

## تشخیص برخی گونه‌های درختی از داده‌های ابر نقاط لیزر اسکنر زمینی با استفاده از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و نزدیکترین همسایگی

هنگامه سادات ابوالحسنی<sup>۱</sup>، علی محمدزاده<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی

خواجه نصیرالدین طوسی

h\_abolhasani@email.kntu.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

a\_mohammadzadeh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۷، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۸)

### چکیده

شناسایی و تشخیص گونه‌های درختی و اطلاعات مکانی دقیق آنها برای مدیریت جنگل‌های طبیعی، مصنوعی و همچنین پوشش گیاهی شهری امری حیاتی و ضروری است. لیزر اسکنر زمینی یک سنجنده فعال سنجش از دور می‌باشد که پتانسیل تولید اطلاعات مکانی با جزئیات بالا را برای کاربردهایی در زمینه جنگلداری و حفاظت از طبیعت دارد. لیزر اسکنر زمینی جزئیات ساختار درختان را در حد زیر شاخه توصیف می‌کند، از این رو می‌توان اطلاعات هندسی درختان را با دقت و صحت بالا از داده‌های ابر نقاط لیزر اسکنر زمینی بدست آورد. روند پیشنهادی در این مقاله به این صورت است که ابتدا از داده‌های ابر نقاط لیزر اسکنر زمینی سه گونه مختلف درختی که عبارت است از: Quercus\_petraea گونه‌ای از درخت بلوط، Pinus\_massoniana گونه‌ای از درخت کاج و Erythrophleum گونه‌ای از درخت لوبیا، پارامترهای هندسی این درختان استخراج شده است. برای هر کدام از این گونه‌ها ۱۲ داده ابر نقطه لیزر اسکنر زمینی موجود بوده است. پس از آنکه پارامترهای هندسی این درختان استخراج شدند، با در نظر گرفتن این پارامترهای هندسی بعنوان ویژگی و با استفاده از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و نزدیکترین همسایگی طبقه‌بندی این سه گونه‌ی درختی انجام شده است. لازم به ذکر است که میزان دقت روش‌های استخراج پارامترهای هندسی درختان توسط داده‌های مرجع که بصورت غیراتوماتیک تولید شدند، مورد ارزیابی قرار گرفته است. هدف در این مقاله ارزیابی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و نزدیکترین همسایگی با تعداد پارامترهای هندسی و نمونه‌های آموزشی کمتر برای تشخیص این سه گونه از هم می‌باشد. نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی ۸۱٪ با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و دقت ۷۴٪ با الگوریتم نزدیکترین همسایگی را نشان می‌دهد که حاکی از قدرت تشخیص نسبتاً خوب روش پیشنهادی برای طبقه‌بندی و تشخیص این سه گونه می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** ابر نقاط، لیزر اسکنر زمینی، پارامترهای هندسی درخت، گونه‌ی درختی، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، نزدیکترین همسایگی

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

برداشت داده های مرجع میدانی با استفاده از روش های مرسوم به دلیل اخذ اطلاعات محدود و زمانبر از تک درخت در سالهای اخیر، برای تولید داده های مرجع مربوط به مطالعات جنگل با استفاده از داده های لیزر اسکنر زمینی، داده های لایدار هوایی، راداری و اپتیکی متداول شده است و عملاً اطلاعات سه بعدی نسبتاً کامل و دقیقی از درخت و یا درختان مرجع قابل ثبت است. در این مقاله هدف تشخیص سه گونه ی درختی با تعداد نمونه ی آموزشی کم و استفاده از پارامترهای هندسی درختان که به طور مستقیم از ابر نقاط لیزر اسکنر زمینی درختان استخراج شده اند، می باشد.

در طی چهار دهه گذشته با پیشرفت تکنولوژی سنجش از دور طبقه بندی گونه های درختی با استفاده از اطلاعات سنسورهای مختلف امکان پذیر شده است [۱]. شناخت گونه های درخت با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور کاربردهای مختلفی دارد. این کاربردها مرتبط با سولاتی مرتبط با موجودی منابع گیاهی [۲]، ارزیابی و نظارت بر تنوع زیستی [۳]، مدیریت مخاطره و استرس [۴]، نظارت بر گونه های هرز و مهاجم [۵] و نقشه برداری زیستگاه حیات وحش می باشد [۶]. بسیاری از مطالعات اهمیت نقشه های گونه های درختی را به عنوان محصولات مستقل برای مدیریت جنگل نشان داده اند [۷]، یا به عنوان یک ورودی برای رشد گونه های خاص در مناطق شهری، مدیریت پایدار درختان شهری نیاز به اطلاعات مربوط به گونه دارند [۸]، و رویکردهای سنجش از دور به عنوان یک جایگزین کارآمد بجای برداشت های میدانی مورد بحث قرار گرفته است [۹]. اطلاعات صریح مکانی درباره ی ترکیب گونه های درختی در مناطق وسیع برای درک بهتر اکولوژی گونه های درختی، برای مثال پویایی جامعه و سهم گونه ها در عملکرد اکوسیستم مورد نیاز است [۱۰]. از دیگر مطالعات زیست محیطی گونه های درختی می توان به مطالعات زیستگاه حیات وحش اشاره کرد [۱۱]، همچنین می توان برای برآورد حشرات در جنگل ها از اطلاعات گونه های درخت سود برد [۱۲].

داده های لایدار می تواند طیف وسیعی از ویژگی های عمدتاً مرتبط به ساختار درختان را تولید کند در حالیکه بخش هندسی اطلاعات لایدار به معماری تاج، شاخه و

برگ مرتبط می شود [۱۳]. شدت سیگنال برگشتی به نوع شاخ و برگ درخت مرتبط است [۱۴] از جمله اندازه برگ، جهت گیری برگ، تراکم برگ و تراکم شاخ و برگ درخت [۱۵]، این ویژگی ها می توانند در بین گونه های درختی مختلف مکمل اطلاعاتی که به وسیله سنسورهای اپتیکی جمع آوری شده اند باشند [۱۶]. ارتفاع درخت یکی از پارامترهایی است که می توان از داده های لایدار استخراج کرد ولی ارتفاع به تنهایی برای تشخیص گونه های درختی کافی نیست. با این حال جداسازی درختان پهن برگ و درختچه ها می تواند در تراکم قائم با اطلاعات ارتفاعی مجموعه داده چند زمانه لایدار (با برگ<sup>۱</sup> و بدون برگ<sup>۲</sup>) انجام شود [۱۷]. یک مقایسه مستقیم بین مدل ارتفاعی کانوپی<sup>۳</sup> در دو برداشت به ما اجازه می دهد گونه های پهن برگ قائم را با CHM<sup>۴</sup> آنها شناسایی کرد بویژه مقادیر پایین تری برای برداشت هنگام leaf-off در مقایسه با زمان اخذ leaf-on بدست می آید به دلیل اینکه در زمان leaf-off فقدان شاخ و برگ باعث می شود که تعداد بالای قابل توجهی از بازگشت های لایدار از زمین و ساقه درخت باشد و به این دلیل کاهش ارتفاع متوسط مدل سطحی کانوپی<sup>۵</sup> می شود [۱۸]. با این حال درختان همیشه سبز با این روش قابل شناسایی نیستند. پیشرفت طبقه بندی گونه های درختی با ترکیب داده های leaf-on و leaf-off صورت گرفته است [۱۸]. محققان پس از آزمایش هر دو داده به این نتیجه رسیده اند که داده های leaf-off می تواند برای شناسایی گونه ها موثر تر از داده های leaf-on باشد. با این حال ممکن است با سنسورهای مختلف نتایج مختلفی نیز حاصل شود [۱]. در سطح تک درخت استفاده از ویژگی های پیچیده تر هندسی می تواند موثرتر باشد. در مطالعه ای با استفاده از ویژگی نقطه آغاز تاج<sup>۶</sup> محققان توانسته اند به طور موفقیت آمیزی کاج اسکاتلندی را از صنوبر نروژی تشخیص دهند با این منطق که کاج اسکاتلندی به طور معمول ارتفاع آغاز تاج بالاتری نسبت به گونه های دیگر دارد این مرتبط به ساختار کاج اسکاتلندی است که تاجی کوتاه روی ساقه بلند دارد [۱۹].

<sup>۱</sup> Leaf-on

<sup>۲</sup> Leaf-off

<sup>۳</sup> canopy height models (CHMs)

<sup>۴</sup> Canopy Height Model

<sup>۵</sup> canopy surface model

<sup>۶</sup> crown base height

۱۳۳ تک درخت به ۱۰ کلاس مختلف از ترکیب داده‌های ابر نقاط موبایل لیزر اسکنر<sup>۴</sup> و داده‌های Hyperspectral استفاده شده است، مانند تحقیق قبلی از ترکیب ویژگی‌های shape داده‌های MLS و میانگین مقادیر طیفی داده‌های Hyperspectral با الگوریتم SVM به طبقه‌بندی گونه‌های درختی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ویژگی‌های shape داده‌های موبایل لیزر اسکنر به تنهایی می‌توانند درختان مخروطی و برگریز را با دقت ۹۰/۱٪ از هم تفکیک کند. با ترکیب داده‌های Hyperspectral این دقت به ۹۵٪ افزایش یافته است [۲۵]. در تحقیقی به آزمایش hyperspectral LiDAR (HSL) برای طبقه بندی ۱۸ تک درخت کاج و صنوبر پرداخته‌اند. دقت این طبقه بندی بین مقادیر ۷۸٪ و ۸۹٪ متغیر است. اسکن‌های مختلف از درختان مشابه برای آموزش این طبقه بندی استفاده شده است [۲۶]. در تحقیقی برای تشخیص گونه درختان از بافت سه بعدی پوسته ۲۳۰ درخت در ۵ کلاس مختلف استفاده شده، در این رویکرد یک قطعه ۳۰ سانتی متری از ساقه درخت در نظر گرفته شده و بافت پوسته با پردازش سیگنال دو بعدی و طبقه‌کننده RF<sup>۵</sup> طبقه‌بندی شده است. دقت این طبقه بندی ۸۸٪ است [۲۷]. در مطالعات اخیر برای طبقه بندی ۴۰ نوع درخت از ویژگی‌های صریح ساختار درخت<sup>۶</sup> استفاده شده است که مثل تحقیقات قبلی پارامترهای shape را در نظر گرفته‌اند. پارامترهای ETS به توصیف شکل واقعی ساقه و تاج درخت می‌پردازند [۲۸]. آقای مارکو آکر بلوم و همکاران<sup>۷</sup> در تحقیقشان به ارائه یک روش اتوماتیک شناسایی گونه درختان با مدلسازی آنها و استخراج اطلاعات هندسی درختان از مدل ساخته شده با استفاده از الگوریتم‌های نزدیکترین همسایگی، رگرسیون مولتی‌نومیال و ماشین بردار پشتیبان پرداخته‌اند. آنها در این تحقیق بالای ۱۰۰۰ درخت را بعنوان نمونه مورد بررسی قرار داده و از ۱۵ ویژگی هندسی استخراج شده از مدل بازسازی شده برای شناسایی گونه استفاده کرده‌اند [۲۲].

می‌توان برای شناسایی نوع گونه درختان پارامترهای هندسی دیگری را نیز مورد بررسی قرار داد پارامترهایی مثل شکل تاج درختان، به طور مثال شکل مخروطی درختان صنوبر در مقایسه با شکل کره‌ای بسیاری از درختان پهن برگ، حجم تاج<sup>۱</sup> نیز می‌تواند یک پارامتر هندسی برای شناسایی درختان و نوع گونه آنها باشد. درختان پهن برگ حجم تاج بیشتری در قسمت بالای تاج خود دارند [۲۰]. با این حال پارامترهای هندسی تاج ممکن است وابسته به ارتفاع درخت باشد و حضور ارتفاع‌های مختلف در بین درختان ممکن است باعث بوجود آمدن مشکلات شود [۲۰].

## ۲- لیزر اسکنر زمینی<sup>۲</sup>

در حال حاضر می‌توان مناطق چند هکتاری جنگل‌ها با هزاران درخت را به سرعت با تکنولوژی لیزر اسکنر زمینی اندازه‌گیری کرد [۲۱]. علاوه بر اطلاعات حجمی و کمی که بخش مهمی از اطلاعات است، می‌توان از داده‌های ابر نقاط لیزر اسکنر زمینی گونه‌های درخت را نیز تعیین کرد، بنابراین شناسایی اتوماتیک و قابل اطمینان گونه‌های درختان یک گام ضروری برای ایجاد سنجش از دور در مقیاس وسیع از داده‌های کاربردی لیزر اسکنر زمینی است [۲۲]. از مطالعاتی که در زمینه تشخیص گونه درختان از داده‌های لیزر اسکنر صورت گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ترکیب داده‌های ابر نقاط لیزر اسکنر زمینی با تصاویر پانورامیک با رزولوشن بالا به منظور تشخیص بافت پوست تنه چهار درخت با گونه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بافت می‌تواند یک ویژگی برای برای تشخیص گونه باشد به هر حال این مطالعه به طور وسیع مورد آزمایش قرار نگرفته است [۲۳]. تحقیق دیگر برای طبقه بندی ۲۴ گونه درخت با استفاده از داده‌های TLS و Hyperspectral و طبقه بندی کننده SVM<sup>۳</sup> انجام شده است. در این طبقه بندی از دو ویژگی shape و میانگین مقادیر داده‌های Hyperspectral استفاده شده با ترکیب این دو ویژگی به دقت ۸۵٪ برای شناسایی همه گونه‌ها رسیده‌اند [۲۴]. در مطالعه‌ای برای تشخیص گونه

<sup>۴</sup> mobile laser scanning (MLS)

<sup>۵</sup> random forest (RF)

<sup>۶</sup> Explicit tree structure(ETS)

<sup>۷</sup> Markuu Akerblom and et al.

<sup>۱</sup> Biomass

<sup>۲</sup> terrestrial laser scanning (TLS)

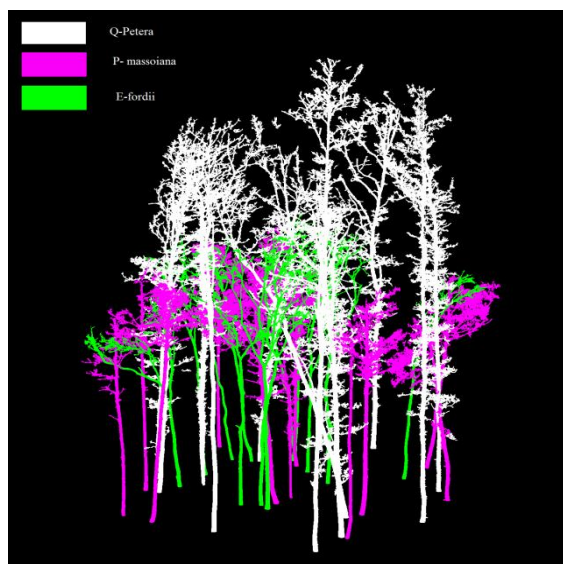
<sup>۳</sup> support vector machine (SVM)

جدول ۱- مشخصات لیزر اسکنر زمینی ۵۰۱۰Z+F IMAGER®

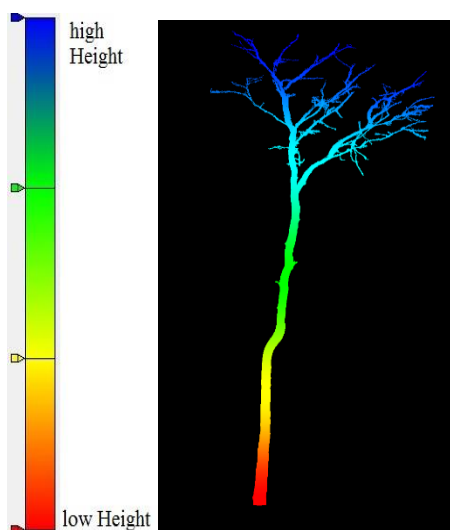
- برد ۱۸۷ متر
- مقاوم در برابر گرد و غبار و آب
- ماکزیمم اسکن ۱/۰۱۶ میلیون نقطه بر ثانیه
- سرعت بالا در اندازه گیری برای تمام کاربردها
- اندازه گیری در دمای منفی ۱۰ درجه تا ۴۵ درجه سانتی گراد
- میدان دید ۳۶۰*۳۶۰ درجه
- دو محور جبران کننده
- دقت بالا

جدول ۲- بررسی پارامترهای نمونه و اسکن داده ها [۲۹]

گونه	Q. petraea	E. fordii	P. massoniana
تعداد درختان	۱۲	۱۲	۱۲
میانگین اسکن برای هر درخت	۸	۸	۶



شکل ۲- ابر نقطه دیتای P. massoniana



شکل ۳- نمونه ابر نقطه گونه ی درخت E. fordii

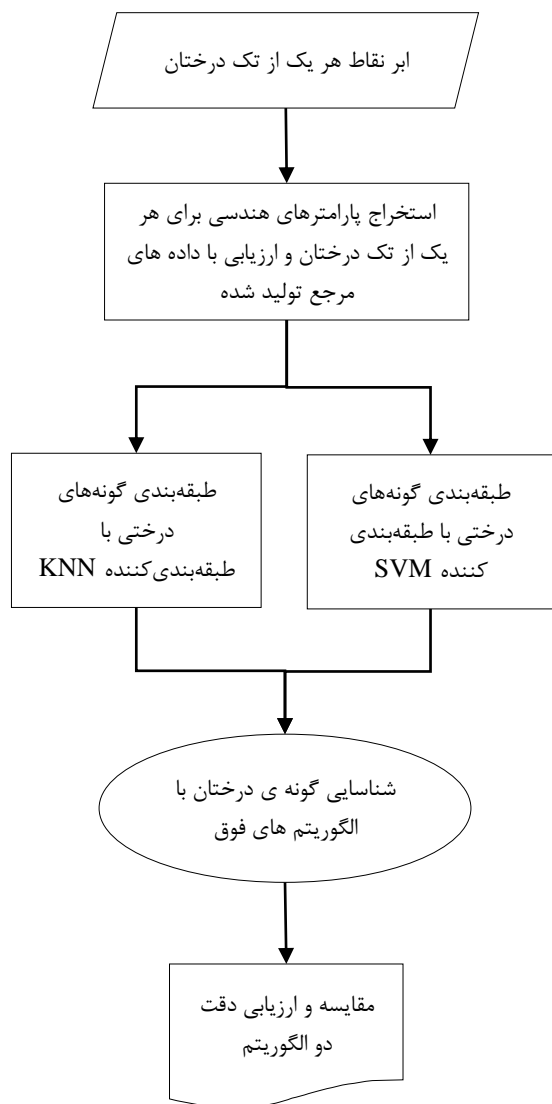
تحقیقات نشان می دهد که مطالعه بر روی تشخیص گونه از داده های لیزر اسکنر زمینی محدود است و در بیشتر مطالعات برای رسیدن به دقت مطلوب از ترکیب داده های لیزر اسکنر زمینی با دیگر داده ها استفاده کرده اند. در این تحقیق هدف شناسایی گونه ی برخی درختان با استفاده از پارامترهای هندسی ساقه و تاج درخت است که به طور مستقیم از ابر نقاط لیزر اسکنر استخراج شده اند می باشد، در ادامه این پارامترها توضیح داده شده اند.

## ۲- داده های تحقیق

در این مقاله از ۳۶ ابر نقطه لیزر اسکنر زمینی تک درخت در ۳ گونه ی مختلف استفاده شده است. داده ی P. massoniana در مارس ۲۰۱۳ مطابق با اسفند ماه ۱۳۹۱ در مزرعه جنگلی Baiyun در نزدیکی شهر Pingxiang از استان Guangxi در مناطق جنوب غربی چین جنوبی اخذ شده است [۲۹]. درختان گونه ی P. massoniana از نوع درختان کاج هستند. این درختان از نوع همیشه سبز بوده و در تمام فصول دارای برگ هستند. این درختان به دلیل اینکه در مقاله ذکر شده [۲۹] با هدف مدلسازی شاخه های درختان اخذ شده اند، برگ این درختان بعنوان نویز در نظر گرفته شده و تا جای ممکن در پیش پردازشها در مقاله مرجع اقدام به حذف آنها کرده اند. درختان گونه ی Quercus\_petraea از نوع درختان بلوط هستند و درختان گونه ی Erythrophleum گونه ای از درختان لوبیا است.



شکل ۱- لیزر اسکنر زمینی ۵۰۱۰Z+F IMAGER®



شکل ۶- روش پیشنهادی تشخیص گونه های درختان از ابر نقاط لیزر اسکنر زمینی

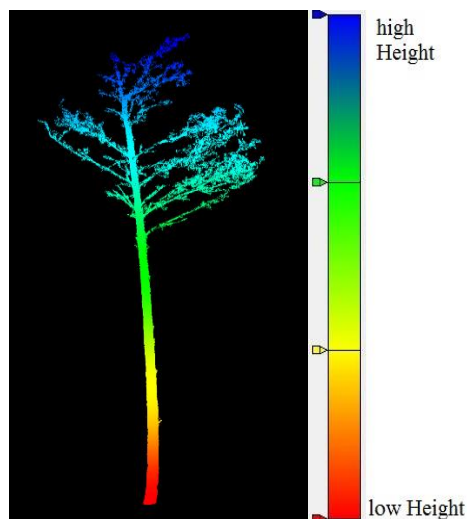
#### ۵- استخراج پارامترهای هندسی درختان

برای تشخیص گونه ی درختان در این مقاله از پارامترهای هندسی درختان که از ابر نقاط آنها بطور مستقیم استخراج شده، بعنوان ویژگی برای طبقه بندی استفاده شده است. در ادامه به توضیح این پارامترها پرداخته شده است.

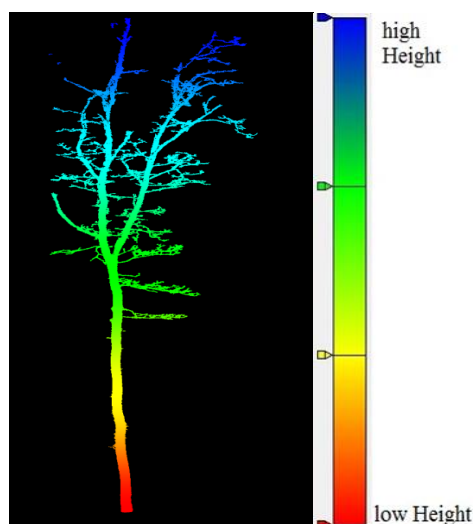
##### ۵-۱- ارتفاع درخت<sup>۱</sup>

ارتفاع درخت به طور کلی به فاصله عمودی بین نقطه آغازین درخت یعنی نقطه ای که درخت از آنجا شروع به

<sup>۱</sup> Tree height (TH)



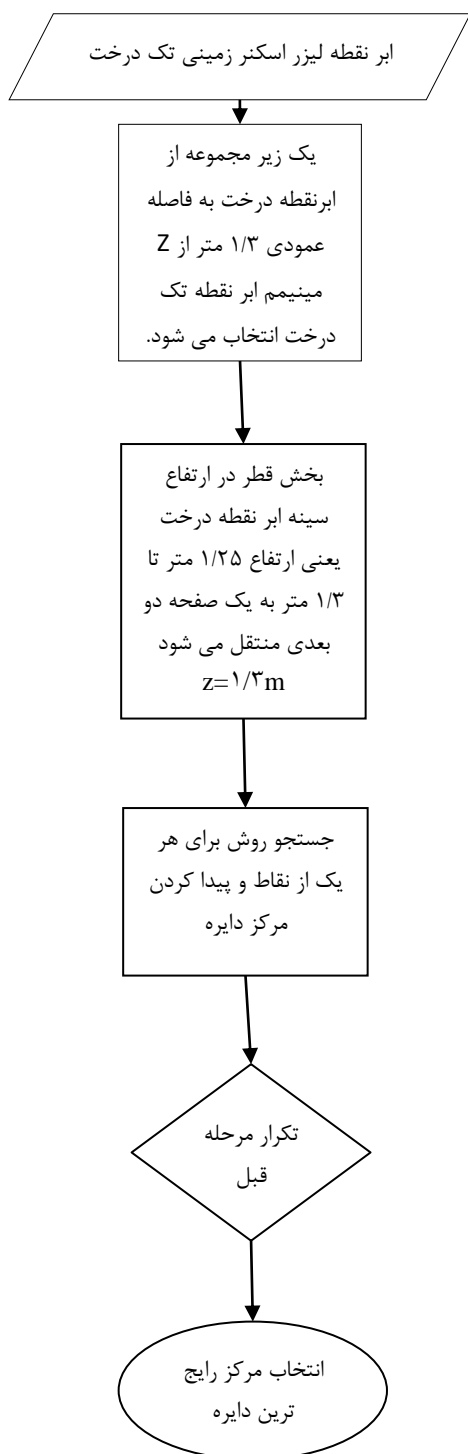
شکل ۴- نمونه ابر نقطه گونه ی درخت P. massoniana



شکل ۵- نمونه ابر نقطه گونه ی درخت Q. petraea

#### ۴- روش پیشنهادی

مراحل روش پیشنهادی طبقه بندی گونه درختان با داده های ابر نقاط لیزر اسکنر زمینی و با استفاده از الگوریتم های طبقه بندی کننده SVM و KNN به صورت نمودار در شکل ۶ آورده شده است.



شکل ۷- نمایش فلوجارت الگوریتم انتقال تصادفی هاف

### ۵-۳- ارتفاع پایه تاج درخت<sup>۳</sup>

این پارامتر یکی از پارامترهای تاج درخت می باشد و به معنی فاصله عمودی نقطه آغازین درخت تا جایی که

رویدن کرده است و بالاترین نقطه تاج آن اطلاق می شود. برای بدست آوردن این پارامتر با استفاده از برنامه نویسی متلب و الگوریتم جستجوی Z ماکزیمم، مینمم و سپس از تفاضل مختصات Z مینیمم از مختصات Z ماکزیمم ابر نقطه تک درخت استفاده شده است.

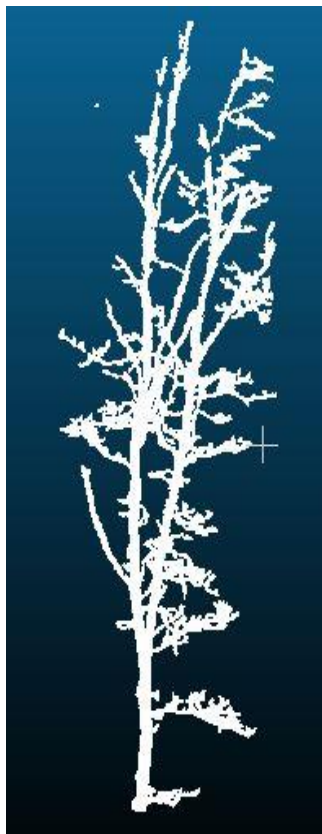
### ۵-۲- قطر در ارتفاع سینه<sup>۱</sup>

این پارامتر بیانگر قطر ساقه درخت در ارتفاع ۱/۳ متر از نقطه رویش درخت می باشد. در بعضی از کشورها مثل: استرالیا، هند، مالزی و آفریقای جنوبی این پارامتر در ارتفاع ۱/۴ متر از سطح زمین اندازه گیری می شود. این پارامتر برای کاربرهای مختلفی از جمله تعیین سن درختان، حجم توده، حجم چوب و میزان کربن موجود در درخت می باشد. اگر DBH از ارتفاع ۱/۳ متر پایین تر اندازه گیری شود باعث می شود که اندازه گیری بیش از حد بزرگ باشد، در حالیکه DBH که در ارتفاع بالاتر از ۱/۳ متر اندازه گیری شود، به طور کلی منجر به پیش بینی کمتر از اندازه واقعی درخت خواهد شد. معمولاً برای محاسبه پارامتر DBH در این ارتفاع از برازش دایره استفاده می کنند و با توجه به محیط دایره قطر درخت بدست می آید، در این مقاله برای اندازه گیری قطر در ارتفاع سینه درخت از روش انتقال تصادفی هاف<sup>۲</sup> استفاده شده است [۳۰]. انتقال تصادفی هاف یک الگوریتم تکراری برای پیدا کردن مناسب ترین مرکز دایره است. در حقیقت الگوریتم انتقال تصادفی هاف به این صورت عمل می کند که نقاط را به یک مختصات قطبی انتقال می دهد و به صورت تکراری مرکز دایره مناسب را برای حداقل ۳ نقطه جستجو می کند در انتها مرکز دایره ای که بیشترین تکرار را داشته به عنوان مرکز دایره مورد نظر انتخاب می شود [۳۱].

<sup>۳</sup> Crown base height(CBH)

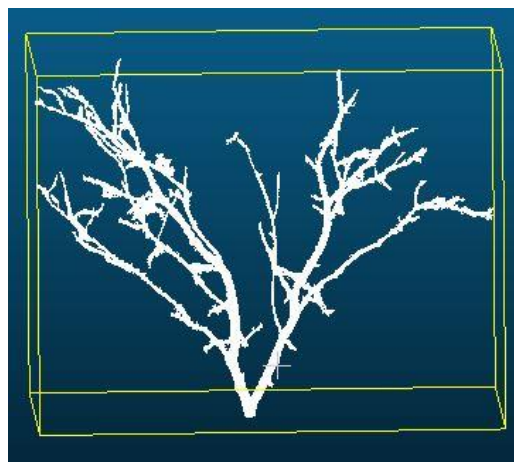
<sup>۱</sup> Diameter at breast height(DBH)

<sup>۲</sup> Randomized Hough Transform



شکل ۱۰- نمونه ابر نقطه تاج درخت گونه‌ی Quercus\_petraea

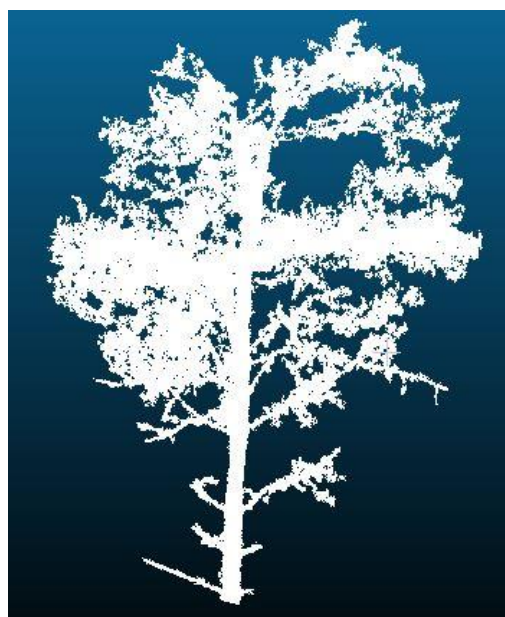
اولین شاخه درخت روئیده است می‌باشد. و به صورت اختلاف مختصات Z نقطه رویش درخت تا مختصات Z نقطه‌ای که تاج روئیده محاسبه می‌شود. در این مقاله ابتدا بصورت دستی و با استفاده از نرم افزار CloudCompare ابر نقطه تاج درخت جدا شده است و سپس مانند روش یافتن ارتفاع درخت از تفاضل مختصات Z مینیمم و ماکزیمم استفاده شده است.



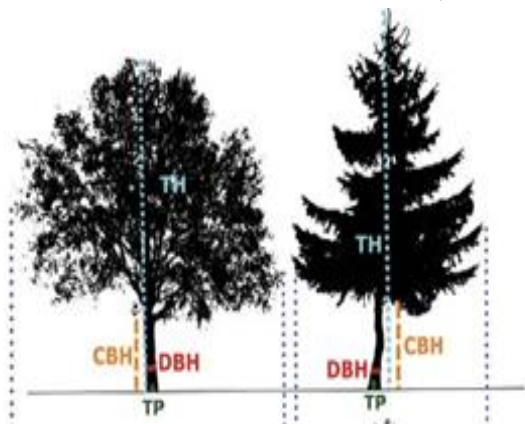
شکل ۸- نمونه ابر نقطه تاج درخت گونه‌ی Erythrophleum

#### ۵-۴- ارتفاع تاج درخت<sup>۱</sup>

این پارامتر به معنی اختلاف عمودی ارتفاع پایه تاج درخت تا بالاترین نقطه درخت می‌باشد و بصورت تفاضل مختصات Z ارتفاع پایه تاج درخت و مختصات Z بالاترین نقطه درخت محاسبه می‌شود. برای محاسبه این پارامتر از ابر نقطه تاج درخت که در قسمت قبل ذکر شد استفاده شده است و از روش مشابه استخراج ارتفاع درخت برای محاسبه این پارامتر استفاده شده است.



شکل ۹- نمونه ابر نقطه تاج درخت گونه‌ی Pinus\_massoniana

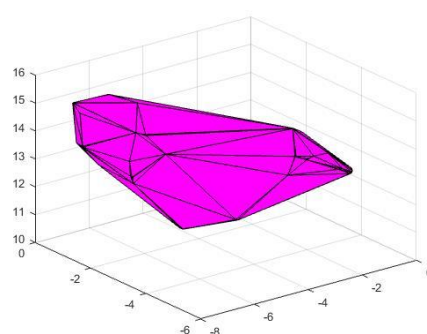


شکل ۱۱- نمایش پارامترهای هندسی درختان [۳۲]

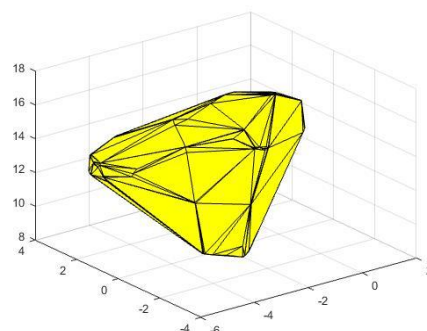
<sup>۱</sup> Crown height(CH)

۵-۵- حجم تاج<sup>۱</sup>

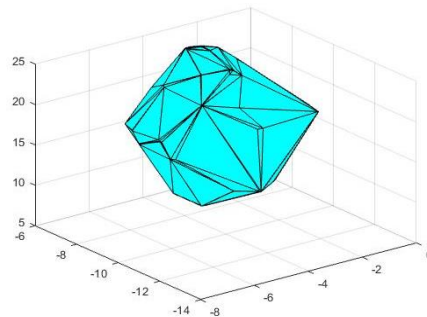
حجم تاج به مجموع حجم شاخ و برگهای تاج درخت ابلاغ می‌شود. برای محاسبه پارامتر حجم تاج درخت از پوشش محدب<sup>۲</sup> استفاده شده است. پوشش محدب به معنای یک مجموعه نقاط در فضای اقلیدسی است روش پوشش محدب به این صورت عمل می‌کند که ابر نقاط را با یک پوشش بصورت کوچکترین مجموعه محدبی که می‌تواند باشد تبدیل می‌کند [۳۳]. برای محاسبه حجم تاج تک درختان در این مقاله از زبان برنامه نویسی متلب استفاده شده است که نتایج را در تصاویر زیر می‌بینید.



شکل ۱۱- محاسبه یک نمونه از حجم تاج گونه‌ی درختی Erythrophleum



شکل ۱۲- محاسبه یک نمونه از حجم تاج گونه‌ی درختی Pinus massoniana



شکل ۱۳- محاسبه یک نمونه از حجم تاج گونه‌ی درختی Quercus petraea

۵-۶- پروفایل قطر ساقه درخت<sup>۳</sup>

از اندازه‌گیری قطر ساقه درخت در ارتفاع‌های مشخص stem curve درخت بدست می‌آید. معمولاً برای اندازه‌گیری stem curve در ارتفاع‌های ۰/۶۵، ۱/۳ و ۲ متر از نقطه رویش درخت و از ارتفاع ۲ متر به بعد به فواصل یک متر یک متر قطر درخت را اندازه‌گیری می‌کنند. برای محاسبه‌ی این پارامتر از روش انتقال تصادفی هاف که در بخش اندازه‌گیری پارامتر قطر در ارتفاع سینه درخت توضیح داده شد، استفاده شده است.

جدول ۳- پروفایل قطر ساقه درختان گونه E. fordii برحسب سانتیمتر

گونه	ارتفاع ۰/۶۵ متر (DBH)	ارتفاع ۱/۳ متر	ارتفاع ۲ متر	ارتفاع ۳ متر	ارتفاع ۴ متر
E1	۲۲/۸	۲۱/۸	۲۰/۲	۱۸/۶	۱۸
E2	۲۰/۴	۲۰	۱۶/۸	۱۶	۱۵/۸
E3	۲۰/۲	۱۹/۲	۱۸	۱۶/۶	۱۶/۴
E4	۲۲	۲۱	۱۹/۸	۱۸/۶	۱۸
E5	۲۹	۲۵/۲	۲۳/۴	۲۲/۶	۲۰/۶
E6	۱۷	۱۸/۲	۱۵/۲	۱۴/۸	۱۴/۴
E7	۱۹/۶	۱۸	۱۸	۱۶	۱۶/۴
E8	۲۶/۴	۲۴/۲	۲۰/۲	۲۱/۸	۱۹/۲
E9	۲۵	۲۴	۲۶/۴	۲۱/۲	۲۱/۲
E10	۲۶/۴	۲۴/۶	۲۳/۲	۲۳/۴	۲۱/۶
E11	۲۲/۴	۲۱/۲	۲۶	۲۳	۲۱/۸
E12	۲۱/۴	۲۱/۲	۱۸/۶	۱۸/۲	۱۷/۲

جدول ۴- پروفایل قطر ساقه درختان گونه P. massoniana بر حسب سانتیمتر

گونه	ارتفاع ۰/۶۵ متر (DBH)	ارتفاع ۱/۳ متر	ارتفاع ۲ متر	ارتفاع ۳ متر	ارتفاع ۴ متر
P1	۲۸/۶	۲۷	۲۶	۲۳	۲۱/۸
P2	۲۰/۲	۱۷/۸	۱۷/۲	۱۷	۱۷
P3	۲۳	۲۰/۸	۱۸/۸	۱۷/۴	۱۷/۲
P4	۲۰/۸	۱۹/۲	۱۹	۱۷/۴	۱۶/۲
P5	۲۲/۶	۲۲/۴	۲۳	۲۱	۲۰
P6	۲۶/۶	۲۵/۴	۲۵/۴	۲۴/۶	۲۳/۲
P7	۲۳/۲	۲۴/۶	۲۴/۲	۲۲/۸	۲۱/۲
P8	۱۳/۶	۱۴	۱۲/۸	۱۲/۴	۱۱/۲
P9	۲۲	۱۹/۸	۲۰	۱۸	۱۷/۲
P10	۲۳/۸	۲۱	۲۰	۲۰/۶	۱۹
P11	۲۸/۲	۲۴/۸	۲۲/۲	۲۱/۸	۲۱/۴
P12	۱۹	۱۸/۴	۱۵/۶	۱۵	۱۴/۸

<sup>۳</sup> Stem curve

<sup>۱</sup> Crown volume  
<sup>۲</sup> Convex Hull



۷-۵- نتایج پارامترهای هندسی استخراج شده درختان

در جداول ۶ تا ۸ مقادیر پارامترهای هندسی استخراج شده درختان را مشاهده می نمایید. لازم به ذکر است که الگوریتم‌های استخراج پارامترهای هندسی درختان در این مقاله قبلاً توسط داده هایی که مقادیر میدانی آنها در دسترس بوده است مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند [۳۰].

جدول ۶- مقادیر پارامترهای هندسی درختان گونه E. fordii

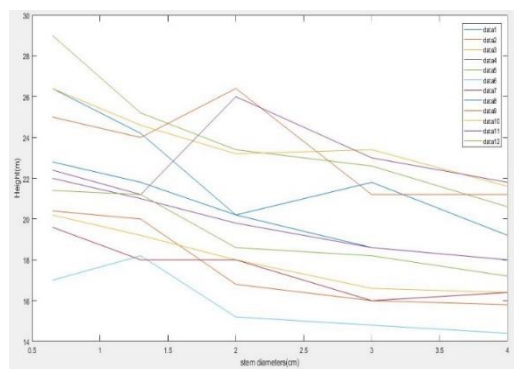
گونه	TH(m)	DBH(cm)	CBH(m)	CH(m)	CV(m <sup>3</sup> )
E1	۱۵/۴۷	۲۱/۸	۱۰/۸	۴/۶۷	۲۹/۷۰۵
E2	۱۷/۱۲	۲۰	۸	۹/۱۲	۲۷/۴۴۲
E3	۱۵/۳۹	۱۹/۲	۹/۱۱	۶/۲۹	۴۰/۱۸
E4	۱۷/۱۸	۲۱	۹/۸	۷/۳۸	۵۳/۴۱۵
E5	۱۸/۲۹	۲۵/۲	۱۰/۳	۷/۹۹	۶۷/۷۰۳
E6	۱۴/۲۳	۱۸/۲	۸/۶۱	۵/۶۳	۱۶/۰۳۵
E7	۱۵/۳۸	۱۸	۹	۶/۳۸	۲۵/۵۹۶
E8	۱۵	۲۴/۲	۶	۹	۵۹/۷۵۴
E9	۱۸/۶۳	۲۴	۱۰/۱	۸/۵۳	۵۲/۴۷۴
E10	۱۹/۴۱	۲۴/۶	۱۰/۶	۸/۸۱	۶۹/۹۴۲
E11	۱۷/۸۴	۲۱/۲	۹/۵	۸/۳۴	۵۸/۳۲۱
E12	۱۸/۲۳	۲۱/۲	۷	۱۱/۲۳	۴۱/۹۳۹

جدول ۷- مقادیر پارامترهای هندسی درختان گونه P. massoniana

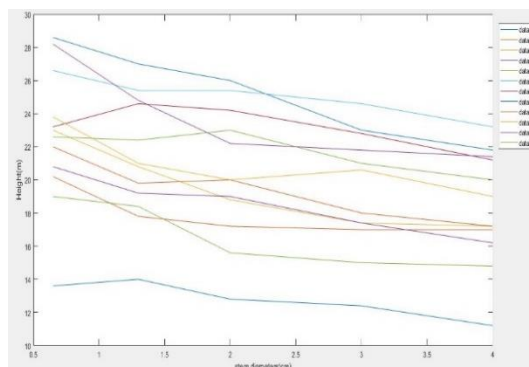
گونه	TH(m)	DBH(cm)	CBH(m)	CH(m)	CV(m <sup>3</sup> )
P1	۱۶/۲۶	۲۷	۹/۲	۷/۰۶	۱۱۷/۶۱۹
P2	۱۳/۱۹	۱۷/۸	۵/۵	۷/۶۹	۲۳/۱۶۶
P3	۱۵/۸۶	۲۰/۸	۷	۸/۸۶	۷۸/۲۰۲
P4	۱۶/۷۶	۱۹/۲	۵/۵	۱۱/۲۶	۶۳/۸۶۲
P5	۱۴/۸۲	۲۲/۴	۱۰/۳	۴/۵۲	۴۴/۷۸۸
P6	۱۶/۰۸	۲۵/۴	۸	۸/۰۸	۵۲/۶۵۳
P7	۱۲/۰۴	۲۴/۶	۵/۵	۶/۵۴	۴۵/۳۰۹
P8	۱۱/۵۶	۱۴	۲/۵	۹/۰۶	۲۲/۶۸۱
P9	۱۴/۶۴	۱۹/۸	۶/۷	۷/۹۴	۷۱/۴۹۱
P10	۱۶/۱۴	۲۱	۱۱/۵	۴/۶۴	۲۴/۵۵۳
P11	۱۶/۹۶	۲۴/۸	۱۰/۵	۶/۴۶	۴۴/۶۲۸
P12	۱۴/۴۲	۱۸/۴	۱۱/۵	۲/۹۲	۵/۰۶۷

جدول ۵- پروفایل قطر ساقه درختان گونه Q. petraea بر حسب سانتیمتر

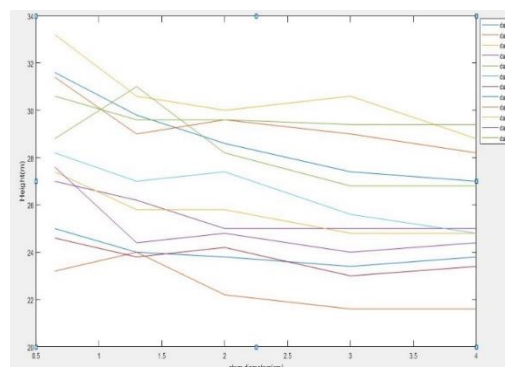
گونه	ارتفاع ۰/۶۵ متر	ارتفاع ۱/۳ متر (DBH)	ارتفاع ۲ متر	ارتفاع ۳ متر	ارتفاع ۴ متر
Q1	۲۵	۲۴	۲۳/۸	۲۳/۴	۲۳/۸
Q2	۲۳/۲	۲۴	۲۲/۲	۲۱/۶	۲۱/۶
Q3	۳۳/۲	۲۰/۶	۳۰	۳۰/۶	۲۸/۸
Q4	۲۷	۲۶/۲	۲۵	۲۵	۲۵
Q5	۲۸/۸	۳۱	۲۸/۲	۲۶/۸	۲۶/۸
Q6	۲۸/۲	۲۷	۲۷/۴	۲۵/۶	۲۴/۸
Q7	۲۴/۶	۲۳/۸	۲۴/۲	۲۳	۲۳/۴
Q8	۳۱/۶	۲۹/۸	۲۸/۶	۲۷/۴	۲۷
Q9	۳۱/۴	۲۹	۲۹/۶	۲۹	۲۸/۲
Q10	۲۷/۴	۲۵/۸	۲۵/۸	۲۴/۸	۲۴/۸
Q11	۲۷/۶	۲۴/۴	۲۴/۸	۲۴	۲۴/۴
Q12	۳۰/۶	۲۹/۶	۲۹/۶	۲۹/۴	۲۹/۴



شکل ۷- پروفایل قطر ساقه گونه ی Erythrophleum



شکل ۸- پروفایل قطر ساقه گونه ی Pinus massoniana



شکل ۹- پروفایل قطر ساقه گونه ی Quercus petraea

## ۸- نتیجه گیری

در این پژوهش هدف بررسی ارزیابی الگوریتم های ماشین بردار پشتیبان و نزدیک ترین همسایگی با تعداد نمونه های آموزشی کمتر و همچنین ویژگی های هندسی کمتر بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده و دقت های طبقه بندی دریافتیم که طبقه بندی با روش SVM در شرایط مشابه دقت بهتری برای تشخیص گونه های درختی با استفاده از پارامترهای هندسی درختان و در نظر گرفتن آنها بعنوان ویژگی در اختیار قرار می دهد. در هر دو روش SVM و KNN دقت کلاس گونه Q. petraea، ۱۰۰٪ بدست آمده است به دلیل اینکه ویژگی های هندسی و ساختاری این گونه کاملاً متفاوت از دو گونه دیگر است که بصورت بصری در تصاویر نیز این تفاوت مشخص است و تفکیک آن از دو کلاس دیگر به طور کامل انجام شده است. چالش این طبقه بندی به دو گونه دیگر بر می گردد، زیرا این دو گونه پارامترهای هندسی تقریباً مشابهی دارند. روش SVM بهتر توانسته است این دو گونه را از هم تفکیک کند اما برای اینکه دقت طبقه بندی بیشتر شود و بتوان این دو گونه را به طور کامل از هم تفکیک کرد باید از تعداد نمونه های آموزشی بیشتر و همچنین ویژگی های هندسی بیشتر استفاده کرد. این روش ها فقط برای تفکیک کلاس های سه نوع گونه ی درختی آزمایش شده است و در این بررسی به دلیل فقدان اطلاعات از گونه های دیگر و کمبود داده کلاس Null در این بحث وجود ندارد و صرفاً الگوریتم ها برای تشخیص این سه گونه مشخص آموزش دیده اند. در این مقاله سعی شده است یک روش نیمه اتوماتیک برای تشخیص گونه های درختی با استفاده از ویژگی های هندسی درختان که بطور مستقیم از داده های ابرنقاط لیزر اسکنر زمینی استخراج می شوند، و همچنین تعداد داده های آموزشی کمتر در مقایسه با مطالعات آقای مارکو آکر بلوم و همکاران [۲۲] ارائه شود. و دقت این الگوریتم ها در داده های با حجم کم و محدود مورد بررسی قرار بگیرد.

جدول ۸- مقادیر پارامترهای هندسی درختان گونه Q. petraea

گونه	TH(m)	DBH(cm)	CBH(m)	CH(m)	CV(m <sup>3</sup> )
Q1	۲۴/۴۱	۲۴	۱۱/۸	۱۲/۶۱	۱۶۵/۳۷۹
Q2	۲۶/۲۷	۲۴	۱۲/۵	۱۳/۷۷	۶۴/۸۳۵
Q3	۲۷/۵۵	۳۰/۶	۹/۵	۱۸/۰۵	۲۵۹/۳۲۷
Q4	۲۶/۸	۲۶/۲	۱۰/۵	۱۶/۳	۱۴۵/۳۷۴
Q5	۲۳/۴۷	۲۸/۸	۷/۵	۱۵/۹۷	۲۰۵/۴۴۵
Q6	۲۸/۸۹	۲۷	۱۵/۹	۱۲/۹۹	۱۰۳/۷۲۶
Q7	۲۷/۱۲	۲۳/۸	۵	۲۲/۱۲	۱۷۲/۵۴
Q8	۲۷/۱	۲۹/۸	۳/۵	۲۳/۶	۲۹۲/۷۴۶
Q9	۲۹/۹۳	۲۹	۹/۶۱	۲۰/۳۳	۲۴۹/۶۲۳
Q10	۲۲/۰۵	۲۵/۸	۲/۵	۱۹/۵۵	۳۵۳/۳۰۸
Q11	۲۴/۸۱	۲۴/۴	۲/۵	۲۲/۳۱	۳۱۴/۹۳۳
Q12	۲۶/۰۱	۲۹/۶	۱۶/۶	۹/۴۱	۱۴۶/۶۵۳

## ۶- طبقه بندی گونه های درختی با طبقه بندی کننده ماشین بردار پشتیبان<sup>۱</sup>

پس از استخراج پارامترهای هندسی هر تک درخت، این پارامترها بعنوان ورودی طبقه بندی کننده ی SVM در نظر گرفته شده اند. طبقه بندی مورد نظر در زبان برنامه نویسی متلب نوشته و اجرا شده است. از ۱۲ درخت موجود در هر گونه ۸ درخت بعنوان داده ی آموزشی و ۴ درخت بعنوان داده ی تست در نظر گرفته شده، که هر کدام از این درخت ها دارای ۹ ویژگی هستند. در این طبقه بندی از کرنل<sup>۲</sup> RBF<sup>۲</sup> به منظور تفکیک سه گونه ی درختی استفاده شده است. دقت کلی این طبقه بندی کننده برای تفکیک سه کلاس از هم ۸۱٪ بوده است.

## ۷- طبقه بندی با استفاده از الگوریتم نزدیکترین همسایگی<sup>۴</sup>

در طبقه بندی غیر پارامتریک نزدیکترین همسایگی نیز مثل روش SVM از هر ۱۲ درخت در هر گونه ۸ درخت بعنوان داده ی آموزشی و ۴ درخت بعنوان داده ی تست در نظر گرفته شده است. این الگوریتم در زبان برنامه نویسی متلب اجرا شده و مقدار k بصورت تجربی و زمانی که الگوریتم بیشترین صحت را داراست، مقدار ۳ قرار داده شده است. در نهایت دقت کلی این طبقه بندی ۷۴٪ بوده است.

<sup>۱</sup> Support vector machines(SVM)

<sup>۲</sup> Kernel

<sup>۳</sup> Gaussian radial basis function (RBF)

<sup>۴</sup> k-nearest neighbors algorithm(KNN)

- [1] Fassnacht, F. E., H. Latifi, H., StereÅczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, L., Waser, T. and et al. (2016). "Review of studies on tree species classification from remotely sensed data." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 186, PP. 64-87.
- [2] Van Aardt, J. and Wynne, R. (2007). "Examining pine spectral separability using hyperspectral data from an airborne sensor: An extension of field-based results." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, PP. 431-436.
- [3] Shang, X. and Chisholm, L. A. (2014). "Classification of Australian native forest species using hyperspectral remote sensing and machine-learning classification algorithms." *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens*, Vol. 7, PP. 2881-2489.
- [4] Hilker, T., van Leeuwen, M., Coops, N. C., Wulder, M. A., Newnham, G. J., Jupp, D. L. B. and et al. (2010). "Comparing canopy metrics derived from terrestrial and airborne laser scanning in a Douglas-fir dominated forest stand." *Trees - Structure and Function*, Vol. 24, PP. 819-832.
- [5] Boschetti, M., Boschetti, L., Oliveri, S., Casati, L. and Canova, I. (2007). "Tree species mapping with Airborne hyper-spectral MIVIS data: the Ticino Park study case." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, PP. 1251-1261.
- [6] Jansson, G. and Angelstam, P. (1999). "Threshold levels of habitat composition for the presence of the long-tailed tit (*Aegithalos caudatus*) in a boreal landscape." *Landscape ecology*, Vol. 14, PP. 283- 290.
- [7] Dalponte, M., Bruzzone, L. and Gianelle, D. (2012). "Tree species classification in the Southern Alps based on the fusion of very high geometrical resolution multispectral/hyperspectral images and LiDAR data." *Remote sensing of environment*, Vol. 123, PP. 258-270.
- [8] Vauhkonen, J., Årka, H. O., Holmgren, J., Dalponte, M., Heinzl, J. and Koch, B. (2014). "Tree species recognition based on airborne laser scanning and complementary data sources." in *Forestry applications of airborne laser scanning*, ed: Springer, PP. 35-156.
- [9] Jensen, R. R., Hardin, P. J. and Hardin, A. J. (2012). "Classification of urban tree species using hyperspectral imagery." *Geocarto International*, Vol. 27, PP. 443-458.
- [10] Chambers, D., PÅriÅ©, C., Casajus, N. and de Blois, S. (2013). "Challenges in modelling the abundance of 105 tree species in eastern North America using climate, edaphic, and topographic variables." *Forest Ecology and Management*, Vol. 291, PP. 20-29.
- [11] Pausas, J. G., Austin, M. P. and Noble, I. R. (1997). "A forest simulation model for predicting eucalypt dynamics and habitat quality for arboreal marsupials," *Ecological Applications*, Vol. PP. 921- 933.
- [12] Kennedy, C. and Southwood, T. (1984). "The number of species of insects associated with British trees: a re-analysis." *The Journal of Animal Ecology*, PP. 455- 478.
- [13] Riano, D., Chuvieco, E., CondÅ©s, S., GonzÅlez-Matesanz, J. and Ustin, S. L. (2004). "Generation of crown bulk density for *Pinus sylvestris* L. from lidar," *Remote Sensing of Environment*, Vol. 92, PP. 345-352.
- [14] Suratno, A., Seielstad, C. and Queen, L. (2009). "Tree species identification in mixed coniferous forest using airborne laser scanning." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 64, PP. 683- 693.
- [15] Korpela, I. (2004). "Individual tree measurements by means of digital aerial photogrammetry."
- [16] Alonzo, M., Bookhagen, B. and Roberts, D. A. (2014). "Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion," *Remote Sensing of Environment*, Vol. 148, PP. 70- 83.
- [17] Reitberger, J., Krzystek, P. and Stilla, U. (2008). "Analysis of full waveform LIDAR data for the classification of deciduous and coniferous trees," *International journal of remote sensing*, Vol. 29, PP. 1407- 1331.
- [18] Kim, S., McGaughey, R. J., Andersen, H.-E. and Schreuder, G. (2009). "Tree species differentiation using intensity data derived from leaf-on and leaf-off airborne laser scanner data." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, PP. 1575- 1586.
- [19] Holmgren, J., Persson, Å. and SÅrderman, U. (2008). "Species identification of individual trees by combining high resolution LiDAR data with multi-spectral images." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, PP. 1537- 1552.
- [20] Årka, H. O., NÅsset, E. and BollandsÅys, O. M. (2009). "Classifying species of individual trees by intensity and structure features derived from airborne laser scanner data." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, PP. 1163- 1174.

- [21] Calders, K., Disney, M., Nightingale, J. , Origo, N., Barker, A., Raunonen, P. and et al.(2015). "Traceability of essential climate variables through forest stand reconstruction with terrestrial laser scanning." Proc. SilviLase,r, PP. 122- 124.
- [22] Å...kerblom, M., Raunonen, P., MÃ¼kipÃ¼Ã¼, R. and Kaasalainen, M. (2017). "Automatic tree species recognition with quantitative structure models." Remote Sensing of Environment, vol. 191, PP. 1- 12.
- [23] Haala, N., Reulke, R., Thies, M. and Aschoff, T. (2004)."Combination of terrestrial laser scanning with high resolution panoramic images for investigations in forest applications and tree species recognition." International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34.
- [24] Puttonen, E., Suomalainen, J., Hakala, T., RÃ¼ikkÃ¼nen, E., Kaartinen, H., Kaasalainen, S. and et al. (2010). "Tree species classification from fused active hyperspectral reflectance and LIDAR measurements." Forest Ecology and Management, Vol. 260, PP. 1843- 1852.
- [25] Puttonen, E., Jaakkola, A., Litkey, P. and HyypÃ¼, J. (2100). "Tree classification with fused mobile laser scanning and hyperspectral data," Sensors, Vol. 11, PP. 5158- 5182.
- [26] Vauhkonen, J., Hakala, T., Suomalainen, J., Kaasalainen,S., Nevalainen, O., Vastaranta, M. and et al. (2013). "Classification of spruce and pine trees using active hyperspectral LiDAR." IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 10, PP. 1138- 1141.
- [27] Othmani, A., Voon, L. F. L. Y., Stolz, C. and Piboule, A. (2013)." Single tree species classification from terrestrial laser scanning data for forest inventory," Pattern Recognition Letters, Vol. 34, PP. 2144- 2150.
- [28] Lin, Y. and Herold, M. (2016)."Tree species classification based on explicit tree structure feature parameters derived from static terrestrial laser scanning data." Agricultural and Forest meteorology, Vol. 216, PP. 105- 114.
- [29] Hackenberg, J., Wassenberg, M., Spiecker, H. and Sun, D. (2015). "Non destructive method for biomass prediction combining TLS derived tree volume and wood density." Forests, Vol. 6, PP. 1274- 1300.
- [30] Abolhasani, H., Mohammadzadeh, A. (1397). "Extraction of Geometrical Parameters diameter at breast height and Tree Stem curve from Terrestrial laser scanner point cloud Using Least Square Regression and Randomized Hough Transform." Twenty-fifth National Conference on Geomatics 97 and Third National Conference on Information Technology Engineering.
- [31] Xu, L. and Oja, E. (1993). "Randomized Hough transform (RHT): basic mechanisms, algorithms, and computational complexities." CVGIP: Image understanding, Vol. 57, PP. 131- 154.
- [32] Giannetti, F., Puletti, N., Quatrini, V., Travaglini, D., Botalico, F., Corona, P. and et al. (2018). "Integrating terrestrial and airborne laser scanning for the assessment of single-tree attributes in Mediterranean forest stands," European Journal of Remote Sensing, Vol. 51, PP. 795- 807.
- [33] De Berg, M., Roeloffzen, M. and Speckmann, B. (2011). "Kinetic convex hulls in the black-box model," in 27th European Workshop on Computational Geometry.