دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده منابع طبیعی

رساله دکتری رشته: جنگل‌داری، گرایش سنجش از دور

عنوان رساله:

طراحی و استخراج اتوماتیک مسیر جاده های جنگلی با استفاده از داده های لیدار

نام دانشجو:

زهرا عزیزی

استاد راهنما:

دکتر اکبر نجفی

استاد مشاور:

دکتر سعید صادقیان

شهریور ۱۳۹۲

به نام خدا

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده منابع طبیعی

باسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیئت داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

بدین‌وسیله گواهی می‌شود خانم زهرا عزیزی در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۳۰ از رساله دکتری ۱۸ واحدی خود با عنوان: **استخراج اتوماتیک جاده‌های جنگلی و ارزیابی داده‌های دورسنجی در طراحی مسیرهای جدید** . دفاع کرده است. اعضای هیئت داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا بررسی کرده و پذیرش آنرا برای دریافت درجه دکتری تخصصی(Ph.D) تائید می‌نمایند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنمای اصلی	دکتراکبر نجفی	دانشیار	
استاد راهنمای دوم			
استاد مشاور	دکتر سعید صادقیان	استادیار	
استاد ناظر (داخلی)	دکتر سید محسن حسینی	دانشیار	
استاد ناظر (داخلی)	دکترحمیدرضا مرادی	دانشیار	
استاد ناظر (خارجی)	دکتر سید عطاالله حسینی	دانشیار	
استاد ناظر (خارجی)	دکترکریم سلیمانی	استاد	
نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر حامد یوسف زاده	استادیار	

باسمه تعالی

احتراما با تایید اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری خانم زهرا عزیزی در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۳۰ عنوان رساله از " **استخراج اتوماتیک جاده‌های جنگلی و ارزیابی داده‌های دورسنجی در طراحی مسیرهای جدید**" به "**طراحی و استخراج اتوماتیک مسیر جاده‌های جنگلی با استفاده از داده‌های لیدار**" تغییر یافت.

اعضای هیات داوران:

دکتر اکبر نجفی — دکتر سیدمحسن حسینی — دکتر حمیدرضا مرادی — دکتر حامد یوسف زاده

دکتر سعید صادقیان — دکتر سیدعطاالله حسینی — دکتر کریم سلیمانی

آیین‌نامه حق مالکیت مادي و معنوي در مورد نتایج پژوهشهاي علمي دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: **با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:**

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب زهرا عزیزی **دانشجوی رشته** مهندسی منابع طبیعی- جنگلداری **ورودی سال تحصیلی** ۱۳۸۸/۸۹ **مقطع** دکتری **دانشکده** منابع طبیعی **متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»**

امضا: زهرا عزیزی

تاریخ: ۱۳۹۲/۶/۳۰

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در

سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی

سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر

و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **زهرا عزیزی** دانشجوی رشته **مهندسی منابع طبیعی-جنگلداری** مقطع **دکتری** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: زهرا عزیزی

تاریخ و امضا: ۱۳۹۲/۶/۳۰

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده منابع طبیعی

رساله دکتری رشته: جنگل‌داری، گرایش سنجش از دور

عنوان رساله:

طراحی و استخراج اتوماتیک مسیر جاده های جنگلی با استفاده از داده های لیدار

نام دانشجو:

زهرا عزیزی

استاد راهنما:

دکتر اکبر نجفی

استاد مشاور:

دکتر سعید صادقیان

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به

زنان سرزمینم

آنان که از برتری جستن بی نیاز ند و از تحقیر شدن بیزار.

سپاس گزاری:

بر خود لازم می‌دانم از افراد و سازمان‌هایی که در انجام این مطالعه و هموار نمودن مسیر این تحقیق بذل عنایتی وافر نمودند تقدیر و تشکر نمایم:

آقایان دکتر **اکبر نجفی** و دکتر **سعید صادقیان** که راهنمایی و مشاوره این رساله را بر عهده داشتند و به خاطر رهنمون‌های ارزنده و گران قدرشان.

آقایان دکتر **کریم سلیمانی**، دکتر **عطاالله حسینی**، دکتر **حمیدرضا مرادی** و دکتر **سیدمحسن حسینی** (مدیر محترم گروه جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس) که زحمت داوری رساله را تقبل فرمودند.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و **شرکت رایان نقشه** که داده‌های دورسنجی بکار گرفته شده در این تحقیق را به صوررت رایگان در اختیار بنده قرار دادند.

دوست خوب و همسر گرامیم که در طول این مدت همواره مشوقم بودند.

تمامی دوستان و افرادی که بنده را در انجام مراحل مختلف این تحقیق یاری نموده‌اند.

چکیده

شبکه جاده‌های جنگلی مهمترین عامل تقسیم بندی جنگل به واحدهای برنامه ریزی و حمل و نقل مواد و افراد، راه دسترسی به جنگل برای مدیریت جنگل و بهره برداری چوب آلات است. عملیات زمینی تهیه نقشه جاده‌های جنگلی موجود و طراحی مسیرهای جدید درجنگل‌های کوهستانی شمال ایران کاری زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد لذا بکارگیری روش‌هایی که حجم عملیات زمینی را کاهش دهد راهکاری برای کاهش هزینه‌های طرح‌های جنگلداری خواهد بود. امروزه داده‌های دورسنجی ابزار مهمی در طراحی و استخراج مسیر جاده‌های جنگلی محسوب می‌شوند. این ابزار گذشته از اینکه موجب افزایش سرعت، دقت و کاهش هزینه‌ها در پژوهش‌های جنگل‌داری می‌شود، ارائه ویژگی‌ها را به صورت نقشه با دقت مکانی و صحت زیادی که پیشتر میسر نبود نیز ممکن می‌سازد. در تحقیق حاضر با بکارگیری تصاویر اولتراکم و داده‌های لیدار ابتدا جاده‌های جنگلی بصورت اتوماتیک استخراج گردید. در این بخش از تحقیق استخراج محورهای کناری جاده‌ها با توسعه الگوریتم منحنی‌های فعال (Snake) انجام شد. مقایسه جاده استخراج شده با واقعیت زمینی نشان داد محور طولی جاده با صحت ۱/۱ متر برای داده‌های تلفیق شده فاصله لیدار و اولتراکم (DU) و ۱/۳۴ متر برای داده‌های تلفیق شده فاصله و شدت لیدار (DI) استخراج شده است. همچنین معیارهای کامل بودن، صحیح بودن و کیفیت به‌ترتیب برای اطلاعات استخراج شده از تصویر DU ۸۴/۳۲، ۸۱/۸۷ و ۷۲/۴۳ درصد و برای تصویر DI ۸۰/۸۹، ۷۹/۲۵ و ۶۵/۱۶ درصد بودند. در مرحله بعد برای طراحی مسیرهای جدید ابتدا نقشه‌های هزینه پاکسازی و هزینه عملیات خاکی تهیه شد و سپس دو نقشه برای تولید نقشه هزینه ساخت جاده با هم تلفیق شدند. برای تهیه این نقشه‌ها از اطلاعات مدل رقومی زمین و سطح حاصل از داده‌های لیدار وتصاویر اولتراکم استفاده شد. در ادامه شبکه نقاطی با ابعاد ۵ متر روی نقشه هزینه ساخت قرار گرفت و از هر نقطه روی این شبکه به نقاط همسایه لینک‌هایی با الگوریتم کوتاهترین مسیر (Shortest Path) وصل شد. وزن این لینک‌ها براساس نقشه هزینه بدست آمد. در نهایت مسیر بدست آمده در عرصه پیاده شد و هزینه‌های ساخت و نگهداری مسیر در برداشت زمینی و اطلاعات بدست آمده از داده‌های دورسنجی مقایسه شدند. در نتیجه هزینه‌های برآورد شده از داده‌های دورسنجی برای ساخت و نگهداری جاده‌های جنگلی ۵/۶ درصد کمتر از هزینه‌های برآورد شده در برداشت زمینی بود.

واژگان کلیدی: جاده‌های جنگلی، لیدار، اولتراکم، الگوریتم منحنی فعال، الگوریتم کوتاهترین مسیر.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ اهداف تحقیق ۵

۱-۲-۱ اهداف اصلی تحقیق ۵

۱-۲-۲ اهداف فرعی تحقیق ۶

۱-۳ پرسش‌های تحقیق ۶

۱-۴ فرضیات تحقیق ۷

۱-۵ مقدمه‌ای بر سیستم‌های لیدار ۸

۱-۵-۱ تاریخچه و مبانی لیدار ۸

۱-۵-۲ مشخصات سنجنده لیدار ۱۱

۱-۵-۲-۱ سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS): ۱۲

۱-۵-۲-۲ سیستم اندازه‌گیری اینرسی (IMU) ۱۳

۱-۵-۲-۳ سیستم اسکن لیزری ۱۳

۱-۵-۲-۳-۱ فرستنده لیزر ۱۴

۱-۵-۲-۳-۲ سیستم نوری- مکانیکی دریافت امواج لیزری ۱۶

۱-۵-۳ ویژگی داده‌های لیدار ۲۰

۱-۵-۳-۱ امکان ثبت داده‌های بازگشت چندگانه: ۲۱

۱-۵-۳-۲ امکان ثبت اطلاعات رادیومتریک: ۲۲

۱-۵-۳-۲-۱ روش اول: ثبت قدرت سیگنال بازگشتی ۲۳

۱-۵-۳-۲-۲ روش دوم: بکارگیری دوربین رقومی در کنار اسکنر لیزری ۲۳

۱-۵-۳-۳ دوربین رقومی اولتراکم UltraCamD ۲۳

۱-۵-۳-۴ مدل مشاهدات: ۲۵

۱-۵-۴ انواع سیستم لیدار و کاربردهای آن ۲۵

۱-۶ استخراج جاده از داده‌های دورسنجی ۲۷
۱-۶-۱ مفهوم جاده (ROAD) در داده‌های دورسنجی ۲۷
۱-۶-۲ دسته‌بندی روش‌های استخراج جاده ۲۸
۱-۶-۲-۱ میزان اتوماتیک بودن روش‌ها ۲۹
۱-۶-۲-۲ سطح واحد اطلاعات ۳۱
۱-۶-۲-۳ منبع داده‌های مورد استفاده ۳۱
۱-۶-۳ مهمترین روش‌های استخراج جاده از داده‌های دورسنجی ۳۱
۱-۶-۳-۱ روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی ۳۴
۱-۶-۳-۲ منحنی‌های فعال ۳۴
۱-۶-۳-۳ قطعه‌بندی و طبقه‌بندی ۳۵
۱-۶-۳-۴ آنالیزهای چند تفکیکی ۳۵
۱-۶-۳-۵ تطبیق الگوها ۳۶
۱-۷ طراحی مسیر جاده‌های جنگلی ۳۶
۱-۷-۱ روش‌های طراحی مسیر جاده ۳۹
۱-۷-۱-۱ روش سنتی (دستی) ۳۹
۱-۷-۱-۲ روش‌های مبتنی بر کامپیوتر ۳۹
۱-۷-۲ بسته‌های نرم افزاری طراحی مسیر جاده ۴۰
۱-۷-۳ الگوریتم کوتاهترین مسیر ۴۱
۱-۷-۴ هزینه‌های ساخت و نگهداری جاده جنگلی ۴۲
۱-۷-۴-۱ هزینه پاکتراشی ۴۴
۱-۷-۴-۲ هزینه عملیات خاکی ۴۴
۱-۷-۴-۳ هزینه تنظیم ترانشه‌ها و کف جاده ۴۵
۱-۷-۴-۴ هزینه روسازی جاده ۴۵
۱-۷-۴-۵ هزینه زهکشی ۴۵
فصل دوم: مروری بر منابع ۴۶
۲-۱ استخراج اتوماتیک جاده‌های جنگلی ۴۶
۲-۲ طراحی مسیر جاده‌های جنگلی ۵۱

فصل سوم: مواد و روش‌ها ۵۷

۳-۱ مواد ۵۷

۳-۱-۱ منطقه مورد مطالعه ۵۷

۳-۱-۲ داده‌های مورد استفاده ۶۱

۳-۱-۲-۱ داده‌های لیدار ۶۱

۳-۱-۲-۲ تصاویر هوایی (UltraCamD) ۶۲

۳-۱-۲-۵ نرم افزارها ۶۳

۳-۲ پیش پردازش داده‌ها ۶۳

۳-۲-۱ آماده‌سازی داده‌ها ۶۳

۳-۲-۲ فیلتر کردن داده ۶۴

۳-۲-۳ درون‌یابی داده‌ها به روش عکس فاصله وزنی (IDW) ۶۶

۳-۲-۴ مدل‌های رقومی سطح، زمین و ارتفاع منطقه ۶۸

۳-۲-۴-۱ مدل رقومی سطح (DSM) ۶۸

۳-۲-۴-۲ مدل رقومی زمین (DTM) ۶۹

۳-۲-۴-۳ مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۶۹

۳-۲-۵ تهیه ارتوفتوها و موزاییک تصاویر هوایی اولتراکم ۷۰

۳-۲-۶ ریجستر کردن داده‌ها و تهیه داده‌های مرجع ۷۱

۳-۲-۷ بخش‌بندی داده‌های ورودی الگوریتم ۷۲

۳-۳- الگوریتم منحنی‌های فعال (SNAKE) ۷۳

۳-۳-۱ تعریف توابع انرژی ۷۴

۳-۳-۲ بهینه سازی تابع انرژی کل ۷۷

۳-۳-۳ اجرای الگوریتم استخراج جاده ۷۸

۳-۳-۴ ارزیابی دقت ۷۸

۳-۴- طراحی مسیر جاده جنگلی ۸۱

۳-۴-۱ پهنه‌بندی عرصه‌جنگلی با هدف طراحی مسیر جاده ۸۱

۳-۴-۱-۱ تهیه نقشه هزینه‌های پاکتراشی ۸۲

۳-۴-۱-۲ نقشه هزینه عملیات خاکی ۸۳

۳-۴-۱-۳ بکارگیری الگوریتم Shortest Path ۸۵
۳-۴-۲ برآورد هزینه‌های ساخت و نگهداری جاده‌های جنگلی ۸۷
۳-۴-۲-۱ پیاده‌سازی مسیر جاده در عرصه ۸۸
۳-۴-۲-۲ مدل هزینه ساخت و نگهداری ۸۸
۳-۴-۳-۱ هزینه پاکتراشی ۸۸
۳-۴-۳-۲ هزینه عملیات خاکی ۸۹
۳-۴-۳-۳ هزینه تنظیم ترانشه‌ها و کف جاده ۹۰
۳-۴-۳-۴ هزینه روسازی جاده ۹۱
۳-۴-۳-۵ هزینه زهکشی ۹۱
۳-۴-۳-۶ هزینه نگهداری ۹۱
۳-۴-۴ اعتبار سنجی برآورد هزینه‌های جاده‌سازی با داده‌های دورسنجی ۹۲
فصل چهارم: نتایج ۹۳
۴-۱ نتایج آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها ۹۳
۴-۱-۱ حذف نویزها از داده‌های لیدار ۹۳
۴-۱-۲ نتایج فیلتر کردن داده‌ها ۹۴
۴-۱-۳ نتایج درون‌یابی به روش IDW ۹۵
۴-۱-۴ مدل های رقومی DTM، DSM و DNTM ۹۶
۴-۱-۵ نتایج ارتوفتو و موزاییک تصاویر اولتراکم ۹۹
۴-۱-۶ ریجستر کردن داده‌ها ۱۰۰
۴-۱-۷ داده‌های مرجع ۱۰۱
۴-۲ نتایج الگوریتم استخراج جاده ۱۰۲
۴-۲-۱ تعیین ضرایب توابع انرژی ۱۰۲
۴-۲-۲ نتایج الگوریتم Snake ۱۰۳
۴-۲-۳ مقایسه نتایج الگوریتم Snake برای تصاویر DU و DI ۱۰۶
۴-۲-۳-۱ ارزیابی نتایج با معیار کامل بودن (Completness) ۱۰۶
۴-۲-۳-۲ ارزیابی نتایج با معیار صحیح بودن (Correctness) ۱۰۷
۴-۲-۳-۳ ارزیابی نتایج با معیار کیفیت (Quality) ۱۰۸

۴-۳- نتایج بکارگیری داده‌های دورسنجی در طراحی مسیر جاده جنگلی ۱۱۰
۴-۳-۱-۱ نقشه هزینه‌های پاکتراشی ۱۱۰
۴-۳-۱-۲ نقشه هزینه عملیات خاکی ۱۱۱
۴-۳-۱-۳ نتایج پهنه‌بندی عرصه بر اساس هزینه ۱۱۳
۴-۳-۱-۴ شیب طولی لینک‌های عبور جاده ۱۱۳
۴-۳-۲برآورد هزینه‌های ساخت و نگهداری جاده ۱۱۶
۴-۳-۳ ارزیابی داده‌های دورسنجی در برآورد هزینه‌های ساخت و نگهداری جاده ۱۱۸
فصل پنجم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۲۰
۵-۱ آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها ۱۲۰
۵-۱-۱ حذف نویزها از داده‌های لیدار ۱۲۰
۵-۱-۲ فیلتر کردن داده‌های لیدار ۱۲۱
۵-۱-۳ روش درون‌یابی IDW و تولید مدل‌های رقومی زمین و سطح ۱۲۳
۵-۲ استخراج جاده‌های جنگلی با الگوریتم SNAKE ۱۲۶
۵-۲-۱ مقایسه نتایج استخراج جاده‌های جنگلی برای تصویر اولتراکم و داده‌های لیدار ۱۲۸
۵-۲-۲ نتیجه‌گیری کلی (استخراج اتوماتیک جاده‌های جنگلی) ۱۲۸
۵-۳ طراحی مسیر جاده جنگلی ۱۳۰
۵-۳-۱ نقشه هزینه پاکتراشی ۱۳۰
۵-۳-۲ نقشه هزینه عملیات خاکی ۱۳۰
۵-۳-۳ الگوریتم ShortestPath ۱۳۱
۵-۳-۴ پهنه‌بندی عرصه‌های جنگلی برای طراحی مسیر ۱۳۲
۵-۳-۵ بکارگیری داده‌های دورسنجی در برآورد هزینه‌های ساخت و نگهداری جاده ۱۳۳
۵-۳-۷ نتیجه‌گیری کلی (طراحی مسیر جاده‌های جنگلی) ۱۳۴
۵-۴ پیشنهادات ۱۳۵
فهرست منابع ۱۳۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ مشخصات کلی سیستم‌های لیدار ۲۱

جدول ۱-۲ نام و مشخصات باندهای اولتراکم ۲۴

جدول ۱-۳ دسته‌بندی روش‌های استخراج جاده (Mena، ۲۰۰۳) ۳۰

جدول ۱-۴ خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده بر اساس الگوریتم‌های استخراج جاده ۳۳

جدول ۳-۱ نحوه محاسبه خطاهای نوع اول و دوم ۶۶

جدول ۴-۱ خطای محاسبه شده برای آستانه‌های شیب در فیلترینگ شیب مبنا ۹۴

جدول ۴-۲ خطای محاسبه شده برای ریجستر کردن ۱۰۱

جدول ۴-۳ اطلاعات مربوط به داده‌های مرجع ۱۰۱

جدول ۴-۴ مقایسه نتایج الگوریتم بر مبنای ضرایب برای تصاویر DU و DI ۱۰۳

جدول ۴-۵ نتایج الگوریتم برای معیارهای ارزیابی استخراج جاده ۱۰۴

جدول ۴-۶ واحدهای زمین شناسی منطقه ۱۱۱

جدول ۴-۷ اطلاعات نقشه پهنه بندی هزینه ساخت جاده ۱۱۳

جدول ۴-۸ اطلاعات کمیت‌های مدل هزینه ۱۱۶

جدول ۴-۹ محاسبه هزینه‌ها ۱۱۸

جدول ۴-۱۰ هزینه ساخت و نگهداری جاده و سهم اجزاء هزینه ۱۱۹

جدول ۵-۱ مقایسه تحقیقات انجام شده درزمینه تولید DTM با روش IDW ۱۲۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ اجزای اصلی سیستم‌های لیدار مدرن (Diaz، ۲۰۱۱)..... ۹

شکل ۱-۲ هندسه اندازه‌گیری لیدار..... ۱۱

شکل ۱-۳ مولفه‌های تشکیل دهنده سیستم لیدار (McGaughey و همکاران، ۲۰۰۶)..... ۱۲

شکل ۱-۴ طرحی از اجزای یک فاصله یاب از نوع پالس لیزری (Shan و Toth، ۲۰۰۹)..... ۱۴

شکل ۱-۵ سیستم آینه دوران کننده (NGA.SIG، ۲۰۱۱)..... ۱۷

شکل ۱-۶ سیستم آینه نوسان کننده (NGA.SIG، ۲۰۱۱)..... ۱۸

شکل ۱-۷ سیستم آرایه فیبر نوری (NGA.SIG، ۲۰۱۱)..... ۱۹

شکل ۱-۸ سیستم اسکنر بیضوی (NGA.SIG، ۲۰۱۱)..... ۱۹

شکل ۱-۹ امکان ثبت چندین انعکاس برای هر پالس..... ۲۲

شکل ۱-۱۰ بکارگیری دوربین رقومی در کنار اسکنر لیزری در سیستم لیدار هوایی (MESH، ۲۰۱۰)..... ۲۴

شکل ۱-۱۱ نمای شماتیک استفاده از نقشه و اطلاعات سه بعدی در طراحی مسیر جاده..... ۳۸

شکل ۱-۱۲ ساختار گراف برای اتصال نقاط..... ۴۲

شکل ۱-۱۳ نیم رخ (پروفایل) عرضی یک جاده جنگلی..... ۴۴

شکل ۳-۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و تصویر ماهواره‌ای منطقه..... ۵۸

شکل ۳-۲ مراحل کلی انجام تحقیق..... ۶۰

شکل ۳-۳ ابر نقاط لیدار منطقه مورد مطالعه..... ۶۱

شکل ۳-۴ طرح شماتیک پارامترهای مداری (Linder، ۲۰۰۶)..... ۶۲

شکل ۳-۵ اطلاعات بازگشت‌های لیدار..... ۶۳

شکل ۳-۶ مقادیر پارامترهای مداری تصاویر اولتراکم در تحقیق حاضر..... ۷۰

شکل ۳-۷ مراحل تهیه تصاویر ورودی الگوریتم Snake..... ۷۲

شکل ۳-۸ مراحل انجام الگوریتم Snake..... ۷۴

شکل ۳-۹ نحوه عملکرد انرژی داخلی در تصویر..... ۷۵

شکل ۳-۱۰ نحوه عملکر انرژی خارجی در تصویر..... ۷۶

شکل۳-۱۱ نحوه استخراج اطلاعات درختان از تصاویر اولتراکم ۸۲
شکل۳-۱۲ مراحل تهیه نقشه هزینه‌های عملیات خاکی ۸۴
شکل۳-۱۳ شبکه بندی عرصه برای اجری الگوریتم کوتاهترین مسیر و حذف یال‌هایی با شیب بیشتر از ۱۲٪ ۸۷
شکل۴-۱ نمونه‌ای از نویزها و نقاط اشتباه در ابر نقاط لیدار ۹۳
شکل۴-۲ ابر نقاط لیدار قبل (الف) و بعد از فیلتر شدن (ب) ۹۵
شکل۴-۳ نتایج بررسی دقت درون‌یابی به روش IDW برای توان ۲ (سمت چپ) و توان ۳ (سمت راست) ۹۵
شکل۴-۴ نمای دو بعدی و سه بعدی DTM ۹۷
شکل۴-۵ نمای دو بعدی و سه بعدی DSM ۹۸
شکل۴-۶ مدل رقومی عوارض غیر زمینی ۹۹
شکل۴-۷ انتخاب نقاط گره‌ای در تصاویر اولتراکم برای تهیه ارتوفتوها ۱۰۰
شکل۴-۸ مطابقت تصویر رقومی اولتراکم (راست) و داده‌های شدت لیدار (چپ) بخشی از منطقه مورد مطالعه ۱۰۰
شکل۴-۹ بارزسازی دستی لایه جاده‌ها از تصویر هوایی و برداشت زمینی ۱۰۲
شکل۴-۱۰ نتایج تصویری الگوریتم Snake در تشخیص محورهای زیر تاج پوشش ۱۰۳
شکل۴-۱۱ (الف) DNTM، (ب) تصویر RGB، (ج) جاده استخراج شده از DI ۱۰۵
شکل۴-۱۲ نتایج ارزیابی معیار کامل بودن خروجی الگوریتم Snake در نمونه‌ها ۱۰۶
شکل۴-۱۳ ارزیابی نرمال بودن مقادیر معیار کامل بودن (Completness) ۱۰۷
شکل۴-۱۴ نتایج ارزیابی معیار صحیح بودن خروجی الگوریتم Snake ۱۰۷
شکل۴-۱۵ ارزیابی نرمال بودن مقادیر معیار صحیح بودن (Correctness) ۱۰۸
شکل۴-۱۶ نتایج ارزیابی معیار کیفیت خروجی الگوریتم Snake ۱۰۸
شکل۴-۱۷ ارزیابی نرمال بودن مقادیر معیار کیفیت (Quality) ۱۰۹
شکل۴-۱۸ نقشه تراکم قطری درختان منطقه مورد مطالعه و هزینه پاکسازی ۱۱۰
شکل۴-۱۹ الف) طبقات شیب منطقه، ب) نقشه واحدهای زمین شناسی و ج) نقشه سهم صخره و سنگی بودن منطقه ۱۱۲
شکل۴-۲۱ نحوه طراحی مسیر جاده با الگوریتم کوتاهترین مسیر ۱۱۴
شکل۴-۲۰ نحوه محاسبه شیب طولی لینک‌ها با استفاده از برنامه الحاقی Profile Extractor 6.0 در محیط GIS ۱۱۴
شکل۴-۲۲ مسیر طراحی شده با الگوریتم کوتاهترین مسیر ۱۱۵
شکل۴-۲۳ نمایش محور طولی و افقی جاده بر روی مدل رقومی زمین و نحوه محاسبات حجم خاکبرداری ۱۱۷
شکل۵-۱ مقایسه نتایج فیلترکردن داده‌های لیدار ۱۲۲

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

جاده‌های جنگلی برای مدیریت جنگل و دسترسی به جنگل با هدف بهره‌برداری، حمل و نقل چوب، تفرج، آموزش، پژوهش، حفاظت و حمایت از جنگل ضروری هستند. در همین راستا، شبکه گسترده‌ای از جاده‌های جنگلی بالغ بر ده‌هزار کیلومتر (Hosseini و همکاران، ۲۰۱۲) در محدوده جنگل‌های هیرکانی ایجاد شده است. طراحی جاده‌ها و تهیه نقشه‌های آن اولین گام در مدیریت و تصمیم‌سازی در هر حوزه آبخیز جنگلی است. نقشه جاده‌ها نمایانگر موقعیت، تراکم و اتصالات جاده‌ها می‌باشد (Jones و همکاران، ۱۹۹۹). در جنگل‌های شمال ایران، عموماً دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS[1]) ابزاری است که برای بازیابی نقشه شبکه جاده‌های جنگلی بکار گرفته می‌شود (Abdi و همکاران، ۲۰۱۲). استفاده از این دستگاه کم هزینه است اما بدلیل وجود تاج پوشش انبوه جنگل نقشه‌برداری جاده‌ها و مسیرهای چوبکشی توسط این دستگاه با خطای زیاد و غیر قابل اغماضی همراه است (White و همکاران، ۲۰۱۰). از طرفی، عملیات زمینی تهیه نقشه جاده‌های جنگلی و مسیرهای چوبکشی درجنگل‌های کوهستانی کاری زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد، لذا، جمع‌آوری اطلاعات با فواصل زمانی طولانی انجام‌گرفته و اطلاعات به‌هنگامی در دسترس مدیران جنگل وجود ندارد (Jazouli و همکاران، ۱۹۹۴). امروزه، داده‌های دورسنجی به‌دلیل برخورداری از مزایایی چون هزینه‌ای به‌مراتب پایین‌تر (Xian Wen و همکاران، ۲۰۰۲؛ Makela و Pekkarinen، ۲۰۰۴)، سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار، سهولت پردازش و به‌هنگام بودن داده‌ها (Holopainen و همکاران، ۲۰۰۶) توانسته‌اند نقش موثری را در جمع‌آوری و تامین اطلاعات مورد نظر ایفا نمایند. لذا، سنجش از دور ابزاری ضروری

[1] Global Positioning System

و اجتناب ناپذیر در پژوهش‌های منابع طبیعی محسوب می‌شود. این ابزار گذشته از اینکه موجب افزایش سرعت، دقت و کاهش هزینه‌ها در پژوهش‌های جنگلداری می‌شود، ارائه ویژگی‌ها را به‌صورت نقشه با دقت مکانی و صحت زیادی که پیش‌تر میسر نبود، ممکن می‌سازد (Holmgren و همکاران، ۲۰۰۰؛ رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰).

از سال ۱۹۷۰ به بعد، محققان زیادی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی را برای استخراج اطلاعات مختلف جنگل مورد استفاده قرار داده‌اند (Franco-Lopez و همکاران، ۲۰۰۱؛ Katila و Tomppo، ۲۰۰۱) و در راستای توسعه و بهبود روش‌های مدیریتی در شمار زیادی از کشورهای جهان نقشه‌های عوارض زمین از داده‌های دورسنجی استخراج می‌گردد (Konecny و Schiewe، ۱۹۹۶).

در همین راستا، روش‌های استخراج اتوماتیک و نیمه اتوماتیک اطلاعات و عوارض از داده‌های دورسنجی نیز توسعه یافته و هر روز بیشتر جایگزین شیوه‌های سنتی و برداشت میدانی اطلاعات می‌شوند. استخراج عوارض به معنای تشخیص و بارزسازی عارضه‌ای خاص (عوارض روی زمین که از نظر ریخت‌شناسی به سه دسته نقطه، خط و سطح تقسیم می‌شوند) بر روی تصاویر هوائی یا ماهواره‌ای است (جعفری گلدرق، ۱۳۸۹). شبکه جاده‌ها از مهمترین و بارزترین پدیده‌های قابل استخراج از داده‌های دورسنجی به شیوه دستی و اتوماتیک هستند (Quackenbush، ۲۰۰۴). استخراج دستی جاده‌ها وقت‌گیر، پرهزینه و شامل خطاهای انسانی است (Kabolizadeh و همکاران، ۲۰۱۰) از سوی دیگر، استخراج اتوماتیک جاده‌ها دارای مزایایی مانند بهنگام رسانی پایگاه‌های داده در زمان کوتاه‌تر و با هزینه کمتر در نتیجه دسترسی سریع‌تر به داده‌ها است (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸). داده‌های مکانی دارای اشکال پیچیده‌ای می‌باشند و نحوه ظهور آن‌ها در تصاویر ماهواره‌ای نیز بر این پیچیدگی‌ها می‌افزاید (vosselman، ۱۹۹۸) بنابراین طراحی الگوریتمی که بتواند عوارض را به صورت اتوماتیک استخراج نماید دشوار است و می‌بایست از روشی مناسب به منظور رسیدن به طبقه‌بندی بهینه تصاویر استفاده نمود (دهقانیان و همکاران، ۱۳۸۷). از جمله روش‌های بکار گرفته شده برای استخراج جاده‌ها