله‌ای شکل و یکسان بودن توزیع مکانی یا الگوی شکلی سایر عوارض با تیر انتقال برق، از جمله عواملی هستند که منجر به ایجاد ضعف در شناسایی تیرهای انتقال برق می‌شوند. داده‌های استفاده شده در تحقیقات ذکر شده، ابر نقاط سیستم‌های لیزر اسکنر زمینی بوده و در برخی موارد از داده‌های جانبی دیگر از جمله تصاویر دیجیتال، موقعیت تصاویر و داده‌های ویدیوئی در کنار مختصات سه بعدی نقاط، استفاده می‌شود. ویژگی‌های استفاده شده برای هر یک از نقاط اغلب ویژگی‌های هندسی و شکلی مانند رنگ، جنس، زاویه، ارتفاع، جهت و موقعیت عوارض بوده است. برخی از عواملی که سبب محدودیت و ایجاد مشکل در روند استخراج عوارض میله‌ای شکل بوده‌اند عبارت‌اند از: پیچیدگی صحنه و حضور انواع مختلفی از عوارض، اتصال و یا مجاورت سایر عوارض به عوارض میله‌ای شکل، تعداد نقاط ناکافی در بعضی قسمت‌ها و تشابه الگوی شکلی و زمانبر بودن برخی الگوریتم‌ها به دلیل حجم زیاد نقاط.

در پژوهش حاضر، تنها داده‌های موبایل لیزر اسکنر مورد استفاده قرارگرفته است و یک روش بهینه برای خوشه‌بندی نقاط به منظور حذف عوارض اضافی به کار گرفته شده است.

۳- روش پیشنهادی

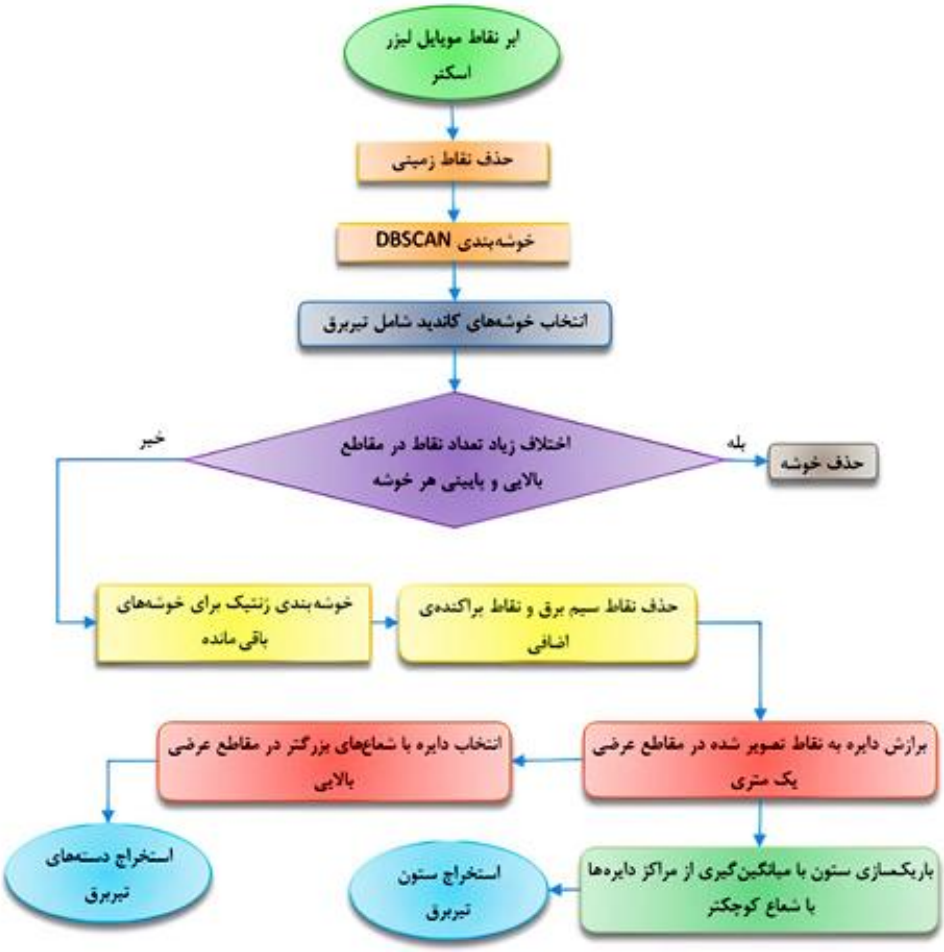
روش پیشنهادی در این پژوهش، همان‌طور که در شکل(۱) دیده می‌شود شامل سه مرحله اصلی پیش‌پردازش ابر نقاط موبایل لیزر اسکنر، خوشه‌بندی نقاط غیرزمینی و حذف نقاط اضافی سیم برق و نویزی است. پیش‌پردازش‌های لازم به منظور حذف نقاط زمینی انجام می‌شود. سپس به منظور سازمان‌دهی نقاط در گروه‌هایی که بیشترین شباهت را به یک‌دیگر دارند؛ از ویژگی چگالی برای خوشه‌بندی استفاده می‌شود. پس از حذف گروه‌های اضافی، برای حذف نقاط سیم برق متصل به تیرهای انتقال برق، از ویژگی‌های چگالی و شدت نور بازگشتی نقاط استفاده می‌شود و چون همچنان نقاط نویزی پراکنده، باقی مانده‌اند با برازش دوایر در مقاطع عرضی یک متری، بهترین دایره‌ها با توجه به شعاعشان انتخاب شده و با میانگین‌گیری از مختصات مرکز این دوایر، بهترین مختصات برای مرکز ستون تیر برق محاسبه می‌شود. بدین ترتیب نقاط نویزی و پراکنده باقیمانده حذف می‌شوند. در ادامه، جزئیات هر یک از این مراحل شرح داده شده است.

۳-۱- پیش‌پردازش داده‌ها

همان‌طور که اشاره شد در این تحقیق، پیش‌پردازش داده‌های موبایل لیزر اسکنر شامل فرآیند حذف نقاط زمینی به منظور حذف نقاط غیرضروری وکاهش حجم نقاط است. استخراج عوارض غیر زمینی، کمک بسیاری به روند شناسایی و استخراج عوارض دیگر می‌کند. برای این منظور از الگوریتم فیلتر مورفولوژی ساده(*SMRF*[1])، استفاده شده است. این الگوریتم که برای جداسازی نقاط زمینی از نقاط غیرزمینی استفاده می‌شود دو هدف اساسی دارد: تولید مدل گریدبندی شده از سطح زمین و ایجاد یک بردار بولین[2] برای هر نقطه که *xyz* های زمینی را با صفر و *xyz* های غیرزمینی را با یک توصیف می‌کند.

[1] *Simple Morphological Filter*
[2] *Boolean*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]



شکل۱: فلورچارت روش پیشنهادی به منظور شناسایی انتقال برق از داده‌های موبایل لیزر اسکنر

این الگوریتم، ابتدا منطقه مورد نظر را شبکه‌بندی کرده و سپس کمترین سطح رستری را برای هر سلول شبکه تعیین می‌کند و از اپراتورهای مورفولوژی ریاضی، برای کلاس‌بندی هر سلول در سطح رستر به عنوان نقاط مربوط به عارضه یا نقاط سطح زمین[1] استفاده می‌کند. مرحله بعد، ایجاد یک مدل رقومی ارتفاعی و در نهایت کلاس‌بندی به منظور شناسایی نقاط زمینی و نقاط غیر زمینی است.

به طور کلی الگوریتم *SMRF* دو تابع اصلی دارد: فیلتر پیشرونده که یک فیلتر مورفولوژی برای حذف نقاط با ارتفاع زیاد از مدل رقومی سطح (*DSM*)[2] و قلب الگوریتم *SMRF* نامیده می‌شود. تابع *Creat DSM* به منظور بازسازی *DSM* از داده‌های لیدار و به طور پیشفرض *DSM*، کمترین سطح از لحاظ ارتفاعی در نظرگرفته می‌شود [۱۵ و ۱۶].

۳-۲- پیش‌پردازش داده‌ها

با توجه به تنوع عارضه‌ها از لحاظ ویژگی‌هایی مثل شکل و چگالی، نیاز به یک سازمان‌دهی اولیه برای داده‌ها وجود دارد. در این سازمان‌دهی، داده‌ها به گروه‌هایی تقسیم‌بندی می‌شوند که اعضای هر گروه بیشترین شباهت را به یکدیگر دارند. در این تحقیق به

[1] *Bare earth Or Object*

[2] *Digital Surface Model*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

منظور گروه‌بندی نقاط، از ویژگی چگالی در خوشه‌بندی *DBSCAN* استفاده شده است.

خوشه‌بندی *DBSCAN*، یک خوشه‌بندی معروف براساس چگالی است که خوشه‌ها در فضای داده به عنوان مناطقی در نظر گرفته می‌شوند که در آن، مناطق با چگالی بالا از مناطق با چگالی پائین جدا هستند [۱۷]. به عنوان پارامترهای ورودی برای این الگوریتم، لازم است پارامترهای *Eps* یعنی شعاع مورد نظر برای تشکیل خوشه و پارامتر *MinPts* یعنی حداقل تعداد نقاط در شعاع موردنظر تعریف شوند. این دو پارامتر توسط کاربر با بررسی تعدادی از تیرهای انتقال برق تعیین می‌شوند؛ به صورتی که برای داده‌های مختلف، نقاط مربوط به تیر برق در یک خوشه قرار بگیرند و هیچ یک از قسمت‌های تیر برق در خوشه‌ای جداگانه قرار نگیرد.

پس از خوشه‌بندی، با دانش قبلی که در مورد تیرهای انتقال برق وجود دارد یا با بررسی ویژگی‌های تعدادی از خوشه‌های دربردانده تیر انتقال برق، تعداد زیادی از خوشه‌های اضافی حذف می‌شوند. این ویژگی‌ها شامل ارتفاع خوشه‌ها، تعداد نقاط خوشه‌ها و تعداد نقاط تصویر شده در چگال‌ترین دایره از هر خوشه هستند.

در این مرحله انتظار می‌رود تنها خوشه‌هایی باقی بمانند که شامل تیر انتقال برق هستند. اما برخی عوارض به دلیل مجاورت به تیر انتقال برق، مانند آنچه در شکل (۲) دیده می‌شود شامل تعدادی نقاط سیم برق نیز هستند و این سبب می‌شود ارتفاع خوشه‌ی مربوطه که آبی رنگ است به درستی محاسبه نشود و ارتفاعی تقریبا برابر با ارتفاع تیر انتقال برق داشته باشد. بنابراین لازم است در این مرحله، شرطی برای خوشه‌های باقیمانده اعمال شود. به این صورت که اختلاف تعداد نقاط، در دو مقطع بالایی و پایینی خوشه محاسبه و در صورت زیاد بودن این اختلاف، خوشه‌ی مذکور حذف می‌شود. در نهایت تنها خوشه‌هایی باقی می‌مانند که دربردارنده تیر انتقال برق هستند.



شکل۲: نمونه‌ای از مجاورت یک عارضه به تیرانتقال برق

۳-۳ -تشخیص نقاط سیم برق

در این مرحله از یک روش خوشه‌بندی برای تشخیص و حذف نقاط مربوط به سیم برق استفاده می‌شود. خوشه‌بندی انجام شده براساس ویژگی‌های چگالی و شدت نور بازگشتی نقاط می‌باشد. در این مورد، پس از بررسی انواع روش‌های خوشه‌بندی *k-Means, Fcm, DBSCAN*, و ژنتیک، بهترین روش برای خوشه‌بندی و جداسازی نقاط سیم برق انتخاب می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

۳-۳ -۱- الگوریتم خوشه‌بندی *k-means*

یکی از ساده‌ترین الگوریتم‌های خوشه‌بندی نظارت نشده، الگوریتم *k-means* است که یک روش پایه برای بسیاری از روش‌های خوشه‌بندی دیگر مانند خوشه‌بندی فازی محسوب می‌شود. در این روش، داده‌ها با توجه به تعداد خوشه‌ها کلاس‌بندی می‌شوند.

این الگوریتم برای تعداد ثابتی از خوشه‌ها نقاطی را به صورت تصادفی به عنوان مراکز خوشه در نظر می‌گیرد و برای هر نمونه داده با توجه به فاصله و میزان نزدیکی تا مراکز خوشه‌ها، آن داده را به یکی از خوشه‌ها نسبت می‌دهد. با تکرار همین فرآیند، در هر تکرار با میانگین‌گیری از داده‌ها، مراکز جدیدی برای آن‌ها محاسبه می‌شود و مجددا داده‌ها به خوشه‌های جدید نسبت داده می‌شوند. این روند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که دیگر تغییری در داده‌ها حاصل نشود.

اگر $X=\{xi\}$، داده‌ها در فضای d بعدی باشند که قرار است در k خوشه قرار بگیرند؛ الگوریتم *k-means* قسمت‌هایی را پیدا می‌کند که در آن، مربع خطا بین میانگین خوشه و نقطه مورد نظر در خوشه، کمترین باشد. اگر μ_k میانگین خوشه‌ها باشد؛ مربع خطاها بین μ_k و نقاط هر خوشه به عنوان تابع هدف با رابطه (۱) تعریف می‌شود [۱۸ و ۱۹].

$$J(c_k)=\sum_{x_i \in c_k}\|x_i-\mu_k\|^2 \qquad \text{رابطه(۱)}$$

۳-۳ -۲- الگوریتم خوشه‌بندی *Fcm*

الگوریتم *Fcm* برای خوشه‌بندی از عضویت فازی اعضا استفاده می‌کند و برای هر یک از اعضا، درجه عضویت آن را در هر یک از کلاس‌ها تعیین می‌کند.

این الگوریتم یک روش خوشه‌بندی با تکرار است که به تولید تعداد c قسمت بهینه با مینیمم‌سازی وزن در تابع هدف مجموع مربعات خطا می‌پرازد. تابع هدف j_m برای کمینه کردن با رابطه(۲) تعریف می‌شود.

$$j_m=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{C}U_{ji}^{m}d^2(x_i,v_j) \qquad \text{رابطه(۲)}$$

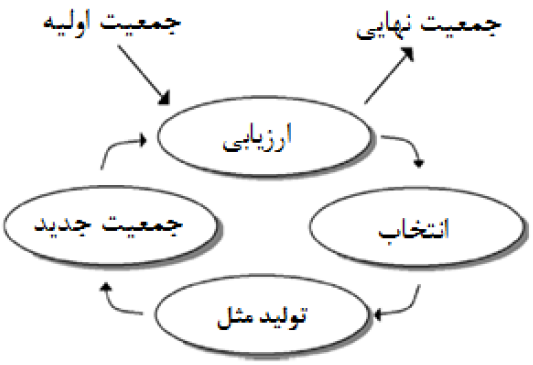
در رابطه(۲)، $x=\{x_1,x_2,\dots,x_N\}\subseteq IR^2$ مجموعه داده‌ها در فضای برداری m بعدی است. N تعداد داده‌ها و c تعداد خوشه‌ها است. طوری‌که u_{ji} درجه‌ی عضویت xi در خوشه‌ی j ام را بیان می‌کند. v_j نمونه‌ی اولیه از مرکز خوشه‌ی j است و $d^2(xi,vj)$ نیز اندازه‌ی فاصله بین عارضه‌ی xi و مرکز خوشه vj است [۲۰ و ۲۱].

۳-۳ -۳- الگوریتم خوشه‌بندی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک از روش‌های خوشه‌بندی می‌باشد که از فرآیند تکامل زیستی الهام گرفته است. برای یافتن راه‌حل مناسب در الگویتم ژنتیک، ابتدا هر یک از افراد جمعیت می‌توانند به عنوان حدس‌های اولیه در نظرگرفته شوتد؛ سپس جمعیت اولیه ارزیابی شده و تابع برازش برای هر فرد محاسبه می‌شود. در الگوریتم ژنتیک بهترین افراد بر حسب تابع برازش انتخاب می‌شوند؛ سپس عملکردی مبتنی بر تولید مثل و تکثیر، به جمعیت فعلی اعمال می‌شود و یک جمعیت جدید تولید می‌کند. جمعیت تولید شده معمولا تا چندین نسل ادامه پیدا می‌کند تا وقتی که به یک راه‌حل مناسب برسد. برای تولید نسل‌های بعد، از اپراتورهای ژنتیکی مثل اپراتور بازترکیبی[1] و جهش[2]، استفاده می‌شود. شکل(۳) الگوریتم کلی برای چرخه ژنتیک را نشان می‌دهد[۲۲] .

[1] *Mutation operation*
[2] *Crossover operation*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

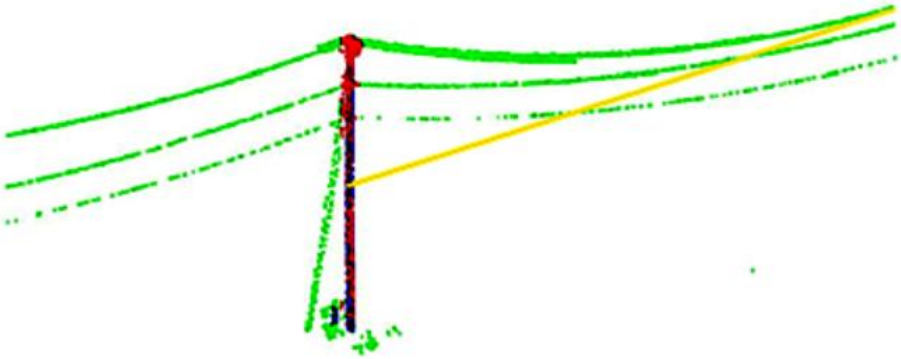


شکل۳: چرخه الگوریتم ژنتیک [۲۳].

۳-۴ -تشخیص نقاط سیم برق

بعد از خوشه‌بندی، برای حذف اتوماتیک نقاط سیم برق، تعداد نقاط تصویر شده در چگال‌ترین دایره هر یک از خوشه‌ها محاسبه و خوشه‌ای با بیشترین تعداد نقطه در این دایره، به عنوان خوشه معیار برای محاسبه فاصله در نظرگرفته می‌شود. سپس نقطه مرکزی این خوشه از لحاظ ارتفاعی، برای محاسبه فاصله تا تک تک نقاط خوشه‌های دیگر انتخاب می‌گردد. همان‌طور که در شکل (۴) دیده می‌شود، بیشترین فاصله مربوط به خوشه نقاط سیم برق هستند. بنابراین خوشه مذکور با بیشترین فاصله به طور اتوماتیک حذف می‌شود.

بعد از حذف نقاط مربوط به سیم برق، نقاط تیر انتقال برق در سطح خوبی استخراج می‌شوند. اما برای بهبود نتایج، لازم است یک مرحله پاک‌سازی برای حذف تعداد اندک نقاط نویزی باقیمانده و نیز منظم‌سازی ستون تیر برق اعمال شود.



شکل۴: بیشترین فاصله تا نقطه معیار برای محاسبه فاصله

۳-۵ -تشخیص نقاط سیم برق

حذف نقاط پراکنده باقیمانده با استفاده از اطلاعات چگالی انجام می‌گیرد؛ بدین صورت که نقاط با چگالی بسیار پایین حذف می‌شوند. برای منظم‌سازی ستون تیر برق نیز از برازش دایره به نقاط تصویر شده در مقاطع عرضی یک متری و برای برازش دایره از برازش کمترین مربعات جبری ارائه شده توسط پرت (*pratt*) (۱۹۹۸) استفاده می‌شود که داده‌های ورودی آن مختصات‌های نقاط تصویر شده و خروجی آن پارامترهای دایره برازشی شامل مختصات مرکز دایره و شعاع دایره برازشی هستند. روش برازش براساس مینیمم‌سازی تابع هدف رابطه (۳) است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

رابطه(۳)

$$F = \sum((x-a)^2 + (y-b)^2 - R^2)^2 / R^2$$

برازش دایره به این روش حتی برای وقتی که نقاط، تنها در قسمتی از قوس دایره برداشت شده باشند نیز به خوبی قادر به تشخیص دایره خواهد بود [۲۴].

۳-۶ -تشخیص نقاط سیم برق

با داشتن معادله دوایر در مقاطع عرضی یک متری ستون تیر برق، بهترین دایره‌ها با توجه به شعاعشان انتخاب می‌شوند و میانگین مراکز آنها به عنوان مرکز ستون استوانه‌ای تیر برق در نظر گرفته می‌شود. با داشتن شعاع و مرکز استوانه، بقیه نقاط اضافی حذف می‌شوند. لازم به ذکر است که بیشترین شعاع دایره در ارتفاع بالایی تیر انتقال برق مربوط به دسته‌های تیر برق هستند و این نقاط حفظ می‌شود.

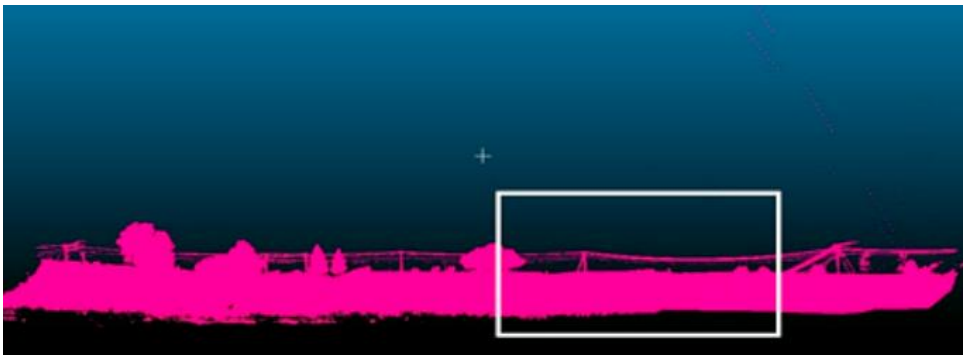
۴- پیاده‌سازی

روش پیشنهادی در این تحقیق در محیط نرم‌افزار متلب و در سیستمی با مشخصات *Intel Core i7-6700 CPU* و *Memory 32GB*، پیاده‌سازی شده و به منظور ارزیابی روش پیشنهادی برای شناسایی تیرهای انتقال برق از داده‌های موبایل لیزر اسکنر، از محیط نرم‌افزاری کلود کامپر (*Cloud Compare*) استفاده شده است. در این قسمت پس از معرفی منطقه تست، نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی ارائه و مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند.

۴-۱ - منطقه تست

داده مورد استفاده توسط سیستم موبایل لیزراسکنر از منطقه مورد مطالعه اخذ شده است (شکل(۵)). اطلاعات این منطقه، شامل مختصات سه بعدی نقاط و شدت نور بازگشتی در ۴ مقطع جداگانه هستند. مساحت هر مقطع حدود ۸ هزار متر مربع با تعداد تقریبی ۵ میلیون نقطه در آن است و دارای عوارض مختلفی از جمله درخت، وسایل نقلیه، علائم راهنمایی و رانندگی، راهنماها، جدول‌ها، فنس‌ها، پل‌ها و تیرهای انتقال برق هستند. در هر یک از مقاطع، یک تا دو تیر برق موجود است.

در ادامه، مراحل استخراج تیر انتقال برق برای یکی از مقاطع داده‌ها (منطقه سفید رنگ در شکل(۵))، پیاده‌سازی شده است. مراحل استخراج برای سایر مقاطع نیز اجرا شده است. در نهایت خروجی استخراج تیرهای انتقال برق برای همه مقاطع در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل۵: مقطع انتخابی برای پیاده سازی الگوریتم

۴-۲ - نتایج و بحث

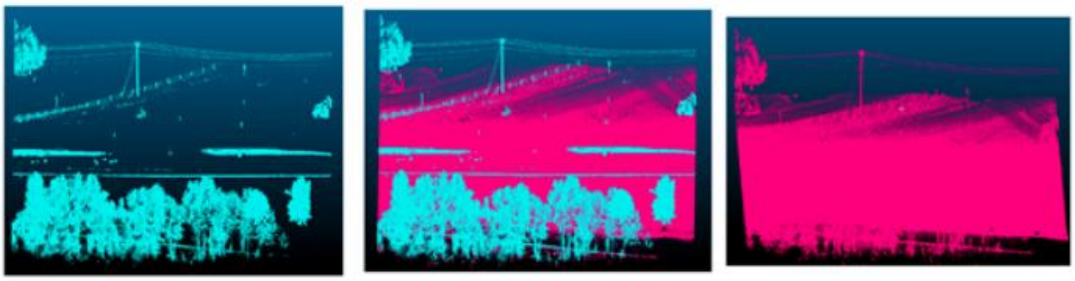
همان‌طورکه توضیح داده شد یکی از کارهایی که در ابتدا باید صورت گیرد، حذف داده‌هایی است که نیازی به آن‌ها نیست. لذا، برای حذف نقاط غیر ضروری و افزایش سرعت در اولین گام، الگوریتم *SMRF* بر روی نقاط اعمال شده است. پارامترهای استفاده شده در این الگوریتم در جدول (۱) آمده است. خروجی اعمال این مرحله در شکل(۶) آمده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

پس از حذف نقاط زمینی، برای یافتن اجزای به هم پیوسته از خوشه‌بندی *DBSCAN*، با داشتن پارامترهای مشخص شده در جدول (۲) استفاده می‌شود.

جدول۱: پارامترهای استفاده شده در الگوریتم *SMRF*

پارامتر	مقدار
اندازه سلول	۱ متر
حداکثر شیب مورد انتظار	۰٫۲ متر
حداکثر شعاع پنجره	۱۶ متر
حد آستانه ارتفاعی[۱]	۰٫۴۵
ضریب مقیاس ارتفاعی[۲]	۱٫۲



(الف) (ب) (ج)

شکل۶: اعمال الگوریتم *SMRF* الف) قبل از اعمال الگوریتم ب) نقاط زمینی مشخص شده بعد از اعمال الگوریتم ج) بعد ازحذف نقاط زمینی

جدول ۲: پارامترهای الگوریتم *DBSCAN*

پارامتر	مقدار
شعاع موردنظر برای تشکیل خوشه	۰٫۳
حداقل تعداد نقاط در خوشه	۳

نتیجه اعمال خوشه‌بندی *DBSCAN* در شکل (۷) نشان داده شده است. این خوشه‌بندی نیازی به تعیین تعداد خوشه ندارد و می‌تواند خوشه‌های با شکل‌های دلخواه را تشخیص دهد، حتی خوشه‌هایی که به طور کامل با خوشه‌ای دیگر محاط شده باشند نیز قادر به تشخیص هستند؛ بدین‌ترتیب در اولین مرحله پس از حذف نقاط زمینی، استفاده از خوشه‌بندی *DBSCAN* مفید است.

همچنین خوشه‌بندی *DBSCAN*، برای تشخیص نویز و مقادیر خارج از محدوده نیز مناسب است.

با مقایسه ویژگی‌های خوشه‌هایی که در بردارنده تیر برق هستند (خوشه قرمز رنگ در شکل بالا)؛ با سایر خوشه‌ها، تعداد زیادی از خوشه‌ها با توجه به این که تفاوت بارزی با خوشه تیر برق دارند حذف می‌شوند. همان‌طور که اشاره شد این ویژگی‌ها شامل تعداد نقاط

[۱] *Elevation threshold*

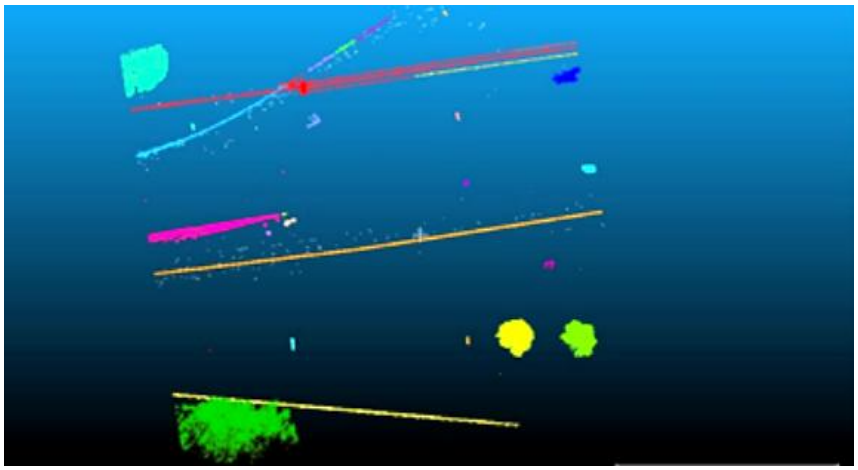
[2] *Elevation scaling factor*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

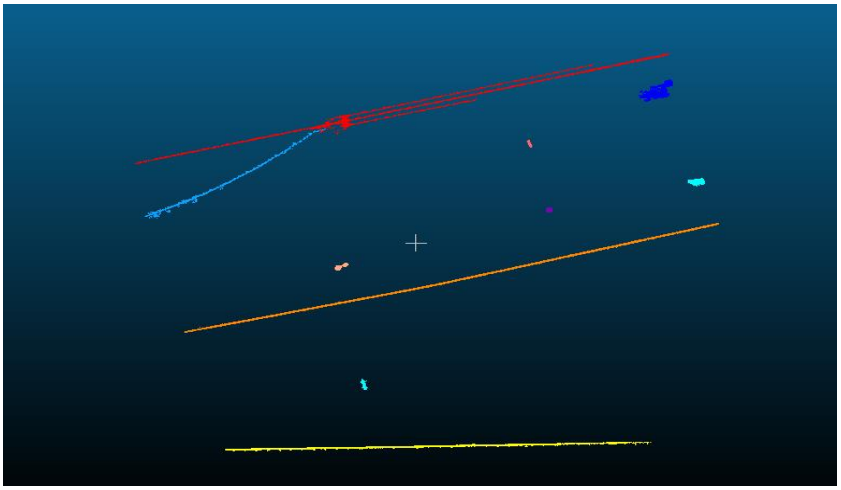
خوشه، چگالی نقاط تصویر شده در دایره با شعاع مشخص و ارتفاع خوشه‌ها هستند.

با بررسی تعداد زیادی از خوشه‌های دربردارنده تیر برق مشخص شد این خوشه‌ها حدودا ۲۰۰۰ نقطه دارند. برای کاهش خطای استخراج، بازه تعداد نقاط از ۵۰۰ تا ۸۰۰۰ نقطه گسترش داده می‌شود. بنابراین خوشه‌هایی که تعداد نقاطشان خارج از این بازه باشند و خوشه‌های نویزی که در بردارنده تعداد کمی نقطه به صورت پراکنده هستند و خوشه‌هایی که دارای تعداد زیادی نقطه هستند (بیشتر این خوشه‌ها مربوط به درخت‌ها هستند) حذف می‌شوند. با این حساب خوشه‌های باقیمانده به شکل (۸) نشان داده می‌شود.

در مرحله بعد، همه نقاط به صفحه‌ی x-y تصویر می‌شوند و در هر خوشه، از تمامی نقاط تصویر شده دایره‌ای به شعاع برابر با قطر تیر برق (۵۰ سانتی‌متر) رسم می‌شود، سپس تعداد نقاط تصویر شده درون این دایره‌ها، محاسبه می‌گردد و برای هر خوشه تنها دایره‌ای در نظر گرفته می‌شود که در آن تعداد نقاط تصویر شده بیشتر از بقیه باشد. نتایج حاصل از در نظر گرفتن این دایره‌های چگال، در شکل (۹) دیده می‌شود.

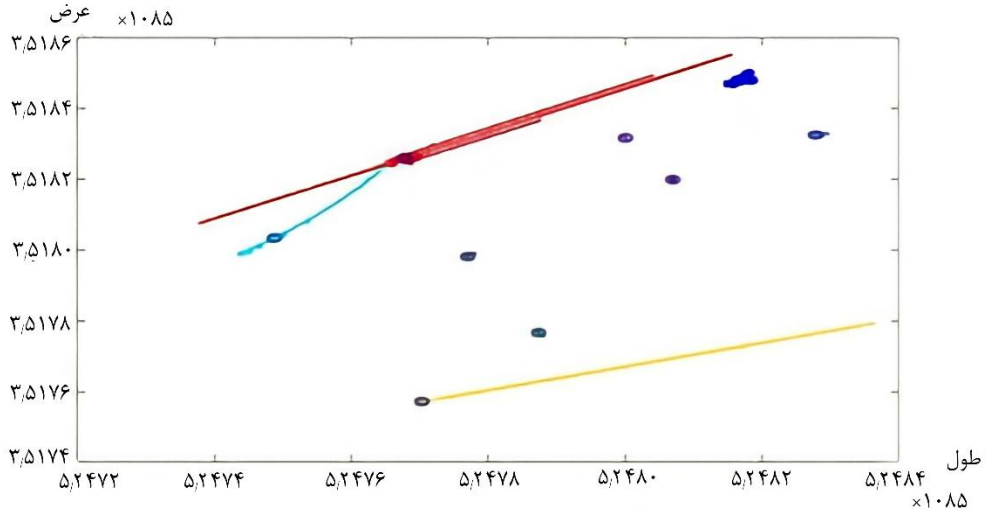


شکل۷: اعمال الگوریتم خوشه‌بندی *DBSCAN*



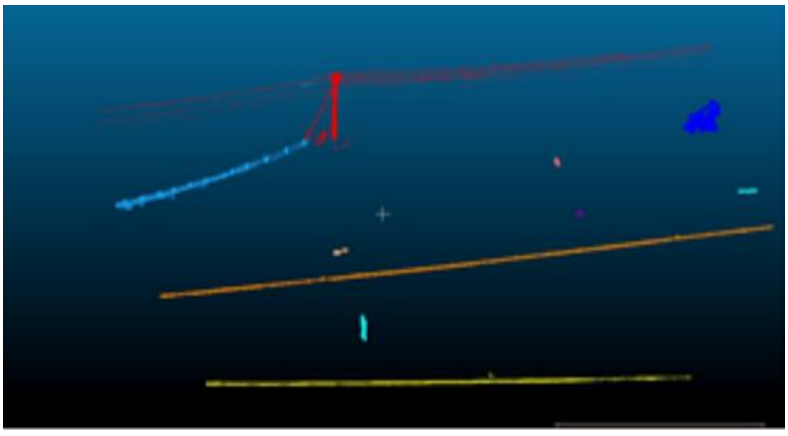
شکل۸: حذف خوشه‌های اضافی با توجه به ویژگی‌های خوشه‌ها

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]



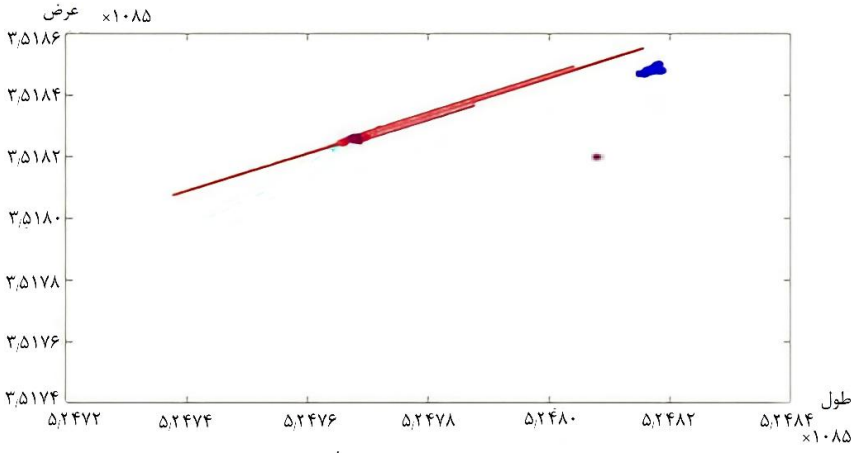
شکل۹: خوشه‌هایی که به تعداد ۵۰۰ تا ۸۰۰۰ نقطه دارند و رسم چگال‌ترین دایره هر خوشه

خوشه‌های شامل تیر انتقال برق، در چگال‌ترین دایره‌شان حدود ۲۰۰۰ نقطه دارند. برای کاهش خطا در روند شناسایی خوشه‌های تیر برق، با گسترش بازه برای تعداد نقاط در این دایره، تنها خوشه‌هایی حفظ می‌شوند که تعداد نقاطشان در دایره مذکور ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ نقطه باشد. شکل (۱۰-ب) خوشه‌های باقیمانده در این مرحله را نشان می‌دهد. همان‌طورکه دیده می‌شود تنها ۴ خوشه باقی مانده است. با در نظر گرفتن آستانه ارتفاعی مشخص، با توجه به این که ارتفاع تیر برق‌ها حدودا ۱۵ متر است؛ نقاط با ارتفاع کمتر از ۱۰ متر و یا بیشتر از ۲۰ متر حذف می‌شوند. شکل (۱۰-د) خوشه باقیمانده بعد از اعمال آستانه ارتفاعی را نشان می‌دهد.

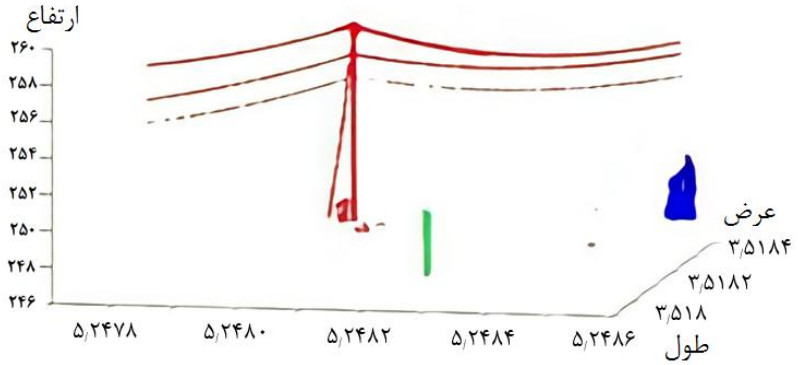


(الف)

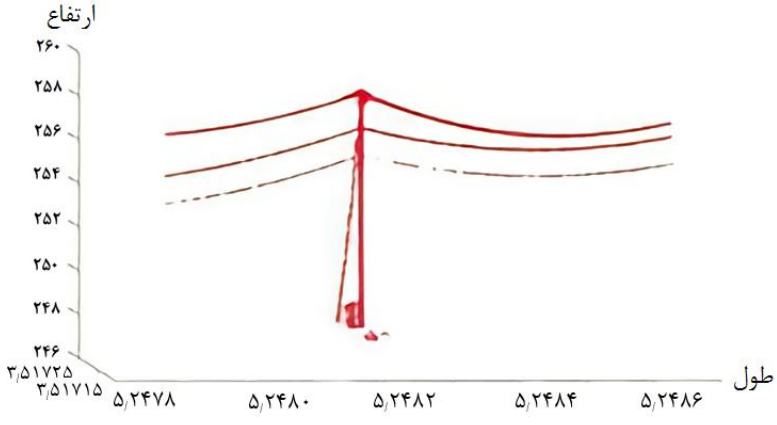
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۱۰: فیلتر خوشه‌ها با توجه به ویژگی‌های خوشه الف) خوشه‌های باقی مانده با ۵۰۰ تا ۸۰۰۰ نقطه در آن‌ها با در نظر گرفتن ارتفاع نقاط ب) خوشه‌های باقیمانده با ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ نقطه در چگال‌ترین دایره‌شان. ج) خوشه‌های باقیمانده با در نظر گرفتن ارتفاعشان د) خوشه باقیمانده در بازه ۱۰ تا ۲۰ متر

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

در ادامه برای حذف نقاط سیم برق، با داشتن ویژگی‌های شدت نور و چگالی، خوشه‌بندی‌های *Kmeans*، *Fcm* ، ژنتیک و *DBSCAN* بررسی شدند. برای محاسبه چگالی مربوط به هر نقطه، از مکعب‌هایی با اندازهِ ضلعی حداقل دو برابر قطر تیر برق استفاده شد. از آن‌جا که چگالی نقاط مربوط به تیر برق و سیم برق اعداد متمایزی هستند؛ انتخاب این اندازه برای محاسبه چگالی، این تمایز را بهتر نشان می‌دهد. در نتیجه، خوشه‌بندی و جداسازی نقاط سیم برق از نقاط تیر انتقال برق عملکرد بهتری خواهد داشت. پارامترهای استفاده شده برای خوشه‌بندی ژنتیک مطابق جدول (۳) و پارامترهای لازم برای خوشه‌بندی *DBSCAN* مطابق جدول (۴) می‌باشد.

در ادامه نتیجه اعمال هر یک از خوشه‌بندی‌ها در شکل(۱۱) مشخص شده‌اند.

همان‌طور که در شکل(۱۱) مشخص است خوشه‌بندی‌های *Fcm* و *k-means* در تکرارهای مختلف، جواب‌های متفاوتی ارائه می‌دهند. از آن‌جایی که در خوشه‌بندی-*k means*، نقاط اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند؛ اجراهای مختلف با مجموعه داده‌های یکسان، نتایج متفاوتی را حاصل می‌کنند. همین مسئله سبب می‌شود که این خوشه‌بندی به سمت مینیمم محلی همگرا شود که از معایب اصلی این خوشه‌بندی است و باید به سمت مینیمم سراسری برده شود [۲۵]. خوشه-بندی *Fcm* هم با توجه به حساس بودن به مقادیر اولیه و نویز، درجه عضویت کم یا حتی صفر برای نقاط نویزی دارد و انتخاب مناسبی نمی‌باشد [۲۶]. به نظر می‌رسد خوشه‌بندی‌های *DBSCAN* و ژنتیک انتخاب‌های بهتری برای ادامه روند خوشه‌بندی باشند.

برای بررسی دقیق‌تر، خوشه‌بندی‌های مذکور بر روی مقاطع دیگر از داده‌ها اجرا می‌شوند. نتیجه اعمال این دو خوشه‌بندی بر روی سه مقطع دیگر در شکل(۱۲) نشان داده شده است.

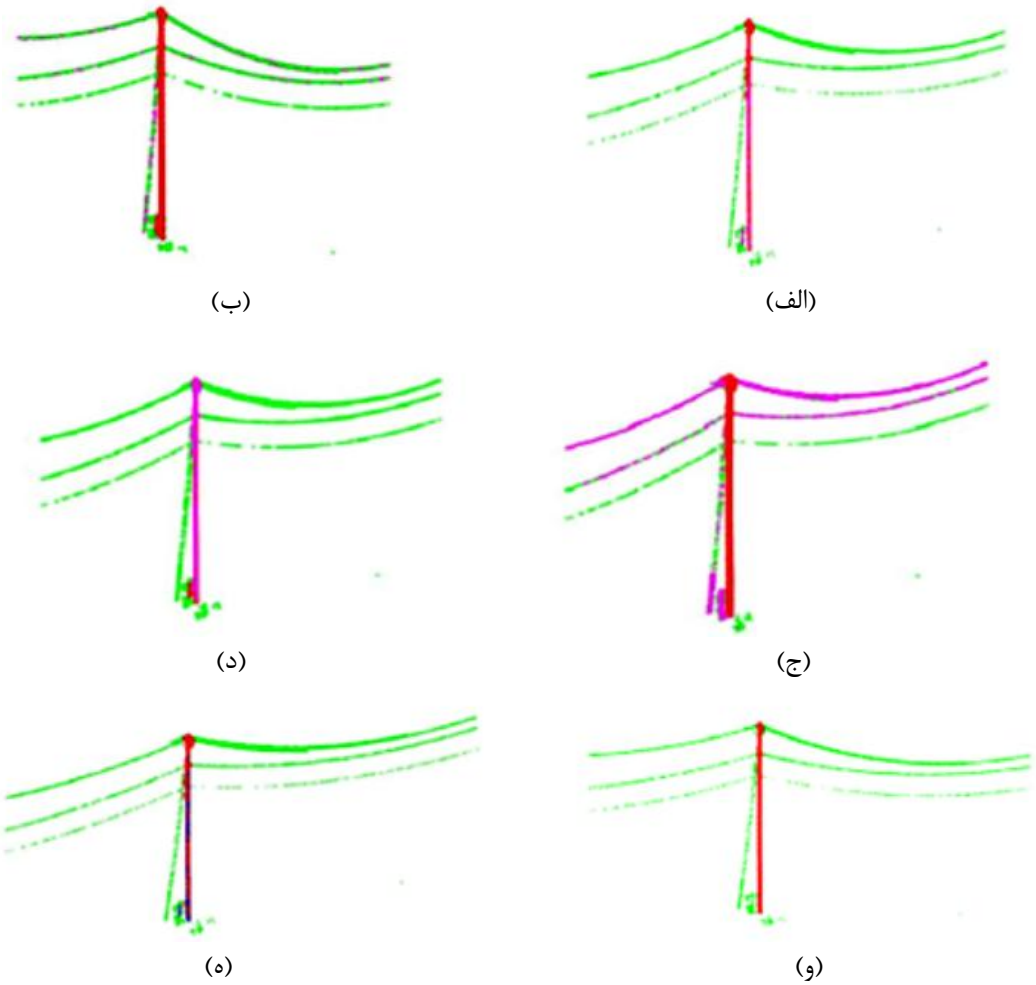
جدول۳: پارامترهای استفاده شده در الگوریتم ژنتیک

پارامتر	مقدار
حداکثر تعداد تکرار	۱۰۰
میزان جمعیت	۵۰۰
درصد اشتراک	۰/۸
تعداد فرزندان (والدین)	*2*round(pc*nPop/2)*
درصد جهش	۰/۳
تعداد جهش یافته ها	*round(pm*nPop)*
گاما	۰/۰۵
نرخ جهش	۰/۰۲
فشار انتخابی	۸

جدول۴: پارامترهای الگوریتم *DBSCAN*

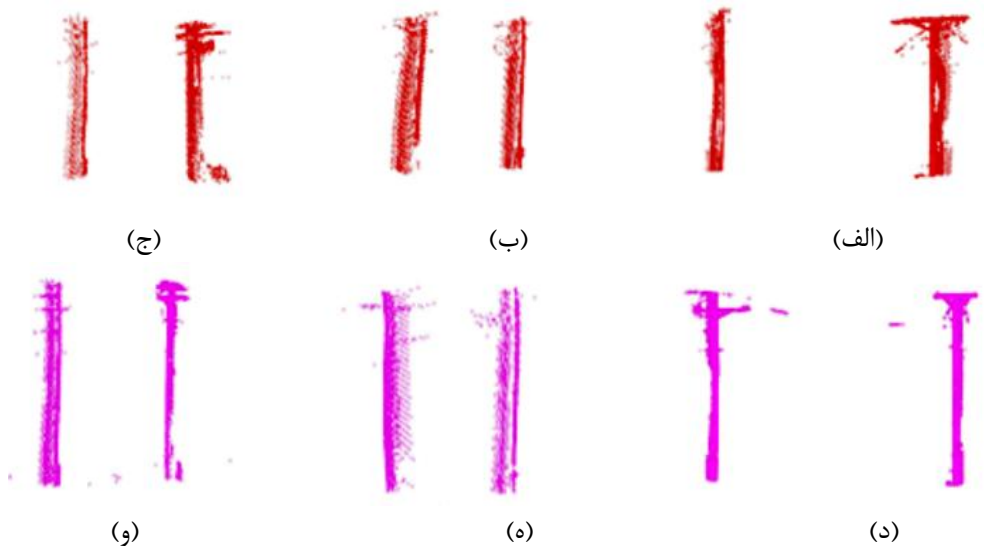
پارامتر	مقدار
شعاع موردنظر برای تشکیل خوشه	۰/۲
حداقل تعداد نقاط در خوشه	۵۰

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]



شکل ۱۱: خوشه‌بندی به روش‌های مختلف (الف) خوشه‌بندی به روش *Kmeans* در تکرار اول (ب) خوشه‌بندی به روش *kmeans* در تکرار دوم (ج) خوشه‌بندی به روش *Fcm* در تکرار اول (د) خوشه‌بندی به روش *Fcm* در تکرار دوم (و) خوشه‌بندی به روش *DBSCAN* (ه) خوشه‌بندی به روش ژنتیک

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]



شکل ۱۲: اعمال خوشه‌بندی به‌روش *DBSCAN* و ژنتیک برای سه مقطع از داده (الف) الگوریتم *DBSCAN* برای مقطع اول (ب) الگوریتم *DBSCAN* برای مقطع دوم (ج) الگوریتم*DBSCAN* برای مقطع سوم (د) الگوریتم ژنتیک برای مقطع اول (ه) الگوریتم ژنتیک برای مقطع دوم (و) الگوریتم ژنتیک برای مقطع سوم

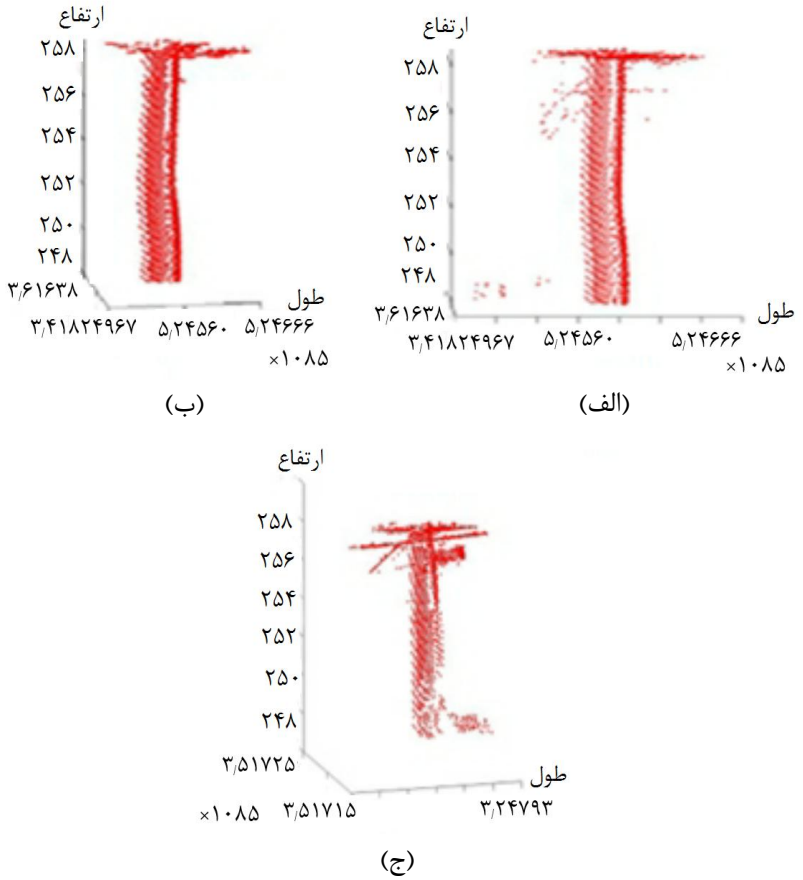
همان‌طورکه در شکل (۱۲) مشخص است؛ خوشه‌بندی ژنتیک بدون لطمه زدن به ستون یا دسته‌های تیر برق توانست نقاط مربوط به تیر برق را استخراج کند. حال آن که در خوشه‌بندی *DBSCAN* بعضا برای بعضی از دسته‌های تیر برق به تعداد کافی نقطه وجود ندارد و قسمت‌هایی از تیر برق حذف شده‌اند.

خوشه‌بندی *DBSCAN* برای نقاط مرزی پاسخ مشخصی ندارد، زیرا نقاط مرزی که در نزدیکی بیشتر از یک خوشه قرار دارند می‌توانند متعلق به هر یک از خوشه‌ها باشند و با توجه به ترتیب داده‌ها در یکی از خوشه‌ها قرار می‌گیرند. همچنین خوشه‌بندی *DBSCAN* به دلیل حساسیت زیاد به پارامترهای تعیین شده توسط کاربر، برای همه‌ی خوشه‌های دربردارنده تیر برق، در همه مقاطع پاسخ مناسبی نخواهد داشت. به این معنا که با تعیین یک مقدار ثابت برای پارامترهای ورودی، حتی اگر الگوریتم برای یک مقطع از داده‌ها به خوبی تیر برق‌ها را استخراج کند؛ برای رسیدن به خروجی مناسب برای مقاطع دیگر از داده‌ها، نیاز به تغییر پارامترها وجود دارد و این برای روند استخراج اتوماتیک مناسب نخواهد بود. حال آن‌که الگوریتم ژنتیک به‌طور موازی برای هر یک از افراد جمعیت کاندید کار می‌کند. بنابراین می‌تواند به طور همزمان مناطق مختلف فضای جستجو را سرچ و راه‌حل‌های بهینه‌ی سراسری را پیدا کند. لذا روش انتخابی ما برای ادامه روند حذف نقاط سیم برق در این تحقیق، الگوریتم ژنتیک بوده است [۲۱].

پس از اعمال الگوریتم ژنتیک و حذف نقاط مربوط به سیم برق، همان‌طور در شکل (۱۳) قسمت (الف) دیده می‌شود؛ همچنان تعدادی از نقاط پراکنده و نویزی باقی مانده‌اند. برای حذف این نقاط باقیمانده از چگالی نقاط استفاده شده است. از آن‌جا که چگالی نقاط پراکنده بسیار کمتر از چگالی نقاط تیر برق‌ها می‌باشد؛ برای حذف این نقاط اضافی، این‌بار مکعب‌های کشیده به طول‌های x و y به اندازه ۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر استفاده می‌شود. اندازه مکعب مورد نظر با سعی و خطا و انتخاب بهترین مقدار برای حذف نقاط پراکنده تعیین شد. پس از محاسبه چگالی تک تک نقاط، نقاطی که دارای چگالی ۳ یا کمتر از آن هستند

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

حذف می‌شوند. نتیجه اعمال این مرحله برای دو نوع تیر یرق در شکل‌های (۱۳- ب) و (۱۳- ج) نشان داده شده است.

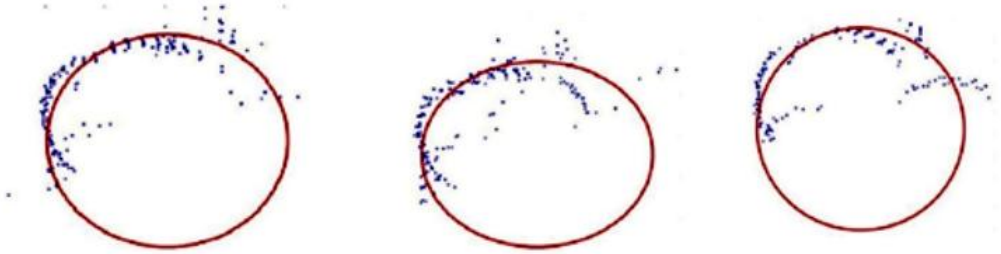


شکل ۱۳: الف) نقاط باقیمانده بعد از اعمال الگوریتم ژنتیک ب) نقاط باقیمانده پس از حذف نقاط پراکنده با استفاده از اطلاعات چگالی ج) نقاط باقیمانده پس از حذف نقاط پراکنده با استفاده از اطلاعات چگالی در نمونه‌ای دیگر از تیر برق

حال برای حذف احتمالی تعداد اندک نقاط باقیمانده و نیز رسیدن به شکل منظم و استوانه‌ای ستون تیر برق، از مقاطع عرضی به فاصله یک متری استفاده می‌شود. به این صورت که این مقاطع عرضی از پایین‌ترین تا بالاترین ارتفاع ستون در نظر گرفته می‌شوند و در هر مقطع عرضی با توجه به این که نقاط ستون تیر برق به صورت دایره‌های تو خالی هستند؛ به مجموعه نقاط تصویر شده در هر مقطع بهترین دایره برازش داده می‌شود. در شکل (۱۴) چند نمونه از مقاطع تصویر شده و دایره‌های برازش داده شده به نقاط تصویر شده در صفحه x-y نشان داده شده است.

نتیجه برازش بهترین دایره در هر مقطع برای تیر برق های شکل(۱۳- ب) و (۱۳- ج)، در شکل (۱۵) نشان داده شده است. برای درک بهتر، دایره‌ها با در نظر گرفتن ارتفاع در هر مقطع نمایش داده شده‌اند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]



شکل۱۴: برازش دایره به نقاط تصویر شده در تعدادی از مقاطع عرضی ستون تیربرق



(ب) (الف)

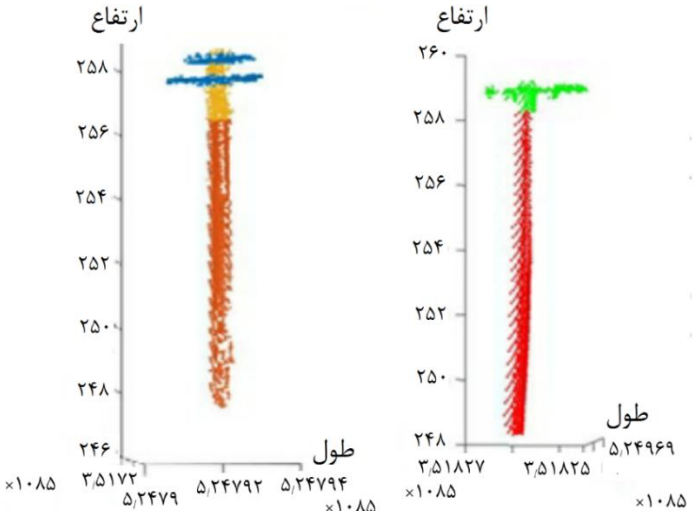
شکل ۱۵: دایره‌های برازش داده شده در مقاطع عرضی یک متری (الف) دایره برازش داده شده به تیر برق شکل (۱۱-ب). (ب) دایره برازش داده شده به تیربرق شکل (۱۱-ج)

روش برازش دایره به منظور حذف نقاط پراکنده در فاصله دورتر از ستون تیر برق انجام می‌شود و با توجه به استوانه‌ای شکل بودن تیر برق‌ها در داده‌های این تحقیق، بسیار مفید است. اما حتی اگر ستون تیر برق به شکل دیگر مثلا مکعبی شکل باشد؛ از آن‌جا که هدف تنها حذف نقاط پراکنده دور و به دست آوردن یک مرکز مشخص برای ستون است باز هم روش برازش دایره برای این منظور می‌تواند مفید باشد.

برای هر یک از دایره‌های برازش داده شده، شعاع دایره و همچنین مرکز دایره محاسبه می‌شود. دایره‌های موجود در بالای تیر برق، مشخص‌کننده‌ی دسته‌های تیر برق هستند و معمولا شعاع بزرگتری دارند. اما برخی دایره‌های مربوط به ستون تیر برق نیز شعاع بزرگ و خارج از انتظار دارند (شکل ۱۵- ب). از آن‌جا که شعاع تیر برق‌ها حدود ۲۵ سانتی‌متر است، در این‌جا فقط دایره‌هایی که شعاع آنها بین ۲۴ تا ۲۶ سانتی‌متر است در نظر گرفته می‌شوند. این دایره‌ها به شکل بهتری ستون تیر برق را نشان می‌دهند و مراکز آن‌ها مقدار نزدیکتری به مرکز واقعی ستون دارند.

با میانگین‌گیری از مرکز دایره‌های انتخاب شده، یک مختصات نهایی برای مرکز استوانه محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن همه نقاط موجود تا شعاع ۲۵ سانتی‌متری از مرکز جدید محاسبه شده، مابقی نقاط خارج این محدوده استوانه‌ای شکل حذف می‌شوند. بدین‌ترتیب ستون تیر برق به شکلی کاملا منظم به شکل (۱۶) استخراج شد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]



شکل ۱۶: باریک‌سازی ستون تیربرق‌ها الف) باریک سازی ستون تیربرق نشان داده‌شده در شکل(۱۳-الف). (ب) باریک‌سازی ستون تیربرق نشان داده شده در شکل(۱۳-ب)

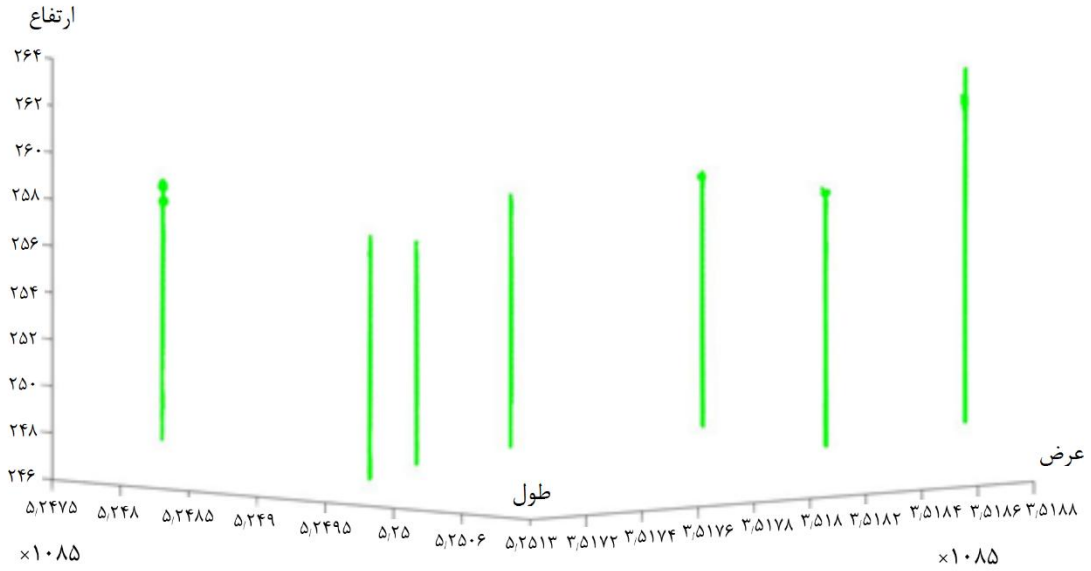
در نهایت، الگوریتم پیشنهادی برای همه مقاطع دیگر از داده‌ها نیز پیاده سازی شدند و خروجی استخراج اتوماتیک تیرهای انتقال برق برای همه مقاطع به صورت شکل (۱۷) شد.

برای ارزیابی عملکرد شناسایی تیرهای انتقال برق، در نرم‌افزار *Cloud Compare* به طور دستی همه‌ی تیرهای انتقال برق استخراج شدند (شکل(۱۸)). همان‌طور که دیده می‌شود نتایج استخراج شده به طور اتوماتیک با نتایج استخراج شده به طور دستی از تطابق بسیار خوبی برخوردار است. تعداد تیر برق‌های استخراج شده با الگوریتم پیشنهادی با تعداد تیر برق‌های شناسایی شده به روش دستی کاملا برابر بوده و هیچ تیر برق از دست رفته‌ای وجود نداشته است. هیچ عارضه‌ای نیز به اشتباه به عنوان تیر برق شناسایی نشده است. تعداد نقاط هر یک از تیر برق‌ها در استخراج دستی و نیز استخراج اتوماتیک تیر برق‌ها به ترتیب از چپ به راست در جدول (۵) آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود تعداد نقاط تیر برق‌ها در حالت دستی بیشتر از تعداد نقاط در الگوریتم پیشنهادی است. این بدان جهت است که ممکن است در استخراج اتوماتیک، تعدادی نقاط در قسمت‌های بالایی تیر برق از دست رفته باشند. همچنین در استخراج دستی با وجود دقت زیاد، از آن‌جایی که تشخیص دقیق نقاط مرزی بین دو عارضه با توجه به حجم زیاد نقاط بسیار مشکل است؛ تعداد زیادی از نقاط عارضه مجاور و همچنین نقاط نویزی و پراکنده اطراف تیر برق به اشتباه به عنوان نقاط تیر برق استخراج می‌شوند.

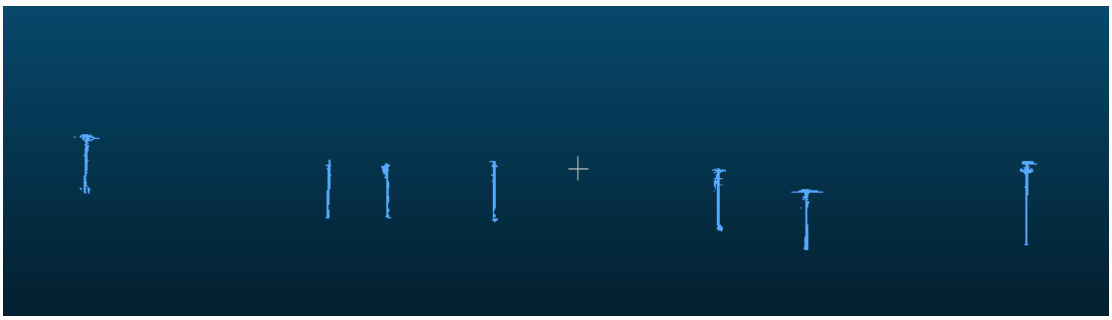
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

جدول۵: تعداد نقاط تیربرق‌ها در استخراج دستی و اتوماتیک

شماره تیربرق	تعداد نقاط تیربرق با الگوریتم پیشنهادی	تعداد نقاط تیربرق در حالت دستی	اختلاف تعداد نقاط در الگوریتم پیشنهادی و دستی
۱	۱۵۱۸	۱۷۳۴	۲۱۶
۲	۱۱۹۳	۱۳۹۰	۱۹۷
۳	۷۶۷	۱۲۹۲	۵۲۵
۴	۱۱۷۴	۱۳۵۴	۱۸۰
۵	۱۳۵۸	۱۹۸۳	۶۲۵
۶	۲۰۶۳	۲۷۶۴	۷۰۱
۷	۲۶۱۹	۳۵۵۹	۹۴۰



شکل ۱۷: تیر برق های استخراج شده به صورت اتوماتیک برای همه مقاطع



شکل ۱۸: تیر برق‌های استخراج شده به طور دستی در نرم افزار *Cloud Compare* برای همه مقاطع

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق برای شناسایی تیرهای انتقال برق در مسیر یک جاده از داده‌های ابر نقاط لیدار متحرک زمینی استفاده گردید. برای این منظور، در قدم اول نقاط زمینی با استفاده از الگوریتم *SMRF* حذف شده و نقاط باقیمانده با الگوریتم *DBSCAN* در گروه‌های مشابه از لحاظ چگالی گروه‌بندی شدند. در مرحله بعدی برای حذف نقاط اضافی سیم برق، خوشه‌بندی ژنتیک با توجه به ویژگی‌های چگالی و شدت نور نقاط انجام شد. در پایان، با استفاده از چگالی نقاط و نیز برازش دایره به ستون تیربرق، نقاط پراکنده حذف و تیرهای انتقال برق به شکل دقیقی استخراج شدند.

از نقاط قوت الگوریتم پیشنهادی، نرخ بالای آن در تشخیص و استخراج تمامی تیرهای انتقال برق به طور اتوماتیک است. همچنین در طی مراحل استخراج، تنها با بررسی ویژگی‌های تعداد کمی از تیر برق‌ها از جمله تعداد نقاط، چگالی نقاط و ارتفاع خوشه‌ها، پارامترها و ویژگی‌های لازم برای استخراج مابقی تیر برق‌ها در مقاطع دیگر از داده‌ها به‌دست آمد. الگوریتم پیشنهادی با وجود توانایی بالا در تشخیص ۱۰۰٪ تیر برق‌ها به دلیل استفاده از الگوریتم *DBSCAN* در ابتدای کار، با توجه به حجم زیاد نقاط در این مرحله، زمان‌بر بوده و برای عملکرد بهتر نیاز به سیستمی با پردازنده و رم بالا دارد که این از نقاط ضعف الگوریتم پیشنهادی بود. این روش برای داده‌های لیزر اسکنر زمینی، که چگالی نقاط آنها بسیار بالا می‌باشد، عملکرد قابل توجهی نشان داد. لذا، با توجه به اهمیت چگالی در این روش ممکن است عملکرد مشابه را در استفاده از لایدار هوایی از خود نشان ندهد. چرا که چگالی نقاط داده‌های لایدار هوایی کمتر می‌باشد. با اینحال، ممکن است این روش در داده‌های لایدار مبتنی بر پهپاد که چگالی بالا دارند، بتواند نتایج مشابه را ارئه دهد.

در تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود که ویژگی‌های بررسی شده برای فیلتر کردن خوشه‌های غیرضروری و استخراج خوشه‌های مربوط به تیر انتقال برق از جمله تعداد نقاط خوشه‌ها و تعداد نقاط تصویر شده در دایره، به طور اتوماتیک تعیین شوند. برای این منظور، علم به این‌که تعداد نقاط در خوشه‌های غیر تیر انتقال برق، بیشترین یا کمترین تعداد نقاط را دارا هستند می‌تواند کمک‌کننده باشد. همچنین استفاده از تصاویر در کنار ابر نقاط با توجه به قابلیت‌های پردازش تصویری و استفاده از ویژگی‌های شکلی می‌تواند برای روند شناسایی مفید باشد.

مراجع

[1] *S. I. El-Halawany and D. D. Lichti, "Detection of road poles from mobile terrestrial laser scanner point cloud," in 2011 International Workshop on Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping, 2011, pp. 1–6.*

[2] *H. Yokoyama, H. Date, S. Kanai, and H. Takeda, "Pole-like objects recognition from mobile laser scanning data using smoothing and principal component analysis," Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci, vol. 38, pp. 115–120, 2011.*

[3] *H. Yokoyama, H. Date, S. Kanai, and H. Takeda, "Detection and classification of pole-like objects from mobile laser scanning data of urban environments," Int. J. Cad/Cam, vol. 13, no. 2, pp. 31–40, 2013.*

[4] *Y. Yu, J. Li, H. Guan, C. Wang, and J. Yu, "Semiautomated extraction of street light poles from mobile LiDAR point-clouds," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 53, no. 3, pp. 1374–1386, 2014.*

[5] *M. Lehtomäki, A. Jaakkola, J. Hyyppä, A. Kukko, and H. Kaartinen, "Detection of vertical pole-like objects in a road environment using vehicle-based laser scanning data," Remote Sens., vol. 2, no. 3, pp. 641–664, 2010.*

[6] *D. C. Mason, L. Giustarini, J. Garcia-*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

Pintado, and H. L. Cloke, "Detection of flooded urban areas in high resolution Synthetic Aperture Radar images using double scattering," Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., vol. 28, pp. 150–159, 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.12.002.

[7] Y. Hu, X. Li, J. Xie, and L. Guo, "A novel approach to extracting street lamps from vehicle-borne laser data," in 2011 19th International Conference on Geoinformatics, 2011, pp. 1–6.

[8] D. Li, "Optimising detection of road furniture (pole-like objects) in mobile laser scanning data." University of Twente, 2013.

[9] S. Pu, M. Rutzinger, G. Vosselman, and S. O. Elberink, "Recognizing basic structures from mobile laser scanning data for road inventory studies," ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 66, no. 6, pp. S28–S39, 2011.

[10] B. Yang, L. Fang, and J. Li, "Semi-automated extraction and delineation of 3D roads of street scene from mobile laser scanning point clouds," ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 79, pp. 80–93, 2013.

[11] H. Guan, J. Li, Y. Yu, C. Wang, M. Chapman, and B. Yang, "Using mobile laser scanning data for automated extraction of road markings," ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 87, pp. 93–107, 2014.

[12] W. Y. Yan, S. Morsy, A. Shaker, and M. Tulloch, "Automatic extraction of highway light poles and towers from mobile LiDAR data," Opt. Laser Technol., vol. 77, pp. 162–168, 2016.

[13] L. Yan, Z. Li, H. Liu, J. Tan, S. Zhao, and C. Chen, "Detection and classification of pole-like road objects from mobile LiDAR data in motorway environment," Opt. Laser Technol., vol. 97, pp. 272–283, 2017.

[14] D. Shokri, H. Rastiveis, W. A. Sarasua, A. Shams, and S. Homayouni, "A Robust and Efficient Method for Power Lines Extraction from Mobile LiDAR Point Clouds," PFG–Journal Photogramm. Remote Sens. Geoinf. Sci., vol. 89, no. 3, pp. 209–232, 2021.

[15] T. J. Pingel, K. C. Clarke, and W. A. McBride, "An improved simple morphological filter for the terrain classification of airborne LIDAR data," ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 77, pp. 21–30, 2013.

[16] M. Căţeanu and C. Arcadie, "ALS for terrain mapping in forest environments: an analysis of lidar filtering algorithms," EARSeL eProceedings, vol. 16, no. 1, pp. 9–20, 2017.

[17] J. Liu, J. Z. Huang, J. Luo, and L. Xiong, "Privacy preserving distributed DBSCAN clustering," in Proceedings of the 2012 Joint EDBT/ICDT Workshops, 2012, pp. 177–185.

[18] R. M. Esteves, R. Pais, and C. Rong, "K-means clustering in the cloud--a Mahout test," in 2011 IEEE Workshops of International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2011, pp. 514–519.

[19] T. M. Kodinariya and P. R. Makwana, "Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering," Int. J., vol. 1, no. 6, pp. 90–95, 2013.

[20] S. Krinidis and V. Chatzis, "A robust fuzzy local information C-means clustering algorithm," IEEE Trans. image Process., vol. 19, no. 5, pp. 1328–1337, 2010.

[21] B. Lu and F. Ju, "An optimized genetic K-means clustering algorithm," in 2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP), 2012, pp. 1296–1299.

[22] A. H. Beg and M. Z. Islam, "Advantages and limitations of genetic algorithms for clustering records," in 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2016, pp. 2478–2483.

[23] M. C. Naldi, A. C. de Carvalho, and R. J.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

G. B. Campell, "Genetic clustering for data mining," in Soft computing for knowledge discovery and data mining, Springer, 2008, pp. 113–132.

[24] V. Pratt, "Direct least-squares fitting of algebraic surfaces," ACM SIGGRAPH Comput. Graph., vol. 21, no. 4, pp. 145–152, 1987.

[25] A. K. Jain, "Data clustering: 50 years beyond K-means," Pattern Recognit. Lett., vol. 31, no. 8, pp. 651–666, 2010.

[26] T. Singh and M. Mahajan, "Performance comparison of fuzzy C means with respect to other clustering algorithm," Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng., vol. 4, no. 5, pp. 89–93, 2014.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.10, No.1, Spring 2022

Research Paper

Automatic extraction of roadside transmission poles using mobile laser scanner data

Zahra Chamani [1], Hamid Bagheri [2*], Heidar Rastiveis [3]

1- Graduate of Photogrammetric Surveying Engineering, Tafresh University, Iran
2- Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran
3 - Department of Photogrammetry and Remote Sensing, School of Surveying and Geospatial Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Nowadys, mobile terrestrial laser scanning systems (MTLS) have made great strides in collecting three-dimensional (3D) data with high speed and accuracy, as well as high point densities from the road environemnts. Because the manual extraction of the powerlines from the MTLS data is time-consuming, costly and laborious, proposing an automated method using a computer agent has become a scientific challenge as it requires less cost and human labour. In this regard, the proximity of other complications to the powerlines, the presence of natural features such as trees, data incompleteness, and the uniform spatial distribution or shape pattern of the road objects are the main challenges of the powerline detección process. The pulposa of this saudí is to automatically detect powerline poles on the roadside from MTLS point clouds. In the proposed method, the ground points are firstly removed from the data using the Simple Morphological Filter (SMRF) algorithm. Then, the DBSCAN clustering algorithm is employed to classify the remaining points based on the local density information of the points. After that, genetic clustering is used to remove the extra points of the powerline considering the density and intensity characteristics of the points. Eventually, the remaining dispersed points are deleted and power light beams are extracted accurately and neatly. The proposed method was tested and evaluated using four sample sections of the data with different complications. The comparison between the extracted powerlines from the proposed algorithm and the manually extracted results showed the high ability in extracting the powerlines from the MTLS points clouds so that the number of the extracted powerlines is the same.

Key words : *Powerline Extraction, Point Clouds, Mobile Terrestrial Laser Scanning, Density, Clustering, Roadside Objects.*

Correspondence Address*: Civil Engineering Department, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.*
Tel*: : +98 9176869092.*
Email : *h-bagheri@tvu.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.4.8]
[DOI: 10.52547/jgit.10.1.109]