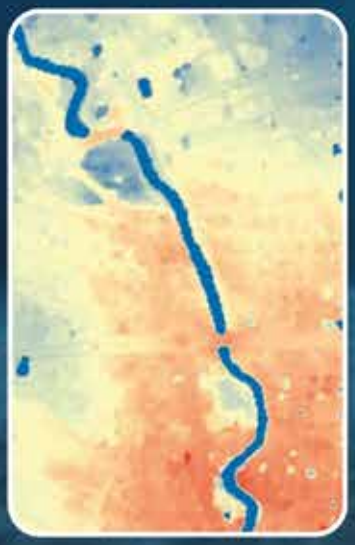
فصلنامه علمی و فنی سازمان نقشه برداری کشور

نقشه برداری

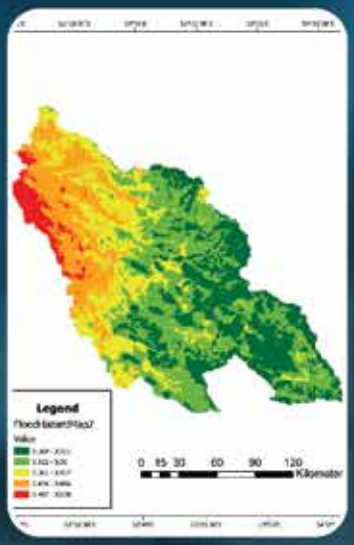
شماره ۱۲۵

سازمان نقشه برداری کشور

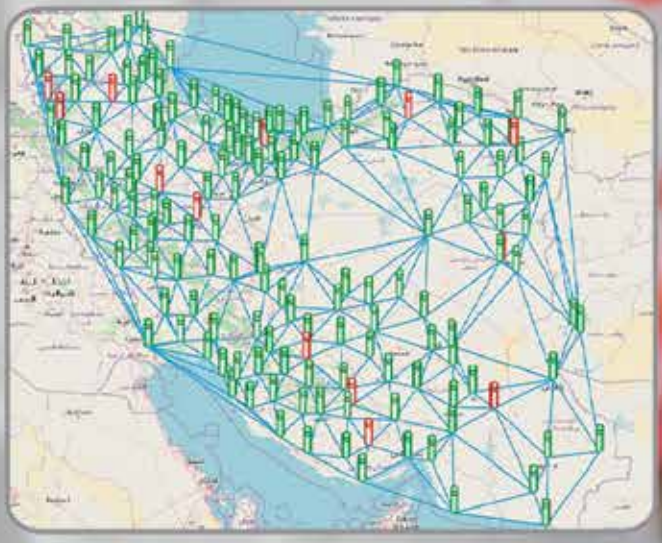
سال بیست و هفتم، شماره ۱۲۵، پاییز ۱۴۰۴







- طراحی و پیاده‌سازی زیر پرتال محاسبه شاخص‌های جمعیتی با استفاده از سرویس‌های تحلیلی تحت وب (WPS)
- پهنه‌بندی و ارزیابی خطر سیلاب با رویکرد تلفیقی AHP-GIS در حوضه آبریز طشک-بختگان و مهارلو
- شناسایی گونه‌های درختی با تصاویر چند طیفی پهپاد و یادگیری ماشین





- ارائه خدمات رایگان تنها با ثبت نام در سامانه خدمات غیرحضوری سازمان نقشه‌برداری کشور
- سامانه ارسال تصحیحات تعیین موقعیت آنی به کاربران
- شامل دو سامانه هدی و سامانه پشتیبان هدی پرو
- پوشش مناسب ایستگاهی



eshop.ncc.gov.ir/public/hoda/

بسم الله الرحمن الرحیم

نشریه علمی و فنی سازمان نقشه‌برداری کشور
سال بیست و هفتم، شماره ۱۲۵، پاییز ۱۴۰۴



صاحب امتیاز: سازمان نقشه‌برداری کشور
مدیر مسئول: دکتر سید اسکندر صیدایی
سردبیر: دکتر محمد احمدلو
مدیر اجرایی: نعیمه ظفردیزجی

هیئت تحریریه: دکتر سید اسکندر صیدایی، دکتر مرتضی صدیقی، دکتر رامین پاپی، دکتر عبدالرضا سعادت، دکتر علی سلطانپور، دکتر علی مدد، دکتر نیما قاسملو، دکتر محمد احمدلو، دکتر زهرا رضایی، دکتر معصومه آمیغ‌پی، دکتر مهرنوش امتی، دکتر سید رهی فروغی‌آل‌داوود، دکتر لیلا کریمی‌دهکردی، مهندس سعید محمد نژاد نیازی، دکتر مهرداد جعفری‌سلیم، دکتر حمیدرضا نانکلی، مهندس اشرف‌السادات قریشی، مهندس صباح راموز،

مجری: مدیریت برنامه‌ریزی، بودجه و پژوهش
ویراستار فنی: دکتر محمد احمدلو
ویراستار: نعیمه ظفردیزجی
مدیر هنری: مرتضی علیزاده پناه
چاپ و صحافی: سازمان نقشه‌برداری کشور

همکاران این شماره: مهندس سمیرا اسماعیلی، مهندس فاطمه آقاجانی افروزی، مهندس پیمان بکتاش، دکتر میلاد جانعلی پور، مهندس ابوذر شهمرادی، مهندس رضا رحیمی نژاد بوگر، مهندس میلاد رفیعی طرقی، مهندس مهدی رمضانی فرخانی، مهندس مهدی سعیدی انجیله، مهندس سهند طاهرمنش، مهندس باربد عالمیان، دکتر نادیا عباس زاده طهرانی، راحله علیزاده، دکتر مرجان قنبری، دکتر عبادت قنبری پرمهر، دکتر محمد کریمی، دکتر علی محمدزاده، مهندس فاطمه نادری، مهندس محسن یوسف زاده سورکی

کارگروه مدیریت دانش سازمان نقشه‌برداری کشور
هیئت‌مدیره جامعه مهندسان نقشه‌بردار ایران

صندوق پستی: ۱۶۸۴ – ۱۳۱۸۵
تلفن اشتراک: ۶۶۰۷۱۱۴۵
دفتر نشریه: ۶۳۱۸۲۴۶۲
دورنگار: ۶۶۰۷۱۱۴۶
نشانی: تهران، میدان آزادی، بلوار معراج، سازمان نقشه‌برداری کشور

سازمان برنامه و بودجه کشور
سازمان نقشه‌برداری کشور

فهرست مطالب

	شماره صفحه
سخن سردبیر	۱
دستاوردهای شورای عالی نقشه‌برداری	۲
بهبود شناسایی محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ابر طیفی پهپاد و AdaBoost: بهینه‌سازی پارامترهای یادگیری	۴
پهنه‌بندی و ارزیابی خطر سیلاب با رویکرد تلفیقی AHP-GIS در حوضه آبریز طشک–بختگان و مهارلو	۱۲
توسعه و پیاده‌سازی سیستم برچسب‌گذاری خودکار عوارض مکانی در محیط وب با استفاده از کتابخانه‌ی متن باز Leaflet (مطالعه‌ی موردی: استان تهران)	۲۱
استخراج نواحی سوخته جنگلی از داده‌های Sentinel-2 با U-Net مبتنی بر کانولوشن‌های سه‌بعدی برای مدل‌سازی وابستگی‌های طیفی–مکانی	۳۰
شناسایی گونه‌های درختی با تصاویر چند طیفی پهپاد و یادگیری ماشین	۳۶
طراحی و توسعه سامانه‌ی اطلاعات مکانی تحت وب برای مدیریت و پایش مخاطرات طبیعی (گزارش‌های مکانی و روش‌های مختلف جستجوی عوارض)	۴۴
طراحی و پیاده‌سازی زیر پرتال محاسبه شاخص‌های جمعیتی با استفاده از سرویس‌های تحلیلی تحت وب (WPS)	۵۳
سیستم گرید ملی ایران (IRNG)	۵۶
گزارش فنی طرح «توسعه نیازمندی‌های سه‌بعدی حوزه اطلاعات مکانی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان در بستر همسان رقمی	۶۰

سخن سردبیر

سرآغاز کلام، یا ایها الذین آمنوا اطیعوا الله و اطیعوا الرسول و اولی امر منکم، شهادت عاشورایی ولی امر مسلمین، قائد امت، و نایب برحق حضرت امام عصر (عج)، امام سید علی خامنه ای (ره) را به همه آزادگان و آحاد ملت به ویژه جامعه مهندسین نقشه‌بردار از طرف این حقیر به نمایندگی از سازمان نقشه برداری کشور تسلیت و تبریک عرض می نمایم. اگرچه داغ بر دل نشسته طاقت فرساست، لیکن انتخاب شایسته حضرت آیت الله سید مجتبی خامنه ای (حفظه الله تعالی) را به عنوان سومین رهبر معظم انقلاب، نشانی از اقتدار و صلابت نظام طیبه جمهوری اسلامی در پس جنگ تحمیلی رمضان می‌دانیم ، و امید است تسکین خاطر وجود مبارک حضرت ولی عصر (عج)، ملت مقاوم و بصیر، و خانواده معظم شهدا گردد.

سازمان نقشه برداری کشور، همچون گذشته، به منظور تعالی و توسعه ایران جان در کنار نیروهای مسلح مقتدر با اتکا به خداوند بزرگ، در پی حملات ددمنشانه دشمن قدار برخود واجب می داند با تاسی از امام شهید ذره ای در مسیر خود از تلاش دست نکشیده بلکه با شتاب و انگیزه مضاعف و انقلابی توسعه علم و حکمرانی داده مکانی را در دستور کار قرار دهد.

اما بعد، در نسخه حاضر نشریه علمی و فنی سازمان نقشه‌برداری کشور با عنایت به مسئولیت سنگین و حیاتی شورای عالی نقشه برداری در ایجاد یک نظام سالم و اصولی نقشه برداری در سطح کشور و همچنین نظارت عالیه بر کلیه محصولات مکان مبنا، گزارش پیگیری و تنظیم‌گری تحقق برخی مفاد مرتبط در جلسات کمیسیون اصل نود قانون اساسی مجلس شورای اسلامی با موضوع "رفع ایرادات و تصحیح عملکرد کمیسیون‌های رفع تداخلات اراضی زراعی" ارائه شده است. در ادامه با توجه به نقش کلیدی جامعه مهندسین و محققین نقشه برداری بر مدیریت هر چه بهتر بحران و سوانح و با عنایت به عجین شدن این پدیده‌ها با موقعیت مکانی مقالات ارزشمندی با هدف کشف کانون‌های بحران و حادثه خیز به ویژه در حوزه امنیت غذایی، علی الخصوص شناسایی دقیق محصولات کشاورزی، سطح عملکرد و عوامل تاثیر گذار برآنها ارائه شده است. علاوه بر این پهنه‌بندی و ارزیابی ریسک وقوع سیلاب در حوزه های آبریز مهم کشور در سال‌های اخیر برای مدیران سطوح بالا چالش برانگیز گزارش شده است، که در این نسخه با تکیه بر همین موضوع، مجموعه‌ای از اقدامات و تلاش‌های محققان بازتاب شده است. در پایان، محتوای این شماره از نشریه بر توسعه زیر ساخت‌ها و سامانه مکانی تحت وب، تولید محصولات مکان مبنا از فناوری‌های نوین سنجش از دوری و همچنین بیان مبسوط از گزارشات فنی برخی طرح‌های استانی احاطه دارد.

به امید پیروزی حق بر باطل

محمد احمدلو
سردبیر فصلنامه علمی و فنی سازمان نقشه‌برداری کشور
۱۴۰۴/۱۲/۲۴



دستاوردهای شورای عالی نقشه‌برداری کشور

پیمان بکتاش
دبیر کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور
مدیرکل نظارت، کنترل فنی و استاندارد سازمان نقشه‌برداری کشور

از شماره ۱۱۸ نشریه(زمستان ۱۴۰۲) تاکنون به صورت پیاپی، مطالب مربوط به شورای عالی نقشه‌برداری کشور برای مخاطبین عزیز ارائه شده است. ابتدا ضمن بیان تاریخچه شورا، روند تصویب و متن جدیدترین «آیین‌نامه تعیین وظایف، مقررات و اعضای شورای عالی نقشه‌برداری کشور» بیان گردید. در ادامه، به برخی نتایج و دستاوردهای مهم شورای عالی نقشه‌برداری کشور اشاره شده است. در این شماره نیز در خصوص یک نتیجه و دستاورد حاصله دیگر از مصوبات مهم و ارزشمند کمیسیون معین و شورای عالی نقشه‌برداری کشور سخن گفته می‌شود.

پیگیری و تنظیم‌گری تحقق برخی مفاد مرتبط در جلسات کمیسیون اصل نودم قانون اساسی مجلس شورای اسلامی با موضوع «رفع ایرادات و تصحیح عملکرد کمیسیون‌های رفع تداخلات اراضی زراعی»

به‌منظور کمیسیون اصل نودم(۹۰) قانون اساسی مجلس شورای اسلامی، جلسه‌ای را در تاریخ ۱۴۰۱/۱۰/۵ با عنوان«رفع ایرادات و تصحیح عملکرد کمیسیون‌های رفع تداخلات اراضی زراعی» کشور برگزار نموده بود. جلسه مذکور دارای ۷ مصوبه بود. به درخواست نماینده محترم کمیسیون اصل نود مجلس شورای اسلامی در کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور و با توجه به وظایف ذاتی شورای عالی نقشه‌برداری؛ پیگیری، تصمیم‌گیری، تنظیم‌گری و نظارت عالیه در خصوص مفاد (الف) و (د) بند(۱) مصوبات جلسه پنجم دی‌ماه ۱۴۰۱ کمیسیون اصل ۹۰ مجلس با موضوع کلی «تامین عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای مورد نیاز جهت تدقیق و تسریع در اجرای رفع تداخلات اراضی در سطح کشور» ، به کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور واگذار شد. به این ترتیب؛ کمیسیون معین بلافاصله از بهمن ماه ۱۴۰۱ وارد عمل شد و پیگیری جدی تحقق بندهای (الف) و (د) مصوبه مد نظر کمیسیون اصل نود را به صورت مستمر و با جدیت در دستور کار خود قرار داد. نتایج حاصله عبارتند از:

۱- اقدامات کمیسیون معین در خصوص پیگیری بند (الف) از مصوبه(۱) صورتجلسه مورخ ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ کمیسیون اصل ۹۰ مجلس شورای اسلامی؛ در خصوص اورتوفتوهای پوششی کشور برگرفته از عکس‌های هوایی دهه ۴۰ شمسی:

به استناد تکلیفی که از سوی کمیسیون اصل نودم قانون اساسی مجلس شورای اسلامی؛ وفق بند(الف) اولین مصوبه جلسه مورخ ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ و با موضوع «رفع ایرادات و تصحیح عملکرد کمیسیون‌های رفع تداخلات اراضی زراعی» مبنی بر اینکه «سازمان نقشه‌برداری کشور، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، عکس‌های هوایی مربوط به دهه ۴۰ شمسی را ظرف مدت ۲ هفته جهت تهیه اورتوفتو یکپارچه از سطح کشور در اختیار سازمان ثبت اسناد و املاک کشور قراردهند» ؛ با پیگیری دبیرخانه شورای عالی نقشه‌برداری کشور؛ در جلسات کمیسیون معین از بهمن ماه سال ۱۴۰۱، نمایندگان سازمان نقشه‌برداری کشور، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و سازمان ثبت اسناد و املاک کشور، به صورت مستمر گزارش‌هایی در خصوص وضعیت پیشرفت اسکن متریک، تهیه ایندکس و تهیه و تحویل اورتوفتوهای تهیه شده از عکس‌های هوایی پوششی دهه ۴۰ شمسی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ را ارائه نمودند و در نهایت این پروژه اجرا و به اتمام رسید.

۲- اقدامات کمیسیون معین در خصوص پیگیری بند (د) از مصوبه (۱) صورتجلسه مورخ ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ کمیسیون اصل ۹۰ مجلس شورای اسلامی؛ در خصوص اورتوفتوهای پوششی کشور برگرفته از تصاویرماهواره‌ای دهه ۵۰ شمسی:

به استناد تکلیفی که از سوی کمیسیون اصل نودم قانون اساسی مجلس شورای اسلامی؛ وفق بند(د) اولین مصوبه جلسه مورخ ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ آن کمیسیون، و با موضوع«رفع ایرادات و تصحیح عملکرد کمیسیون‌های رفع تداخلات اراضی زراعی» مبنی بر اینکه«سازمان امور اراضی با همکاری سازمان‌های ثبت اسناد و املاک کشور، منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و نقشه‌برداری بدواً ظرف مدت یک ماه نسبت به امکان‌سنجی استفاده از تصاویر ماهواره کرونا جهت تهیه ارتوفتو پوششی از سطح کشور در دهه ۵۰ شمسی اقدام نماید. در صورت حصول نتیجه مثبت از امکان‌سنجی انجام شده، به نحوی اقدام نماید که ظرف مدت شش ماه ارتوفتو پوششی از سطح کشور در دهه ۵۰ شمسی تهیه شود» ؛ همچنین با تاکید نماینده محترم کمیسیون اصل نود مجلس شورای اسلامی در کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور، موضوع برای تصمیم‌گیری و تنظیم‌گری، به کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور محول شد. در این خصوص پیگیری امکان‌سنجی و نحوه تهیه اورتوفتو از تصاویر ماهواره‌ای کرونا مربوط به دهه ۵۰ شمسی، در چند جلسه، به عنوان دستور کار کمیسیون معین قرار گرفت. کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری، هماهنگی کاملی بین دو کارفرما اجرای این پروژه یعنی سازمان ثبت اسناد و املاک کشور و سازمان امور اراضی کشور برقرار نمود. مطابق مصوبات حاصله در اجرای پروژه ها تاکید شد که موارد زیر الزاما رعایت گردد:

الف - انعقاد تمامی قراردادها با رعایت تشریفات قانونی به منظور تعیین مجریان ذیصلاح صورت پذیرد.

ب - الزامات و اصلاحات مدنظر این گروه‌کاری، در قالب شرح خدمات فنی یکسان، به عنوان مستند اصلی فنی لازم‌الاجرای ضمیمه قراردادها، ملاک روند اجرایی قراردادها قرارگیرد.

ج- تمامی قراردادهای مذکور، وفق ماده(۱۱) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور؛ تحت نظارت و کنترل فنی سازمان نقشه‌برداری کشور و با هدف تامین نیازهای بهره‌بردار اصلی محصول(کمیسیون‌های رفع تداخلات اراضی کشور) باشد.

د- انعقاد هرگونه قرارداد صرفاً برای تهیه یا خرید تصاویر ماهواره‌ای جدید کرونا دهه ۵۰ شمسی به صورت مجزا، منتفی گردید و عناوین تمامی قراردادها به منظور تهیه محصول نهایی اورتوفتو از تصاویر ماهواره‌ای مذکور تاکید شد.

ه- سازمان امور اراضی کشور و سازمان ثبت اسناد و املاک کشور، قبل از برگزاری مناقصه برای خرید خدمات مشاوره تهیه ارتوفتوی تصاویر ماهواره‌ای KH9 هر منطقه یا هر استان، با هماهنگی دوطرفه و شفاف با یکدیگر و با اطلاع کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور و این گروه‌کاری، دقت لازم را در جلوگیری از رخداد موازی‌کاری یا دوباره‌کاری داشته باشند.

لازم به ذکر است، در این راستا این پروژه‌ها توسط بخش خصوصی در حال انجام بوده و تحت نظارت و کنترل فنی سازمان نقشه برداری کشور قرار دارد. نتایج حاصله، برای کشور به ویژه در کمیسیون‌های رفع تداخلات اراضی بسیار حائز اهمیت برای کشور خواهد بود و از مهم‌ترین دستاوردهای شورای عالی نقشه‌برداری کشور محسوب می‌گردد.

بهبود شناسایی محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ابرطیفی پهپاد و AdaBoost: بهینه‌سازی پارامترهای یادگیری

میلاد جانعلی پور، استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم تحقیقات و فناوری
نادیا عباس‌زاده طهرانی، دانشیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم تحقیقات و فناوری

چکیده

استخراج تعیین سطح زیر کشت و تفکیک محصولات کشاورزی از تصاویر سنجش‌ازدور، یکی از اطلاعات حیاتی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی محسوب می‌شود. در این مطالعه، یک روش مبتنی بر طبقه‌بند AdaBoost برای شناسایی محصولات کشاورزی از داده‌های ابرطیفی پهپاد ارائه شده است. عملکرد روش پیشنهادی قبل و پس از بهینه‌سازی دو پارامتر نرخ یادگیری و تعداد تکرار، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که پس از بهینه‌سازی، صحت کلی طبقه‌بندی از ۷۷ درصد به ۸۷ درصد افزایش می‌یابد که بیانگر بهبودی حدود ۱۰ درصدی در عملکرد مدل است. هرچند در کلاس‌هایی همچون آب و برنج نتایج مطلوبی حاصل شد، ولی در مورد علف‌های هرز و سویا، به‌کارگیری روش‌های دقیق‌تر در آینده پیشنهاد می‌گردد.

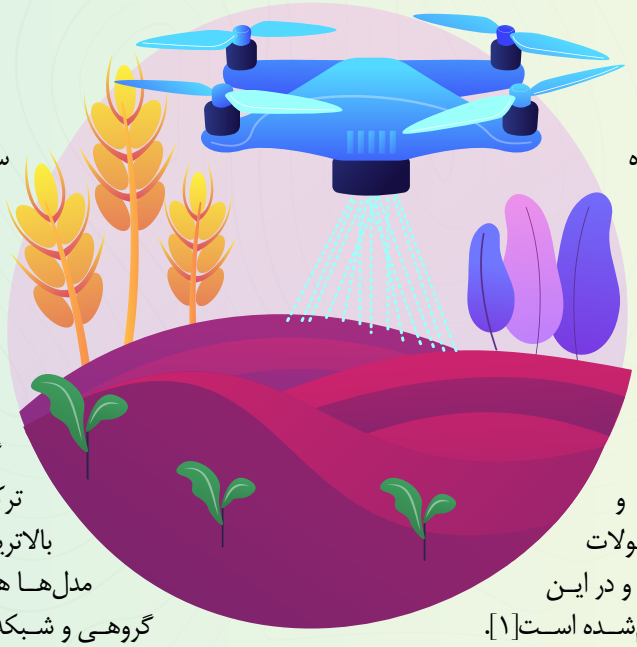
واژگان کلیدی: پایش محصولات کشاورزی؛ پهپاد؛ الگوریتم طبقه‌بند AdaBoost ؛ یادگیری ماشین.

۱- مقدمه

امروزه، تحلیل و دسته‌بندی محصولات کشاورزی با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی به دلیل نقش مؤثر آن در تسریع و افزایش صحت نظارت بر فعالیت‌های کشاورزی، طراحی کاربری اراضی و حفاظت محیط‌زیست، بسیار مورد اقبال قرارگرفته است. تصاویر ماهواره‌ای دید وسیع و کلی از عرصه‌های کشاورزی فراهم می‌کنند، درحالی‌که پهپادها باقابلیت تصویربرداری دقیق‌تر در مقیاس محلی، امکان رصد جزئی‌تر را ایجاد می‌نمایند. با نصب سنجنده‌های ابرطیفی بر روی پهپادها، می‌توان تصاویر با وضوح‌بالا و حاوی داده‌های طیفی غنی ثبت کرد که پایش دقیق وضعیت سلامت محصول، مراحل رشد، الگوهای فنولوژیکی و تنوع درون مزرعه‌ای را ممکن می‌سازد. به‌این‌ترتیب، داده‌های پهپادی می‌توانند با ارائه اطلاعات به‌روز و با جزئیات بیشتر، مکمل ارزشمندی برای داده‌های ماهواره‌ای باشند و به کشاورزان در اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی آگاهانه درزمینه‌ی آبیاری، تغذیه و مبارزه با آفات کمک کنند. تلفیق تصاویر ابرطیفی پهپادها با الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، به‌ویژه روش‌های تقویتی مانند AdaBoost، می‌تواند صحت تشخیص و تفکیک محصولات را به میزان قابل‌توجهی بهبود بخشد و گامی فراتر از روش‌های مرسوم گذشته محسوب شود. پردازش این تصاویر برای طبقه‌بندی محصولات، حوزه‌ای پژوهشی درحال‌توسعه است که فن‌آوری‌های نوین تصویربرداری را با روش‌های پردازش داده‌های طیفی ترکیب می‌کند. داده‌های ابرطیفی به دلیل دارا بودن اطلاعات گسترده طیفی، بستر مناسبی برای تجزیه‌وتحلیل و تمایز محصولات کشاورزی مختلف فراهم می‌کنند. استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته طبقه‌بندی در کنار تصویربرداری ابر طیفی پهپادی، نه‌تنها سرعت و دقت را بالا می‌برد، بلکه امکان به‌روزرسانی پویای اطلاعات و مدیریت کارآمد مزارع را به شکل محسوسی ارتقا می‌دهد. در این پژوهش، قابلیت سنجی تشخیص محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ابر طیفی پهپاد و الگوریتم AdaBoost موردبررسی قرارگرفته است.

۲- کلیات و پیشینه

سیستم‌ها و فن‌آوری‌های پردازش اطلاعات فرا طیفی و چند طیفی با ارائه اطلاعات مفید به کشاورزان و مدیران محصولات کشاورزی در مورد عوامل مؤثر بر وضعیت و رشد محصول، سودمندی خود را برای بهبود بهره‌وری و عملکرد کشاورزی نشان داده‌اند. تصویربرداری ابر طیفی به دلیل توانایی آن در اخذ اطلاعات طیفی دقیق در طیف گسترده‌ای از



طول‌موج‌ها به‌طور گسترده مورد استفاده قرارگرفته است. تصاویر ابر طیفی یا هایپراسپکترال، برای تشخیص و مدیریت منابع آب، تعیین کیفیت خاک، پایش رشد گیاهان، شناسایی بیماری‌ها و آفات، تعیین کیفیت محصولات و پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی بسیار مفید هستند و در این زمینه مطالعات بسیاری انجام‌شده است[۱].

اکرامی راد و همکاران (۲۰۱۷) یک نمای کلی جامع از تکنیک تصویربرداری فرا طیفی ارائه می‌دهند و بر کاربرد آن‌ها در محیط‌های کشاورزی تأکید می‌کنند. این مطالعه نشان می‌دهد که چگونه می‌توان تصاویر فرا طیفی را برای استخراج ویژگی‌های معنی‌دار پردازش کرد که به طبقه‌بندی محصولات کشاورزی و سایر محصولات کشاورزی کمک می‌کند. نتایج این پژوهش بیانگر کارآیی بالای تصویربرداری ابر طیفی در جداسازی غیر مخرب سیب‌های آفت‌زده برای استفاده در ماشین‌های درجه‌بندی می‌باشد [۲]. Hu و همکاران در سال ۲۰۲۰ جهت شناسایی درختان کاج بیمار توسط پهپاد و برای نظارت و کنترل پویای بیماری‌های درخت کاج در مناطق وسیع، روشی را ارائه می‌کنند که شبکه‌های عصبی کانولوشنال عمیق(DCNN)، شبکه‌های مولد تخاصمی پیچیده عمیق(DCGANs) و یک طبقه‌بندی کننده AdaBoost را ترکیب می‌کند. طبقه‌بندی کننده AdaBoost درختان کاج بیمار را از درختان کاج سالم متمایز می‌کند. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی نسبت به خوشه‌بندی K-means، ماشین بردار پشتیبان، طبقه‌بندی کننده، AdaBoost، شبکه‌های عصبی پس انتشار، Alexnet، VGG و شبکه‌های Inception_v3 عملکرد تشخیص بهتری دارد [۳]. در مطالعه دیگری بیماری سبز شدن مرکبات (HLB) Huanglongbing توسط Ian و همکاران در سال ۲۰۲۰ با به‌کارگیری پهپاد موردبررسی قرار گرفت [۴]. سبز شدن مخرب‌ترین بیماری در صنعت مرکبات است. در این مطالعه امکان تشخیص بیماری در پهنه وسیع باغات مرکبات با سنجش‌ازدور پهپادی ارزیابی‌شده است.. چندین الگوریتم یادگیری ماشین، مانند ماشین بردار پشتیبان(SVM)، k-نزدیک‌ترین همسایه(kNN)، رگرسیون لجستیک(LR)، بیز ساده و یادگیری گروهی، برای مدل‌سازی نمونه‌های سالم و آلوده به بیماری پس از بهینه‌سازی پارامتر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که تحلیل مؤلفه‌های اصلی یا PCA مربوط به شاخص‌های گیاهی که با مقدار DN اولیه ترکیب می‌شوند، عموماً دارای بالاترین دقت و تطابق در همه مدل‌ها هستند و رویکردهای یادگیری گروهی و شبکه عصبی(۱۰۰ % در AdaBoost و ۹۷,۲۸% در شبکه عصبی) دارای بهترین نتایج طبقه‌بندی با استفاده از استراتژی آستانه هستند. در مطالعه دیگر، عملکرد غده سیب‌زمینی پایان فصل و پیش‌بینی مجموعه غده با استفاده از تصاویر فرا طیفی مبتنی بر پهپاد و الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین انجام‌شده است. به‌طور خاص، شش مدل اصلی یادگیری ماشین، یعنی حداقل مربع معمولی(OLS)، رگرسیون پشته، رگرسیون حداقل مربعات جزئی(PLSR)، رگرسیون بردار پشتیبان(SVR)، جنگل تصادفی(RF) و تقویت تطبیقی (AdaBoost) توسعه داده شد. نتایج نشان داد که استفاده از داده‌های فرا طیفی چند زمانی، عملکرد مدل را بهبود می‌بخشد. Ridge بهترین عملکرد را برای پیش‌بینی عملکرد غده به دست آورد(R۲ = ۰,۶۳) درحالی‌که Ridge و PLSR عملکرد مشابهی برای پیش‌بینی مجموعه غده داشتند(R۲ = ۰,۶۹). این مطالعه نشان داد که تصاویر فرا طیفی و روش‌های یادگیری ماشین، پتانسیل خوبی برای کمک به پرورش‌دهندگان سیب‌زمینی برای مدیریت مؤثر شیوه‌های آبیاری خود دارند[۵].

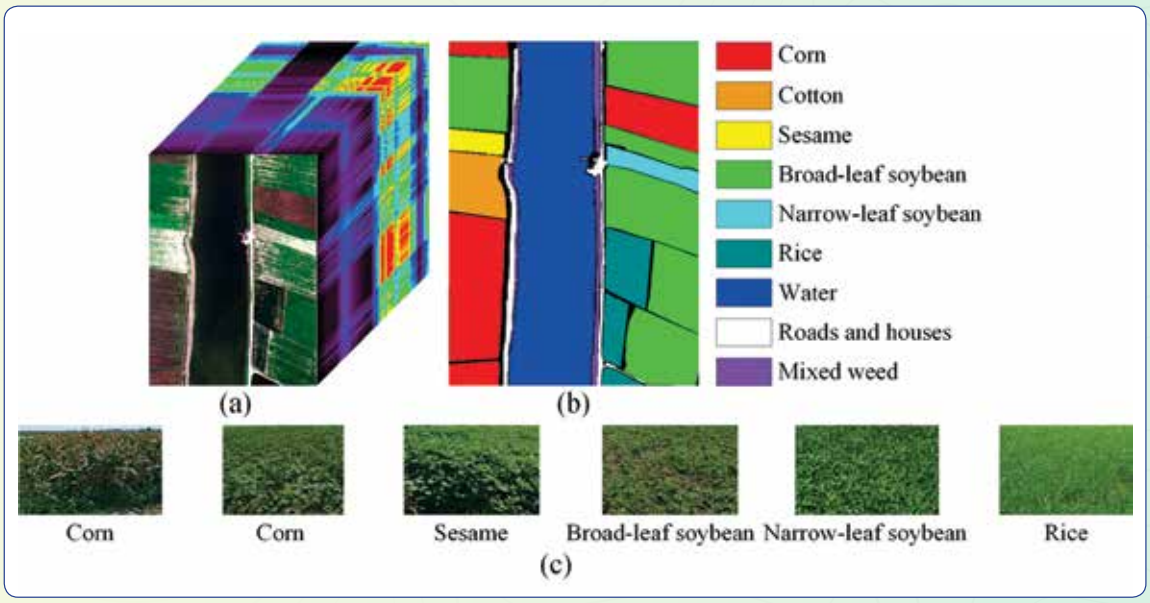
۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه موردمطالعه و داده مورد استفاده:

مجموعه داده‌های WHU-Hi (تصاویر فرا طیفی پهپادی دانشگاه ووهان) توسط گروه پژوهشی «استخراج، تحلیل و کاربردهای هوشمند داده‌های سنجش‌ازدور» (RSIDEA) در دانشگاه ووهان گردآوری و در دسترس جامعه علمی قرارگرفته است. این مجموعه داده به‌عنوان یک مرجع استاندارد برای طبقه‌بندی دقیق گیاهان و محصولات کشاورزی قابل‌استفاده است. تمامی داده‌ها در مناطق زراعی استان هوبی چین و با تنوعی از محصولات مختلف،

توسط حسگر فرا طیفی Headwall Nano-Hyperspec نصب‌شده بر روی پهپاد جمع‌آوری شده‌اند.

مجموعه داده WHU-Hi-LongKou در تاریخ ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۸، از ساعت ۱۳:۴۹ تا ۱۴:۳۷، در شهر لونگ‌کو از استان هوبی چین برداشت شد. برای تصویربرداری از یک پهپاد DJI M600 Pro مجهز به حسگر فرا طیفی Headwall Nano-Hyperspec بافاصله کانونی ۸ میلی‌متر استفاده شد. شرایط جوی در زمان برداشت داده‌ها، صاف و بدون ابر با دمای حدود ۳۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی تقریبی ۶۵٪ گزارش‌شده است. منطقه موردمطالعه یک عرصه کشاورزی نسبتاً یکدست است که شش نوع محصول شامل ذرت، پنبه، کنجد، سویا پهن‌برگ، سویا باریک برگ و برنج را در برمی‌گیرد. پهپاد در ارتفاع ۵۰۰ متری پرواز کرده و تصاویری با ابعاد ۵۵۰ در ۴۰۰ پیکسل ثبت نموده است. این داده‌ها شامل ۲۷۰ باند طیفی در محدوده ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر بوده و وضوح مکانی تصاویر فرا طیفی حدود ۰٫۴۶۳ متر است. نمای کلی منطقه تصویربرداری در شکل ۱ و مشخصات انواع محصولات در جدول شماره ۱ ارائه‌شده است[۶, ۷].



شکل ۱: نقشه حقیقت زمینی و تصویر ابر طیفی اخذشده از منطقه موردمطالعه

جدول ۱: کلاس‌ها موجود در منطقه موردمطالعه و تعداد نمونه‌های متناظر آن‌ها

شماره کلاس	نام کلاس	تعداد نمونه‌ها
C1	ذرت	۳۴۵۱۱
C2	پنبه	۸۳۷۴
C3	کنجد	۳۰۳۱
C4	سویا پهن‌برگ	۶۳۲۱۲
C5	سویا با برگ باریک	۴۱۵۱
C6	برنج	۱۱۸۵۴
C7	آب	۶۷۰۵۶
C8	راه و خانه	۷۱۲۴
C9	علف هرز مخلوط	۵۲۲۹

۳-۲- روش پیشنهادی

در این تحقیق، روش پیشنهادی در سه مرحله انجام می‌شود. ابتدا از تصویر ابر طیفی موجود استفاده‌شده (تمامی باندها) و با استفاده از نمونه‌های آموزشی، که برای هر کلاس ۳۰۰ عدد در نظر گرفته شد، و روش دسته‌بندی Adaboost دسته‌بندی هر پیکسل تصویر انجام شد. سپس، در مرحله دوم، پارامترهای دسته‌بندی Adaboot بهینه شد تا نتایج با صحت بیشتر تهیه شوند. دو متغیر نرخ یادگیری و تعداد چرخه یادگیری در این مرحله بهینه می‌شوند. درنهایت، اعتبارسنجی نتایج حاصل‌شده با ماتریس خطا و نمونه‌های ارزیابی انجام شد.

۳-۲-۱- روش تقویت تطبیقی یا Adaboost:

AdaBoost یا Adaptive Boost یک الگوریتم طبقه‌بندی یادگیری ماشین نسبتاً جدید است. یک الگوریتم گروهی است که بسیاری از یادگیرندگان ضعیف (درخت‌های تصمیم‌گیری) را ترکیب کرده و آن‌ها را به یک یادگیرنده قوی تبدیل می‌کند. بنابراین، الگوریتم آن روش‌های گردآوری و تقویت را برای ایجاد یک پیش‌بینی‌کننده پیشرفته کاهش می‌دهد. AdaBoost(تقویت تطبیقی) یک روش یادگیری گروهی محبوب است که هدف آن بهبود دقت طبقه‌بندی با ترکیب چندین طبقه‌بندی ضعیف در یک طبقه‌بندی قوی است. نوع M2 AdaBoost به یک پیاده‌سازی خاص اشاره دارد که به‌ویژه برای انواع خاصی از طبقه‌بندی مؤثر است، مانند طبقه‌بندی چند کلاسه با داده‌هایی که می‌توانند به معنای کلی‌تر برچسب‌گذاری شوند.

منظور از طبقه‌بندی کننده ضعیف، طبقه‌بندی‌کننده‌ای است که عملکرد آن بهتر از حالت تصادفی باشد. AdaBoost وزن‌های متفاوتی را به هر نمونه تمرینی اختصاص می‌دهد. در ابتدا، همه نمونه‌ها به‌طور مساوی وزن داده می‌شوند. الگوریتم، وزن‌ها را بر اساس عملکرد طبقه‌بندی کننده‌های ضعیف تنظیم می‌کند. اگر یک طبقه‌بندی‌کننده یک نمونه را به‌اشتباه طبقه‌بندی کند، وزن آن در تکرارهای بعدی افزایش می‌یابد و درنتیجه تمرکز بیشتری روی نمونه‌های چالشی می‌گذارد. پس از آموزش چندین طبقه‌بندی کننده ضعیف، AdaBoost آن‌ها را در یک طبقه‌بندی قوی واحد ترکیب می‌کند. سهم هر طبقه‌بندی ضعیف با توجه به‌دقت آن وزن‌گذاری می‌شود و به مدل اجازه می‌دهد تصمیم آگاهانه‌تری بگیرد. الگوریتم در چندین دور تمرین تکرار می‌شود، جایی که در هر دور، جدیدترین طبقه‌بندی کننده ضعیف با استفاده از وزن‌های به‌روز شده نمونه‌ها آموزش داده می‌شود [۸-۱۱].

۳-۲-۲- اعتبارسنجی

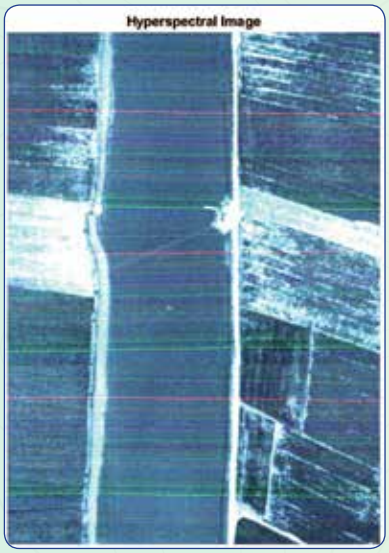
به‌منظور اعتبارسنجی از نمونه‌های ارزیابی و ماتریس خطا استفاده می‌شود. ماتریس خطا با استفاده از نمونه‌های ارزیابی و نتایج حاصل از روش دسته‌بندی کننده ماتریسی تشکیل می‌دهد که از طریق آن یکسری آماره‌های خطای تهیه خواهد شد. جدول شماره ۲ شماتیک یک ماتریس خطا را نشان می‌دهد [۱۲-۱۴].

جدول۲: نمونه ماتریس خطا

	کلاس۱	کلاس۲	...	کلاس n
کلاس۱	A11	A12		A1n
کلاس۲	A21	A22		A2n
...	...	...	...	...
کلاس n	An1	An2		Ann

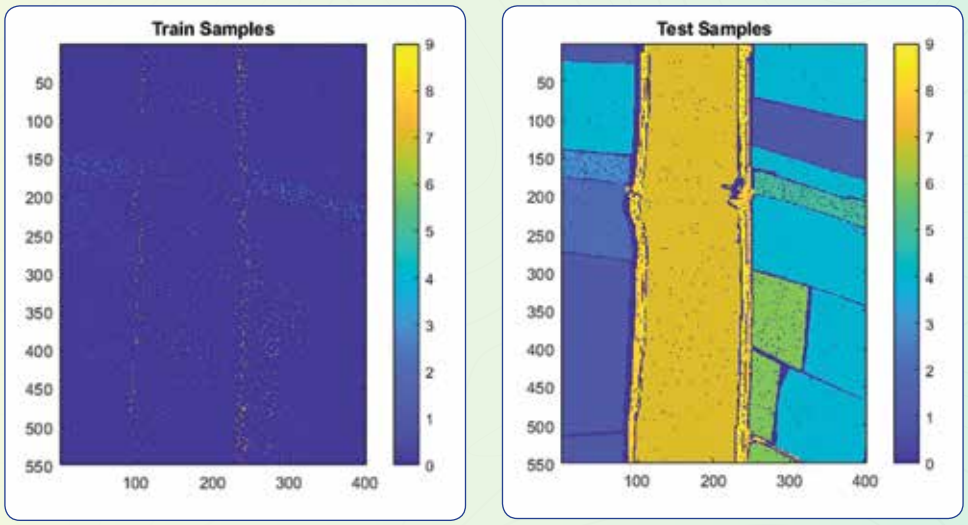
۴- نتایج و بحث

تصویر ترکیب رنگی کاذب از تصویر ابر طیفی منطقه موردمطالعه در شکل شماره ۲ نمایش داده‌شده است. این تصویر از ۳ باند نخست تصویر موجود تهیه‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در برخی خطوط تصویر نویز مشاهده می‌شود که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده موردبررسی قرار گیرند و روش‌های کاهش این نویز پیاده‌سازی شوند.



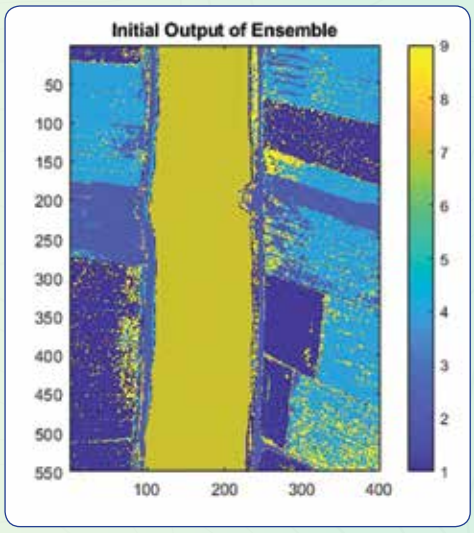
شکل ۲: تصویر ترکیب رنگی کاذب از منطقه موردمطالعه

شـکل شـماره ۳ نمونه‌هـای آموزشـی و ارزیابـی را نمایـش می‌دهـد. تصویـر سـمت چـپ نمونه‌هـای آموزشـی را نمایـش می‌دهـد کـه بـر اسـاس داده‌هـای تهیه‌شـده از هـر کلاس ۳۰۰ پیکسـل به‌عنـوان نمونـه آموزشـی انتخاب‌شـده اسـت. ایـن نمونـه از کل نمونه‌هـای کـم شـده و سـایر نمونه‌هـا مطابـق شـکل سـمت راسـت به‌عنـوان نمونـه ارزیابـی انتخـاب شـدند.



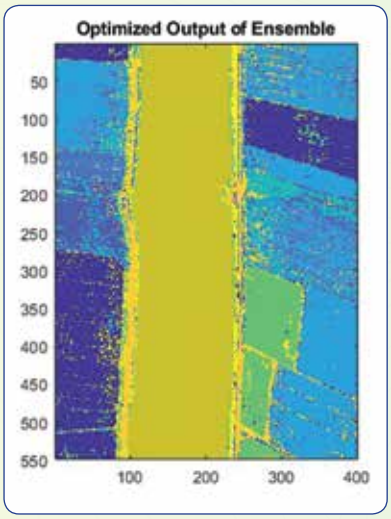
شکل ۳: نمونه‌های ارزیابی و آموزشی مورداستفاده در این مقاله

خروجـی اولیـه روش AdaBoost در شـکل شـماره ۴ نمایـش داده‌شـده اسـت. ایـن نتیجـه بـا ۱۰۰ درخـت تهیه‌شـده اسـت. بـر اسـاس ایـن شـکل، چنـد کلاس در تصویـر قابل‌تشـخیص نبـوده اسـت. اگرچـه برخـی از کلاس‌هـای کاربـری درسـت شناسایی‌شـده‌اند امـا نویـز در تصویـر مشـاهده می‌شـود.



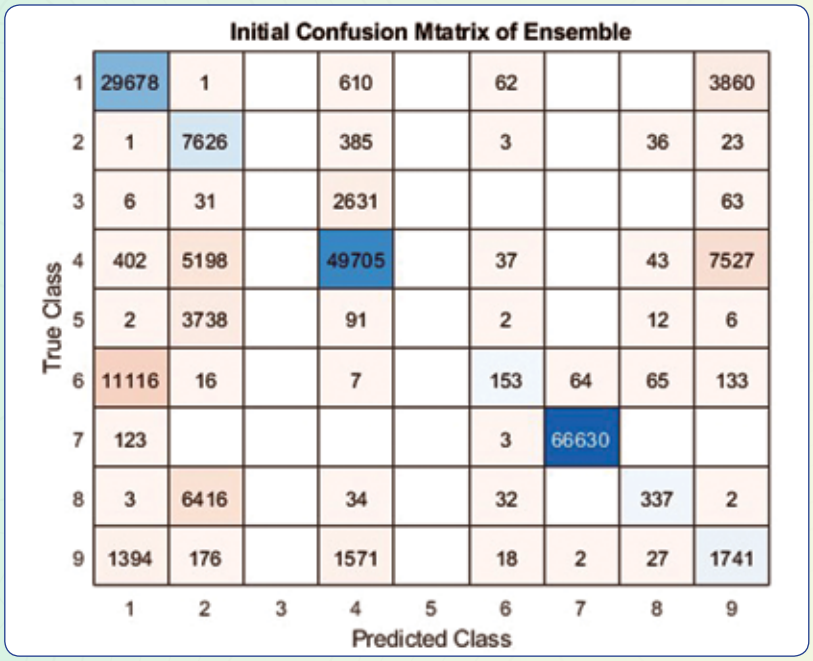
شکل ۴: خروجی اولیه روش AdaBoost با استفاده از ۱۰۰ درخت تصمیم

پـس از بهینه‌سـازی روش AdaBoost نقشـه جدیدتـر تهیـه شـد. شـکل شـماره ۵ شـماره خروجـی ایـن روش را نمایـش می‌دهـد. در نتایـج بهینه‌سـازی نویـز مشـاهده می‌شـود. امـا در تفکیـک کلاس‌هـا نسـبت بـه نتایـج اولیـه عملکـرد بهتـری داشـته اسـت. به‌عنوان‌مثـال در کلاس ۶ یعنـی برنـج روش توانسـته اسـت بعـد از بهینه‌سـازی شناسـایی و تفکیـک را انجـام دهـد درحالی‌کـه قبـل از آن ایـن محـدوده شناسـایی نشـده بـود. ایـن موضـوع نشـان می‌دهـد بـرای حصـول نتایـج مناسـب لازم اسـت بهینه‌سـازی ایـن روش انجـام شـود.



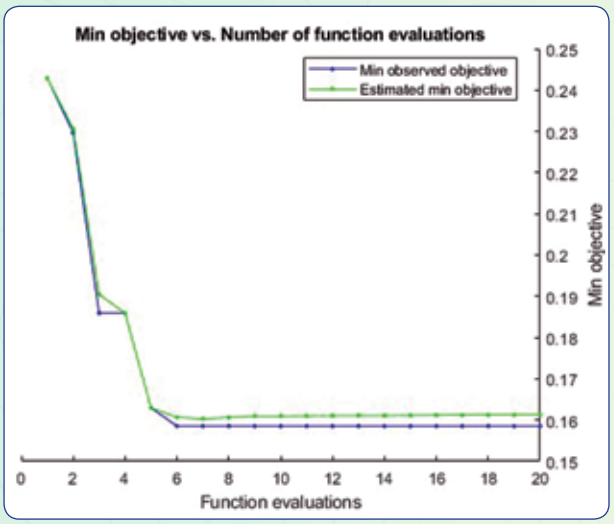
شکل۵: نتایج روش AdaBoost بعد از بهینه‌سازی پارامترها

ماتریس خطای مربوط به نتیجه اولیه اجرای روش AdaBoost در شکل شماره ۶ ارائه‌شده است. بر اساس این جدول، عملکرد اولیه روش در کلاس‌های شماره ۱، ۲، ۴ و ۷ مناسب ارزیابی می‌شود. اما روش نتوانسته است در کلاس‌های ۲، ۳، ۵، ۶ و ۸ عملکرد خوبی داشته باشد. این موضوع در نقشه شکل شماره ۴ نیز مشاهده می‌شود. درواقع علت اصلی این موضوع عدم بهینه‌سازی روش در مرحله ابتدایی است.

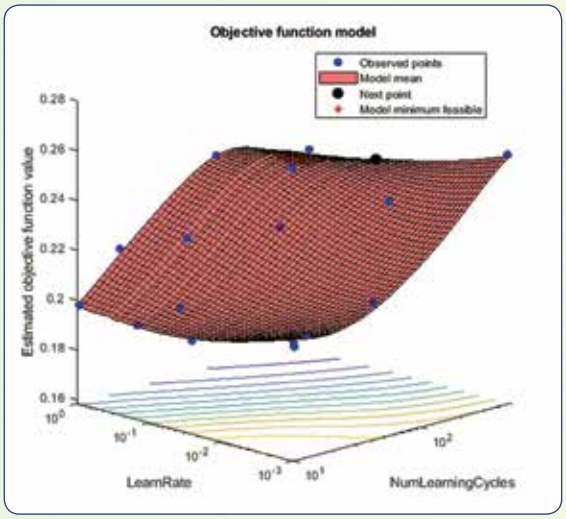


شکل ۶: ماتریس خطا ابتدایی روش AdaBoost

شکل شماره ۷ نمودار هم‌گرایی تابع هدف روش طبقه‌بندی در ۲۰ تکرار را نمایش می‌دهد. بر اساس این شکل تابع در ۲۰ تکرار حداقل شده است و شیب آن در تکرارهای نزدیک به ۲۰ به شکلی است که می‌توان آن را همگرا در نظر گرفت. این آزمایش برای تعداد تکرار ۱۰۰ نیز انجام شد که صحت نتایج کمی کمتر از ۲۰ تکرار به دست آمد. شکل شماره ۸ حساسیت تابع هدف نسبت به دو متغیر نرخ یادگیری و تعداد تکرار نمایش داده‌شده است. بر اساس این شکل، نتایج بهینه کاملاً وابسته به این دو متغیر است.

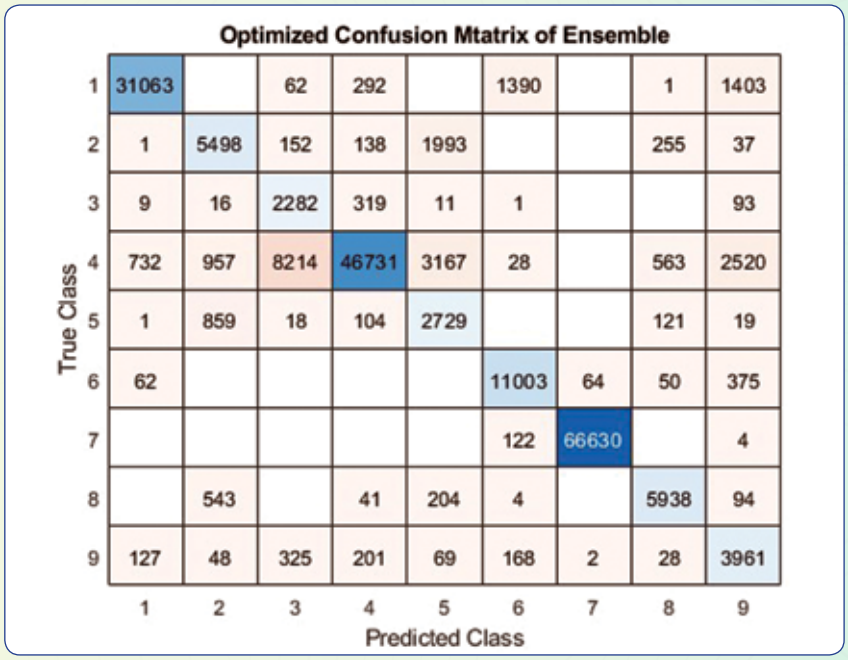


شکل ۷: نمودار همگرایی تابع هدف



شکل ۸: حساسیت دو متغیر نرخ یادگیری و تعداد چرخه تکرار

پس از بهینه‌سازی، ماتریس خطا در شکل شماره ۹ نمایش داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش پیشنهادی پس از بهینه‌سازی توانسته نتایج قابل قبولی ارائه دهد. در قطر اصلی این ماتریس مقادیر زیادی مشاهده می‌شوند که نشان‌دهنده دقت بالاتر پس از بهینه‌سازی است. اگرچه هنوز در المان‌های غیر قطر اصلی مقادیر مشاهده می‌شوند که نشان‌دهنده خطای روش پیشنهادی است. این خطاها در نقشه نهایی روش AdaBoost نیز مشاهده می‌شوند. لازم است برای کاهش این خطاها روش‌های جدیدتر توسعه یابند.



شکل ۹: ماتریس خطا پس از بهینه‌سازی روش AdaBoost

صحت کلی روش AdaBoost قبل از بهینه‌سازی ۷۷ درصد بوده است که این مقدار پس از بهینه‌سازی به ۸۷ درصد رسیده است. این موضوع نشان‌دهنده بهبود ۱۰ درصدی نتایج پس از بهینه‌سازی بوده است. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود جهت رسیدن به نتایج بهتر در آینده بهینه‌سازی پارامترهای روش‌های طبقه‌بندی در دستور کار قرار گیرد. همچنین، تعداد ویژگی‌ها در عملکرد روش‌ها تأثیرگذار هستند، پیشنهاد می‌شود از روش‌های انتخاب ویژگی در آینده استفاده شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روشی مبتنی بر طبقه‌بند AdaBoost برای طبقه‌بندی پیکسل‌ها از تصاویر ابر طیفی پهپاد ارائه شد. عملکرد این روش قبل و پس از بهینه‌سازی پارامترهای کلیدی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که طبقه‌بندی بدون بهینه‌سازی از دقت قابل قبولی برخوردار نبوده و با خطای قابل‌توجهی همراه است؛ درحالی‌که پس از بهینه‌سازی، بهبود چشمگیری در تمایز کلاس‌ها مشاهده شد. دستیابی به صحت کلی ۸۷ درصد، نشان‌دهنده توانایی مناسب روش پیشنهادی در تفکیک محصولات است. بااین‌وجود، خطای شناسایی در برخی کلاس‌ها نظیر علف‌های هرز و سویا همچنان وجود دارد که لزوم توسعه روش‌های دقیق‌تر در مطالعات آتی را پررنگ می‌سازد.

پژوهش‌های آینده می‌توانند در راستای تکمیل کاستی‌های موجود، بر محورهای زیر تمرکز کنند:

۱. طراحی سیستم‌های پردازش بلادرنگ (Real-time) برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های فوری در مدیریت کشاورزی دقیق.

۲. اعتبارسنجی و گسترش روش به طیف وسیع‌تری از محصولات زراعی، به‌منظور افزایش قابلیت تعمیم و عملیاتی سازی آن.

۳. تلفیق روش AdaBoost با دیگر الگوریتم‌های پیشرفته یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، به‌منظور افزایش کارایی و دقت طبقه‌بندی.

منابع و مراجع

1. K. L.-M. Ang and J. K. P. Seng, «Big data and machine learning with hyperspectral information in agriculture,» IEEE Access, vol. 9, pp. 36699-36718, 2021.

۲. ن. اکرامی راد, ر. علیمردانی, س. س. محتسبی, and ا. ایوانی, «تکنیک تصویر برداری ابرطیفی,» مهندسی بیوسیستم ایران, vol. 48, no. 2, pp. 241-249, 2017, doi: 10.22059/ijbse.2017.62466.

3. G. Hu, C. Yin, M. Wan, Y. Zhang, and Y. Fang, «Recognition of diseased Pinus trees in UAV images using deep learning and AdaBoost classifier,» Biosystems Engineering, vol. 194, pp. 138-151, 2020.

4. Y. Lan et al., «Comparison of machine learning methods for citrus greening detection on UAV multispectral images,» Computers and electronics in agriculture, vol. 171, p. 105234, 2020.

5. C. Sun et al., «Prediction of end-of-season tuber yield and tuber set in potatoes using in-season UAV-based hyperspectral imagery and machine learning,» Sensors, vol. 20, no. 18, p. 5293, 2020.

6. Y. Zhong, X. Hu, C. Luo, X. Wang, J. Zhao, and L. Zhang, «WHU-Hi: UAV-borne hyperspectral with high spatial resolution (H2) benchmark datasets and classifier for precise crop identification based on deep convolutional neural network with CRF,» Remote Sensing of Environment, vol. 250, p. 112012, 2020.

7. Y. Zhong et al., «Mini-UAV-borne hyperspectral remote sensing: From observation and processing to applications,» IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, vol. 6, no. 4, pp. 46-62, 2018.

8. L. Breiman, «Bagging predictors,» Machine learning, vol. 24, pp. 123-140, 1996.

9. L. Breiman, «Random forests,» Machine learning, vol. 45, pp. 5-32, 2001.

10. J. H. Friedman, «Greedy function approximation: a gradient boosting machine,» Annals of statistics, pp. 1189-1232, 2001.

11. J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani, «Special invited paper. additive logistic regression: A statistical view of boosting,» Annals of statistics, pp. 337-374, 2000.

12. M. Janalipour and M. Taleai, «Building change detection after earthquake using multi-criteria decision analysis based on extracted information from high spatial resolution satellite images,» International journal of remote sensing, vol. 38, no. 1, pp. 82-99, 2017.

13. S. Khanbani, A. Mohammadzadeh, and M. Janalipour, «Unsupervised change detection of remotely sensed images from rural areas based on using the hybrid of improved Thresholding techniques and particle swarm optimization,» Earth Science Informatics, vol. 13, no. 3, pp. 681-694, 2020.

14. H. Babaei, M. Janalipour, and N. A. Tehrani, «A simple, robust, and automatic approach to extract water body from Landsat images (case study: Lake Urmia, Iran),» Journal of Water and Climate Change, vol. 12, no. 1, pp. 238-249, 2021.

Improving Agricultural Crop Identification Using UAV Hyperspectral Imagery and Optimized AdaBoost Classification

Abstract:

Determining crop cultivation areas and classifying agricultural products from remote sensing imagery are vital for management decision-making. This study presents a method based on the AdaBoost classifier for identifying agricultural crops from UAV-based hyperspectral data. The performance of the proposed method was evaluated before and after optimizing key parameters, including the learning rate and the number of iterations. The results show that after optimization, the overall classification accuracy increased from 77% to 87%, representing an improvement of approximately 10%. While satisfactory results were achieved for classes such as water and rice, the identification of weeds and soybeans requires further refinement. Future studies should focus on integrating more advanced techniques to enhance accuracy in these challenging classes.

مقاله

پهنه‌بندی و ارزیابی خطر سیلاب با رویکرد تلفیقی AHP-GIS در حوضه آبریز طشک-بختگان و مهارلو

باربد عالمیان [۱]، محمد کریمی [۱]، مرجان قنبری [۱و۲]
۱. دانشکده مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه النصیرالدین طوسی، ایران
۲. اداره سامانه‌های مکانی، اداره کل سامانه‌های ملی و زیرساخت اطلاعات مکانی، سازمان نقشه‌برداری، ایران

چکیده

سیلاب یکی از ویرانگرترین بلایای طبیعی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران تهدیدی جدی برای جان انسان‌ها و زیرساخت‌ها محسوب می‌شود. این پژوهش باهدف ارزیابی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز طشک-بختگان و مهارلو در استان فارس انجام گرفت. بدین منظور از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP) استفاده شد. یازده فاکتور مؤثر در وقوع سیلاب شامل ارتفاع، شیب، بارندگی، تراکم زهکشی، تجمع جریان، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از رودخانه، پوشش اراضی، انحنا، جهت شیب و فرسایش انتخاب و برای پیش‌بینی احتمال وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند. وزن دهی این فاکتورها با روش AHP انجام و لایه‌های وزن‌دار در محیط GIS تلفیق شدند تا نقشه خطر سیلاب در پنج کلاس از بسیار کم تا بسیار زیاد تهیه شود. نتایج نشان داد ۲۳ درصد از مساحت حوضه در معرض خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد و ۵۸ درصد در محدوده خطر کم و بسیار کم واقع است. در این تحلیل، بارندگی، شیب و فاصله از رودخانه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر شناسایی شدند. نتایج نشان می‌دهد نقشه نهایی خطر وقوع سیلاب از دقت و قابلیت اعتماد بالایی برخوردار بوده و می‌تواند در مدیریت جامع حوضه‌های آبریز و برنامه‌ریزی کاهش خسارات ناشی از سیلاب به‌عنوان ابزاری کارآمد به کار رود.

واژگان کلیدی: ارزیابی خطر سیلاب، سیستم اطلاعات مکانی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

۱- مقدمه

دریاچه سیل یکی از رایج‌ترین بلایای طبیعی است که اغلب با عواقب فاجعه‌باری همراه است و سالانه ۱۷۰ میلیون نفر را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱]. سیل در میان بلایای طبیعی پس از خشکسالی در جایگاه دوم قرار دارد[۲]. ویژگی‌های توپوگرافی، شرایط آب و هوایی مانند بارندگی شدید و مداوم، رانش زمین، تغییر اقلیم و کاربری اراضی و طغیان دریاچه یخچال از عوامل مؤثر در وقوع سیل هستند. همچنین، اثرات عوامل انسانی مانند سدسازی و تجاوز به حریم رودخانه نیز نقش حیاتی درشدت وقوع سیل دارند. عوامل اصلی وقوع سیل در این مطالعات از داده‌های مربوط به ارتفاع، جنس خاک، تراکم زهکشی و پوشش و کاربری زمین استخراج شده‌اند[۳].

سیل بخشی طبیعی از چرخه هیدرولوژیکی است. بااین‌حال، پتانسیل ایجاد مرگ‌ومیر، جابجایی و آسیب‌های زیست‌محیطی را در پی دارد که همگی می‌توانند توسعه اقتصادی را به خطر بیندازند؛ بنابراین شناسایی و طبقه‌بندی مناطق مستعد وقوع سیل برای مدیریت و تصمیم‌گیری در مورد ریسک آن امری ضروری است. اگرچه وقوع بلایای سیل ناشی از آب‌وهوا را نمی‌توان متوقف کرد، اما ادعا می‌شود که با شناسایی صحیح مناطق مستعد سیل، تلفات و آسیب‌ها را می‌توان کنترل یا به حداقل رساند [۴, ۵].

حوضه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان و مهارلو یک اکوسیستم حساس و حیاتی است که تاکنون به‌صورت جامع از این منظر مطالعه نشده است. هدف اصلی این مطالعه تهیه یک نقشه علمی و دقیق از پهنه‌های با خطر وقوع سیلاب بالا در حوضه آبریز طشک-بختگان و مهارلو با توسعه یک مدل تلفیقی از سیستم اطلاعات مکانی و تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این نقشه می‌تواند به

مدیریت ریسک و کاهش خسارات ناشی از این بلای طبیعی در این منطقه کمک کرده و یک لایه اطلاعاتی بسیار مهم در برنامه‌ریزی مربوط به کاربری اراضی باشد.

۲- منطقه موردمطالعه و داده‌های موردنیاز

حوضه آبریز دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو با نام اختصاری مهارلو-بختگان(شکل ۱) یکی از حوضه‌های بسته ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیرمجموعه حوضه آبریز فلات مرکزی است. این حوضه با مساحت ۳۱۴۹۲ کیلومترمربع شامل رودهایی است که به دریاچه طشک، دریاچه بختگان و دریاچه مهارلو منتهی می‌شوند. حوضه مهارلو-بختگان در استان‌های فارس، اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد قرار دارد. شیب نسبی حوضه از شمال غرب به جنوب شرق است و رودها و مسیل‌های آن به دو چاله اصلی منتهی می‌شوند. نخستین چاله، دریاچه‌های کم‌عمق بختگان و طشک در شرق حوضه هستند که به‌وسیله تنگه‌ای به هم مرتبط می‌شوند. مهم‌ترین منبع این دو دریاچه، رود کر است. چاله دوم، دریاچه مهارلو است که در جنوب حوضه و در نزدیکی شیراز قرار دارد و محل تخلیه آب‌های سطحی و زیرزمینی زیر حوضه خود است.

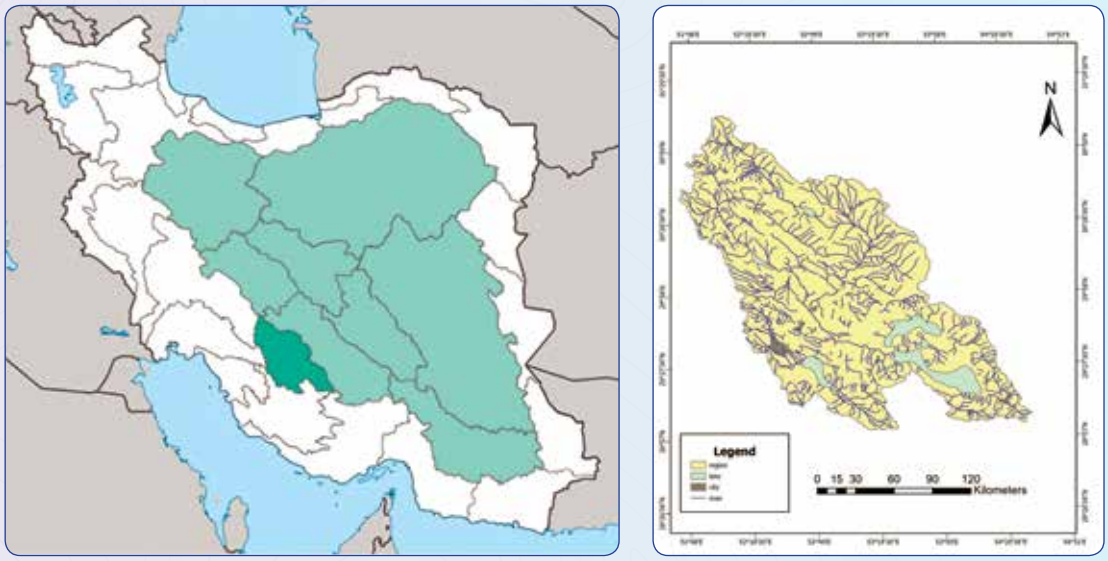
چاله‌ها در کوتاه‌مدت با ذخیره آب، خطر سیلاب را کاهش می‌دهند، اما در بلندمدت و با خشک شدن، به دشت‌های سیلابی وسیع و منبع طوفان‌های نمکی تبدیل‌شده و خطرات جدی ایجاد می‌کنند. این حوضه به دلیل خشک شدن دریاچه‌های بختگان و مهارلو دیگر توانایی تعدیل سیلاب را ندارد.

در ابتدا، مجموعه‌ای از داده‌های پایه در قالب پایگاه داده موجود بود که پس از استخراج و آماده‌سازی، به لایه‌های مکانی مختلف تبدیل شد. این لایه‌ها شامل اطلاعاتی از شهرها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، جاده‌ها، روستاها، ارتفاع، بارش، دما، تبخیر، پوشش اراضی و فرسایش بودند. داده‌های مربوط به رودخانه و بارش به‌صورت خطی و داده‌های مربوط به ارتفاع، فرسایش و پوشش اراضی به‌صورت سطحی مورداستفاده قرار گرفتند تا معیارهای اصلی موردنیاز برای تحلیل خطر سیلاب استخراج شوند.

۳- روش تحقیق

۱،۳. استخراج لایه‌های موردنیاز از داده‌های خام

در گام نخست، برای تهیه نقشه‌های فاکتورهای مؤثر بر وقوع سیلاب، داده‌های پایه شامل ارتفاع، شیب، بارندگی، پوشش اراضی، فاصله از رودخانه، جهت و تجمع جریان، تراکم زهکشی، جهت شیب، فرسایش، انحنا و شاخص رطوبت توپوگرافی پردازش و به نقشه‌های مکانی تبدیل شدند. ابتدا مدل ارتفاعی منطقه مبنای استخراج متغیرهایی مانند شیب، جهت شیب، انحنا، جهت جریان



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز طشک، بختگان و مهارلو

و تجمع جریان قرار گرفت. سپس نقشه‌های بارندگی، پوشش اراضی، فرسایش و تراکم زهکشی با استفاده از داده‌های مربوط به هر عامل تولید و طبقه‌بندی شدند. همچنین لایه فاصله از رودخانه برای تعیین نواحی نزدیک به مسیرهای آبی ایجاد شد. درنهایت، شاخص رطوبت توپوگرافی با ترکیب اطلاعات شیب و تجمع جریان محاسبه گردید. تمامی این نقشه‌ها در پنج طبقه از مقادیر کم تا زیاد تقسیم شدند تا در ارزیابی خطر سیلاب مورد استفاده قرار گیرند.

۲،۳.نرمال‌سازی نقشه‌های فاکتور

برای هم مقیاس‌سازی داده‌ها و مقایسه‌پذیر کردن لایه‌های مختلف، نرمال‌سازی نقشه‌های فاکتور انجام شد تا تمامی داده‌ها در بازه‌ای بین ۰ تا ۱ قرار گیرند. برای این منظور، از دو رویکرد استفاده شد: نخست، نرمال‌سازی خطی که برای داده‌های پیوسته مانند ارتفاع، شیب و بارندگی به‌کار رفت و در آن مقادیر هر فاکتور بر اساس حداقل و حداکثر مقدار به‌صورت خطی به بازه ۰ تا ۱ تبدیل شدند. دوم، نرمال‌سازی طبقه‌ای که برای داده‌های گسسته مانند پوشش اراضی و فرسایش خاک مورداستفاده قرار گرفت و در آن برای هر طبقه، مقدار جدیدی متناسب با میزان تأثیر آن بر خطر وقوع سیلاب تخصیص داده شد. بر این اساس، در لایه پوشش اراضی، پیکره‌های آبی به‌عنوان پرخطرترین و جنگل‌ها به‌عنوان کم‌خطرترین طبقات تعیین شدند، درحالی‌که اراضی ساخته‌شده و بایر به دلیل نفوذپذیری پایین، خطر بالاتری داشتند. در لایه فرسایش خاک نیز طبقات با فرسایش بیشتر، مقادیر بالاتری در مقیاس نرمال شده دریافت کردند. این فرآیند موجب شد تا تمامی لایه‌ها در یک مقیاس مشترک قرارگرفته و امکان وزن دهی و تلفیق آن‌ها در ارزیابی نهایی خطر سیلاب فراهم شود.

۴،۳. مقایسه زوجی با مقیاس ساعتی بین فاکتورهای هر دسته

دسته اول: شکل زمین

بر اساس مطالعات [۵–۷] در جدول شماره ۱ فاکتورهای دسته اول بر اساس تأثیرشان بر خطر سیلاب مقایسه شدند. شیب به‌عنوان مؤثرترین عامل شناسایی شد، به‌طوری‌که شیب‌های کمتر از ۵ درجه خطر سیلاب را به‌طور مستقیم افزایش می‌دهند. ارتفاع پایین‌تر نیز به‌طور مستقیم با وقوع سیلاب مرتبط شناخته شد، به‌ویژه در مناطق کم ارتفاع مانند دشت‌ها. انحناهای مقعر نیز به‌عنوان عوامل تجمع آب در نظر گرفته شدند، به‌طوری‌که مقادیر انحنای بیشتر از ۰/۵ نشان‌دهنده مناطق مستعد تجمع آب هستند.

دسته دوم: آب

بر اساس مطالعات [۸, ۹] در جدول شماره ۲ فاکتورهای دسته دوم بر اساس تأثیرشان بر خطر سیلاب مقایسه شدند. در دسته عوامل آبی، بارندگی به‌عنوان منبع اولیه وقوع سیلاب و تعیین‌کننده حجم آب ورودی شناسایی شد. مقادیر بالای ۰/۶ در لایه نرمال‌شده بارندگی نشان‌دهنده بارش‌های شدید است. تجمع جریان با مقادیر بالای ۰/۶ نشان‌دهنده آبراهه‌های اصلی بوده است.

دسته سوم: پوشش

بر اساس مطالعات [۱۰–۱۲] در جدول شماره ۳ فاکتورهای دسته سوم بر اساس تأثیرشان بر خطر سیلاب مقایسه شدند. در دسته پوشش، نزدیکی به رودخانه به‌عنوان یک ریسک سیستماتیک و غیرقابل‌اجتناب شناسایی شد که باعث افزایش استعداد مناطق به سیلاب‌های ناگهانی می‌گردد. فرسایش خاک در حاشیه رودخانه‌ها نیز به‌عنوان عامل تشدیدکننده خطر سیلاب در نظر گرفته شد، درحالی‌که پوشش گیاهی قابلیت کنترل و احیا از طریق برنامه‌ریزی مناسب را دارا می‌باشد.

۵،۳. مقایسه زوجی دسته‌ها باهم و ترکیب آن‌ها برای ساخت نقشه نهایی

بر اساس مطالعات [۱۳–۱۵] در جدول شماره ۴ مقایسه زوجی بین دسته‌های مختلف انجام شد. در این مقایسه، دسته آب به دلیل تأثیر مستقیم بر حجم سیلاب، بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داد، درحالی‌که دسته شکل زمین به‌عنوان کنترل‌کننده مسیر جریان و دسته پوشش به‌عنوان عامل کنترل‌پذیر در نظر گرفته شدند.

فاکتور	ارتفاع	شیب	جهت شیب	انحنا	وزن
ارتفاع	۱	۰/۵	۳	۲	۰/۳۲
شیب	۲	۱	۳	۲	۰/۴۱
جهت شیب	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۵	۰/۱۲
انحنا	۰/۵	۰/۵	۲	۱	۰/۱۵

جدول ۱: جدول مقایسه زوجی بین ۴ معیار دسته شکل زمین

فاکتور	بارندگی	تجمع جریان	تراکم زهکشی	شاخص رطوبت توپوگرافی	وزن
بارندگی	۱	۳	۴	۳	۰/۵۰
تجمع جریان	۰/۳۳	۱	۱	۲	۰/۲۳
تراکم زهکشی	۰/۲۵	۱	۱	۰/۵	۰/۱۲
شاخص رطوبت توپوگرافی	۰/۳۳	۰/۵	۲	۱	۰/۱۵

جدول ۲:جدول مقایسه زوجی بین ۴ معیار دسته آب

فاکتور	فاصله از رودخانه	فرسایش	پوشش اراضی	وزن
فاصله از رودخانه	۱	۳	۵	۰/۶۰
فرسایش	۰/۳۳	۱	۲	۰/۲۵
پوشش اراضی	۰/۲	۰/۵	۱	۰/۱۵

جدول ۳: جدول مقایسه زوجی بین ۳ معیار دسته پوشش

فاکتور	شکل زمین	آب	پوشش	وزن
شکل زمین	۱	۰/۵	۳	۰/۳۰
آب	۲	۱	۵	۰/۵۰
پوشش	۰/۳۳	۰/۲	۱	۰/۲۰

جدول ۴: جدول مقایسه زوجی بین ۳ دسته

۶،۳. مقایسه زوجی ۹ فاکتور باهم و ترکیب آن‌ها برای ساخت نقشه نهایی

درنهایت در جدول شماره ۵، بر اساس مطالعات[۵, ۱۱, ۱۳, ۱۶–۱۸] ۹ فاکتور کلیدی بر اساس تأثیرشان بر خطر سیلاب مقایسه شده و باهم ترکیب شدند. این مقایسه بر اساس مطالعات گسترده انجام‌شده و منجر به تهیه نقشه نهایی خطر سیلاب گردید که نشان‌دهنده مناطق پرخطر و کم‌خطر در حوضه موردمطالعه می‌باشد.

فاکتور	بارندگی	شیب	فاصله از رودخانه	ارتفاع	پوشش اراضی	تجمع جریان	تراکم زهکشی	فرسایش	شاخص رطوبت توپوگرافی	وزن
بارندگی	۱	۲	۳	۴	۴	۵	۶	۷	۸	۰/۲۸
شیب	۰/۵	۱	۲	۳	۳	۴	۵	۶	۷	۰/۲۲
فاصله از رودخانه	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۴	۵	۶	۰/۱۵
ارتفاع	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۱	۲	۳	۴	۵	۰/۱۰
پوشش اراضی	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۱	۲	۳	۴	۵	۰/۱۰
تجمع جریان	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۰/۰۶
تراکم زهکشی	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۰/۰۴
فرسایش	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۰/۰۳
شاخص رطوبت توپوگرافی	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۰/۰۲

جدول ۵: جدول مقایسه زوجی بین ۹ معیار اعتبارسنجی

۷،۳. بررسی سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی

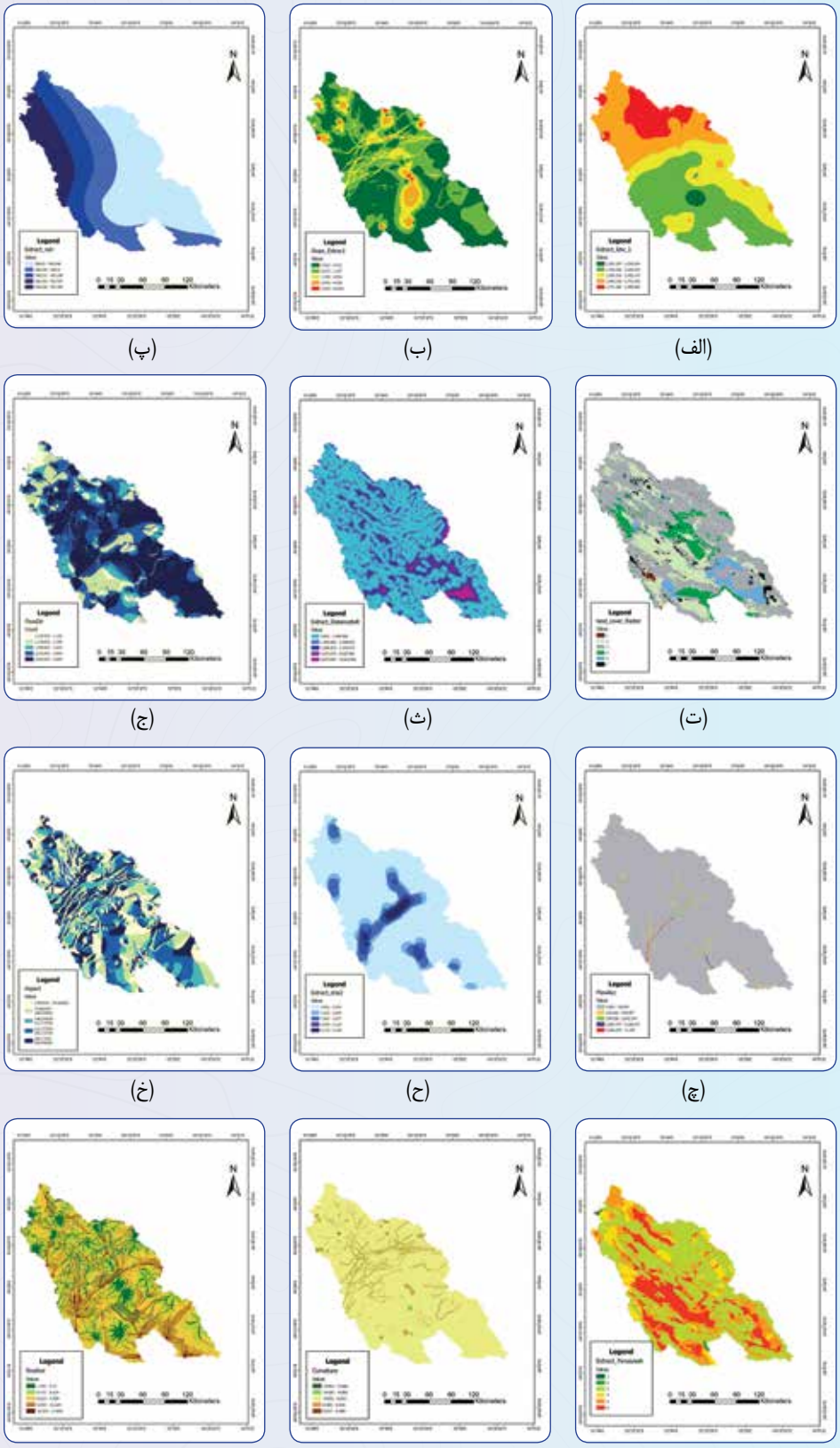
یک گام استاندارد و ضروری در روش تحلیل سلسله مراتبی، بررسی سازگاری قضاوت‌ها است. این کار با محاسبه‌ای به نام نسبت سازگاری انجام می‌شود. همان‌طور که در جدول شماره ۶ قابل‌مشاهده است، ماتریس‌های مربوط به دسته‌بندی اصلی و مهم‌تر از آن، مدل ۹ معیار نهایی که پایه نتایج ماست، همگی از سازگاری عالی برخوردارند (نسبت سازگاری کمتر از ۰/۱).

ماتریس موردبررسی	تعداد معیارها	نسبت سازگاری
دسته آب	۴	۰/۰۴۱
دسته شکل زمین	۴	۰/۰۳۰
دسته پوشش	۳	۰/۰۷۸
مقایسه دسته‌ها	۳	۰/۰۷۸
مدل نهایی اعتبارسنجی	۹	۰/۰۷۳

جدول ۶: جدول نسبت سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی

۴_ نتایج

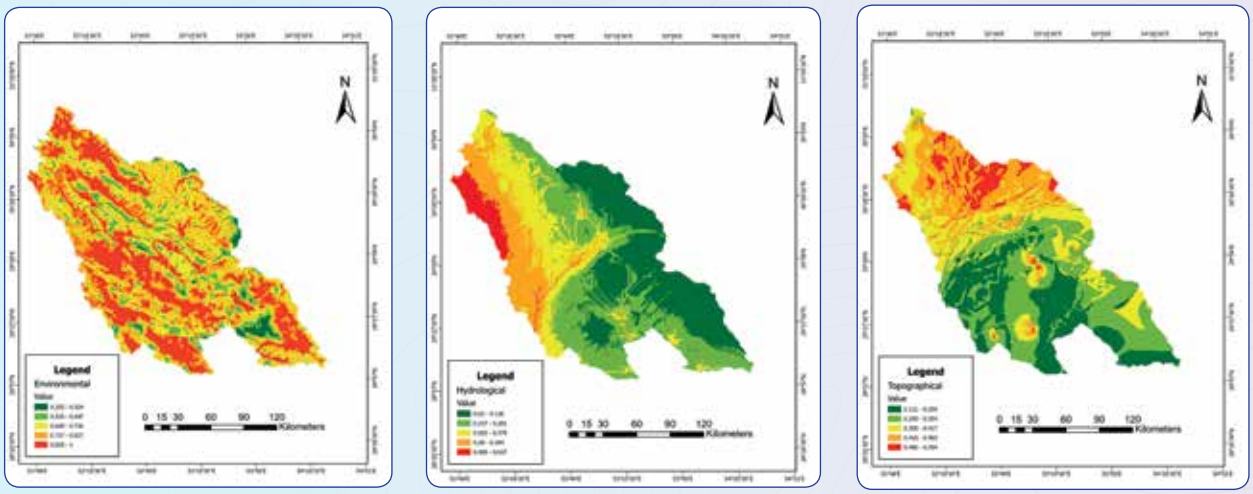
بر اساس توضیحات بخش روش تحقیق در مورد خطر وقوع سیل دوازده پارامتر تعیین‌کننده خطر سیل برای کار حاضر استخراج‌شده و لایه‌های حاصل از آن دوازده پارامتر در شکل شماره ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲: نقشه فاکتور برای ۱۲ معیار: لف) ارتفاع، ب) شیب، پ) بارندگی، ت) پوشش اراضی، ث) نزدیکی به رودخانه، ج) جهت جریان، چ) تجمع جریان، ح) تراکم زهکشی، خ) جهت شیب، د) فرسایش، ذ) انحنا، ر) شاخص رطوبت توپوگرافی

۴-۱- نتایج نقشه فاکتور برای هر دسته (شکل زمین، آب و پوشش)

برای تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب نهایی هر دسته از فاکتورها شامل شکل زمین، عوامل آبی و پوشش سطحی، ابتدا لایه‌های مربوط به هر دسته بر اساس وزن‌های تعیین‌شده با یکدیگر تلفیق شدند. در این فرایند، میزان تأثیر هر عامل درخطر سیلاب در نظر گرفته شد و لایه‌های حاصل به‌صورت عددی ترکیب گردیدند تا نقشه نهایی هر گروه به دست آید. برای نمایش نتایج، مقادیر خطر در بازه‌ای از صفر(کمترین خطر) تا یک(بیشترین خطر) تنظیم شد. همچنین، ازآنجاکه فاصله از رودخانه رابطه‌ای معکوس با خطر سیلاب دارد(هرچقدر فاصله از رودخانه کمتر باشد، پتانسیل وقوع سیلاب در آن منطقه بیشتر است)، مقادیر آن به‌صورت معکوس در محاسبات لحاظ شد تا بازتاب‌دهنده تأثیر واقعی این عامل باشد (شکل ۳).

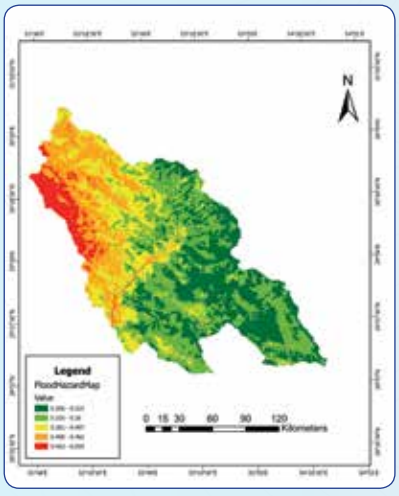


(پ) (ب) (الف)

شکل ۳: نتایج نقشه فاکتور برای هر دسته : الف) شکل زمین، ب) آب، پ) پوشش

۴-۲- ترکیب هرسه دسته باهم و ایجاد نقشه خطر سیل نهایی

بر این اساس منطقه موردمطالعه به پنج کلاس حساسیت بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد به سیل طبقه‌بندی شد(شکل ۴) . مناطق خطر زیاد تا بسیار زیاد به‌طور عمده در غرب و شمال غربی حوزه آبخیز متمرکزشده‌اند. مناطق با خطر سیل کم تا بسیار کم وجود داشتند که در امتداد بخش پایین‌دست و شرق حوزه آبخیز واقع‌شده بودند.

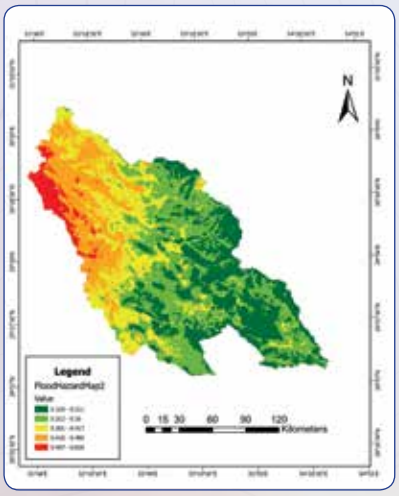


شکل ۴: نقشه نهایی خطر سیلاب با روش اول

۴-۳- نقشه خطر وقوع سیلاب با ۹ فاکتور با تلفیق AHP و GIS

از بین ۱۱ معیار اولیه، ۹ معیار کلیدی با نظر کارشناسان انتخاب شد و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تلفیق لایه‌ها بدون در نظر گرفتن دسته‌بندی قبلی، مجدداً انجام پذیرفت. نقشه نهایی به پنج کلاس خطر طبقه‌بندی شد. نتیجه نهایی که از ترکیب ۹ معیار به دست آمد، هم‌خوانی و شباهت قابل‌توجهی با نقشه اولیه (ترکیب سه دسته) داشت که این موضوع، قابلیت اطمینان روش و وزن‌های اختصاص‌یافته را به خوبی به اثبات رساند(شکل ۵) .

یافته‌های این پژوهش همسو با نتایج مطالعاتی همچون پارسیان و همکاران در غرب ایران و هاگوس و همکاران در اتیوپی است که بر اهمیت تلفیق سیستم اطلاعات مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و نقش کلیدی معیارهای شیب، فاصله از رودخانه و بارندگی تأکید دارند. تمرکز مناطق پرخطر در نواحی پست و دشتی، مطابق با انتظارات هیدرولوژیکی و یافته‌های مطالعاتی مانند الخراشی در سال ۲۰۱۵ است.



شکل ۵: نقشه نهایی خطر سیلاب با ۹ فاکتور

۵- نتیجه‌گیری

این مطالعه باهدف ارزیابی خطر سیلاب در حوضه آبریز طشک-بختگان و مهارلو، با تلفیق سامانه اطلاعات مکانی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام شد. یازده معیار مؤثر در سه دسته کلی شکل زمین، آب و پوشش شناسایی، وزن دهی و تلفیق شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که حدود ۲۳% از مساحت حوضه کلاس‌های خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد که به‌طور عمده در مناطق غربی و شمال غربی حوضه متمرکز هستند. این مناطق به‌طورمعمول دارای شیب ملایم، ارتفاع کم، نزدیکی به شبکه زهکشی اصلی و بارندگی نسبتاً بالا هستند. از سوی دیگر، حدود ۵۸% از منطقه دارای خطر ناچیز (بسیار کم و کم) ارزیابی شد که به‌طور عمده در نواحی مرتفع شرقی و جنوب شرقی واقع‌شده‌اند. نقشه نهایی تولیدشده می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌یار علمی در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد تا با شناسایی نقاط بحرانی، اقدامات پیشگیرانه و مدیریت ریسک را در اولویت قرار دهند و از خسارات جانی و مالی ناشی از این بلایای طبیعی بکاهند.

بر مبنای یافته‌های این مطالعه، پیشنهادهای کاربردی شامل اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی و اجرایی نظیر احداث سازه‌های کنترل سیلاب و بازدارندگی از ساخت‌وساز در مناطق پرخطر شناسایی‌شده، ایجاد سامانه هشدار سریع محلی و اجرای برنامه‌های احیای پوشش گیاهی در بالادست حوضه به‌منظور کاهش رواناب است. در راستای تکمیل و توسعه پژوهش‌های آتی، پیشنهادهای پژوهشی شامل تلفیق با مدل‌های هیدرولوژیکی-هیدرولیکی(نظیر HEC-HMS و HEC-RAS) برای شبیه‌سازی دقیق‌تر سیلاب، به‌کارگیری روش‌های پیشرفته یادگیری ماشین، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی بارش تحت سناریوهای مختلف و تطبیق این چارچوب روشی در سایر حوضه‌های بسته فلات مرکزی ایران ارائه می‌گردد.

مراجع و منابع

.1 Kowalzig, J., Climate, Poverty, and Justice: What the Poznan UN climate conference needs to deliver for a fair and effective global deal. 2008: Oxfam.

.2 Guha-Sapir, D., et al., Annual disaster statistical review 2010: The numbers and trends. 2011.

.3 Rozalis, S., et al., Flash flood prediction using an uncalibrated hydrological model and radar rainfall data in a Mediterranean watershed under changing hydrological conditions. Journal of hydrology, 2010. 394(1-2): p. 245-255.

.4 Ahmadlou, M., et al., Flood susceptibility assessment using integration of adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) and biogeography-based optimization (BBO) and BAT algorithms (BA). Geocarto International, 2019. 34(11): p. 1252-1272.

.5 Hagos, Y.G., et al., Flood hazard assessment and mapping using GIS integrated with multi-criteria decision analysis in upper Awash River basin, Ethiopia. Applied Water Science, 2022. 12(7): p. 148.

.6 Abdelkarim, A., et al., Integration of GIS-based multicriteria decision analysis and analytic hierarchy process to assess flood hazard on the Al-shamal train pathway in Al-Qurayyat region, kingdom of Saudi Arabia. Water, 2020. 12(6): p. 1702.

.7 Rimba, A.B., et al., Physical flood vulnerability mapping applying geospatial techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan. Urban Science, 2017. 1(1): p. 7.

.8 Saaty, T.L., A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, 1977. 15(3): p. 234-281.

.9 Dahri, N. and H. Abida, Monte Carlo simulation-aided analytical hierarchy process (AHP) for flood susceptibility mapping in Gabes Basin (southeastern Tunisia). Environmental earth sciences, 2017. 76(7): p. 302.

.10 Ogato, G.S., et al., Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2020. 27: p. 100659.

.11 Wondim, Y.K., Flood hazard and risk assessment using GIS and remote sensing in lower Awash sub-basin, Ethiopia. Journal of Environment and Earth Science, 2016. 6(9): p. 69-86.

.12 Elkhrachy, I., Flash flood hazard mapping using satellite images and GIS tools: a case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2015. 18(2): p. 261-278.

.13 Parsian, S., et al., Flood hazard mapping using fuzzy logic, analytical hierarchy process, and multi-source geospatial datasets. Remote Sensing, 2021. 13(23): p. 4761.

.14 Sharma, S.K., et al., Analysis of hydrological sensitivity for flood risk assessment. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2018. 7(2): p. 51.

.15 Chen, Y., et al., A spatial assessment framework for evaluating flood risk under extreme climates. Science of the Total Environment, 2015. 538: p. 512-523.

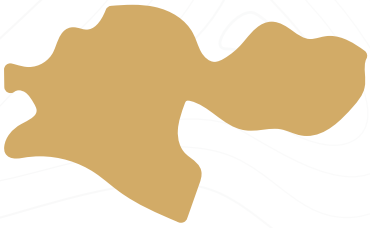
.16 Blistanova, M., et al., Assessment of flood vulnerability in Bodva river basin, Slovakia. Acta Montanistica Slovaca, 2016. 21(1).

.17 Moore, I.D., R. Grayson, and A. Ladson, Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological processes, 1991. 5(1): p. 3-30.

.18 Mahabaleshwara, H. and H. Nagabhushan, A study on soil erosion and its impacts on floods and sedimentation. International Journal of Research in Engineering and Technology, 2014. 3(3): p. 443-451.

توسعه و پیاده‌سازی سیستم برچسب‌گذاری خودکار عوارض مکانی در محیط وب با استفاده از کتابخانه‌ی متن‌باز Leaflet

(مطالعه‌ی موردی: استان تهران)



فاطمه نادری، کارشناس اداره اطلس ملی سازمان نقشه‌برداری کشور
ابوذر شهمرادی، کارشناس پژوهش و توسعه سازمان نقشه‌برداری کشور

چکیده

برچسب‌گذاری خودکار از مؤلفه‌های کلیدی در طراحی نقشه‌های پویا و خوانا در سامانه‌های اطلاعات مکانی و به‌ویژه در سامانه‌های اطلاعات مکانی تحت وب است. باوجود توسعه‌ی ابزارهای مختلف در WebGIS، کتابخانه‌های مکانی سمت کاربر مانند Leaflet فاقد مکانیزم استاندارد و انعطاف‌پذیر برای برچسب‌گذاری خودکار عوارض مکانی هستند. در این پژوهش، باهدف بهبود این محدودیت، روشی برای پیاده‌سازی برچسب‌گذاری خودکار ارائه گردید که قابلیت استفاده برای عوارض نقطه‌ای، خطی و سطحی را دارد. برای ارزیابی عملکرد، روش پیشنهادی بر روی مجموعه‌ای از داده‌های مکانی شامل لایه خطی خیابان‌های شهر تهران، لایه سطحی تقسیمات سیاسی استان تهران و داده‌ی نقطه‌ای شامل شهرها و روستاهای استان تهران به‌عنوان مطالعه‌ی موردی پیاده‌سازی شد. ازآنجاکه در فرآیند برچسب‌گذاری عوارض خطی نمایش متون خمیده هنوز پشتیبانی نمی‌شود، برچسب‌ها در مرکز ثقل خطوط قرار گرفتند و برای عوارض سطحی، امکان نمایش نام‌های طولانی به‌صورت چندخطی در مرکز هندسی پلیگون فراهم شد. داده‌ها ابتدا استانداردسازی و به قالب GeoJSON تبدیل شدند. سپس با توسعه‌ی قابلیت‌های ترجیحات و اولویت‌بندی، امکان کنترل نحوه‌ی نمایش و جلوگیری از هم‌پوشانی برچسب‌ها فراهم گردید. نتایج نشان دادند که سیستم پیشنهادی ضمن حفظ سادگی Leaflet، توانست برچسب‌ها را با سرعت مناسب و دقت بالابر روی هر سه نوع هندسه نقطه، خط و سطح نمایش دهد و از تداخل متون جلوگیری کند.

واژگان کلیدی: برچسب‌گذاری خودکار، Leaflet، نقشه‌های وب، Automatic Labels، نقشه‌های پویا

۱- مقدمه

برچسب‌ها[1] یکی از اجزای حیاتی نقشه‌ها هستند و نقشی کلیدی در نمایش اطلاعات مکانی ایفا می‌کنند. در کارتوگرافی کلاسیک، اصولی دقیق برای جانمایی اسامی بر روی نقشه تدوین‌شده است که به عقیده‌ی ایمهوف شامل خوانایی، ارتباط گرافیکی واضح میان نام و عارضه، حداقل تداخل با سایر محتویات نقشه و انعکاس صحیح سلسله‌مراتب مکانی[2] است. منظور از انعکاس صحیح سلسله مراتبی مکانی سازمان‌دهی فضاها به‌صورت تدریجی و منظم از عمومی به خصوصی است طوری که حرکت، درک و استفاده از فضا برای افراد واضح‌تر و معنادارتر شود.

در سامانه‌های اطلاعات مکانی(GIS[3]) و پلتفرم‌های سرور محور مانند MapServer و GeoServer، ابزارهای قدرتمندی برای برچسب‌گذاری پویا و خودکار فراهم‌شده است. اما طبق بررسی‌های فارکاس در سال ۲۰۱۷، در کتابخانه‌های سمت کاربر[4] نظیر Leaflet که به دلیل سادگی از محبوب‌ترین ابزارهای متن‌باز در توسعه‌ی نقشه‌های وب است، این قابلیت به‌صورت پیش‌فرض و استاندارد وجود ندارد. نبود چنین مکانیزمی توسعه‌دهندگان را به استفاده از راه‌حل‌های ناکارآمد سوق می‌دهد که منجر به تولید نقشه‌هایی با چیدمان متنی ضعیف و خوانایی پایین می‌شود.

تحقیقات متعددی برای حل مسئله‌ی برچسب‌گذاری خودکار انجام‌شده است. در بحث الگوریتم‌های کلاسیک،

1. Labels
2. Geospatial Hierarchy
3. Geospatial Information Systems (GIS)
4. Client-Side

روش‌هایی توسط دودی و همکاران در سال ۱۹۹۷ توسعه یافتند که بهینه‌سازی جایگاه برچسب‌ها را بر اساس محاسبات پیچیده برای حداقل سازی تداخلات دنبال می‌کنند. در حوزه‌ی وب کارتوگرافی نیز تلاش‌هایی برای افزودن این قابلیت به کتابخانه‌های JavaScript صورت گرفته است. برینکهوف در سال ۲۰۱۷ با ارائه‌ی نمونه‌ای برای API گوگل‌مپ[5] برچسب‌گذاری سریع چند هزار نقطه را آزمایش کرد، اما این روش تنها محدود به عوارض نقطه‌ای بود. در پژوهشی دیگر، هاکویشی[6] افزونه‌ی Leaflet.LabelTextCollision را توسعه داد که از تکنولوژی Canvas(یک تکنولوژی در HTML5 که اجازه می‌دهد با استفاده از جاوا اسکریپت به‌صورت پویا گرافیک‌ها، پویانمایی‌ها و بازی‌ها را مستقیماً داخل صفحه وب رسم و کنترل شوند) برای تشخیص برخورد برچسب‌ها بهره می‌برد، اما این ابزار گزینه‌های قالب‌بندی مانند تراز کردن برچسب، تنظیمات فونت و سایر امکانات استایل‌دهی را ندارد. همچنین هیچ امکانی برای مدیریت هم‌زمان آیکون‌ها و برچسب‌ها ندارد. همچنین افزونه‌ی Leaflet.streetlabels توسط سانتوس و دیاز باهدف نمایش متون در امتداد خطوط توسعه یافت، ولی امکانات محدودی برای شخصی‌سازی ارائه می‌کرد[۸]. در مقابل این محدودیت‌ها، جده با ارائه‌ی افزونه‌ی leaflet-labeler، راهکاری جامع‌تر معرفی نمود که امکان برچسب‌گذاری هم‌زمان برای عوارض نقطه‌ای، خطی و سطحی را فراهم می‌کند ولی در مورد برچسب‌های فارسی راهکاری ارائه نشده و همچنین در لایه‌های خطی امکان برچسب‌گذاری موازی خطوط وجود ندارد. این افزونه که مبنای فنی پژوهش حاضر قرار گرفت، با تغییراتی برای داده‌های بومی و نیازهای خاص کارتوگرافی مورداستفاده قرارگرفته است.

در این پژوهش، یک راهکار عمومی برای برچسب‌گذاری خودکار در محیط Leaflet توسعه داده شد که نه‌تنها برای نقاط، بلکه برای خطوط و سطوح نیز قابل‌استفاده است. برای ارزیابی کارایی این روش، مجموعه‌ای از داده‌های مکانی شامل لایه خطی خیابان‌های شهر تهران، لایه سطحی تقسیمات سیاسی و داده‌های نقطه‌ای شهرها و روستاهای استان تهران به‌عنوان مطالعه‌ی موردی انتخاب و پیاده‌سازی گردید.

۲- روش تحقیق

۲-۱- داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش باهدف ارزیابی جامع روش پیشنهادی بر روی هر سه نوع هندسه‌ی برداری شامل نقطه، خط و سطح انتخاب شدند. این داده‌ها دربرگیرنده‌ی اطلاعات مکانی و توصیفی شهرها و روستاهای استان تهران، خیابان‌های شهر تهران و نقشه‌ی تقسیمات سیاسی استان تهران هستند. منبع داده شهرها و روستاهای استان تهران درگاه ملی مرکز آمار ایران، خیابان‌های استان تهران OSM[7] و تقسیمات استان تهران داده‌های وزارت کشور می‌باشد. ازآنجاکه کلاس توسعه‌یافته‌ی Labeler بر مبنای کلاس L.GeoJSON در کتابخانه Leaflet عمل می‌کند، تمامی لایه‌ها پس از استخراج و پاک‌سازی طی فرآیند پیش‌پردازش به فرمت استاندارد GeoJSON تبدیل شدند تا مدیریت یکپارچه‌ی ویژگی‌های هندسی و توصیفی امکان‌پذیر شود.

درروند آماده‌سازی لایه‌ها، برای لایه‌ی نقطه‌ای پارامتر جمعیت به‌عنوان معیار اولویت لحاظ گردید تا در صورت بروز تداخل گرافیکی، شهرهای پرجمعیت‌تر در اولویت نمایش قرار گیرند. در مورد لایه‌ی خطی معابر نیز پارامتر نوع معبر به‌عنوان معیار اولویت انتخاب شد به این صورت که معابر از نوع آزادراه و بزرگراه در اولویت نمایش نسبت به خیابان‌های اصلی هستند و جهت ارزیابی قابلیت برچسب‌گذاری در مرکز ثقل[8] خطوط به‌صورت کادربندی شده ساختاردهی شد. برای لایه‌ی سطحی تقسیمات سیاسی نیز پارامتر سطح تقسیمات به‌عنوان معیار اولویت نمایش عوارض انتخاب شد با این توضیح که شهرستان‌ها نسبت به بخش‌ها دارای اولویت نمایش هستند و همچنین لایه تقسیمات برای نمایش نام‌های طولانی به‌صورت چندخطی در مرکز هندسی پلیگون‌ها آماده‌سازی گردید. درنهایت، به‌منظور نمایش صحیح کاراکترهای فارسی در مرورگرهای وب، تمامی رشته‌های متنی در جداول توصیفی با استاندارد کدگذاری UTF-8 ذخیره شدند.

5. Google Map
6. Hakoishi
7. Open Street Map
8. Centroid

۳- پیاده‌سازی

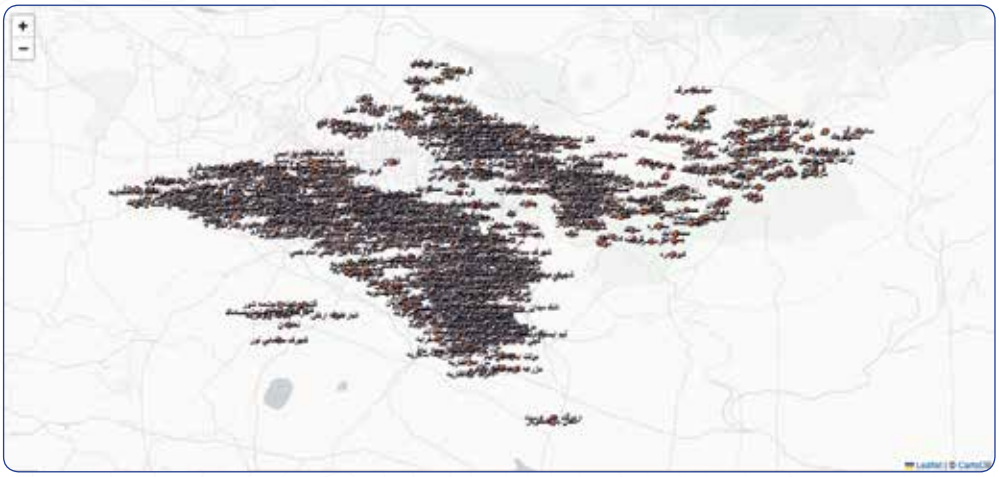
در این پژوهش، سامانه در محیط وب با استفاده از JavaScript، HTML و CSS طراحی شد. توسعه‌ی سامانه بر بستر نسخه‌ی ۱,۹ کتابخانه‌ی Leaflet و با بهره‌گیری از کلاس توسعه‌یافته‌ی Labeler انجام گرفت. این کلاس که در معماری خود به‌عنوان زیرکلاسی از کلاس استاندارد L.GeoJSON تعریف‌شده است، قابلیت مدیریت یکپارچه‌ی داده‌های برداری و فرآیند برچسب‌گذاری خودکار را فراهم می‌سازد. الگوریتم نمایش، بر مبنای محاسبه‌ی کادر محیطی[۹] برچسب‌ها در فضای پیکسلی صفحه‌نمایش عمل می‌کند؛ بدین‌صورت که در هر بار به‌روزرسانی نمای نقشه (اعم از بزرگ‌نمایی یا جابه‌جایی)، مختصات پیکسلی برچسب‌ها مجدداً محاسبه‌شده و در صورت تشخیص تداخل با کادرهای ترسیم‌شده‌ی قبلی، از نمایش برچسب جدید جلوگیری می‌شود. در ادامه، جزئیات پیاده‌سازی برای هر نوع هندسه به تفکیک تشریح شده است.

۳-۱- پیاده‌سازی عوارض نقطه‌ای

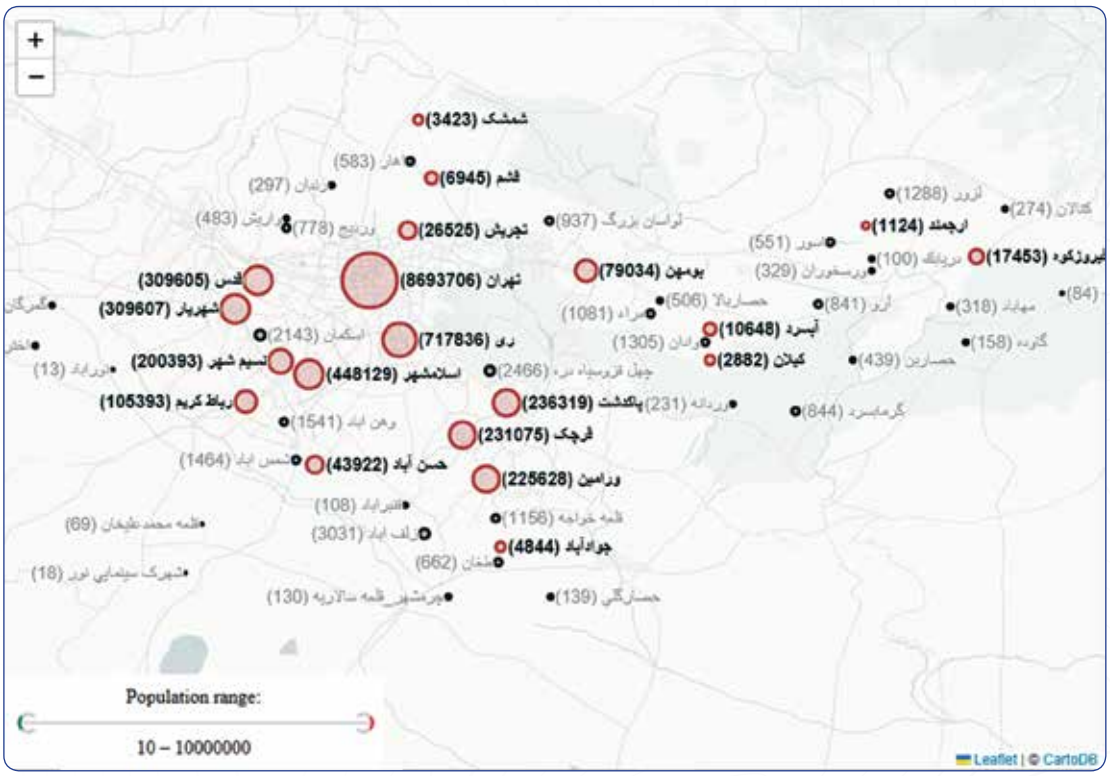
برای لایه‌ی شهرها و روستاها که دارای حجم بالایی از داده‌ها هستند، چالش اصلی مدیریت تراکم نقاط و جلوگیری از درهم‌ریختگی بصری بود. بدین منظور، الگوریتم اولویت‌بندی سامانه بازطراحی شد تا داده‌ها پیش از ترسیم بر اساس سلسله‌مراتب اهمیت مرتب‌سازی شوند؛ به‌این‌ترتیب که ابتدا برچسب شهرها و روستاهای پرجمعیت پردازش و ترسیم می‌شوند و سپس نوبت به روستاهای کم‌جمعیت می‌رسد. ویژگی کلیدی پیاده‌سازی شده برای نقاط، مکانیزم هم‌بستگی نماد و برچسب[۱۰] است؛ در این روش اگر فضای کافی برای درج نام یک نقطه بدون هم‌پوشانی وجود نداشته باشد، سامانه نه‌تنها برچسب، بلکه نماد متناظر آن نقطه را نیز موقتاً پنهان می‌کند. این امر موجب رعایت اصول کارتوگرافی می‌شود.

به‌منظور ارزیابی عملکرد سامانه در مدیریت داده‌های انبوه، دو وضعیت مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. شکل شماره۱ وضعیت نمایش داده‌های خام ورودی را پیش از اعمال الگوریتم‌های توسعه‌یافته نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر مشخص است، بدون استفاده از تشخیص تداخل و اولویت‌بندی، تمامی نقاط و برچسب‌ها به‌صورت هم‌زمان ترسیم‌شده‌اند که منجر به هم‌پوشانی شدید متون و غیرقابل استفاده بودن نقشه شده است.

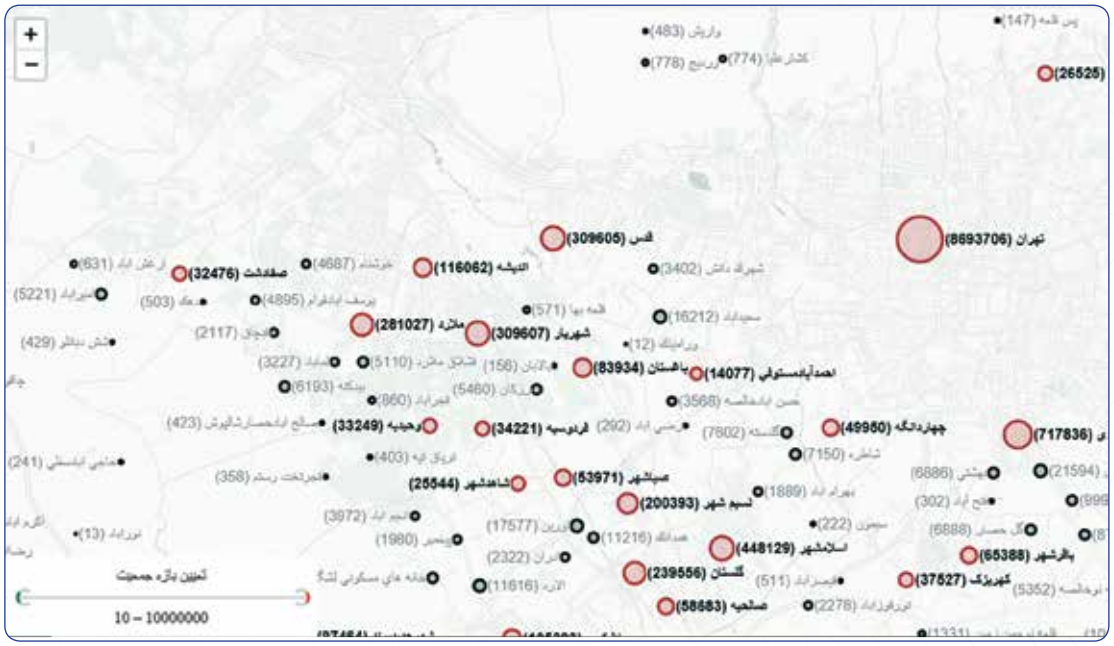
در مقابل، شکل شماره۲ و شکل شماره۳ خروجی نهایی سامانه را پس از اعمال الگوریتم‌های مدیریت برچسب به تصویر می‌کشد. در این پیاده‌سازی، علاوه بر مکانیزم‌های خودکار، جهت کنترل تعاملی تراکم نقاط توسط کاربر، یک Slider متصل به ویژگی جمعیت توسعه داده شد که امکان فیلتر کردن آنی نقاط را فراهم می‌کند. همان‌طور که در شکل شماره ۲ پیداست، با تنظیم بازه جمعیتی و اعمال هم‌زمان استایل‌دهی سفارشی یعنی نمایش نام به همراه جمعیت داخل پرانتز و تغییر اندازه دایره‌ها متناسب با جمعیت، هم‌پوشانی‌ها کاملاً حذف‌شده و سلسله‌مراتب بصری نقشه حفظ گردیده است.



شکل ۱: نمایش انبوه داده‌های نقطه‌ای بدون اعمال الگوریتم تشخیص تداخل و اولویت‌بندی



شکل۲ : خروجی سامانه پس از اعمال فیلتر جمعیت، اولویت‌بندی و حذف برچسب‌های دارای تداخل



شکل ۳ : خروجی سامانه پس از اعمال فیلتر جمعیت، اولویت‌بندی و حذف برچسب‌های دارای تداخل در مقیاس بزرگ‌تر

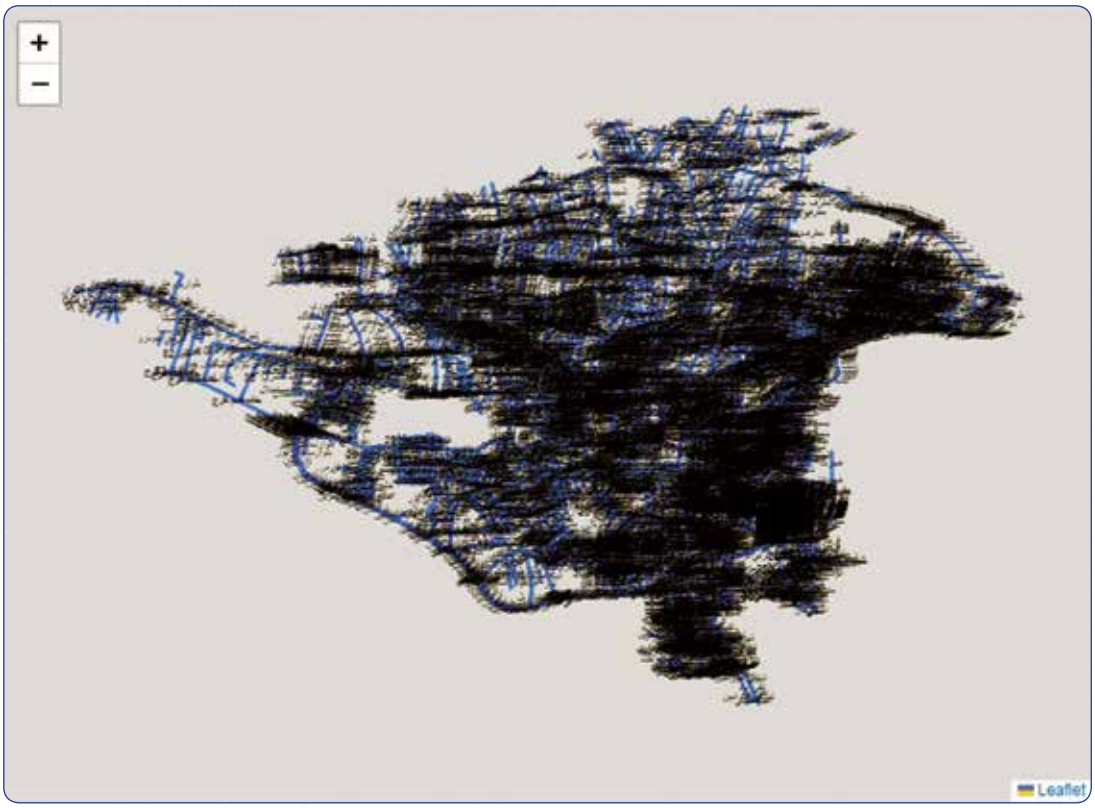
۲-۳- پیاده‌سازی عوارض خطی

در خصوص لایه‌ی خیابان‌های شهر تهران، با توجه به محدودیت‌های فنی موجود در کتابخانه‌های سمت کاربر در پردازش و نمایش متون خمیده، برچسب‌ها در مرکز ثقل هندسه‌ی خطوط نمایش داده شد.

برای بهبود خوانایی و ایجاد تمایز بصری میان نام خیابان‌ها و سایر عوارض نقشه، از قابلیت‌های پیشرفته‌ی استایل‌دهی CSS بهره گرفته شد. برخلاف عوارض نقطه‌ای که معمولاً تنها متن نمایش داده می‌شود، برای خطوط از تکنیک استایل‌های کادربندی شده[11] استفاده شد. این روش به کاربر کمک می‌کند تا ماهیت عارضه را سریع‌تر تشخیص دهد. همچنین تضمین می‌کند که حتی در صورت عبور خطوط از مناطق شلوغ نقشه یا بافت‌های متراکم شهری، نام خیابان درون یک کادر مشخص با پس‌زمینه و حاشیه‌ی مناسب، کاملاً خوانا و متمایز باقی بماند.

کارایی این روش در شکل‌های شماره ۴ و ۵ و ۶ مورد مقایسه قرارگرفته است. شکل شماره ۴ وضعیت نمایش داده‌های خام خیابان‌های تهران را نشان می‌دهد؛ جایی که به دلیل عدم وجود الگوریتم مدیریت برچسب، نام تمامی قطعات خیابان‌ها به‌صورت هم‌زمان و با رنگ مشکی پیش‌فرض ترسیم‌شده‌اند. نتیجه‌ی این وضعیت، ایجاد توده‌ای سیاه و غیرقابل خوانش از متن‌هاست که عملاً نقشه را غیرقابل استفاده می‌کند.

در مقابل، شکل شماره ۵ و شکل شماره۶ خروجی سامانه را پس از اعمال کلاس Labeler و استایل‌دهی اختصاصی نشان می‌دهد. همچنین سامانه به‌صورت خودکار مرکز ثقل خطوط را شناسایی کرده و برچسب‌ها را با رنگ‌بندی متمایز به این صورت که آزادراه و بزرگراه با رنگ سیاه و خیابان‌های اصلی با رنگ خاکستری ترسیم نموده است. الگوریتم تشخیص تداخل تنها برچسب‌هایی که با یکدیگر هم‌پوشانی ندارند را نمایش می‌دهد و به‌محض تغییر بزرگ‌نمایی، تراکم برچسب‌ها متناسب با فضای موجود به‌روزرسانی می‌شود.

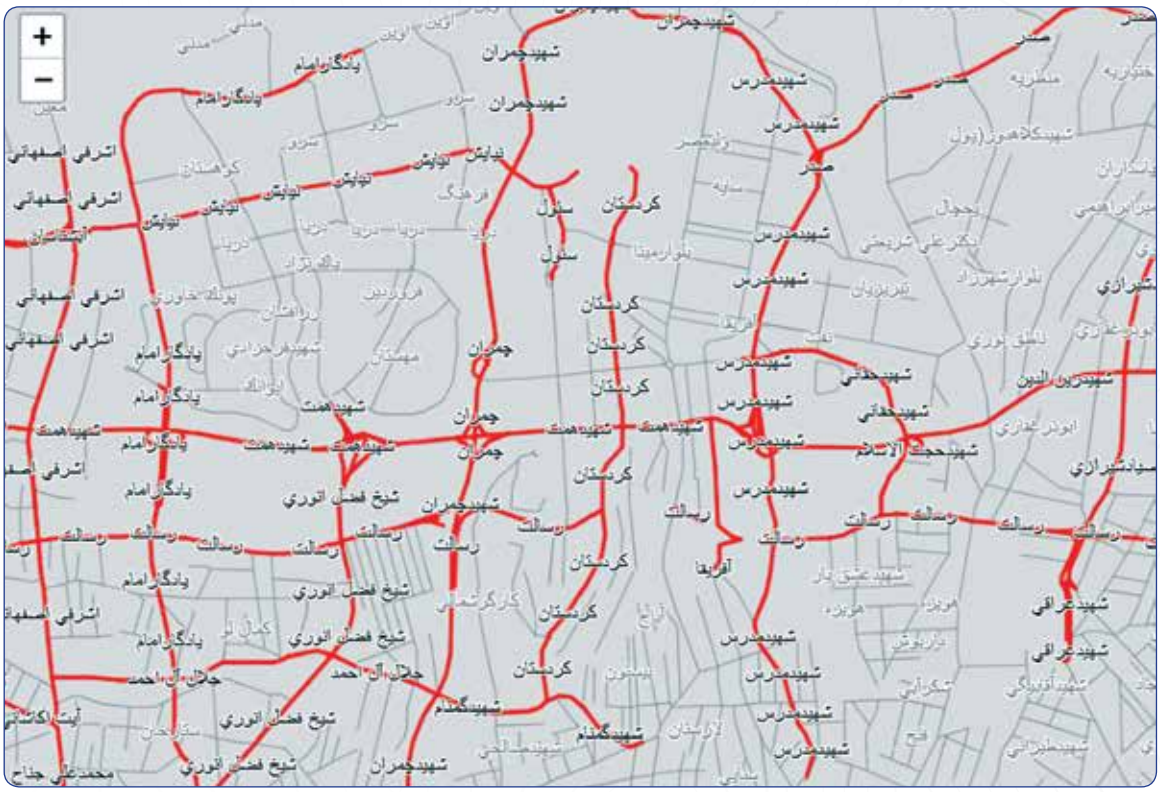


شکل ۴: نمایش داده‌های خام خیابان‌های شهر تهران بدون مدیریت برچسب؛ هم‌پوشانی شدید باعث ناخوانایی کامل نقشه شده است.

11. Box Style



شکل۵: خروجی سامانه بر روی خیابان‌های شهر تهران ؛ استفاده از استایل کادربندی و قرارگیری در مرکز ثقل خطوط باعث خوانایی بالا و حذف تداخل‌ها شده است.



شکل۶: خروجی سامانه بر روی خیابان‌های تهران در مقیاس بزرگ‌تر؛ استفاده از استایل کادربندی و قرارگیری در مرکز ثقل خطوط باعث خوانایی بالا و حذف تداخل‌ها شده است.

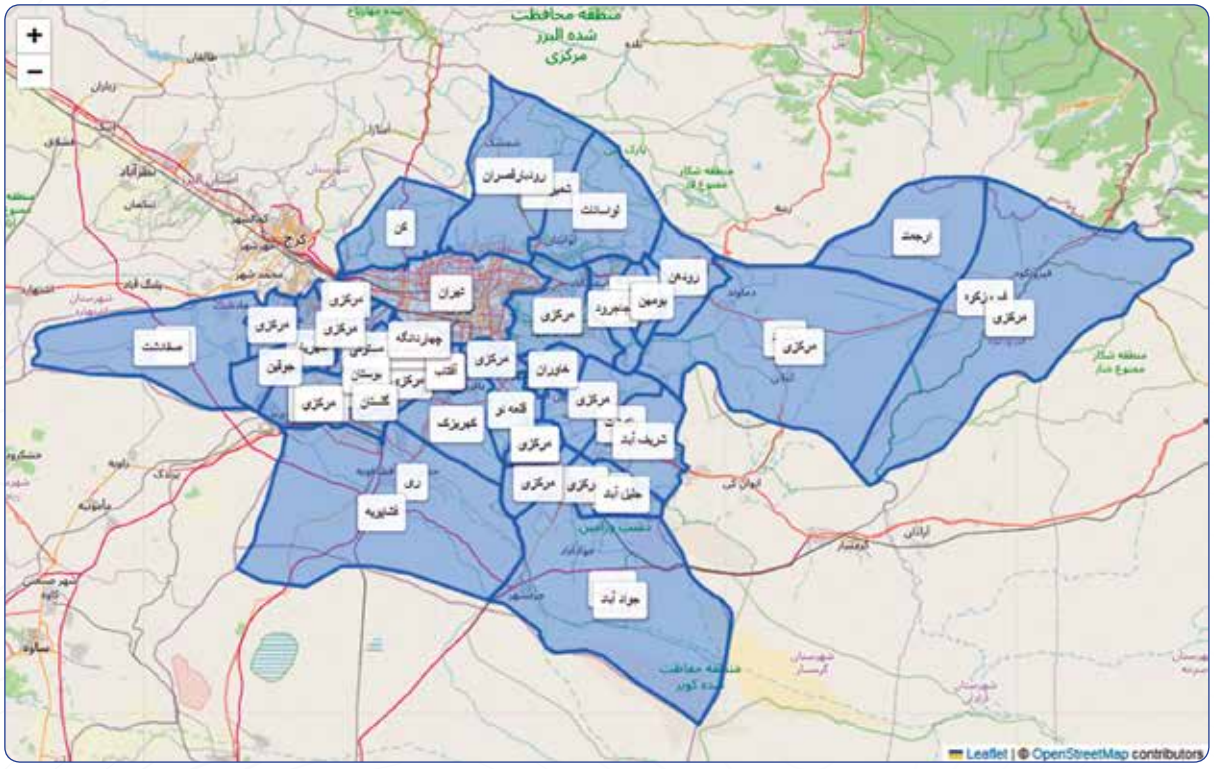
۳-۳- پیاده‌سازی عوارض سطحی

برای لایه‌ی تقسیمات سیاسی در سطح شهرستان‌های استان تهران، موقعیت برچسب با استفاده از مرکز هندسی پلیگون‌ها انتخاب شد. چالش اصلی در برچسب‌گذاری عوارض سطحی، طولانی بودن نام برخی شهرستان‌ها و احتمال خروج متن از محدوده هندسی پلیگون در بزرگ‌نمایی‌های پایین بود.

برای رفع این مشکل، رفتار پیش‌فرض CSS در مرورگرها که از شکستن خطوط[12] جلوگیری می‌کند، در کلاس توسعه‌یافته‌ی Labeler برای عوارض سطحی تغییر یافت. با فعال‌سازی قابلیت متن چندخطی[13]، سامانه قادر است نام‌های طولانی را در صورت کمبود فضا به‌صورت خودکار به چند سطر بشکند تا بهترین انطباق را با فضای داخلی پلیگون داشته باشند.

تأثیر این رویکرد در مقایسه با روش‌های ترسیم سنتی در شکل‌های شماره ۷ و ۸ و ۹ است. شکل شماره ۷ نمونه‌ای از ترسیم و برچسب‌گذاری به‌صورت خام را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل پیداست، قرارگیری متن روی یکدیگر باعث شلوغی نقشه شده و خوانایی را به‌شدت کاهش می‌دهد.

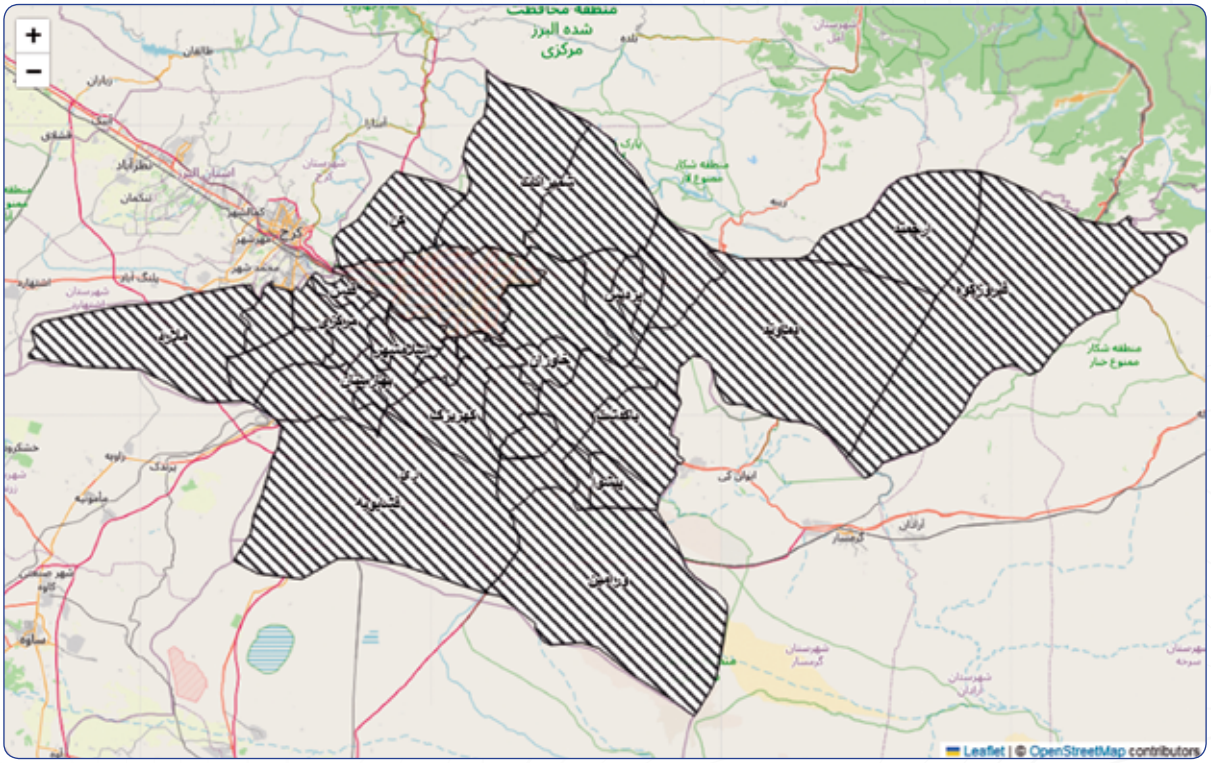
در مقابل، شکل‌های شماره۸ و ۹ خروجی نهایی سامانه را نمایش می‌دهد. در این حالت، علاوه بر استفاده از رنگ‌آمیزی یکپارچه برای تفکیک بهتر محدوده‌ها، برچسب‌ها در مرکز ثقل دقیق پلیگون‌ها درج‌شده‌اند که وضوح و خوانایی نقشه را تضمین می‌کند.



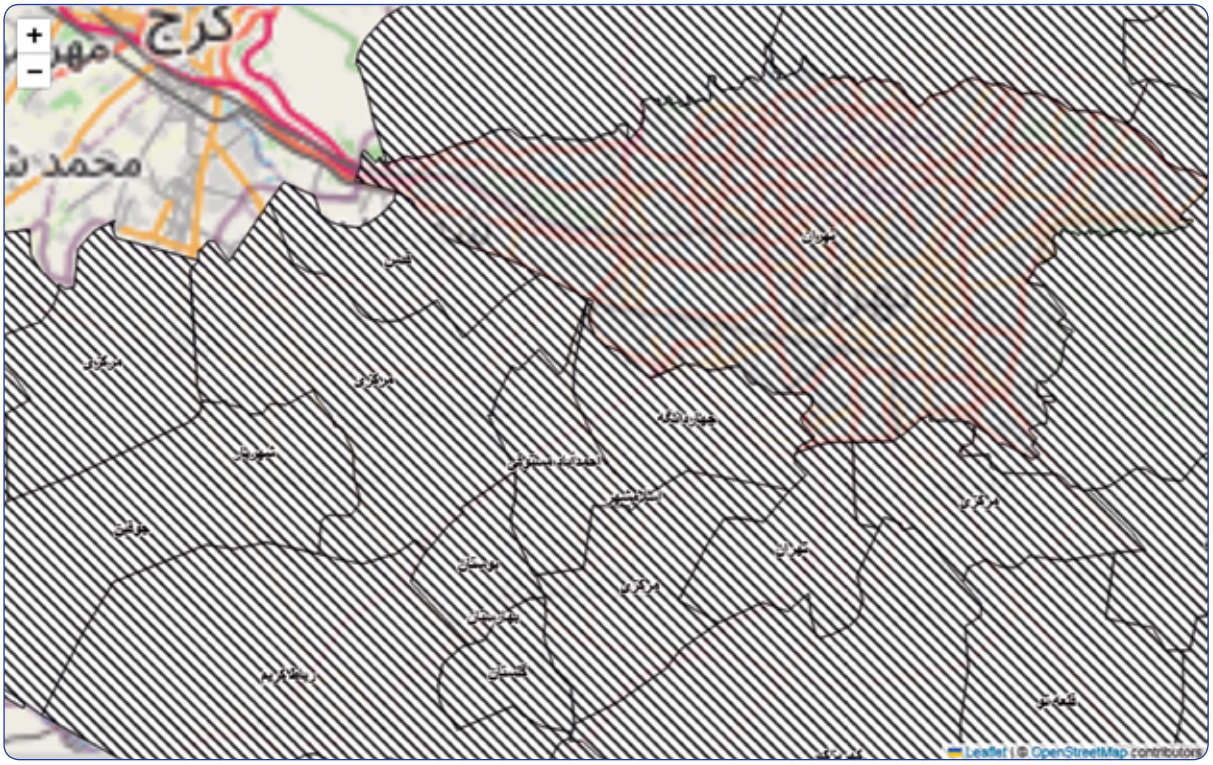
شکل ۷: نمایش عوارض سطحی با بافت هاشور؛ شلوغی باعث کاهش خوانایی برچسب‌ها شده است.

12. white-space: nowrap

13. Multi-line



شکل۸: خروجی نهایی سامانه برای عوارض سطحی؛ استفاده از استایل کادربندی، تراز مرکزی و قابلیت متن چندخطی برای نام‌های طولانی



شکل۹: نمای نزدیک‌تر از نمایش عوارض سطحی با بافت هاشور

۴- ارزیابی عملکرد

ارزیابی عملکرد سامانه‌ی توسعه‌یافته بر روی‌داده‌های مکانی استان تهران از دو جنبه یکی کارایی فنی و دیگری کیفیت کارتوگرافی انجام شد. نتایج تست‌های سیستمی نشان داد که سرعت پردازش و به‌روزرسانی برچسب‌ها در هنگام تغییر مقیاس یا جابجایی نقشه، بسته به حجم داده‌ها در محدوده‌ی دید کاربر، بین ۰٫۰۳ تا ۰٫۰۷ ثانیه متغیر است که این زمان پاسخ‌دهی برای محیط وب و حفظ روانی تجربه کاربری کاملاً مطلوب ارزیابی می‌شود. در بررسی عوارض نقطه‌ای، سیستم با اعمال فیلتر هوشمند مبتنی بر جمعیت در مقیاس‌های کوچک، تنها شهرهای اصلی نظیر تهران، ورامین و شهر ری را نمایش داد(شکل ۲) و با افزایش بزرگ‌نمایی، برچسب نقاط فرعی و روستاها به‌صورت خودکار و بدون ایجاد هم‌پوشانی ظاهر شدند(شکل ۳). همچنین در خصوص عوارض خطی، مقایسه‌ی خروجی‌ها نشان داد که استفاده از استایل کادربندی برای خیابان‌ها، مشکل ناخوانایی ذاتی متون در شبکه‌های پیچیده شهری را حل کرده و برچسب‌ها به‌جای ایجاد یک توده‌ی سیاه و درهم‌تنیده(شکل ۴)، به‌صورت موردی و خوانا در مرکز قطعات خیابان‌ها ترسیم‌شده‌اند(شکل ۵). علاوه بر این، در لایه‌ی عوارض سطحی، چالش نام‌های طولانی شهرستان‌ها با موفقیت مدیریت شد؛ به‌طوری‌که قابلیت متن چندخطی باعث شد نام‌ها به‌جای خروج از مرز پلیگون، در مرکز ثقل شکسته شده و به زیبایی نمایش داده شوند(شکل ۸) که نسبت به روش‌های سنتی برچسب‌گذاری که منجر به شلوغی پس‌زمینه می‌شد(شکل ۷)، خوانایی بسیار بالاتری را ارائه می‌دهد. افزودن امکانات شخصی‌سازی نظیر تغییر سایز و رنگ فونت توسط کاربر نیز انعطاف‌پذیری سیستم را افزایش داده و مقایسه‌ی کلی نتایج با روش‌های استاندارد موجود در Leaflet نشان می‌دهد که سیستم پیشنهادی ازنظر رعایت اصول کارتوگرافی، به‌ویژه در جلوگیری از تداخل و ایجاد ارتباط بصری شفاف، عملکردی به‌مراتب کارآمدتر دارد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش، باهدف رفع محدودیت‌های موجود در کتابخانه‌های سمت کاربر نظیر Leaflet، یک سامانه‌ی برچسب‌گذاری خودکار توسعه داده شد که قابلیت مدیریت انواع عوارض نقطه‌ای، خطی و سطحی را داراست. این سامانه در قالب مطالعه‌ی موردی بر روی داده‌های تقسیمات سیاسی، معابر شهری و نقاط سکونتگاهی استان تهران پیاده‌سازی گردید و نتایج نشان داد که کلاس توسعه‌یافته با بهره‌گیری از الگوریتم تشخیص برخورد در فضای پیکسلی و اولویت‌بندی پویا، توانسته است چالش‌های اصلی نمایش متن در نقشه‌های وب را مرتفع سازد. دستاوردهای اصلی شامل حذف کامل تداخل متون در هر سه نوع هندسه، پیاده‌سازی موفق استایل‌های پیشرفته مانند کادربندی معابر با استفاده از CSS و مدیریت هوشمند متون طولانی در عوارض سطحی است که مجموعاً منجر به تولید نقشه‌هایی خوانا و منطبق بر اصول کارتوگرافی شده است. با توجه به محدودیت‌های فعلی، برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که توسعه‌ی الگوریتمی برای پشتیبانی از متن‌های خمیده جهت انطباق با عوارض طبیعی مانند رودخانه‌ها و جاده‌های پیچدار در دستور کار قرار گیرد. همچنین ارتقای سیستم برای مدیریت تداخل بین‌لایه‌ای جهت جلوگیری از هم‌پوشانی برچسب‌های لایه‌های مختلف با یکدیگر و توسعه‌ی روشی برای محدودسازی دقیق‌تر برچسب‌ها در داخل پلیگون‌های با اشکال نامنظم، می‌تواند مسیر پیشرفت‌های بعدی این پژوهش را هموار سازد.

■ مراجع و منابع

1. Imhof, E., 1975. Positioning Names on Maps, The American Cartographer, 2(2), 128–144.
2. OSGeo, 2022. MapServer 8.0.0 Documentation, https://mapserver.org/documentation.html
3. GeoServer, 2022. GeoServer Documentation, https://docs.geoserver.org/
4. Farkas, G., 2017. Applicability of open-source web mapping libraries for building massive Web GIS clients. In: Journal of Geographical Systems, Springer, 19(4), pp. 273–295.
5. Brinkhoff, T., 2017. Supporting Dynamic Labeling in Web Map Applications, AGILE 2017 Conference.
6. Doddi, S., Marathe, M.V., Mirzaian, A., Moret, B.M.E., Zhu, B., 1997. Map Labeling and its Generalizations, Proc. 8th SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA›97), pp. 148–157.
7. Hakoishi, K., 2016. Leaflet.LabelTextCollision, GitHub repository, https://github.com/yakitoritabetai/Leaflet.LabelTextCollision
8. Santos, J., Dias, L., 2022. Leaflet.streetlabels, GitHub repository, https://github.com/3mapslab/Leaflet.streetlabels
9. Gede, M., 2023. Automatic Labels in Leaflet, Advances in Cartography and GIScience of the International Cartographic Association, 4, 8, 2023.

استخراج نواحی سوخته جنگلی از داده‌های Sentinel-2 با U-Net مبتنی بر کانولوشن‌های سه‌بعدی برای مدل‌سازی وابستگی‌های طیفی-مکانی

سهند طاهر منش[1]، علی محمدزاده[1]
۱. دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران

چکیده

پایش و استخراج نواحی سوخته‌ی جنگلی، نقش کلیدی در مدیریت منابع طبیعی و ارزیابی و کاهش پیامدهای آتش‌سوزی‌های گسترده دارد. در این میان، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 به دلیل برخورداری از تفکیک مکانی مناسب و تنوع باندهای طیفی، بستر داده‌ای ارزشمندی برای تشخیص آثار سوختگی فراهم می‌نمایند. در این مطالعه، یک چارچوب مبتنی بر شبکه‌ی U-Net سه‌بعدی پیشنهادشده است که با به‌کارگیری بلوک‌های کانولوشن سه‌بعدی، امکان یادگیری هم‌زمان الگوهای مکانی و روابط طیفی را فراهم می‌سازد. ارزیابی مدل در بخشی از کشور فرانسه نشان داد روش پیشنهادی نسبت به نسخه‌های U-Net دوبعدی و نیز رویکردهای کلاسیک، عملکرد بهتری در جداسازی نواحی سوخته از سایر کلاس‌های پوشش زمین ارائه می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد ترکیب عمیق اطلاعات طیفی- مکانی در معماری‌های سه‌بعدی می‌تواند ظرفیت قابل‌توجهی برای بهبود پایش خسارات ناشی از آتش‌سوزی‌های جنگلی و تصمیم‌گیری مدیریتی فراهم نماید.

واژگان کلیدی: تصاویر Sentinel-2، یادگیری عمیق، U-Net سه‌بعدی، تفکیک نواحی سوخته، مدیریت مخاطرات طبیعی.

مقدمه

آتش‌سوزی‌های جنگلی ازجمله شدیدترین مخاطرات طبیعی به شمار می‌آیند که می‌توانند خسارت‌های گسترده و گاه برگشت‌ناپذیری بر اکوسیستم‌ها، تنوع زیستی و پایداری منابع طبیعی وارد نمایند. طی سال‌های اخیر، تشدید رخدادهای ناشی از تغییرات اقلیمی باعث افزایش تعداد و شدت این آتش‌سوزی‌ها در بسیاری از مناطق جهان شده است. آثار این حوادث صرفاً به نابودی پوشش گیاهی محدود نمی‌شود؛ بلکه تخریب زیستگاه‌های جانوری و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی قابل‌توجهی را نیز به همراه دارد [۱].

برای اساس نتایج گزارش‌شده در شکل شماره ۱، به‌عنوان‌مثال برای فرانسه، حدود ۵۵ آتش‌سوزی به‌صورت میانگین بین سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۲۴ گزارش‌شده است، درحالی‌که سال ۲۰۲۵ مقدار ۱۳۱ آتش‌سوزی را نشان می‌دهد؛ یعنی افزایش تعداد آتش‌سوزی نسبت به میانگین ۱۱ ساله در کشور فرانسه می‌باشد. ازاین‌رو، استخراج و شناسایی سریع و دقیق نواحی سوخته، به‌عنوان یکی از مراحل کلیدی در مدیریت بحران و برنامه‌ریزی برای احیای جنگل‌ها، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌نماید.

داده‌های سنجش‌ازدور به‌واسطه‌ی گستره‌ی پوشش مکانی وسیع، تناوب زمانی مناسب و امکان ثبت اطلاعات در باندهای طیفی گوناگون، یک بستر کارآمد برای رصد و ارزیابی پیامدهای آتش‌سوزی‌های جنگلی فراهم می‌نمایند. در این میان، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با تفکیک مکانی نسبتاً

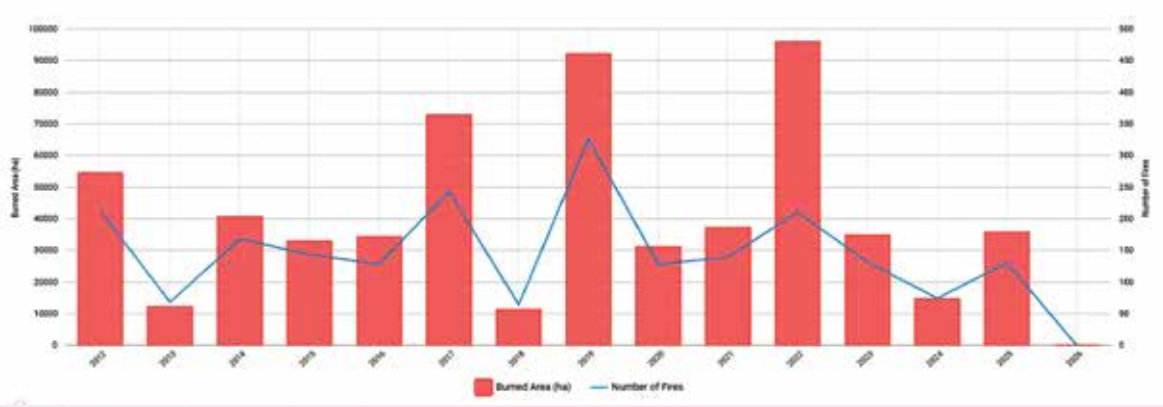
دقیق و برخورداری از باندهای متعدد در ناحیه‌ی مرئی و فروسرخ نزدیک، توان قابل‌توجهی در شناسایی و برجسته‌سازی تغییرات سطح زمین ناشی از سوختگی پوشش جنگلی دارند[۲] .

طی سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در زمینه شناسایی نواحی سوخته جنگلی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور انجام‌شده است. بسیاری از این مطالعات از شاخص‌های طیفی مانند NBR[1] بهره گرفته‌اند که اگرچه ساده و کارآمد هستند، اما در برخی شرایط دقت کافی برای جداسازی نواحی سوخته از سایر کلاس‌ها را ندارند.

در سال‌های اخیر، هم‌زمان با رشد چشمگیر روش‌های یادگیری عمیق، معماری U-Net به‌واسطه‌ی توانایی در انجام بخش‌بندی دقیق در مقیاس پیکسل و حفظ/بازسازی جزئیات مکانی، به یکی از مدل‌های شاخص و پرکاربرد در مطالعات سنجش‌ازدور تبدیل‌شده است[۴] . برای نمونه، Cho و همکاران[۵] با استفاده از تصاویر تک زمانه‌ی ماهواره Planet و ادغام شاخص طیفی NDVI[2] در چارچوب U-Net، موفق شدند عملکرد شناسایی نواحی سوخته را به‌طور محسوسی بهبود دهند. همچنین، در پژوهشی دیگر، Alencar و همکاران [۶] با تکیه‌بر داده‌های ماهواره Landsat و به‌کارگیری یک مدل DNN[3]، فرآیند تشخیص مناطق آتش‌سوزی را انجام دادند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که حتی در نبود شاخص‌های طیفی، ترکیب داده‌های ماهواره‌ای با شبکه‌های عصبی عمیق می‌توانند ظرفیت بالایی برای پایش و ارزیابی نواحی آسیب‌دیده فراهم نماید. در مطالعه‌ای دیگر توسط Luft و همکاران [۷]، نواحی سوخته با استفاده از شبکه U-Net با ستون فقرات ResNet50 و با بهره‌گیری از تصاویر راداری Sentinel-1 پس از آتش‌سوزی و همچنین مجموعه داده‌های تکمیلی شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM) و پوشش/کاربری زمین شناسایی شدند. بر اساس نتایج، مقدار F1-Score برای تشخیص ناحیه سوخته برابر با ۰/۶۷۱ بود که عملکردی بهتر از مدل‌های فعلی یادگیری عمیق (DL[4]) گزارش‌شده در مطالعات پیشین داشت. بااین‌حال، این مطالعه نشان داد که افزودن اطلاعات تکمیلی به تصاویر Sentinel-1 پس از آتش‌سوزی، اثر منفیِ اندکی بر پیش‌بینی‌های U-Net می‌گذارد.

بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های پیشین همچنان بر کانولوشن‌های دوبعدی تکیه‌دارند؛ درحالی‌که این نوع لایه‌ها برای داده‌های ذاتاً سه‌بعدی مانند تصاویر چند طیفی ماهواره‌ای، تطابق کامل ندارند. کانولوشن دوبعدیِ عمدتاً الگوهای مکانی را استخراج می‌کند و معمولاً بعد طیفی(روابط بین باندها) را به‌صورت مستقیم مدل نمی‌نمایند. درنتیجه، نمایش‌های ویژگی حاصل می‌تواند ناقص باشد و بخشی از اطلاعات ارزشمند طیفی که برای تفکیک نواحی سوخته حیاتی است، در فرایند یادگیری تضعیف یا از دست برود.

در این پژوهش، یک چارچوب مبتنی بر معماری U-Net سه‌بعدی پیشنهاد می‌شود که با بهره‌گیری از بلوک‌های کانولوشن سه‌بعدی، امکان پردازش یکپارچه‌ی اطلاعات باندی و مکانی را فراهم کرده و به یادگیری مؤثر وابستگی‌های طیفی - مکانی در داده‌های Sentinel-2 کمک می‌نماید. برای ارزیابی عملکرد، نتایج مدل پیشنهادی با روش شاخص طیفی NBR و همچنین دو معماری یادگیری عمیق U-Net و ResU-Net مقایسه شد.



شکل ۱: نمودار خروجی Statistics Portal سامانه Global Wildfire Information System (GWIS)
(https://gwis.jrc.ec.europa.eu/apps/gwis.statistics/estimates)

1. Normalized Burn Ratio
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Deep Neural Network
4. Deep Learning

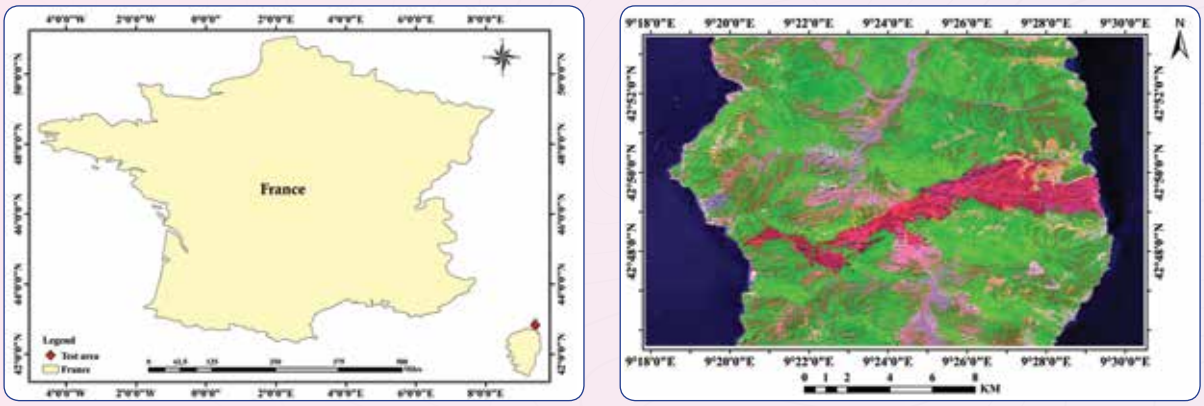
داده و منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از مجموعه داده‌ی عمومی ارائه‌شده توسط Colomba و همکاران [۸] استفاده‌شده است. این مجموعه متشکل از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با وضوح مکانی ۱۰ متر و ۱۲ باند طیفی است که پیش‌تر به‌صورت رادیو متریک و ژئومتریک تصحیح‌شده‌اند. داده‌ها شامل جنگل‌های آسیب‌دیده براثر آتش‌سوزی‌های سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ در کشورهای اروپایی ازجمله اسپانیا، پرتغال و ایتالیا هستند. به‌منظور ارزیابی عملکرد روش‌ها، ناحیه از کشور فرانسه به‌عنوان داده آزمایشی انتخاب شد. موقعیت و تصویر این منطقه در شکل شماره ۱ نمایش داده‌شده است.

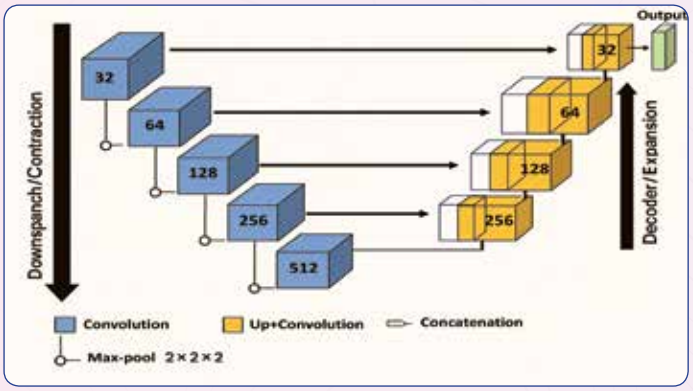
روش تحقیق

روند کلی تحقیق به سه بخش اصلی تقسیم می‌شود. در ابتدا، تصاویر به‌صورت برش‌هایی[5] با ابعاد ثابت تقسیم می‌گردند. در مرحله‌ی دوم، برش‌های جمع‌آوری‌شده به داده‌های آموزشی و ارزیابی تقسیم و به‌عنوان ورودی به شبکه‌های یادگیری عمیق منتقل می‌شوند. در بخش نهایی، برای اعتبارسنجی کارایی و تعمیم‌پذیری روش‌ها، نقشه‌های پیش‌بینی شبکه با داده‌ی مرجع ناحیه‌ی سوخته جنگل مقایسه می‌شوند.

معماری U-Net دارای ساختاری U شکل شامل مسیر کاهشی[6] برای استخراج ویژگی‌های لایه‌ای و مسیر افزایشی[7] برای بازسازی نقشه‌ی بخش‌بندی می‌باشد. وجود اتصال‌های میان‌بر[8] موجب انتقال مستقیم اطلاعات مکانی و افزایش دقت در بازسازی جزئیات می‌گردد. در سنجش‌ازدور، U-Net برای جداسازی نواحی مختلف تصاویر ماهواره‌ای مانند تشخیص تغییرات زمین، مناطق آسیب‌دیده و کاربری اراضی به کار می‌رود.



شکل ۲: موقعیت منطقه آزمایشی در کشور فرانسه (تصویر رنگ کاذب)

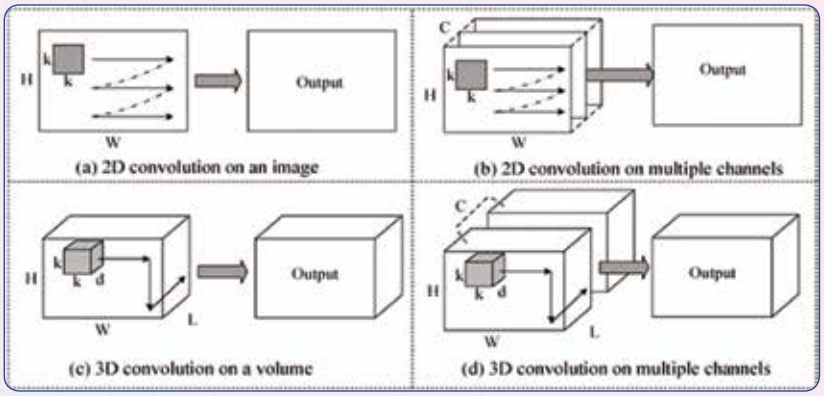


شکل ۳: معماری شبکه پیشنهادی 3DUNet

5. Patches
6. Encoder
7. Decoder
8. Skip Connections

در پردازش داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی، کانولوشن سه‌بعدی با اعمال هم‌زمان بر ابعاد مکانی (x,y) و طیفی(bands)، امکان استخراج وابستگی‌های طیفی-مکانی پیچیده را فراهم می‌آورد. در مقابل، کانولوشن‌های دوبعدی هر باند را به شکل یک کانال رنگی ساده در نظر می‌گیرند و صرفاً به روابط مکانی در هر باند توجه می‌نمایند. این ساده‌سازی منجر به نادیده گرفتن بخش قابل‌توجهی از اطلاعات طیفی و تضعیف توان بازنمایی مدل در تفکیک الگوهای پیچیده می‌گردد.

مطابق شکل شماره ۴، در کانولوشن دوبعدی (a,b) فیلتر $k \times k$ صرفاً روی ابعاد مکانی $H \times W$ حرکت می‌کند و در حالت چندکاناله (b) اگرچه اطلاعات کانال‌ها (C) در محاسبه هر ویژگی تجمیع می‌شود، اما وابستگی‌های ساختاری در امتداد بعد سوم (مانند زمان، عمق یا برش‌ها) به‌صورت صریح مدل نمی‌گردد و معمولاً تنها با تجمیع/میانگین‌گیری یا پردازش مستقل فریم‌ها/برش‌ها تقریب زده می‌شود. در مقابل، کانولوشن سه‌بعدی (c,d) با به‌کارگیری کرنل $k \times k \times d$ روی یک حجم $H \times W \times L$ عمل می‌کند؛ بنابراین هم‌بستگی‌های محلی را به‌طور هم‌زمان در دو بعد مکانی و بعد سوم (L) یاد می‌گیرد و قادر است الگوهای پیچیده‌تری مانند تداوم‌های زمانی در ویدئو یا پیوستگی‌های بین‌باندی در داده‌های چند طیفی را استخراج کند. بر این اساس و با توجه به معماری پیشنهادی در شکل شماره ۳، در تمامی لایه‌های U-Net از بلوک‌های کانولوشن سه‌بعدی با کرنل ۳×۳×۳ برای استخراج ویژگی‌های مکانی-طیفی استفاده می‌شود. سپس نرمال‌سازی لایه‌ای[9] برای پایدارسازی توزیع و بهبود همگرایی اعمال می‌شود و در ادامه، تابع فعال‌ساز غیرخطی GELU به کار گرفته می‌شود تا ظرفیت بازنمایی شبکه ارتقا یابد. در تمامی آزمایش‌ها، نرخ یادگیری ثابت و برابر با ۰/۰۰۰۱ در نظر گرفته شد و بهینه‌ساز Adam مورداستفاده قرار گرفت. عملکرد روش‌ها با استفاده از ضریب کاپا (KC) و ضریب هم‌پوشانی (IoU) مورد ارزیابی و بررسی قرار می‌گیرند.



شکل ۴: نحوه‌ی عملکرد کانولوشن‌های دوبعدی و سه‌بعدی

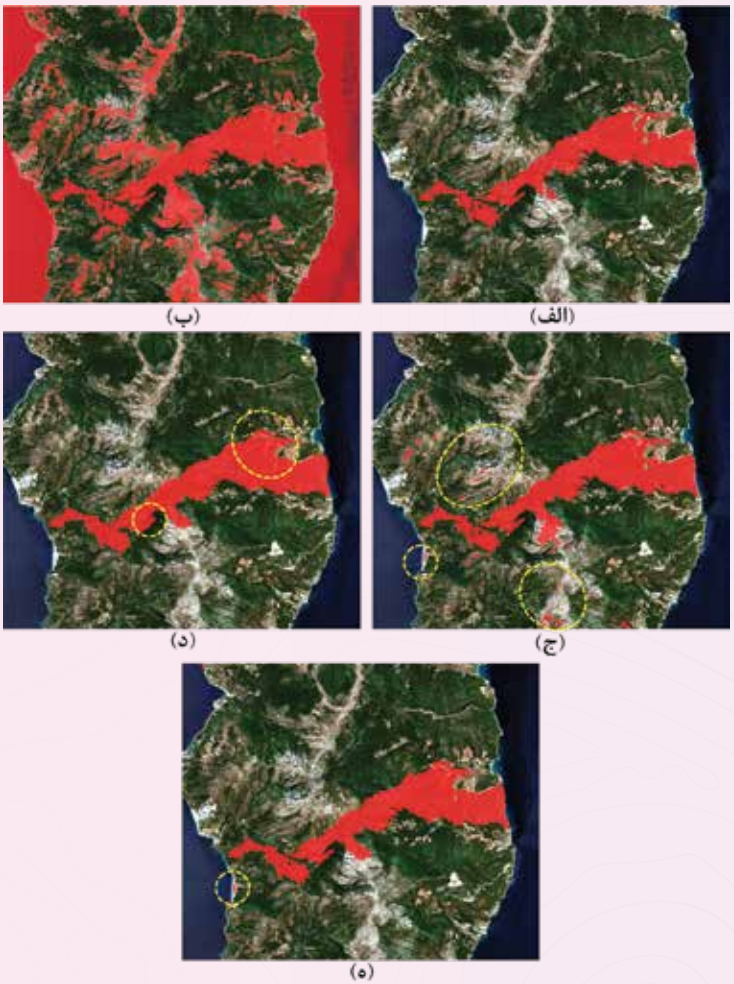
نتایج

در ارزیابی کمی انجام‌شده روی ناحیه‌ی آزمایشی، سه مدل مبتنی بر یادگیری عمیق عملکردی بالا و نزدیک به هم داشتند، با این تفاوت که 3DU-Net در هر دو شاخص برتری خود را حفظ کرد و به KC=91.06% و IoU=84.77% رسید؛ پس‌ازآن ResU-Net با KC=90.59% و IoU=84.03% و سپس U-Net با KC=89.35% و IoU=82.11% قرار گرفتند که نشان‌دهنده‌ی توانمندی بالای این معماری‌ها در تفکیک نواحی سوخته است. نزدیک بودن مقادیر KC بین مدل‌های عمیق بیانگر توافق کلی مشابه با داده‌ی مرجع است، اما افزایش IoU در 3DU-Net نشان می‌دهد این مدل در همپوشانی دقیق‌تر لکه‌های سوخته، به‌ویژه در مرزهای سوخته/نسوخته و پیکسل‌های مختلط، عملکرد بهتری دارد؛ مزیتی که به‌طور منطقی به قابلیت کانولوشن سه‌بعدی در یادگیری هم‌زمان وابستگی‌های طیفی-مکانی و بهره‌گیری مؤثرتر از اطلاعات چند باندی Sentinel-2

9. Layer Normalization

برمی‌گردد. در مقابل، روش شاخص طیفی NBR با افت بسیار شدید (KC=22.79% و IoU=19.14%) نشان داد که اتکای صرف به یک شاخص و آستانه گذاری، در مواجهه با شباهت‌های طیفی کلاس‌ها (مانند خاک تیره، سایه و پوشش‌های خشک) و نبود بهره‌گیری از بافت و زمینه‌ی مکانی، به تولید خطاهای گسترده و کاهش جدی قابلیت اعتماد نقشه‌ی نهایی منجر می‌شود؛ ازاین‌رو نتایج به‌طورکلی تأکید می‌نمایند که مدل‌سازی عمیق طیفی- مکانی، مسیر مؤثرتری برای استخراج دقیق و پایدار نواحی سوخته نسبت به رویکردهای شاخص‌محور است.

به‌منظور ارائه‌ی یک تفسیر بصری روشن از عملکرد مدل‌ها، در شکل شماره ۵ نقشه‌های پیش‌بینی حاصل از شبکه‌ها و نیز خروجی شاخص طیفی، بر روی تصویر RGB منطقه‌ی مطالعه همپوشانی و نمایش داده‌شده‌اند. مقایسه‌ی دیداری نشان می‌دهد شاخص NBR ـ همان‌گونه که در نتایج کمی نیز بازتاب یافته بود ـ نسبت به پهنه‌های آبی حساسیت بالایی دارد و در چندین بخش، این نواحی را به‌اشتباه به‌عنوان مناطق سوخته برچسب زده است؛ موضوعی که می‌تواند ناشی از شباهت پاسخ طیفی آب و برخی سطوح تیره با الگوی سوختگی و همچنین محدودیت ذاتی روش‌های آستانه محور باشد. خروجی U-Net باوجود توانایی در آشکارسازی نواحی اصلی، دارای الگوی نویز لکه‌ای و پیش‌بینی‌های پراکنده است که برای خوانایی بهتر، بخش‌های نویزی با منحنی‌های زرد روی تصویر مشخص‌شده‌اند؛ این رفتار معمولاً به چالش‌های تفکیک پیکسل‌های مرزی و پیکسل‌های مختلط در داده‌های چند طیفی مربوط می‌شود. در ادامه، ResU-Net تا حدی این نویزها را کاهش داده و نقشه‌ی هموارتر و منسجم‌تری ارائه می‌کند، اما درعین‌حال به دلیل هموارسازی بیش‌ازحد، بخشی از جزئیات مکانی و ساختارهای باریک را ازدست‌داده و نواحی سوخته را در برخی قسمت‌ها به شکل توپر و یکدست نمایش می‌دهد؛ درنتیجه مرزهای واقعی در بعضی نقاط کمتر قابل‌تشخیص است. در مقابل، شبکه‌ی پیشنهادی 3DU-Net ضمن کاهش معنادار نویز و خطاهای موضعی، با بهره‌گیری از یادگیری هم‌زمان اطلاعات طیفی-مکانی توانسته است هم مرزبندی دقیق‌تری ارائه دهد و هم جزئیات لکه‌های کوچک و پراکنده را بهتر حفظ کند؛ به‌بیان‌دیگر، این خروجی ازنظر بصری با نتایج کمی هم‌راستا است و به‌ویژه در نواحی نزدیک به مرز سوخته/نسوخته، که حساس‌ترین بخش برای بخش‌بندی به شمار می‌آید، تفکیک قابل‌اعتمادتر و نزدیک‌تری به الگوی واقعی سوختگی نشان می‌دهد.



شکل۵: نتایج پیش‌بینی روش‌ها (همپوشانی شده)؛
(الف) داده واقعیت زمینی، (ب) NBR، (ج) U-Net، (د) ResU-Net، (ه) 3DU-Net

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تلفیق تصاویر چند طیفی Sentinel-2 با رویکردهای یادگیری عمیق، ظرفیت بالایی برای شناسایی و پایش نواحی سوخته‌ی جنگلی فراهم می‌کند. در این میان، به‌کارگیری معماری U-Net سه‌بعدی مبتنی بر بلوک‌های کانولوشن سه‌بعدی نسبت به مدل‌های دوبعدی، توانایی بیشتری در استخراج الگوهای سوختگی از داده‌ها دارد؛ زیرا ساختار سه‌بعدی می‌تواند به‌صورت هم‌زمان اطلاعات مکانی و طیفی موجود در ۱۲ باند را یاد بگیرد و در قالب یک بازنمایی یکپارچه ترکیب کند. برخلاف معماری‌های دوبعدی که عمدتاً به وابستگی‌های مکانی محدود می‌شوند، مدل سه‌بعدی روابط میان باندی و وابستگی‌های طیفی-مکانی را نیز مدل‌سازی می‌کند و همین ویژگی، قدرت تفکیک بین پوشش سالم و نواحی سوخته را افزایش می‌دهد. ازنظر کمی، 3DU-Net با دستیابی به IoU=84.77 بهترین عملکرد را ثبت کرد؛ درحالی‌که ResU-Net به میزان ۰,۷۴ واحد، U-Net حدود ۲,۶۶ واحد و روش شاخص‌محور NBR با اختلاف چشمگیر ۶۵,۶۳ واحد نسبت به آن ضعیف‌تر ظاهر شدند. این مقایسه نشان می‌دهد بهبود مشاهده‌شده صرفاً حاصل افزایش پیچیدگی مدل نیست، بلکه نتیجه‌ی بهره‌برداری مؤثر از اطلاعات چند باندی و یادگیری دقیق‌تر ویژگی‌های طیفی-مکانی است؛ مؤلفه‌ای که در تفکیک قابل‌اعتماد نواحی سوخته و ارتقای کیفیت نقشه‌های پایش آتش‌سوزی نقش تعیین‌کننده دارد.



مراجع و منابع

1. J. Al-Khayri and T. Khan, «Impacts of forest fires on soil: Exploring the effects on biotic and abiotic components,» Sylwan, vol. 68, pp. 601-614, 09/18 2024, doi: 10.26202/sylwan.2024031.
2. S. Abdikan et al., «Burned Area Detection Using Multi-Sensor SAR, Optical, and Thermal Data in Mediterranean Pine Forest,» Forests, vol. 13, no. 2, doi: 10.3390/f13020347.
3. H. van der Werff, J. Ettema, A. Sampatirao, and R. Hewson, «How Weather Affects over Time the Repeatability of Spectral Indices Used for Geological Remote Sensing,» Remote Sensing, vol. 14, no. 24, doi: 10.3390/rs14246303.
4. E. Khankeshizadeh, S. Tahermanesh, A. Mohsenifar, A. Moghimi, and A. Mohammadzadeh, «FBA-DPAttResU-Net: Forest burned area detection using a novel end-to-end dual-path attention residual-based U-Net from post-fire Sentinel-1 and Sentinel-2 images,» Ecological Indicators, vol. 167, p. 112589, 2024/10/01/ 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112589.
5. A. Cho, S.-e. Park, D.-j. Kim, J. Kim, C. Li, and J. Song, «Burned Area Mapping Using Unitemporal PlanetScope Imagery With a Deep Learning Based Approach,» IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. PP, pp. 1-13, 01/01 2022, doi: 10.1109/JSTARS.2022.3225070.
6. A. A. C. Alencar et al., «Long-Term Landsat-Based Monthly Burned Area Dataset for the Brazilian Biomes Using Deep Learning,» Remote Sensing, vol. 14, no. 11, doi: 10.3390/rs14112510.
7. Luft, Harrison, Calogero Schillaci, Guido Ceccherini, Diana Vieira, and Aldo Lipani. 2022. Deep Learning Based Burnt Area Mapping Using Sentinel 1 for the Santa Cruz Mountains Lightning Complex (CZU) and Creek Fires 2020. Fire 5 (5). https://doi.org/10.3390/fire5050163
8. L. Colomba et al., «A Dataset for Burned Area Delineation and Severity Estimation from Satellite Imagery,» presented at the Proceedings of the 31st ACM International Conference on Information & Knowledge Management, Atlanta, GA, USA, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/3511808.3557528.

شناسایی گونه‌های درختی با تصاویر چند طیفی پهپاد و یادگیری ماشین

فاطمه آقاجانی افروزی[1]، رضا رحیمی نژاد بوگر[1]، مهدی رمضانی فرخانی[1]، عبادت قنبری پرمهر[1]
۱. دانشکده عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

چکیده

تهیه نقشه گونه‌های درختی نقش مهمی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی کشاورزی دارد. در این پژوهش، امکان‌سنجی شناسایی خودکار گونه‌های درختی مرکبات، کاج، افرا و نخل با استفاده از تصاویر پهپادی چند طیفی (باندهای آبی، سبز، قرمز، نزدیک مادون‌قرمز و لبه قرمز) در منطقه بابل، استان مازندران، ایران، به‌عنوان یک منطقه با تنوع زیستی بالا و گونه‌های اندمیک و پوشش پیچیده موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور، مجموعه‌ای از الگوریتم‌های یادگیری ماشین شامل Logistic Regression، Gradient Boosting، Extra Trees (ET)، Random Forest (RF) و Gaussian Naive Bayes (GNB) برای طبقه‌بندی گونه‌های درختی به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که الگوریتم‌های RF و ET با دستیابی به‌دقت کلی حدود ۸۲٪ عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها ارائه نمودند، درحالی‌که الگوریتم‌های مبتنی بر رگرسیون دقت پایین‌تری داشتند. مقایسه الگوریتم‌ها نشان داد که انتخاب روش طبقه‌بندی نقش تعیین‌کننده‌ای در دقت شناسایی گونه‌ها در داده‌های پهپادی چند طیفی ایفا می‌کند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که تصاویر پهپادی پنج باندی در ترکیب با الگوریتم‌های مبتنی بر درخت تصمیم، ابزار مؤثری برای شناسایی گونه‌های درختی در مناطق با تنوع زیستی بالا و پوشش گیاهی پیچیده هستند و می‌توانند به بهبود مدیریت محلی باغ‌ها و فضاهای سبز کمک کنند.

واژگان کلیدی: شناسایی گونه درختان، تصاویر چند طیفی، یادگیری ماشین، کشاورزی.

۱- مقدمه

فضای سبز شهری و باغ‌های کشاورزی نقش مهمی در حفظ تعادل اکولوژیک، بهبود کیفیت محیطزیست و ارتقای کیفیت زندگی ایفا می‌نمایند. مرکبات به‌عنوان یکی از محصولات راهبردی بخش کشاورزی، سهم قابل‌توجهی در اقتصاد کشاورزی ایران و بسیاری از کشورهای جهان دارند[۱]. مدیریت علمی و دقیق باغ‌های مرکبات نیازمند اطلاعات به‌روز و دقیق از نوع، تراکم و پراکنش گونه‌های درختی است، زیرا شناسایی گونه‌ها علاوه بر برنامه‌ریزی کاشت و برداشت، برای مدیریت بیماری‌ها، بهینه‌سازی تغذیه گیاهی و افزایش بهره‌وری تولید حیاتی است[۲]. در سال‌های اخیر، تصاویر پهپادی چند طیفی به دلیل دقت مکانی بالا، انعطاف‌پذیری زمانی و هزینه نسبتاً پایین، به‌عنوان جایگزینی کارآمد برای روش‌های سنتی در مطالعات مقیاس محلی موردتوجه قرارگرفته‌اند[۳]. منطقه بابل، با تنوع زیستی بالا و پوشش گیاهی پیچیده، فرصت مناسبی برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شناسایی گونه‌های درختی فراهم می‌نماید.

تکنیک‌های یادگیری ماشین امکان استخراج خودکار ویژگی‌های پیچیده از داده‌های تصویری را فراهم می‌آورد، که در سال‌های اخیر به‌طور گسترده در تحلیل تصاویر سنجش‌ازدور به‌ویژه برای شناسایی و طبقه‌بندی گونه‌های درختی به کار گرفته‌شده‌اند [۴-۷]. بااین‌حال، بر اساس مطالعات پیشین، کاربرد مدل‌های درخت بنیاد مانند Random Forest و Extra Trees در این حوزه کمتر موردتوجه محققان قرارگرفته است.

مطالعات متعددی در سطح جهان به شناسایی و طبقه‌بندی گونه‌های درختی با تصاویر پهپادی پرداخته‌اند. مالک[1] و همکاران از یک مدل یادگیری ماشین برای شناسایی درختان نخل استفاده کردند[۸].

1. Malek

سیلیک[2] و همکاران با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیچیده یادگیری ماشین موفق به شناسایی درختان پرتقال در شرایط کشاورزی پیچیده با دقت ۹۶،۲۴% شدند[۹]. وانگ[3] و سا[4] و همکاران نیز روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی را برای تشخیص گل‌های میوه انبه، فلفل دلمه‌ای و خربزه به کاربردند [۱۰, ۱۱]. مایکل[5] و همکاران با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، موفق به شناسایی و طبقه‌بندی خط مرکزی و درختان منفرد مرکبات در باغ‌های پرتراکم شده و به‌دقت ۹۴% در هفت باغ مختلف دست یافتند. این مطالعات نشان می‌دهد که یادگیری ماشین می‌تواند ابزار مؤثری برای شناسایی و طبقه‌بندی گونه‌های درختی باشد[۱۲]. اما استفاده از مدل‌های درخت بنیاد که کمتر موردتوجه قرارگرفته‌اند می‌توانند گزینه‌ای سریع و دقیق برای داده‌های پهپادی چند طیفی محسوب شوند.

علاوه بر این، در مطالعه‌ای در آلمان، روش طبقه‌بندی نظارت‌شده مبتنی بر شیء با مدل رگرسیون منطقی چندجمله‌ای بر روی تصاویر چند طیفی برای ارزیابی تنوع گونه‌ها و سطوح آسیب درختان استفاده شد، که دقت کلی ۸۳% برای طبقه‌بندی گونه‌ها و ۷۳% برای سطوح آسیب به دست آمد[۱۳]. این مطالعه اهمیت انتخاب الگوریتم مناسب برای بهبود دقت شناسایی گونه‌ها را نشان می‌دهد و بر مزایای روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده در داده‌های چند طیفی تأکید دارد.

لی[6] و همکاران چارچوبی مبتنی بر یادگیری ماشین برای تشخیص و شمارش درختان نخل روغنی در مزارع شلوغ ارائه نمودند، که شامل آموزش مدل با نمونه‌های دستی و پیش‌بینی مکان هر درخت بود. دقت کلی بین ۹۶% و ۹۹% گزارش شد و بیش از ۹۶% درختان به‌درستی شناسایی شدند[۱۴]. این مطالعه نشان می‌دهد که روش‌های نظارت‌شده یادگیری ماشین می‌توانند با دقت بالا و نیاز کمتر به نمونه‌برداری میدانی، برای داده‌های پهپادی چند طیفی مناسب باشند [۱۵].

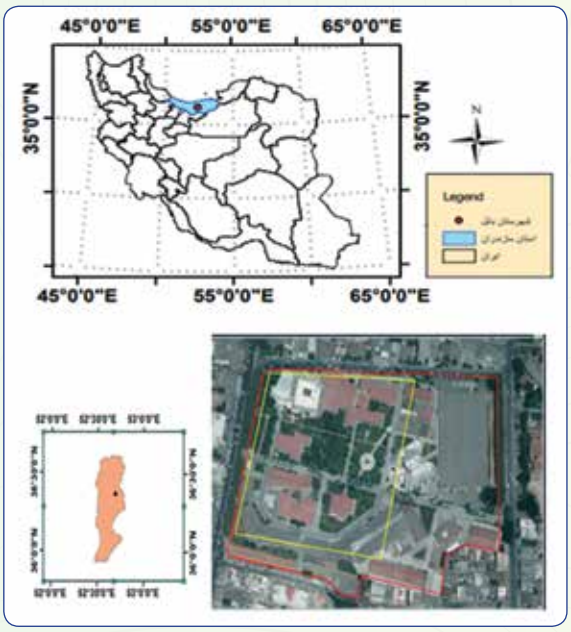
در این پژوهش، یک چارچوب نظارت‌شده مبتنی بر یادگیری ماشین با بهره‌گیری از تصاویر پهپادی چند طیفی پنج باندی ارائه‌شده است، که امکان شناسایی دقیق گونه‌های مرکبات، نخل و افرا در منطقه بابل را فراهم می‌آورد.

علاوه بر این، مدل‌های درخت بنیاد مانند Random Forest و Extra Trees که کمتر در مطالعات مشابه استفاده‌شده‌اند، در این تحقیق ارزیابی و مقایسه شده‌اند. با استخراج ویژگی‌های طیفی و مورفولوژیکی و ادغام آن‌ها در مدل‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، دقت شناسایی گونه‌ها افزایش‌یافته و نیاز به نمونه‌برداری میدانی گسترده کاهش می‌یابد. بدین ترتیب، این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب داده‌های پهپادی چند طیفی با مدل‌های درخت بنیاد یادگیری ماشین، ابزار مؤثری برای مدیریت هوشمند باغ‌های مرکبات و پایش فضاهای سبز شهری فراهم می‌نماید.

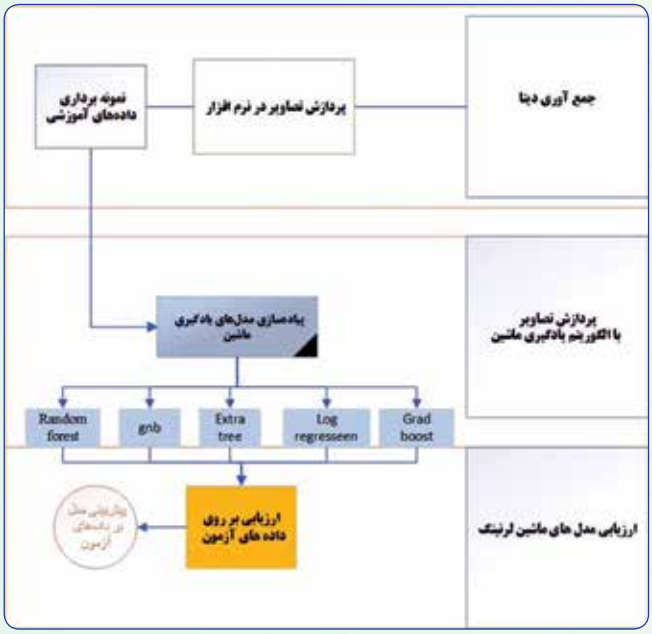
۲- مواد و روش

محدوده موردمطالعه در این پژوهش، منطقه شهری بابل واقع در استان مازندران انتخاب شد. این منطقه به‌عنوان یک اکوسیستم سبز شهری، دارای تنوع بالایی از گونه‌های درختی شامل مرکبات، سوزنی‌برگ‌ها و پهن برگ‌های بومی و زینتی است و زمینه مناسبی برای آزمون روش‌های تشخیص خودکار گونه‌های درختی فراهم می‌نماید. تصاویر هوایی چند طیفی پنج باندی با استفاده از پهپادی مجهز به حسگر پیشرفته برای کل محدوده جمع‌آوری شد. داده‌های میدانی که با حضور در عرصه مشاهده‌شده‌اند؛ برای توسعه مدل‌های یادگیری ماشین نظارت‌شده در شناسایی گونه‌های مرکبات و ارزیابی تاج‌پوشش درختان به‌عنوان داده آموزشی مدل‌ها به کار گرفته خواهند شد. بلوک دیاگرام روش تحقیق در شکل شماره ۱ نمایش داده‌شده است و شکل شماره ۲ تصویر هوایی محدوده موردمطالعه را نشان می‌دهد. این تصویر هوایی کمک می‌کند تا پراکنش و ساختار فضایی گونه‌های درختی به‌صورت واضح دیده شود و ارزیابی‌های مدل‌های یادگیری ماشین بر اساس داده‌های واقعی و مقیاس محلی انجام پذیرد.

2. Csillik
3. Wang
4. Sa
5. Mikel
6. Li



شکل۲: عکس هوایی منطقه



شکل ۱: بلوک دیاگرام روش پیشنهادی در تعیین گونه درختی مبنی بر مدل یادگیری ماشین

پس از اخذ تصاویر پهپادی، داده‌ها وارد نرم‌افزار پردازش شدند و با استفاده از ابزارهای مربوطه، مدل موزاییک عکسی[۷] از کل محدوده تولید گردید. این ارتوموزاییک عکسی شامل پنج باند طیفی است و پایه‌ای مناسب برای تحلیل‌های بعدی فراهم می‌نماید. در مرحله بعد، نمونه‌برداری داده‌های آموزشی در نرم‌افزار ENVI انجام گرفت تا ورودی مناسبی برای مدل‌های یادگیری ماشین فراهم گردد. این مرحله، امکان استخراج دقیق ویژگی‌های طیفی و فضایی هر درخت و ایجاد مجموعه داده‌ای باکیفیت برای آموزش الگوریتم‌ها را فراهم می‌نماید.

برای شناسایی و طبقه‌بندی گونه‌های درختی، پنج الگوریتم یادگیری ماشین انتخاب شدند:

Random Forest (RF)، Logistic Regression (LR)، Gaussian Naive Bayes (GNB)، Extra Trees(ET) و Gradient Boosting (GB). انتخاب این الگوریتم‌ها بر اساس توانایی آن‌ها در پردازش داده‌های چند طیفی و قابلیت تشخیص ویژگی‌های پیچیده انجام خواهد گرفت. هر الگوریتم با استفاده از داده‌های آموزشی تعریف‌شده در مرحله قبل، تعلیم‌یافته تا قادر به شناسایی الگوهای طیفی و مورفولوژیکی مربوط به گونه‌های مختلف درختی گردد.

در شکل شماره ۳، ارتوموزاییک عکسی پنج باندی از منطقه موردمطالعه نشان داده‌شده است که توزیع فضایی گونه‌ها و ساختار تاج‌پوشش درختان را به‌طور واضح نمایش می‌دهد. این تصویر، پایه‌ای برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها فراهم می‌نماید و به محقق اجازه مقایسه نتایج طبقه‌بندی با داده واقعیت زمینی را خواهد داد.

پس از آماده‌سازی داده‌ها، مراحل پیاده‌سازی و آموزش الگوریتم‌ها با استفاده از محیط برنامه‌نویسی Python و کتابخانه Scikit-learn کد نویسی شد. معماری هر الگوریتم با توجه به خصوصیات داده‌های چند طیفی طراحی و تنظیم گردید و فرآیند آموزش، اعتبارسنجی و ارزیابی مدل‌ها با دقت صورت پذیرفت. این روند گام‌به‌گام توانایی مدل‌ها جهت تشخیص گونه‌ها از طریق ویژگی‌های متمایزکننده را تضمین می‌نماید، که منجر به تولید محصول باکیفیت خواهد شد.



شکل ۳: ارتو موزاییک منطقه

7. Ortho Mosaic

۲-۱- مدل‌های یادگیری ماشین

۲-۱-۱- جنگل تصادفی (RF)

یک الگوریتم یادگیری ماشین مبتنی بر درخت تصمیم است که بر پایه آموزش مجموعه‌ای از درختان مستقل عمل می‌نماید. در این رویکرد، هر درخت با استفاده از زیرمجموعه‌ای تصادفی از داده‌ها و ویژگی‌ها ساخته می‌شود و پیش‌بینی نهایی مدل از طریق رأی‌گیری اکثریت[8] خروجی تمام درختان به دست می‌آید. این ویژگی باعث می‌شود که مدل نسبت به بیش برازش[9] مقاوم باشد و توانایی تعمیم به داده‌های جدید را افزایش دهد. در کاربرد تشخیص گونه‌های درختی با استفاده از تصاویر پهپادی چند طیفی، RF قادر است ترکیب پیچیده‌ای از مقادیر باندهای آبی، سبز، قرمز، نزدیک مادون‌قرمز و لبه قرمز را یاد بگیرد و برای هر پیکسل تصویر، پیش‌بینی دقیقی از نوع درخت ارائه دهد. این الگوریتم علاوه بر دقت بالا، سرعت نسبتاً مناسب در پردازش داده‌های بزرگ و قابلیت تفسیر آسان را نیز فراهم می‌نماید، که آن را به گزینه‌ای مناسب برای مسائل طبقه‌بندی چند کلاسه در داده‌های چند طیفی تبدیل می‌نماید[۱۶].

۲-۱-۲- رگرسیون لجستیک (LR)

رگرسیون لجستیک، به‌ویژه در نسخه چندجمله‌ای آن، یک الگوریتم طبقه‌بندی آماری ساده و قابل تفسیر است که برای مسائل چند کلاسه مناسب می‌باشد. این روش با استفاده از ترکیب ویژگی‌های چندجمله‌ای، قادر است مرزهای تصمیم‌گیری غیرخطی را نیز فراگیرد، درحالی‌که پایه آن بر اصول آماری ساده و قابل‌فهم است. در کاربرد تشخیص گونه‌های درختی در این پژوهش، الگوریتم رگرسیون لجستیک چند کلاسه، احتمال تعلق هر نمونه (یا هر پیکسل تصویر) به هر کلاس درختی را محاسبه می‌نماید و کلاس با بیشترین احتمال به‌عنوان پیش‌بینی نهایی انتخاب می‌شود. این الگوریتم به‌ویژه زمانی مؤثر است که داده‌ها به‌طور تقریبی خطی از هم قابل‌تفکیک باشند، اما با افزودن ویژگی‌های چندجمله‌ای، قابلیت یادگیری روابط غیرخطی بین باندهای مورداستفاده را نیز پیدا می‌نماید. استفاده از این روش، علاوه بر سادگی و قابلیت تفسیر بالا، امکان بررسی تأثیر هر ویژگی بر پیش‌بینی نهایی را نیز فراهم می‌آورد و بنابراین در مطالعاتی که شفافیت مدل و تفسیر علمی نتایج اهمیت دارد، گزینه‌ای مناسب به شمار می‌رود [۱۷].

۲-۱-۳- بیز ساده گوسی (GNR)

این الگوریتم یک روش طبقه‌بندی سریع و ساده است که بر اساس قضیه بیز عمل می‌نماید و فرض اساسی آن، استقلال ویژگی‌ها است و هر کلاس دارای توزیع گوسی (نرمال) خاص خود می‌باشد. باوجوداینکه این فرض‌ها در بسیاری از مسائل واقعی کاملاً دقیق نیستند، GNB به دلیل سرعت‌بالا و پیچیدگی محاسباتی پایین، در مسائل با داده‌های بزرگ یا زمانی که منابع محاسباتی محدود هستند، عملکرد قابل قبولی ارائه می‌دهد. در کاربرد تشخیص گونه‌های درختی در این پژوهش، الگوریتم GNB با پردازش سریع ویژگی‌های باندهای موردمطالعه تخمینی از نوع درخت برای هر پیکسل ارائه می‌دهد و به‌این‌ترتیب می‌تواند به‌عنوان یک روش کم‌هزینه و زمان‌بر در کنار الگوریتم‌های پیچیده‌تر مورداستفاده قرار گیرد. این ویژگی باعث می‌شود که GNB به‌ویژه برای کاربردهای محلی با حجم بالای داده و محدودیت منابع، گزینه‌ای مناسب باشد.

۲-۱-۴- Extra Trees

مشابه جنگل تصادفی با این تفاوت که در این روش تقسیم‌بندی‌های گره‌ها به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب می‌شوند، نه بر اساس بهترین ویژگی. این رویکرد باعث سرعت بالاتر در آموزش و تنوع بیشتر بین درختان می‌شود و به مدل کمک می‌کند نسبت به نویز داده‌ها مقاوم‌تر باشد. در کاربرد تشخیص گونه‌های درختی با تصاویر پهپادی چند طیفی، Extra Trees می‌تواند به‌عنوان یک الگوریتم سریع، مقاوم به نویز و با توانایی تعمیم مناسب برای طبقه‌بندی پیکسل‌ها مورداستفاده قرار گیرد. این الگوریتم با ایجاد تعداد زیادی درخت با تقسیم‌بندی‌های تصادفی، الگوهای پیچیده ویژگی‌های طیفی و مورفولوژیکی را یاد می‌گیرد و امکان ارائه پیش‌بینی دقیق برای هر پیکسل تصویر را فراهم می‌کند [۱۹].

۲-۱-۵- Gradient Boosting

GB بر اساس یک رویکرد یادگیری تجمعی[10] عمل می‌کند، به این صورت که مدل‌های ضعیف به‌صورت

8. Majority Voting
9. Overfitting
10. Ensemble Learning

مرحله‌ای ساخته می‌شوند و هر مدل جدید تلاش می‌کند خطاهای مدل‌های قبلی را اصلاح کند. این فرآیند باعث می‌شود که مدل نهایی بتواند روابط پیچیده بین ویژگی‌ها را به‌خوبی یاد بگیرد و دقت بالاتری نسبت به الگوریتم‌های تک‌درختی ارائه دهد. بااین‌حال، ساخت مدل‌های متوالی و اصلاح خطاها، زمان آموزش بیشتری نیاز دارد و به منابع محاسباتی بیشتری وابسته است. در کاربرد تشخیص گونه‌های درختی با تصاویر پهپادی چند طیفی،GB می‌تواند دقت بسیار بالایی در طبقه‌بندی پیکسل‌ها فراهم کند، به‌ویژه در شرایطی که روابط غیرخطی و پیچیده بین مقادیر باندهای موردمطالعه وجود دارد[۲۰].

۳- نتایج

دستاوردهای این پژوهش از منظر دقت شناسایی گونه‌های درختی، توانایی تفکیک سطوح تاج‌پوشش و کارایی محاسباتی الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظارت‌شده مبتنی بر داده‌های پهپادی چند طیفی پنج باندی ارائه‌شده است (جدول ۱). ارزیابی عملکرد مدل‌ها با استفاده از اعتبارسنجی میدانی و مقایسه با روش‌های مرسوم RGB و چند طیفی نشان می‌دهد که انتخاب الگوریتم مناسب نقش بسیار مهمی در افزایش دقت تشخیص گونه‌ها و کاهش خطا دارد (شکل ۴). نتایج به‌وضوح برتری دو الگوریتم مبتنی بر درخت تصمیم، یعنی RF و ET را نسبت به سایر روش‌ها در تشخیص چهار گونه اصلی مرکبات (پرتقال و نارنگی)، افرا، نخل و کاج نشان می‌دهد. این الگوریتم‌ها با دستیابی به‌دقت کلی حدود ۸۲%، علاوه بر توانایی تفکیک دقیق گونه‌ها، عملکرد قابل قبولی در شناسایی ویژگی‌های فیزیولوژیک تاج‌پوشش ارائه نموده‌اند. نکته قابل‌توجه این است که این الگوریتم‌ها، به دلیل ساختار درخت بنیاد و ترکیب خروجی چندین درخت، توانایی یادگیری روابط پیچیده میان مقادیر طیفی باندهای موردمطالعه را داشته و نسبت به تغییرات جزئی در داده‌ها مقاوم‌تر هستند.

مدل	دقت کلی	زمان یادگیری (ثانیه)	F1-score
ET	٪۸۲	۵۸۰.۴۴	٪۶۸/۵
GNB	٪۴۰/۵	۰.۸۲	٪۲۲/۵
GB	٪۷۷/۷	۹۳۹۶.۷۷	٪۵۵/۲
LR	٪۶۲/۶	۱۰۲.۶۲	٪۳۲/۵
RF	٪۸۲/۱	۱۳۰۲.۸۵	٪۶۸/۵

جدول۱: دقت و زمان محاسبات الگوریتم‌ها

در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر،GB دقت کلی ٪۷۷ را نشان می‌دهد که اگرچه قابل‌قبول است، اما به دلیل ماهیت ترتیبی و مرحله‌ای آموزش مدل‌ها، زمان یادگیری قابل‌توجهی(بیش از ۹۳۰۰ ثانیه) صرف شده است. این امر نشان می‌دهد که گرچه GB توانایی یادگیری روابط غیرخطی و اصلاح خطاهای مدل‌های قبلی را دارد، اما در کاربردهای عملی با حجم داده بالا، هزینه محاسباتی قابل‌توجهی دارد.

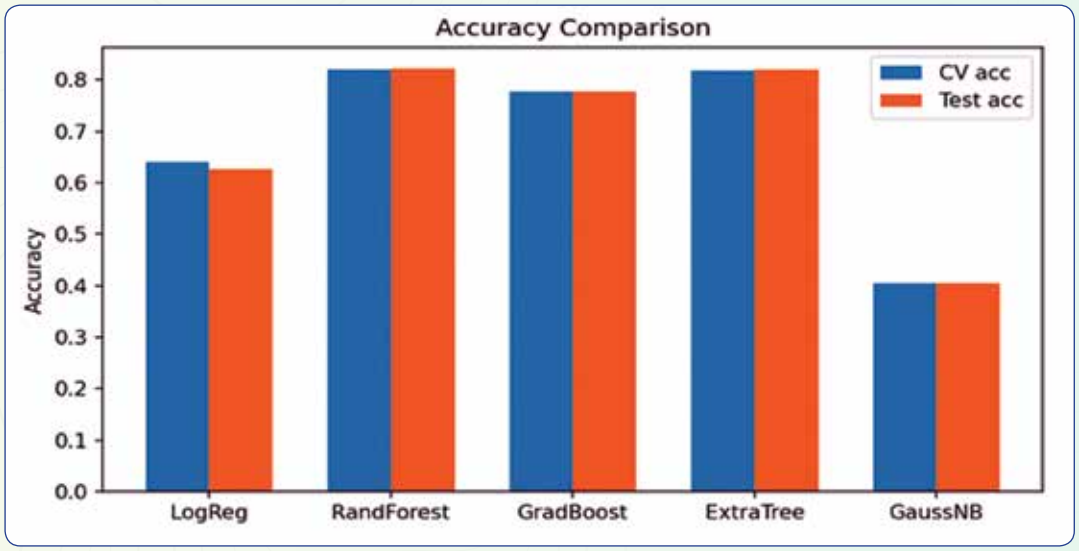
از سوی دیگر، الگوریتم LR وGNB با دقت‌های ٪۶۶ و ٪۵۴ عملکرد پایین‌تری ارائه نمودند. این تفاوت قابل‌توجه با روش‌های درخت بنیاد نشان‌دهنده محدودیت این الگوریتم‌ها در یادگیری پیچیدگی‌های موجود در داده‌های چند طیفی و ویژگی‌های غیرخطی تاج‌پوشش درختان است. بااین‌حال، GNB بازمان یادگیری بسیار کم (کمتر از یک ثانیه) و LR بازمان نسبتاً کوتاه (حدود ۱۰۲ ثانیه) نشان دادند(شکل ۵) که در شرایطی که سرعت پردازش و منابع محاسباتی محدود هستند، می‌توان از این الگوریتم‌ها به‌عنوان گزینه‌های سریع و سبک استفاده نمود.

شاخص‌های F1-score نیز نشان‌دهنده تعادل میان دقت و فراخوانی مدل‌ها است. RF وET با F1-score حدود ٪۶۸ بهترین عملکرد را در میان الگوریتم‌ها داشتند، که علاوه بر دقت کلی، نشان‌دهنده توانایی مناسب این الگوریتم‌ها در شناسایی هر کلاس به‌صورت متعادل است. در مقابل،LR و GNB با F1-score پایین‌تر، ضعف خود را در شناسایی دقیق گونه‌ها نشان دادند، به‌ویژه در کلاس‌هایی که نمونه‌های آموزشی کمتر یا پراکندگی پیچیده‌ای داشتند.

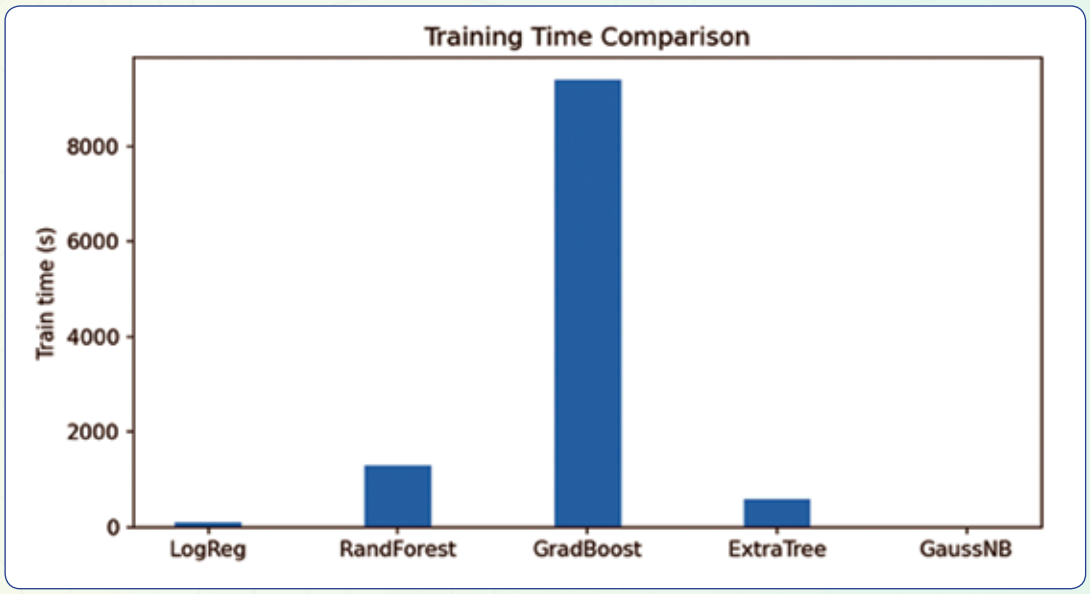
از منظر تصویری، مقایسه طبقه‌بندی پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم‌های درخت بنیاد قادر به تولید نقشه‌های گونه‌بندی دقیق با تفکیک فضایی بالا هستند. تصاویر پیش‌بینی مدل‌ها،

در کنار ارزیابی میدانی، تأیید می‌نمایند، که ترکیب داده‌های پهپادی چند طیفی و مدل‌های درخت بنیاد می‌تواند ابزاری قدرتمند برای مدیریت باغ‌ها و فضای سبز شهری باشد.

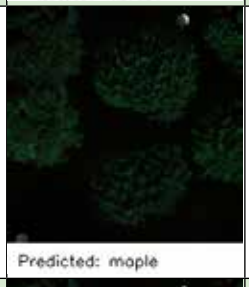
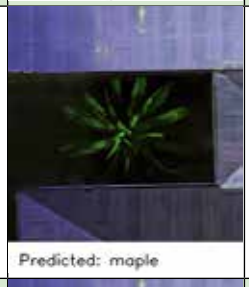
به‌طورکلی، تحلیل نتایج نشان می‌دهد که در کاربردهای تشخیص گونه‌های درختی با تصاویر پهپادی چند طیفی، انتخاب الگوریتم‌های درخت بنیاد نه‌تنها دقت بالا و مقاومت به نویز را فراهم می‌کند، بلکه با ارائه نتایج قابل تفسیر و زمان پردازش نسبتاً مناسب، گزینه‌ای عملی و کارآمد برای مطالعات محلی و مدیریت منابع طبیعی محسوب می‌شوند. الگوریتم‌های آماری ساده مانند LR وGNB، باوجود محدودیت دقت، همچنان برای شرایطی با محدودیت محاسباتی یا داده کم، ارزش کاربردی دارند، اما برای تحلیل دقیق‌تر و پایش‌های جامع، روش‌های مبتنی بر درخت تصمیم توصیه می‌شوند. جدول شماره ۲ نمونه‌ای از درختان پیش‌بینی‌شده توسط هریک از ۵ مدل یادگیری ماشین را نشان می‌دهد.



شکل۴: نمودار مقایسه دقت حاصل از روش‌های مختلف



شکل۵: نمودار مقایسه زمان محاسبات

	تصویر اول	نتیجه	تصویر دوم	نتیجه	تصویر سوم	نتیجه	تصویر چهارم	نتیجه
Random Forest	 Predicted: maple	✓	 Predicted: maple	✓	 Predicted: citrus	✓	 Predicted: palm	✓
Logistic Regression	 Predicted: maple	✓	 Predicted: maple	✓	 Predicted: maple		 Predicted: maple	✗
Gaussian Naive Bayes	 Predicted: citrus	✗	 Predicted: citrus	✗	 Predicted: citrus	✓	 Predicted: citrus	✗
Extra Trees	 Predicted: maple	✓	 Predicted: maple	✓	 Predicted: citrus	✓	 Predicted: palm	✓
Gradient Boosting	 Predicted: maple	✓	 Predicted: maple	✓	 Predicted: citrus	✓	 Predicted: palm	✓

جدول۲ : نمونه‌ای تصادفی از پیش‌بینی مدل‌های یادگیری ماشین بر روی تصاویر آزمون

۴- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

این مطالعه باهدف ارائه یک چارچوب خودکار و نظارت‌شده برای شناسایی گونه‌های درختی مرکبات، افرا، نخل و کاج در منطقه بابل با استفاده از تصاویر پهپادی چند طیفی پنج باندی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین انجام شد. یافته‌ها نشان دادند که ترکیب داده‌های پهپادی چند طیفی با مدل‌های یادگیری ماشین، به‌ویژه الگوریتم‌های درخت بنیاد، می‌تواند دقت بالایی در شناسایی گونه‌ها و تفکیک سطوح تاج‌پوشش ارائه دهد. در میان مدل‌های ارزیابی‌شده، RF

و ET با دستیابی به دقت کلی حدود ۸۲٪ عملکرد برتر را نشان دادند. نکته قابل‌توجه این است که ET علاوه بر دقت بالا، به دلیل سرعت پردازش بیشتر و تنوع بالاتر در تقسیم‌بندی‌های گره‌ها، مزیت عملی مهمی برای کاربردهای با داده‌های حجیم فراهم می‌آورد. این برتری ناشی از توانایی ذاتی این الگوریتم‌ها در مدیریت داده‌های چند باندی با ابعاد بالا و یادگیری روابط غیرخطی پیچیده میان مقادیر طیفی و مورفولوژیکی است. سایر الگوریتم‌ها باوجود دقت پایین‌تر، هر یک مزایایی ارائه نمودند؛ به‌ویژه الگوریتم‌های آماری ساده بازمان پردازش کوتاه، گزینه مناسبی برای مواقعی هستند که منابع محاسباتی محدود یا نیاز به تحلیل سریع داده‌ها وجود دارد. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش تأکید می‌کنند که استفاده از مدل‌های درخت بنیاد یادگیری ماشین همراه با تصاویر پهپادی چند طیفی، یک رویکرد کارآمد، دقیق و قابل تفسیر برای مدیریت هوشمند باغ‌های مرکبات و پایش فضای سبز شهری فراهم می‌آورد و می‌تواند در مطالعات پایش زیستی، ارزیابی سلامت تاج‌پوشش و برنامه‌ریزی کشاورزی دقیق به‌طور مؤثر مورداستفاده قرار گیرد.

مراجع و منابع

1. Simmons, D., Citrus fruits: Production, consumption and health benefits. 2016: Nova Publishers.
2. Garza, B.N., et al., Quantifying citrus tree health using true color UAV images. Remote Sensing, 2020. 12(1): p. 170.
3. Safonova, A., et al., Detection of fir trees (Abies sibirica) damaged by the bark beetle in unmanned aerial vehicle images with deep learning. Remote sensing, 2019. 11(6): p. 643.
4. Liu, T., et al., Comparing fully convolutional networks, random forest, support vector machine, and patch-based deep convolutional neural networks for object-based wetland mapping using images from small unmanned aircraft system. GIScience & remote sensing, 2018. 55(2): p. 243-264.
5. Shao, Z., et al., A multi-view dense point cloud generation algorithm based on low-altitude remote sensing images. Remote Sensing, 2016. 8(5): p. 381.
6. Qin, W.-C., et al., Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. Crop Protection, 2016. 85: p. 79-88.
7. Näsi, R., et al., Estimating biomass and nitrogen amount of barley and grass using UAV and aircraft based spectral and photogrammetric 3D features. Remote Sensing, 2018. 10(7): p. 1082.
8. Malek, S., et al., Efficient framework for palm tree detection in UAV images. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014. 7(12): p. 4692-4703.
9. Csillik, O., et al., Identification of citrus trees from unmanned aerial vehicle imagery using convolutional neural networks. Drones, 2018. 2(4): p. 39.
10. Wang, Z., J. Underwood, and K.B. Walsh, Machine vision assessment of mango orchard flowering. Computers and Electronics in Agriculture, 2018. 151: p. 501-511.
11. Sa, I., et al., Deepfruits: A fruit detection system using deep neural networks. sensors, 2016. 16(8): p. 1222.
12. Zortea, M., et al. Automatic citrus tree detection from UAV images based on convolutional neural networks. in Proceedings of the 31th Sibgrap/WIA—Conference on Graphics, Patterns and Images, SIBGRAPI. 2018.
13. Waser, L.T., et al., Evaluating the potential of WorldView-2 data to classify tree species and different levels of ash mortality. Remote Sensing, 2014. 6(5): p. 4515-4545.
14. Guirado, E., et al., Deep-learning versus OBIA for scattered shrub detection with Google earth imagery: Ziziphus Lotus as case study. Remote Sensing, 2017. 9(12): p. 1220.
15. Li, W., et al., Deep learning based oil palm tree detection and counting for high-resolution remote sensing images. Remote sensing, 2016. 9(1): p. 22.
16. Rigatti, S.J., Random forest. Journal of insurance medicine, 2017. 47(1): p. 31-39.
17. LaValley, M.P., Logistic regression. Circulation, 2008. 117(18): p. 2395-2399.
18. Kamel, H., D. Abdulah, and J.M. Al-Tuwaijari. Cancer classification using gaussian naive bayes algorithm. in 2019 international engineering conference (IEC). 2019. IEEE.
19. Mastelini, S.M., et al., Online extra trees regressor. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2022. 34(10): p. 6755-6767.
20. de Waal[1], H., S. Nyawa, and S.F. Wamba. and Prescription Using Machine Learning. in Dynamics of Information Systems: 6th International Conference, DIS 2023, Prague, Czech Republic, September 3–6, 2023, Revised Selected Papers. 2023. Springer Nature.

طراحی و توسعه سامانه‌ی اطلاعات مکانی تحت وب برای مدیریت و پایش مخاطرات طبیعی

(گزارش‌های مکانی و روش‌های مختلف جستجوی عوارض)

ابوذر شهمرادی، کارشناس پژوهش و توسعه‌ی سازمان نقشه‌برداری کشور

چکیده

با توجه به‌ضرورت مدیریت مؤثر در کنترل و کاهش اثرات بلایای طبیعی نظیر سیل، زلزله و سایر مخاطرات، طراحی و پیاده‌سازی یک سامانه یکپارچه برای پایش و مدیریت بحران در تمامی مراحل قبل، حین و پس از وقوع حادثه امری لازم و اجتناب‌ناپذیر است. چنین سامانه‌ای می‌تواند با فراهم‌سازی اطلاعات مکانی دقیق و بهنگام، نقش بسزایی در کاهش خسارات جانی و مالی ایفا نماید. دسترسی آنی و نظام‌مند به نقشه‌ها و داده‌های مرتبط با مخاطرات، امکان تصمیم‌گیری سریع‌تر و کارآمدتر را برای مدیران و نیروهای امدادی فراهم کرده و موجب تسریع در عملیات امدادرسانی و بهینه‌سازی تخصیص منابع می‌شود. با توجه به تجربیات موفق در سایر کشورها، بهره‌گیری از سامانه‌های اطلاعات مکانی تحت وب (WebGIS) به‌عنوان بستری مناسب برای توسعه چنین زیرساختی، راهکاری مؤثر و قابل‌اتکا محسوب می‌شود. در این پژوهش، به طراحی و ایجاد یک پایگاه داده مکانی جامع برای ثبت و مدیریت اطلاعات مربوط به مخاطرات طبیعی پرداخته‌شده است. همچنین، موضوع اشتراک‌گذاری داده‌ها با تأکید بر تضمین امنیت اطلاعات، حفظ یکپارچگی داده‌ها و رعایت استانداردهای تبادل داده‌های مکانی موردتوجه قرارگرفته است. در همین راستا، یک سامانه اطلاعات مکانی تحت وب توسعه‌یافته است که از قابلیت‌های پایه نرم‌افزارهای GIS شامل ناوبری، اندازه‌گیری، مقیاس، سیستم مختصات و سیستم تصویر، انواع نقشه‌های پایه، جستجوی مختصات و اطلاعات توصیفی، شناسایی عوارض و تهیه خروجی چاپی برخوردار است. علاوه بر این، سامانه دارای قابلیت‌های پیشرفته‌تری نظیر ارسال برخط گزارش‌های مکانی مرتبط با مخاطرات، جستجو و تحلیل عوارض موجود در لایه‌ها در یک محدوده‌ی مشخص و همچنین به‌روزرسانی اطلاعات شبکه معابر می‌باشد که درمجموع کارایی آن را در مدیریت بحران افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: مخاطرات طبیعی، سامانه اطلاعات مکانی تحت وب (WebGIS)، مدیریت مخاطرات، نقشه.

۱- مقدمه

مدیریت مخاطرات طبیعی در دنیا تاکنون با دو روش متفاوت انجام‌شده است. روش اول مقابله با مخاطرات طبیعی بعد از وقوع و روش دوم شامل مدیریتی مشخص که دربرگیرنده کلیه مراحل مربوط به مخاطرات طبیعی شامل مرحله قبل از وقوع، مرحله وقوع وامداد و مرحله پس از وقوع و بازسازی و نوسازی می‌باشد. ابعاد گسترده اجرای طرح مدیریت یکپارچه مخاطرات طبیعی، حجم عظیمی از داده‌های مکانی و توصیفی را تولید می‌کند که بدون سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)[1] ساماندهی آن‌ها برای مدیریت یکپارچه غیرممکن است. این پایگاه داده ازنظر کنترل کیفیت داده‌ها، به هنگام سازی و قراردادن داده‌ها در اختیار سازمان‌های تصمیم گیر نیاز به مدیریت دارد و با توجه به موارد مشابه در سایر نقاط جهان استفاده از فناوری WebGIS برای ایجاد سامانه‌ای یکپارچه جهت پایش و مدیریت مخاطرات در مراحل مختلف وقوع می‌تواند مفید واقع شود.

با افزایش فراوانی و شدت مخاطرات طبیعی، بهره‌گیری از WebGIS[2] به‌عنوان ابزاری کارآمد برای مدیریت، پایش و تصمیم‌گیری به‌هنگام بیش‌ازپیش موردتوجه پژوهشگران قرارگرفته است. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه طراحی، توسعه و به‌کارگیری

1. Geographic Information Systems

2. Web-based Geographic Information Systems

این سامانه‌ها باهدف ارتقای آمادگی، کاهش خسارات و بهبود مدیریت بحران انجام‌شده است که در ادامه مرور می‌شوند. وینا و همکاران(۲۰۱۲)، یک سامانه هشداردهنده سونامی برای جزیره سوماترا در اندونزی بر اساس مجموعه‌ای از مدل‌های انتشار سونامی و مدل‌های جاری شدن سیل ایجاد نمودند. هدف از این مدل تعیین نقشه خطر سیل و سونامی با دوره بازگشت مختلف بوده است. مدل استفاده‌شده اطلاعات ارتفاعی امواج حاصل از سونامی نزدیک به ساحل و میزان طغیان رودخانه را شبیه‌سازی می‌نماید[۳]. آی و همکاران (۲۰۱۶) چارچوبی مشارکتی مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی تحت وب را برای مدیریت ریسک مخاطرات آب و هواشناسی معرفی می‌کند که بر اساس داده‌های تجربی سه مطالعه موردی در اروپا توسعه داده‌شده است. چارچوب پیشنهادی با یکپارچه‌سازی داده‌های مکانی، پایش شرایط و تسهیل تبادل اطلاعات میان ذی‌نفعان، فرآیند ارزیابی خطر و تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشد. نتایج نشان داد بهره‌گیری از رویکردهای تعاملی و مشارکتی WebGIS موجب افزایش دقت تحلیل ریسک و ارتقای کارایی مدیریت بحران می‌شود [۴]. هونگ و تسای (۲۰۲۰)، سامانه‌ای تحت وب برای شبیه‌سازی، تحلیل و نمایش بلایای طبیعی ناشی از سونامی و سیل پیشنهاد دادند. این سامانه به‌عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری طراحی‌شده است تا کاربران بتوانند سناریوهای واقعی یا شبیه‌سازی‌شده را وارد کرده و به‌صورت خودکار اطلاعات مربوط به ارزیابی خسارات را به شکل تصویری دریافت کنند. نمایش سه‌بعدی علاوه بر ایجاد درکی شهودی برای تصمیم‌گیرندگان، قابلیت تغییر نمادهای ساختمان‌ها را نیز دارد تا اثرات از دیدگاه‌های مختلف به‌صورت برجسته نشان داده شوند [۵]. وو و همکاران(۲۰۲۲)، به طراحی و پیاده‌سازی یک سامانه اطلاعاتی مخاطرات مبتنی بر WebGIS برای زلزله سال ۲۰۰۸ ونچوان چین پرداختند که باهدف گردآوری، مدیریت و نمایش داده‌های مکانی و خسارات ایجادشده توسعه‌یافته است. سامانه با یکپارچه‌سازی داده‌های زمین‌لرزه، رانش زمین، تخریب زیرساخت‌ها و اطلاعات امدادی، امکان تحلیل سریع و تصمیم‌گیری مؤثر در مدیریت بحران را فراهم می‌کند. نتایج نشان داد استفاده از WebGIS موجب بهبود اشتراک‌گذاری اطلاعات، دسترسی برخط و هماهنگی میان سازمان‌های امدادی شده است[۶]. رودریگز داسیلوا و همکاران(۲۰۲۳)، با تأکید برافزایش شدت و فراوانی رخدادهای سیل، نیاز به ابزارهای یکپارچه برای مدل‌سازی، شبیه‌سازی و تحلیل مکانی سیلاب را مطرح کردند. این سامانه امکان تعریف محدوده جغرافیایی، اتصال حسگرها، تولید مش[۳]، اجرای سناریوهای سیل و تحلیل نتایج را برای کاربران و سازمان‌های مختلف فراهم می‌سازد[۷]. گورتی و همکاران(۲۰۲۴)، در یک پژوهش به طراحی و پیاده‌سازی یک پلتفرم WebGIS برای ارزیابی ریسک لرزه‌ای مبتنی بر سناریو و به‌صورت آنی در مقیاس ملی پرداختند که با تلفیق داده‌های مکانی، جمعیتی، ساختمانی و مدل‌های خطر و آسیب‌پذیری، پیامدهای زلزله را به‌صورت سناریو محور شبیه‌سازی می‌کند. این سامانه امکان نمایش تعاملی خسارات، تلفات و اختلالات زیرساختی را روی نقشه فراهم می‌سازد. نتایج نشان داد که این ابزار با افزایش سرعت و دقت تحلیل‌ها، از تصمیم‌گیری سریع و مدیریت مؤثر بحران پشتیبانی می‌کند [۸].

هدف اصلی این پژوهش راه‌اندازی یک پایگاه داده به‌منظور ایجاد یک زیرساخت داده مکانی و توصیفی و طراحی یک سامانه اطلاعات مکانی تحت وب برای پایش مخاطرات طبیعی که شامل ابزارهایی کاربردی برای دسترسی به داده‌ها در مناطق مختلف کشور، امکان جستجوی مکان با استفاده از مختصات، اطلاعات توصیفی و جستجو در یک محدوده مشخص (جستجوی مکانی) و همچنین امکان ارسال گزارش از مخاطرات رخداده به‌صورت آنلاین توسط مردم عادی می‌باشد.

۲- روش تحقیق

برای پیاده‌سازی این سامانه در مرحله‌ی اول به تبیین هدف طرح و تعیین نیاز کاربران پرداخته شد. در مرحله‌ی دوم طراحی مفهومی پروژه (مدل مفهومی) و بررسی داده‌های موجود انجام گردید. در مرحله‌ی سوم نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای موردنیاز بررسی و انتخاب شد. در مرحله‌ی چهارم طراحی و ایجاد پایگاه داده انجام شد که شامل بررسی و مطالعه درباره‌ی انتخاب نوع پایگاه داده جهت ذخیره‌سازی اطلاعات، تعیین جداول بانک اطلاعاتی، بررسی ارتباطات جداول با یکدیگر، کنترل ورودی‌ها و نحوه ارتباط دکمه‌ها و ابزارهای برنامه با جداول بانک، نصب و راه‌اندازی پایگاه

3. Mesh

داده، طراحی معماری پایگاه داده و پیاده‌سازی مدل مفهومی در بانک اطلاعاتی می‌باشد. در مرحله‌ی پنجم به طراحی و ایجاد رابط کاربری [۴](UI) با استفاده از HTML، CSS، jQuery ، JavaScript و OpenLayers پرداخته شد. این طراحی با توجه به ویژگی‌هایی که در مرحله اول برای کاربران در نظر گرفته‌شده صورت گرفت. در این مرحله سعی در کاربرپسند بودن رابط کاربری، بالا بودن سرعت و اجتناب از افزونی داده در انتقالات می‌باشد. با توجه به اینکه هر برنامه تحت وب برای ارتباط با پایگاه داده نیاز به یک‌زبان برنامه‌نویسی در سمت سرور دارد، بنابراین برای ایجاد ارتباط بین هرکدام از ابزارهای طراحی‌شده در مرحله قبل(مرحله پنجم) با بانک اطلاعاتی و امکان استفاده از ابزارهای طراحی‌شده در رابط کاربری که توسط کاربر قابل‌مشاهده است لازم است تا با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون در سمت سرور این ارتباط برقرار گردد که این کار در مرحله‌ی ششم صورت گرفت.

به‌منظور انتخاب پایگاه داده مناسب جهت ذخیره‌سازی داده‌ها، پایگاه داده‌های معروف و قدرتمندی مانند MySQL، Oracle، SQL Server و Postgre SQL موردمطالعه قرار گرفت و مزایا و معایب هرکدام بررسی شد و به دلایلی مانند متن‌باز[۵] بودن، استفاده از افزونه مکانی قدرتمند postgis برای انجام تحلیل‌های مکانی پایگاه داده Postgre SQL به‌عنوان پایگاه داده مناسب انتخاب گردید.

برای انتشار نقشه‌ها در محیط وب در میان نرم‌افزارهای متن‌باز نرم‌افزارهای MapServer و GeoServer از قابلیت‌های برتری برخوردارند. با استناد به مقالات ارائه‌شده برای مقایسه‌ی webmap server ها می‌توان این نرم‌افزارها را با در نظر گرفتن پارامترهای جدول شماره ۱ با یکدیگر مقایسه نمود که نتیجه این مقایسه در این جدول آورده شده است [۹,۱۰].

در این پروژه برای برنامه‌نویسی سمت کاربر و طراحی ابزارها، نوار ابزارها، جداول و پنجره‌ها در کنار تگ‌های HTML و CSS از زبان جاوا اسکریپت و همچنین کتابخانه jQuery استفاده‌شده است. همچنین برای کار با نقشه‌ها نیز چند کتابخانه متن‌باز با یکدیگر مقایسه شده‌اند و دراین‌بین کتابخانه‌های Leaflet و OpenLayers که هر دو متن‌باز بوده و بیشتر مورداستفاده قرارگرفته‌اند با یکدیگر مقایسه شدند (جدول ۲) که درنتیجه‌ی مقایسه و با توجه به هدف این پروژه کتابخانه OpenLayers مورداستفاده قرار گرفت.

پارامترهای مقایسه	GeoServer	MapServer
انواع فرمت های ورودی پشتیبانی شده		+
انواع فرمت های خروجی پشتیبانی شده	+	
درجه ی پشتیبانی برای styling	۴ افزونه SLD دارد	افزونه SLD ندارد
تبعیت از استانداردهای OGC	+	+
کیفیت مستندات موجود برای کاربر	+	+
زمان پاسخ دهی (shapefile و postgis)	shapefile و postgis	shapefile
سرعت عملیات	+	
متن باز بودن سرور نقشه	+	+

جدول ۱: مقایسه GeoServer و MapServer

برای انتخاب زبان برنامه‌نویسی سمت سرور، زبان‌های مختلفی مانند جاوا، سی شارپ(C#) و پایتون مورد بررسی قرار گرفتند که هرکدام دارای قابلیت‌های فراوان، مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. پس از بررسی‌های انجام‌گرفته زبان برنامه‌نویسی پایتون به دلایلی مانند خوانا بودن و ساده بودن دستورات، متن‌باز و مستقل از سیستم‌عامل بودن، ایجاد API های REST، کتابخانه قدرتمند GDAL و امکانات متعدد برای تحلیل داده‌های مکانی به‌عنوان زبان برنامه‌نویسی سمت سرور برای این مطالعه مورداستفاده قرار گرفت.

4. User Interface

5. OpenSource

Open Layers	Leaflet
انعطاف پذیری بالاتر (flexibility)	سبک
عملکرد بالاتر (functionality)	
در کار با API ها ضعیف تر است (Low-Level API) و نیاز به کد نویسی بیشتری دارد	در کار با API ها قوی تر است و نیاز به کدنویسی کمتری دارد
نیاز به فضای ذخیره سازی بیشتری دارد	نیاز به فضای ذخیره سازی کمتری دارد
در هر مرورگری و با featureهای بیشتری نسبت به Leaflet نقشه را نمایش می دهد	مشکل collaboration بین pluginها را دارد و باعث ایجاد ناسازگاری ها و مشکلاتی هنگام استفاده از برنامه می شود
پلاگین های کمتری در مقایسه با Leaflet دارد	قابلیت توسعه با plugin های متنوع و زیاد
مناسب برای اضافه کردن featureهای زیاد به برنامه است	مناسب برنامه های ساده با نیازهای اولیه mapping
قابلیت سفارشی سازی بیشتری دارد	عمدتا برای برنامه های موبایل مورد استفاده قرار میگیرد
امکان اتصال راحت به سرورهای خارجی و fetch کردن اطلاعات از آنها	اتصال به سرورهای خارجی آسان نیست و نیاز به plugin دارد
قابلیت import اکسل از سرورهای دیگر را دارد	قابلیت import اکسل از سرورهای دیگر را دارد
جمع بندی	
مناسب برنامه های پیچیده (اپلیکیشن های GIS) و نیاز به کدنویسی بیشتری دارد	مناسب کاربردهای ساده و موبایل است

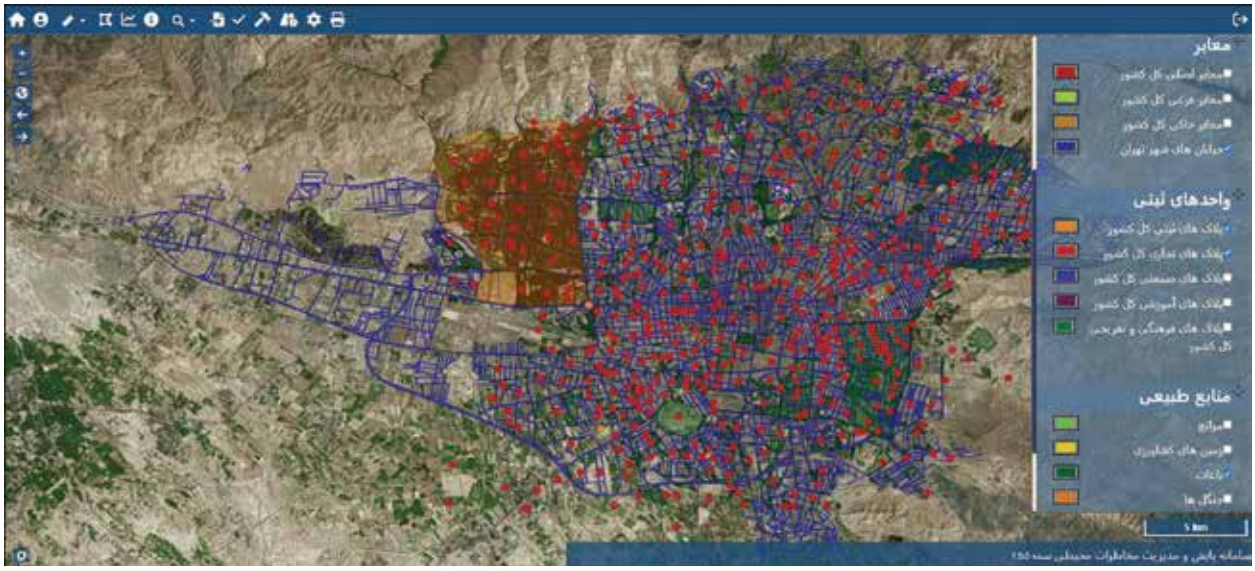
جدول ۲: مقایسه کتابخانه‌های مکانی سمت کاربر (OpenLayers و Leaflet)

۳- نتایج

در این قسمت به طراحی و پیاده‌سازی ابزارهای سامانه در سمت کاربر و سرور پرداخته‌شده که شرحی از نحوه طراحی و پیاده‌سازی ابزارهای اصلی سامانه بیان گردیده است:

۳-۱- نمایش نقشه‌های پایه و لایه‌های سامانه (TOC)[6]

در این بخش نقشه OSM، نقشه جاده‌های گوگل، تصاویر ماهواره‌ایGoogle و داده‌های دیگر به‌صورت آنلاین و تصاویر ماهواره‌ای Bing به‌صورت آفلاین به‌عنوان نقشه پایه قرار داده‌شده است (شکل ۱). همچنین لایه‌های موجود در سامانه در سه دسته موضوعی معابر، پلاک‌های ثبتی و منابع طبیعی قرار داده‌شده‌اند.



شکل ۱: نمایش لایه‌های سامانه بر روی تصاویر ماهواره‌ای Bing به‌صورت آفلاین

6. Table Of Contents

۲-۳- ماژول گزارش‌ها

این ماژول شامل ۳ ابزار ثبت گزارش آمار، ثبت گزارش اقدام و گزارش‌گیری می باشد. با استفاده از ابزار ثبت آمار کاربر می‌تواند اطلاعات مربوط به مخاطره رخداده به همراه موقعیت مکانی مربوط به محلی که مخاطره در آن اتفاق افتاده را ارسال نماید(شکل ۲). به کمک ابزار ثبت اقدام کاربر می‌تواند گزارشی از اقدام یا اقدامات صورت گرفته برای پیشگیری و یا مقابله با مخاطره به همراه موقعیت مکانی مربوط به محلی که اقدام در آن صورت گرفته را ارسال نماید(شکل ۲). با استفاده از ابزار گزارش‌گیری کاربر می‌تواند فیلترهایی مانند انتخاب نوع گزارش (آمار یا اقدام)، نوع مخاطره، بازه زمانی تاریخ رویداد، بازه زمانی ثبت گزارش توسط کاربر، نام کاربر، نام استان، شهرستان و منطقه را تعیین کند و گزارش موردنظر خود را از مخاطرات یا اقدامات صورت گرفته تولید نماید. خروجی گزارش‌گیری همراه با موقعیت مکانی گزارشات بر روی صفحه نقشه می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۲-الف) ثبت گزارش آمار همراه با موقعیت مکانی از مخاطره

ب)مشاهده گزارش اقدام ثبت‌شده پس از وقوع مخاطره



شکل ۳: گزارش‌گیری از مخاطرات و اقدامات صورت گرفته به همراه نمایش موقعیت مکانی آن‌ها روی نقشه

۳-۳- مجموعه ابزار جستجو

این مجموعه شامل سه نوع ابزار جستجو می‌باشد که اولی برای جستجوی موقعیت، دومی برای جستجوی اطلاعات توصیفی و سومی برای جستجوی مکانی(انتخاب یک محدوده مشخص جهت نمایش لایه‌های موجود در سامانه) می‌باشد.

۳-۳-۱- جستجوی موقعیت

با استفاده از این ابزار می‌توان مکان موردنظر را با استفاده از مختصات آن به فرمت‌های جغرافیایی و مختصات UTM[۷] جستجو کرد که سازوکار جستجوی بر اساس هرکدام از این سیستم مختصات‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

برای جستجوی مختصات جغرافیایی یک تابع جاوا اسکریپتی تعریف کرده که این تابع مقادیر طول و عرض جغرافیایی را دریافت کرده و بر اساس آن‌یک محدوده[۸] تعریف کرده و زوم نقشه را به آن محدوده تغییر می‌دهد (شکل ۴).

برای جستجوی مختصات UTM ابتدا با استفاده از کتابخانه proj4 (یکی از کتابخانه‌های OpenLayers) زون‌های ۳۸، ۳۹، ۴۰ و ۴۱ که ایران در این زون‌ها قرارگرفته است تعریف می‌گردد. برای یافتن موقعیت بر اساس مختصات UTM یک تابع جاوا اسکریپتی تعریف‌شده که در آن شماره زون و مقادیر x و y واردشده دریافت می‌شود. سپس مختصات UTM به مختصات جغرافیایی تبدیل‌شده و با استفاده از همان تابعی که در پاراگراف قبلی برای زوم به مختصات جغرافیایی تعریف شد، به مکان موردنظر زوم می‌گردد(شکل ۴).

۳-۳-۲- جستجوی اطلاعات توصیفی

برای جستجو در اطلاعات توصیفی لایه‌های بارگذاری شده در سامانه، چهار فیلتر در نظر گرفته‌شده است: دسته‌بندی لایه، نام لایه، نام فیلد و مقادیر فیلد. با انتخاب یک دسته‌بندی تمام لایه‌های ویکتوری که در این دسته‌بندی بارگذاری شده‌اند نمایش داده می‌شوند. سپس با انتخاب یکی از لایه‌های این لیست، تمام ستون‌های آن به نمایش درمی‌آیند. در انتها نیز با انتخاب یک فیلد لیست مقادیر منحصربه‌فرد موجود در آن فیلد ظاهر می‌گردند که این کار با استفاده از یک تابع جاوا اسکریپت در سمت کاربر و یک تابع پایتون در سمت سرور انجام می‌شود و اطلاعات توصیفی عوارضی که درنتیجه‌ی جستجو یافت می‌شوند، با فرمت json[۹] بین سرور و کاربر تبادل می‌گردد (شکل ۵).



شکل ۴: جستجوی یک مکان با استفاده از مختصات جغرافیایی، UTM و MGRS

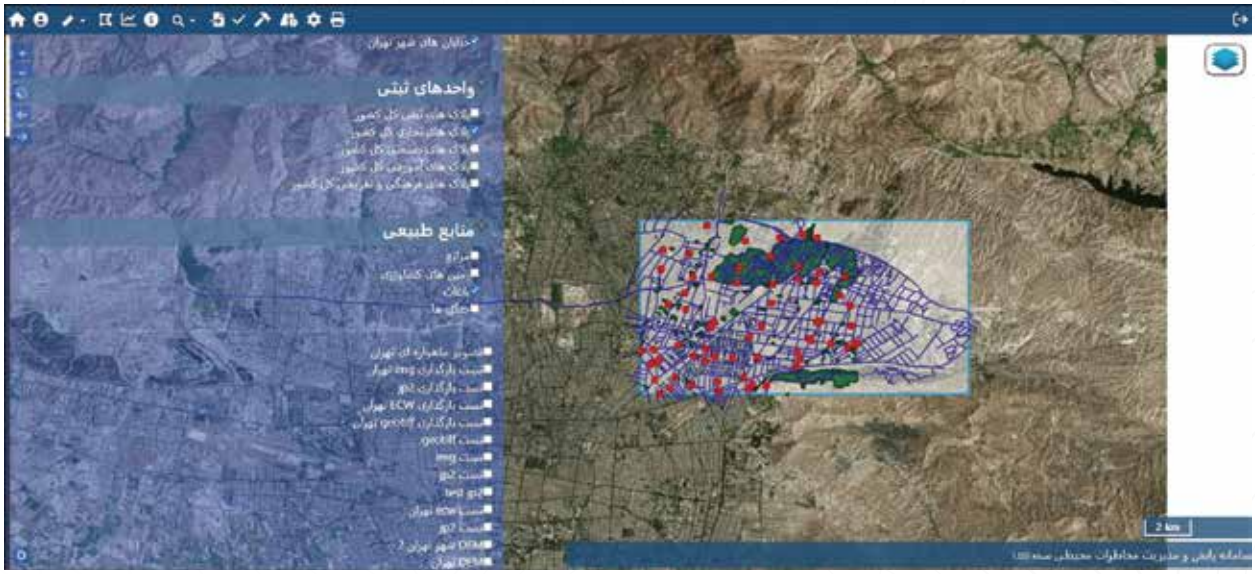
7. Universal Transverse Mercator
8. extent
9. JavaScript Object Notation



شکل ۵: نتیجه جستجوی انجام‌شده بر روی لایه بارگذاری شده در دسته‌ی پلاک‌های صنعتی

۳-۳-۳- نمایش لایه‌ها در یک محدوده مشخص(جستجوی مکانی)

با استفاده از این روش جستجو می‌توان محدوده‌ای به‌صورت یک Bounding box بر روی نقشه ترسیم کرد که در پایان ترسیم یک پنجره مشابه TOC بازشده و لیست لایه‌های معابر، پلاک‌های ثبتی و منابع طبیعی در آن نمایش داده می‌شود و با روشن کردن هر لایه، عوارضی از آن لایه که در محدوده انتخاب‌شده قرار دارند نمایش داده می‌شوند (شکل ۶).



شکل ۶: جستجوی لایه‌ها در یک محدوده مشخص

۴-۳- به‌روزرسانی اطلاعات معابر

این ابزار لایه معابر شامل معابر اصلی، فرعی و خاکی کل کشور و خیابان‌های شهر تهران را در قالب یک‌لایه روی نقشه نمایش می‌دهد به صورتی که معابر مسدود به رنگ قرمز و معابر قابل‌عبور به رنگ آبی نمایش داده می‌شوند. کاربر سامانه می‌تواند با کلیک بر روی هر معبر وضعیت آن را تغییر دهد بدین‌صورت که اگر معبری پس از وقوع مخاطره مسدود شده باشد وضعیت آن را به حالت مسدود تغییر دهد و درصورتی‌که معبر از وضعیت مسدود خارج‌شده باشد، نمایش معبر را به حالت قابل‌عبور تغییر دهد (شکل ۷).



شکل ۷: به‌روزرسانی اطلاعات معابر توسط کاربر

٤- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

ایجاد بانک اطلاعات مکانی مخاطرات طبیعی و به اشتراک گذاشتن آن در میان مدیران بخش‌های مختلف کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به موارد مشابه در سایر نقاط جهان استفاده از تکنولوژی WebGIS برای گردآوری این بانک و همچنین سامانه‌ای یکپارچه جهت مدیریت مخاطرات در مراحل مختلف وقوع می‌تواند مفید واقع شود.

در این پژوهش برای ذخیره‌سازی داده‌های مکانی، پایگاه داده PostgreSQL به دلایلی که در متن مقاله بدان اشاره شد انتخاب گردید. در بحث نمایش داده‌های مکانی در سمت کاربر با توجه به حجم بالای داده‌های مکانی کتابخانه OpenLayers جهت توسعه انتخاب شد. همچنین در سمت سرور از فریمورک Django که بر پایه زبان برنامه‌نویسی پایتون توسعه داده‌شده و برای کار با داده‌های مکانی از امکانات بیشتری برخوردار است استفاده گردید. جهت انتشار نقشه‌ها در محیط وب نیز از GeoServer به دلیل قابلیت‌های بیشتر و برتر نسبت به سایر نرم‌افزارهای مشابه بهره گرفته شد.

نکته‌ای که در این پژوهش می‌تواند موردتوجه بیشتری قرار گیرد، بحث نمایش لایه‌ها در یک محدوده‌ی مشخص می‌باشد که می‌توان امکان مشخص کردن محدوده‌ی جستجو به‌صورت چندضلعی (به‌عنوان‌مثال محدوده یک شهر) را به آن اضافه کرد. همچنین موضوع به‌روزرسانی اطلاعات معابر با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در بحث پردازش تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی است که درنتیجه‌ی آن می‌توان فرآیند تشخیص وضعیت معابر را به‌صورت خودکار و یا نیمه‌خودکار انجام داد که می‌تواند موضوع پژوهش‌های آتی باشد.

■ مراجع و منابع

1. Olyazadeh, R., Aye, Z.C., Jaboyedoff, M. et al. Prototype of an open-source web-GIS platform for rapid disaster impact assessment. Spat. Inf. Res. 24, 203–210 (2016). https://doi.org/10.1007/s41324-016-0017-y
2. Daud, M., Ugliotti, F. M., & Osello, A. (2024). Comprehensive Analysis of the Use of Web-GIS for Natural Hazard Management: A SystematicReview.Sustainability,16(10),4238. https://doi.org/10.3390/su16104238
3. Vatvani, D., Van Veen, B., Zijl, F., 2012. Tsunami flood modeling for Aceh & West Sumatra and its application for an early warning system. Continental Shelf Research (In press)
4. Aye, Z. C., Sprague, T., Cortes Arevalo, V. J., Prenger-Berninghoff, K., Jaboyedoff, M., & Derron, M.-H. (2016). A collaborative (web-GIS) framework based on empirical data collected from three case studies in Europe for risk management of hydro-meteorological hazards. International Journal of Disaster Risk Reduction, 15, 10–23. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.12.001
5. Hong, J.-H. and Tsai, C.-Y.: USING 3D WEBGIS TO SUPPORT THE DISASTER SIMULATION, MANAGEMENT AND ANALYSIS – EXAMPLES OF TSUNAMI AND FLOOD, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLIV-3/W1-2020,43–50, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-3-W1-2020-43-2020, 2020
6. Wu, X., Xu, C., Xu, X., Chen, G., Zhu, A., Zhang, L., Yu, G., & Du, K. (2022). A Web-GIS hazards information system of the 2008 Wenchuan Earthquake in China. Natural Hazards Research, 2(3), 210–217. https://doi.org/10.1016/j.nhres.2022.03.003
7. Rodrigues da Silva, A., Estima, J., Marques, J., Gamito, I., Serra, A., Moura, L., Ricardo, A. M., Mendes, L., & Ferreira, R. M. L. (2023). A Web GIS Platform to Modeling, Simulate and Analyze Flood Events: The RiverCure Portal. ISPRS International Journal of Geo-Information, 12(7), 268. https://doi.org/10.3390/ijgi12070268
8. Goretti, A., Faravelli, M., Casarotti, C., Borzi, B., & Quaroni, D. (2025). A Web-GIS Platform for Real-Time Scenario-Based Seismic Risk Assessment at National Level. Geosciences, 15(10), 385. https://doi.org/10.3390/geosciences15100385
9. grawal, S., & Gupta, R. D. (2014). Development and comparison of Open Source based web GIS frameworks on WAMP and Apache Tomcat web servers. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-4, 1–5. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-1-2014
10. Růžička, J. (2016). Comparing speed of Web Map Service with GeoServer on ESRI Shapefile and PostGIS. Geoinformatics FCE CTU, 15(1), 3–9. https://doi.org/10.14311/gi.15.1.1



طراحی و پیاده‌سازی زیر پرتال محاسبه شاخص‌های جمعیتی با استفاده از سرویس‌های تحلیلی تحت وب (WPS)

محسن یوسف زاده سورکی، کارشناس GIS اداره تحلیل‌های مکان‌مبنا سازمان نقشه‌برداری کشور
میلاد رفیعی طرقی، رئیس اداره تحلیل‌های مکان‌مبنا سازمان نقشه‌برداری کشور

مقدمه

با افزایش چشمگیر تولید داده‌های مکانی-آماری و نیاز روزافزون به تحلیل‌های مکانی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و ملی، استفاده از سامانه‌های تحت وب برای انجام پردازش‌های مکانی تعاملی به یکی از الزامات زیرساخت‌های اطلاعات مکانی تبدیل‌شده است. در حوزه تحلیل‌های جمعیتی، یکی از رویکردهای رایج و کارآمد، تجمیع داده‌های نقطه‌ای جمعیت (نظیر نقاط آبادی‌ها) در واحدهای مکانی منظم (Grid) و ارائه نتایج در قالب نقشه‌های موضوعی است؛ رویکردی که امکان مقایسه، تحلیل الگوهای مکانی و تصمیم‌گیری را تسهیل می‌کند. این گزارش باهدف تشریح چارچوب فنی، معماری سامانه و فرآیند پیاده‌سازی زیر پرتال محاسبه شاخص‌های جمعیتی مبتنی بر گرید ملی ایران (IRNG) تهیه‌شده است. در این سامانه، محاسبه مجموع شاخص‌های جمعیتی آبادی‌ها درون هر گرید و نمایش برخط نتایج با استفاده از استاندارد WPS انجام می‌پذیرد. در پیاده‌سازی این زیر پرتال، از چارچوب Django به‌عنوان هسته Backend، از PyWPS برای ارائه سرویس‌های پردازش مکانی تحت وب و از کتابخانه GDAL/OGR برای انجام عملیات پردازش مکانی استفاده‌شده است.

۱ـ ضرورت انجام کار

ضرورت تحقیق پیش رو ایجاد زیر پرتالی[1] برای تصمیم گیران باهدف چشم‌اندازی نسبت به تراکم جمعیتی، افراد باسواد، بی‌سواد، بیکار، شاغل، مهاجرین و ... به تفکیک مرد و زن و به‌منظور اتخاذ تصمیمات مبتنی بر دانش با در نظر گرفتن این اطلاعات در گریدهای با ابعاد متفاوت در سطح کشور می‌باشد. لازم به ذکر است، استفاده از این معماری مزایای زیادی نسبت به روش سنتی دارد که ازاین‌بین می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- جداسازی مناسب لایه نمایش از منطق پردازش
- بهره‌گیری از استاندارد OGC WPS برای پردازش‌های مکانی
- افزایش مقیاس‌پذیری و قابلیت توسعه سامانه
- کاهش بار پردازشی سمت کاربر و افزایش کارایی
- قابلیت تعمیم به سایر شاخص‌های آماری و مکانی
- عدم نیاز کاربران نهایی به دانش تخصصی GIS
- عدم نیاز به نصب و استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی GIS دستک تاپ مانند ArcMap و QGIS

۲ـ ساختار داده‌ها و منابع اطلاعاتی

۲-۱- لایه گرید ملی ایران (IRNG)

لایه گرید ملی ایران شامل پلی‌گون‌هایی با ابعاد متغیر در ۶ سطح (از ۱ متر تا ۱۰۰ کیلومتر) می‌باشد که کل قلمرو کشور را پوشش می‌دهد[2]. هر سلول از شبکه گرید دارای یک شناسه یکتا (Grid ID) بوده و به‌عنوان واحد پایه تحلیل مکانی در زیر پرتال مورداستفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این گریدها امکان انجام تحلیل‌های مقایسه پذیر را در سطوح مختلف فراهم می‌سازد.

۲-۲- لایه آماری آبادی‌ها

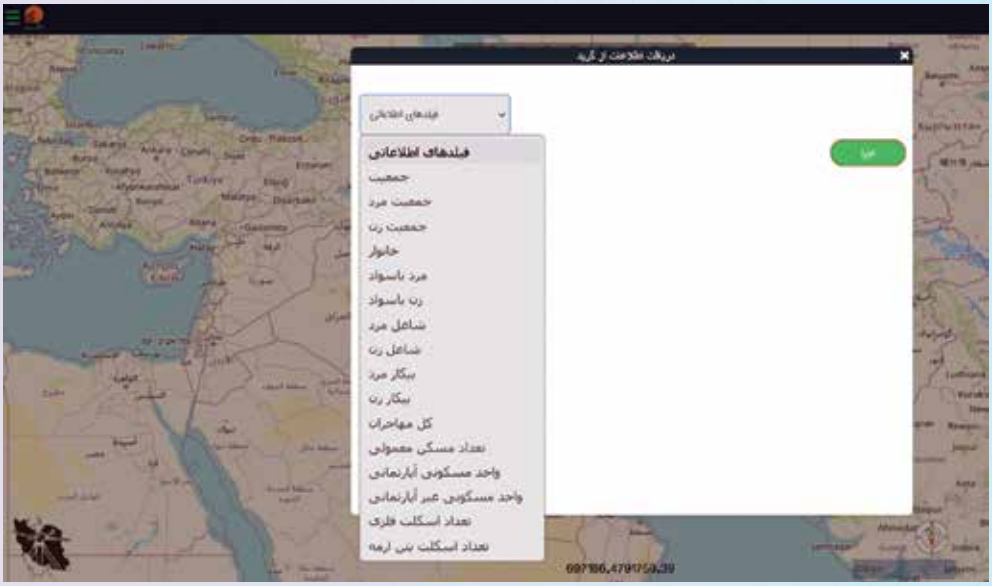
لایه آبادی‌ها به‌صورت داده‌های نقطه‌ای شامل مختصات مکانی و مجموعه‌ای از اطلاعات توصیفی مرتبط با جمعیت می‌باشد. این داده به همراه اطلاعات توصیفی غنی بالغبر بیش از ۱۰۰ فیلد از مرکز آمار ایران تهیه گردیده است. مهم‌ترین فیلدهای موجود در این لایه عبارتند از:

1. https://iransdi.ncc.gov.ir/layersf/Amar

۲. دستورالعمل همسان نقشه‌برداری، جلد هشتم، گرید ملی ایران - نشریه شماره ۱۱۹-۸

- کد آبادی
- نام آبادی
- نام بخش
- نام شهرستان
- نام استان
- جمعیت کل
- جمعیت مرد
- جمعیت زن
- مرد باسواد
- زن باسواد
- مرد شاغل
- مرد شاغل
- مرد بیکار
- زن بیکار
- و ...

از میان فیلدهای موجود، ۱۶ شاخص پرکاربرد انتخاب‌شده و در رابط کاربری زیر پرتال در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. کاربر می‌تواند شاخص موردنظر خود را انتخاب کرده و آن فیلد به‌عنوان مبنای محاسبه مقدار نهایی در هر سلول گرید مورداستفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱: فیلدهای جمعیتی قابل انتخاب توسط کاربر در زیر پرتال آمار

۳- معماری سامانه

معماری سامانه به‌صورت سه‌لایه طراحی‌شده است که هر لایه وظایف مشخصی را بر عهده دارد:

۱. لایه نمایش (Client / Frontend)

این لایه شامل نقشه تعاملی تحت وب است که قابلیت‌های زیر را فراهم می‌کند:

- ✓ نمایش لایه گرید ملی و لایه نقشه پایه
- ✓ امکان تعامل کاربر و انتخاب سلول‌های گرید
- ✓ ارسال درخواست‌های پردازشی به سرور و دریافت نتایج

در این بخش، از سرویس‌های آنلاین OpenStreetMap (OSM) به‌عنوان نقشه پایه استفاده‌شده که در پیش‌زمینه این سامانه تحت وب قرار می‌گیرد[3].

۲. لایه منطق کاربردی (Django)

چارچوب Django به‌عنوان هسته اصلی Backend وظیفه مدیریت درخواست‌ها، احراز هویت کاربران، اعتبارسنجی ورودی‌ها و برقراری ارتباط بین رابط کاربر و سرویس‌های پردازش مکانی را بر عهده دارد.

۳. لایه پردازش مکانی (PyWPS + GDAL)

پردازش‌های مکانی از طریق استاندارد WPS و با استفاده از PyWPS پیاده‌سازی شده‌اند. عملیات مکانی نظیر اعمال فیلترهای مکانی، انتخاب عوارض و انجام محاسبات عددی با بهره‌گیری از کتابخانه GDAL/OGR انجام می‌گیرد.

۴- فرآیند پردازش مکانی

۴-۱- انتخاب‌گرید توسط کاربر

در این بخش کاربر با هر بار کلیک بر روی صفحه نقشه در زوم‌های مختلف، یک سلول گرید با ابعاد مختلف و متشکل از شناسه گرید و هندسه آن را انتخاب می‌کند. این اطلاعات در قالب یک درخواست پردازشی به سرور ارسال می‌شود.

3. www.openstreetmap.org

۴-۲- فراخوانی سرویس WPS

پس از دریافت درخواست، فرآیند متناظر در PyWPS فراخوانی می‌گردد. ورودی‌های اصلی این فرآیند شامل موارد زیر است:

- محدوده مکانی (Bounding Box) گرید انتخاب‌شده
- نام و URL لایه آماری آبادی‌ها
- نام فیلد جمعیتی انتخاب‌شده توسط کاربر

۴-۳- پردازش مکانی با GDAL/OGR

در داخل فرآیند PyWPS، مراحل زیر انجام می‌شود:

۱. بارگذاری نقاط آبادی واقع در محدوده گرید انتخابی
۲. استخراج مقادیر فیلد جمعیتی انتخاب‌شده
۳. محاسبه مجموع مقادیر نقاط واقع در هر سلول

خروجی این مرحله یک مقدار عددی نهایی است که نمایانگر مقدار شاخص جمعیتی انتخاب‌شده در سلول گرید موردنظر می‌باشد.

۵- تولید خروجی و بازگشت نتایج

نتایج پردازش به‌صورت یک خروجی عددی از PyWPS بازگردانده می‌شود که پس از پردازش نهایی به رابط کاربر ارسال‌شده تا در محیط نقشه نمایش داده شود.

۶- نمایش نتایج

تحلیل مکانی انجام‌شده در این گزارش شامل عملیات Intersection میان هر سلول گرید انتخاب‌شده توسط کاربر و مجموعه آبادی‌های درون هر سلول می‌باشد و سپس انجام عملیات summation مقادیر فیلد انتخابی به‌صورت تحت وب و با بهره‌گیری از استاندارد OGC است. درنهایت به‌منظور نمایش مؤثر نتایج این تحلیل مکانی، از سمبولوژی کمی مبتنی بر رنگ‌بندی سلول‌های گرید متناسب با مقادیر فیلد آماری انتخاب‌شده استفاده‌شده است. بدین منظور:

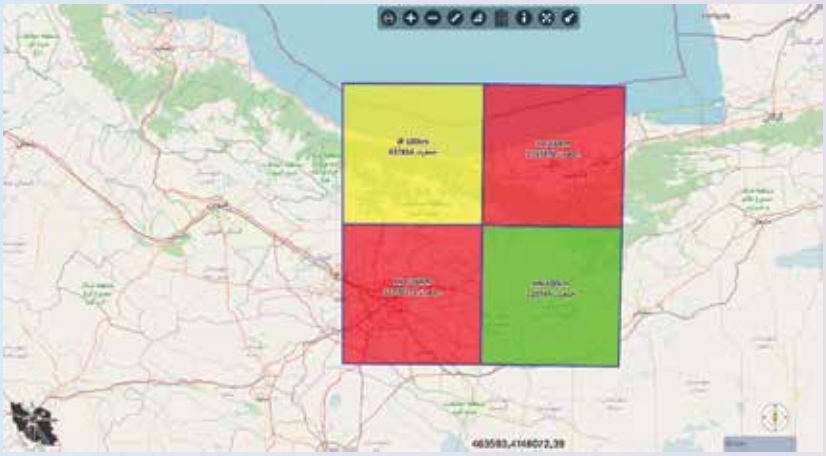
- مقادیر شاخص جمعیتی در چند کلاس طبقه‌بندی می‌شوند.
- برای هر کلاس، رنگ یا طیف رنگی مشخص در نظر گرفته می‌شود.
- گرید انتخاب‌شده به همراه مقدار جمعیت بر روی نقشه نمایش داده می‌شود.

این شیوه نمایش، امکان تحلیل بصری و مقایسه توزیع یا تراکم شاخص‌های جمعیتی را در سطح گریدهای مختلف فراهم می‌سازد.

■ جمع‌بندی

استاندارد WPS به‌عنوان یکی از استانداردهای کلیدی OGC، چارچوبی یکپارچه برای ارائه و استفاده از سرویس‌های پردازش مکانی در محیط‌های تحت وب فراهم می‌سازد. این استاندارد امکان دسترسی ساختاریافته به طیف وسیعی از تحلیل‌های مکانی، از محاسبات ساده تا مدل‌سازی‌های پیچیده، را مهیا می‌کند.

در این گزارش، چارچوب فنی یک زیر پرتال تحت وب برای محاسبه و نمایش شاخص‌های جمعیتی مبتنی بر گرید مکانی تشریح شد. ترکیب PyWPS و GDAL بستری مناسب برای انجام تحلیل‌های مکانی تعاملی، دقیق و مقیاس‌پذیر فراهم کرده است. این رویکرد می‌تواند به‌عنوان الگویی قابل‌تعمیم در توسعه سامانه‌های تحلیل مکانی-آماری در سطح ملی و سازمانی مورداستفاده قرار گیرد.



شکل ۲: نمونه خروجی تحلیل و نمایش نتایج

سیستم گرید ملی ایران(IRNG)

مهدی سعیدی انجیله، مدیر نقشه‌نگاری و اطلس‌های ملی سازمان نقشه‌برداری کشور
راحله علیزاده، سرپرست معاونت نقشه‌نگاری و اطلس‌های ملی سازمان نقشه‌برداری کشور

چکیده

گرید ملی ایران (IRNG) یک سیستم مختصات شبکه‌ای استاندارد شده برای تعیین موقعیت مکانی در سطح کشور است که بر پایه استانداردهای جهانی USNG و UTM طراحی‌شده است. USNG به عنوان یک استاندارد ملی توسط کمیته داده‌های جغرافیایی فدرال (FGDC) دولت ایالات‌متحده در سال ۲۰۰۱ ارائه‌شده است و از آن زمان استفاده از آن به‌تدریج اما به‌طور پیوسته رو به افزایش بوده است. FGDC یک کمیته دولتی ایالات‌متحده است که توسعه هماهنگ، استفاده، به اشتراک‌گذاری و انتشار داده‌های مکانی در سطح ملی را ترویج می‌کند. ۳۲ عضو آن نمایندگانی از دفتر رئیس‌جمهور و سطح کابینه و آژانس‌های مستقل فدرال هستند. گرید ملی ایران با پوشش کامل محدوده‌های آبی و خاکی ایران، امکان شناسایی ساده و دقیق موقعیت‌های جغرافیایی را برای کاربران فراهم می‌کند. در این گزارش، ویژگی‌ها، اهداف، مزایا، محدودیت‌ها و اقدامات انجام‌شده برای پیاده‌سازی این سیستم بررسی‌شده است.

مقدمه

گرید ملی ایران[1](IRNG) به‌عنوان یک سیستم مختصات یکپارچه، باهدف تسهیل تبادل اطلاعات مکانی و بهبود دقت در تعیین موقعیت‌ها طراحی‌شده است. این سیستم مبتنی بر استانداردهای بین‌المللی USNG[2] و UTM[3] طراحی و در حوزه‌های مختلفی ازجمله مدیریت بحران، برنامه‌ریزی شهری و ناوبری مورداستفاده قرار می‌گیرد.

ویژگی‌های فنی گرید ملی ایران

- **پایه طراحی:** مبتنی بر سیستم UTM و استاندارد USNG
- **ساختار شبکه:** تقسیم زمین به مناطق مربعی با ابعاد ۱۰۰ کیلومتر
- **دقت:** پشتیبانی از سطوح مختلف دقت شامل سطوح ۱۰۰ کیلومتر، ۱۰ کیلومتر، ۱ کیلومتر، ۱۰۰ متر، ۱۰ متر و ۱ متر.
- **قابلیت تبدیل:** امکان تبدیل به سایر سیستم‌های مختصاتی ازجمله Geographic (طول و عرض جغرافیایی) و UTM.

اهداف و کاربردها

هدف از ایجاد گرید ملی، ایجاد یک سیستم شبکه قائم‌الزاویه یکپارچه در سطح ملی و تسهیل تبادل اطلاعات مکانی بین سازمان‌ها و کاربران و افزایش دقت و سرعت در عملیات مدیریت بحران و جستجو و نجات می‌باشد. بااین‌حال، کاربرد آن تنها محدود به این زمینه نمی‌باشد.

کاربرد اصلی گرید ملی، دقت بالای آن در تعیین موقعیت‌های مکانی است که در زمینه‌های مختلف از نقشه‌برداری تا مدیریت بحران، استفاده می‌شود. درمواقع اضطراری، این سیستم به سازمان‌های امدادرسان کمک می‌کند تا با استفاده از مختصات دقیق، به‌سرعت و به‌طور مؤثر به موقعیت‌های بحرانی واکنش سریع و دقیق نشان دهند. این قابلیت باعث می‌شود که منابع را به‌درستی مدیریت کرده و به بهبود عملیات نجات کمک کنند. همچنین این سیستم به برنامه‌ریزی شهری و زیرساخت‌ها این امکان را می‌دهد که از آن در توسعه شهری و ارزیابی محیطزیست استفاده کنند و در کشاورزی و راه‌سازی برای تعیین موقعیت‌های دقیق برای پروژه‌های عمرانی استفاده کنند. همچنین امکان ادغام در نرم‌افزارهای نقشه‌برداری، اپلیکیشن‌های موبایل و پلتفرم‌های مدیریت داده‌های مکانی نیز وجود دارد.

مزایای گرید ملی ایران

در این رابطه می‌توان به مزایایی ازجمله دقت و کارایی بالا، تعیین موقعیت با دقت متریک و سهولت در دسترسی

1. IRNG: IRAN National Grid
2. United States National Grid
3. Universal Transverse Mercator

و استفاده، کاربرپسند بودن و قابل‌استفاده برای عموم مردم و پشتیبانی از تکنولوژی‌های نوین، مطابقت با استانداردهای بین‌المللی، سازگاری با سیستم‌های مشابه در سایر کشورها و افزایش همکاری بین سازمانی و تسهیل در تبادل داده‌های مکانی اشاره کرد. با ارائه API های مناسب، توسعه‌دهندگان نرم‌افزار می‌توانند به‌راحتی IRNG را در برنامه‌های خود ادغام کنند و از قابلیت‌های آن برای ارائه خدمات بهتر به کاربران بهره ببرند. به‌این‌ترتیب، IRNG نه‌تنها به‌عنوان یک ابزار حیاتی در زمینه‌های ایمنی و مدیریت بحران شناخته می‌شود، بلکه در بسیاری از بخش‌های دیگر نیز قابلیت‌های کاربردی و مؤثری دارد.

معایب و محدودیت‌ها

این سیستم به‌طور خاص برای کشور ایران طراحی‌شده است و برای کاربرد در سایر کشورها یا مناطق جغرافیایی نمی‌تواند به همان اندازه مؤثر باشد. به همین دلیل، در برخی عملیات بین‌المللی یا در زمان همکاری با کشورهای دیگر ممکن است لازم باشد که به سیستم‌های مختصات دیگر رجوع شود. همچنین کاربران باید آموزش و آگاهی کافی از نحوه کار با گرید ملی را داشته باشند. عدم آشنایی با این سیستم ممکن است منجر به‌اشتباه در تشخیص موقعیت یا استفاده نادرست از مختصات شود. در ضمن برای استفاده مؤثر از گرید ملی نیاز به نرم‌افزارها و پلتفرم‌های مرتبط با این سیستم است. در برخی موارد، عدم دسترسی به این زیرساخت‌ها می‌تواند استفاده از گرید ملی را محدود کند.

اقدامات انجام‌شده برای پیاده‌سازی گرید ملی

فعالیت‌هایی که در راستای ایجاد بسترسازی برای گرید ملی ایران از ابتدا تاکنون انجام داده است به شرح زیر می‌باشد:

طراحی و راه‌اندازی گرید ملی ایران در ژئوپرتال سازمان:

هم‌اکنون امکان دسترسی تمام کاربران به زیر پرتال گرید ملی ایران از طریق آدرس زیر فراهم است (شکل ۱):
https://iransdi.ncc.gov.ir/layersf/irng

در این زیر پرتال امکان نمایش و ترسیم گرید ملی ایران در شش سطح ۱۰۰ کیلومتر، ۱۰ کیلومتر، ۱ کیلومتر، ۱۰۰ متر، ۱۰ متر و یک متر فراهم می‌باشد. کاربر می‌تواند گرید ملی موقعیت مکانی موردنظر را با بزرگنمایی و کوچک نمایی تا ۶ سطح مشاهده نماید. همچنین امکان ترسیم شبکه‌های گرید ملی در ۶ سطح با توجه به بزرگ‌نمایی و کوچک نمایی محدوده، امکان‌پذیر می‌باشد. در این زیر پرتال امکان دریافت فایل با فرمت GeoJson [۴] از شبکه‌های گرید ملی ایران وجود دارد و می‌توان این فایل را در محیط‌های نرم‌افزاری که این فرمت را پشتیبانی می‌کنند مانند QGIS [۵] بارگذاری و مشاهده کرد.



شکل ۱: زیر پرتال گرید ملی ایران

۴. یک استاندارد باز برای ارائه عوارض سادهٔ مکانی در کنار ویژگی‌های غیرمکانی بر اساس ساختار JSON هست.

۵. QGIS: بانام پیشین کوانتوم جی‌آی‌اس (Quantum GIS) نرم‌افزار آزاد چند سکویی و متن‌باز سامانه اطلاعات مکانی است که قادر به تولید، نمایش، ویرایش و تحلیل داده‌های مکانی است.

همچنین پیوند گرید ملی با پایگاه ملی نام‌های جغرافیایی ایران در مسیر https://gndb.ncc.gov.ir قابل‌مشاهده است (شکل ۲).



شکل ۲: پیوند گرید ملی با پایگاه ملی نام‌های جغرافیایی

ایجاد سرویس در بستر GSB[۶]، PGSB[۷] و برای عموم در اینترنت با دریافت مختصات UTM و زون از کاربر و پاسخ گرید ملی در شش سطح و همچنین مختصات چهارگوشه گرید مربوط به مختصات دریافت شده از کاربر نیز با آدرس زیر آماده استفاده است.

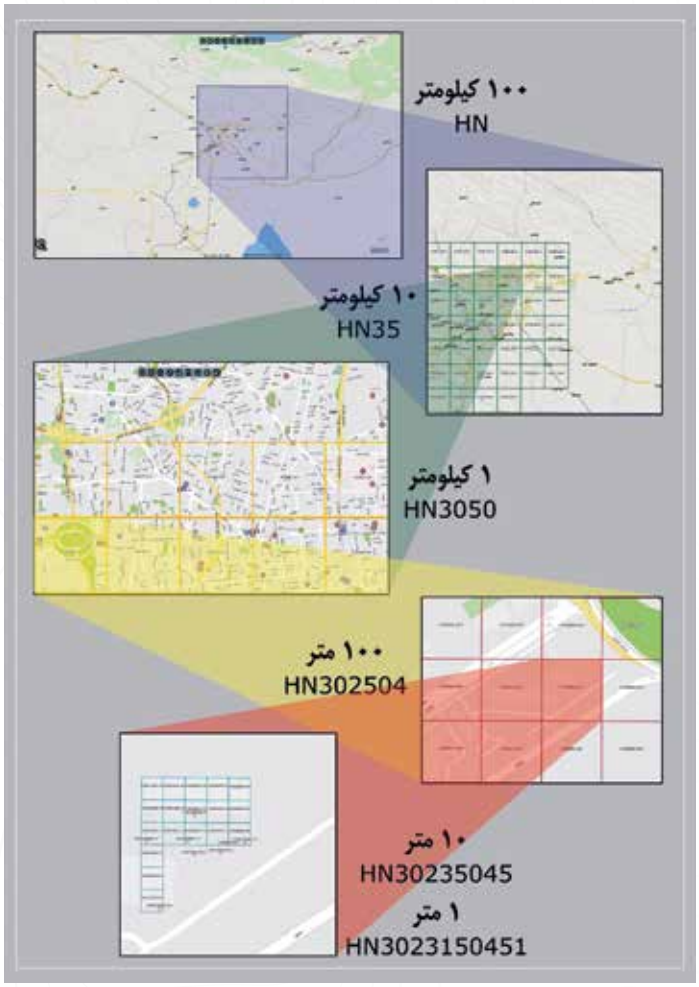
https://iransdii.ncc.gov.ir/spatial-analysis/irng?type=utm&x=523302&y=3945798&zone=39

خروجی به‌صورت فایل GeoJson در دو قسمت گرید ملی و مختصات‌های UTM گرید ملی ایران خواهد بود.


```
«IRNG»: {
  «100km»: «HN»,
  «10km»: «HN24»,
  «1km»: «HN2345»,
  «100m»: «HN233457»,
  «10m»: «HN23304579»,
  «1m»: «HN2330245798»
 },
```

```
«geometry»: {
      «type»: «Polygon»,
      «coordinates»: [
       [
        [523302, 3945798],
        [523302, 3945799],
        [523303, 3945799],
        [523303, 3945798],
        [523302, 3945798]
       ]
```


۶. گذرگاه خدمات دولت
۷. گذرگاه عمومی خدمات دولت



شکل ۳: مختصات گرید ملی محدوده موردنظر

مقایسه با سیستم‌های مشابه در سایر کشورها و چشم‌انداز و برنامه‌های آتی

سیستم‌های مشابه گرید ملی ایران در دیگر کشورها وجود دارند مانند USNG، British National Grid و Map Grid of Australia که این سیستم‌ها عموماً با اهداف مشابهی ازجمله تسهیل در تبادل داده‌های مکانی و مدیریت بحران و نقشه‌برداری ایجادشده‌اند. مدیریت نقشه‌نگاری و اطلس‌های ملی در راستای بسترسازی گرید ملی ایران، برنامه‌های استفاده از گرید ملی در انواع نقشه‌های تولیدشده در سازمان نقشه‌برداری کشور مانند نقشه‌های گردشگری، تقسیماتی و مدیریت بحران، تجهیز ژئوپرتال به قابلیت‌های مبتنی بر موبایل و راه‌اندازی سرویس SMS برای گرید ملی ایران در دو حالت تبدیل‌گرید ملی ایران به سیستم مختصات جغرافیایی یا UTM و برعکس، اتصال به پایگاه‌های داده ملی و پیوند با سیستم کد پستی، تجهیز پایگاه داده تقسیمات کشوری به گرید ملی ایران و تجهیز سیستم SMS محصولات سازمان به گرید ملی ایران را دنبال می‌کند که در این مسیر باید فرهنگ‌سازی عمومی انجام شود تا گرید ملی مورداستفاده عموم مردم قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

گرید ملی ایران به‌عنوان یک سیستم دقیق، کاربرپسند و منطبق بر استانداردهای جهانی، نقش کلیدی در بهبود مدیریت داده‌های مکانی و پاسخگویی به نیازهای عملیاتی در حوزه‌های مختلف ایفا می‌کند. با ادامه روند توسعه و فرهنگ‌سازی، این سیستم می‌تواند به‌عنوان ابزاری ضروری مورداستفاده عموم مردم قرار گیرد.

گزارش فنی طرح «توسعه نیازمندی‌های سه‌بعدی حوزه اطلاعات مکانی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان در بستر همسان رقمی»: شماره ۱

مرجان قنبری، کارشناس سامانه‌های ملی و زیرساخت‌های اطلاعات مکانی سازمان نقشه‌برداری کشور
سمیرا اسماعیلی، کارشناس پژوهش و توسعه سازمان نقشه‌برداری کشور

چکیده

طرح«توسعه نیازمندی‌های سه‌بعدی حوزه اطلاعات مکانی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان در بستر همسان رقمی» باهدف ارتقای توانمندی‌های مدیریت و بهره‌برداری از داده‌های سه‌بعدی ساختمان‌ها و در راستای کاربردی‌سازی زیرساخت داده‌های مکانی به اجرا درآمده است. کارفرمای این طرح، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان و راهبری و نظارت آن بر عهده اداره کل سامانه‌های ملی و زیرساخت‌های اطلاعات مکانی سازمان نقشه‌برداری کشور است. اجرای این طرح توسط تیم دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی انجام می‌شود و چارچوبی عملیاتی برای جمع‌آوری، پردازش و نمایش داده‌های مکانی سه‌بعدی فراهم می‌آورد.

هدف اصلی طرح، توسعه یک چارچوب یکپارچه برای تولید خودکار مدل‌های سه‌بعدی ساختمان‌ها از داده‌های ابر نقطه و تصاویر هوایی در بستر همسان رقمی است. دستاوردهای طرح در قالب مجموعه‌ای از گزارش‌های فنی متوالی در نشریه سازمان نقشه‌برداری کشور منتشر خواهد شد تا مخاطبان بتوانند روند پیشرفت و نتایج آن را به‌صورت مرحله‌به‌مرحله دنبال کنند.

گزارش شماره ۱ این مجموعه به فرآیند آماده‌سازی داده‌ها اختصاص دارد. در این مرحله، داده‌هایی شامل ابر نقطه، ارتوفتو، مدل رقومی ارتفاعی (DEM: Digital Elevation Model) که تغییرات توپوگرافی سطح زمین را شامل می‌شود و مدل رقومی زمین(DTM: Digital Terrain Model) که ارتفاع سطح زمین بدون عوارض سطحی(ساختمان‌ها و پوشش گیاهی) را نمایش می‌دهد، با استفاده از نرم‌افزارهای Global Mapper، Agisoft و ArcMap از تصاویر پهپادی منطقه گلسار رشت تولیدشده است. سپس روش‌های استخراج هندسه بام ساختمان‌ها با بهره‌گیری از الگوریتم‌های تقسیم‌بندی ساختمان، بازسازی صفحات عمودی، تولید وجوه کاندید و بهبود دقت ساختاری بررسی‌شده است.

خروجی این مرحله، مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها در قالب OBJ است که مبنای تولید داده‌های معنایی و کاربردی در مراحل بعدی پروژه قرار خواهد گرفت.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی سه‌بعدی، ابر نقطه، هندسه بام، City3D، همسان رقومی.

۱- مقدمه

گرید مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها نقش حیاتی در سامانه‌های اطلاعات مکانی سه‌بعدی(3D GIS) برای برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بحران ایفا می‌کند[۱]. با پیشرفت فناوری‌های سنجش‌ازدور، استفاده از ابر نقطه‌های حاصل از تصاویر هوایی به منبعی کارآمد برای تولید خودکار این مدل‌ها تبدیل‌شده است[۲]. روش‌های استخراج هندسه ساختمان به‌طورمعمول به دودسته مبتنی بر داده‌های نقطه‌ای(Point cloud based) مانند ابر نقاط و مبتنی بر نقشه‌های پایه(Map based) مانند نقشه‌های کاداستر دوبعدی تقسیم می‌شوند[۳]. مهم‌ترین چالش‌های مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها شامل پیچیدگی هندسی بام‌های غیرمسطح، وجود نویز در داده‌های خام و نیاز به تلفیق اطلاعات معنایی با داده‌های هندسی است[۴].

در ایران، باوجود تولید داده‌های مکانی باکیفیت، خلأ روشی یکپارچه برای تبدیل این داده‌ها به مدل‌های سه‌بعدی استاندارد و قابل‌استفاده در سامانه‌های ملی به‌ویژه زیرساخت ملی داده‌های مکانی[1] (NSDI) احساس می‌شود. پروژه«توسعه نیازهای سه‌بعدی حوزه اطلاعات مکانی در بستر همسان رقومی» باهدف پر کردن این خلأ و ارائه چارچوبی بومی برای تولید مدل‌های شهری سه‌بعدی تعریف‌شده است.

در این گزارش که اولین بخش از سری گزارش‌های فنی این طرح است، به تشریح فرآیند آماده‌سازی داده‌های ورودی، تولید ابر نقطه و مدل‌های ارتفاعی، و درنهایت ارائه روشی نوین برای استخراج خودکار هندسه بام ساختمان‌ها پرداخته می‌شود. خروجی این فاز، مدلی سه‌بعدی در قالب OBJ است که می‌تواند به فرمت‌های استانداردی چون CityGML و GeoJSON تبدیل شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه و داده‌های ورودی

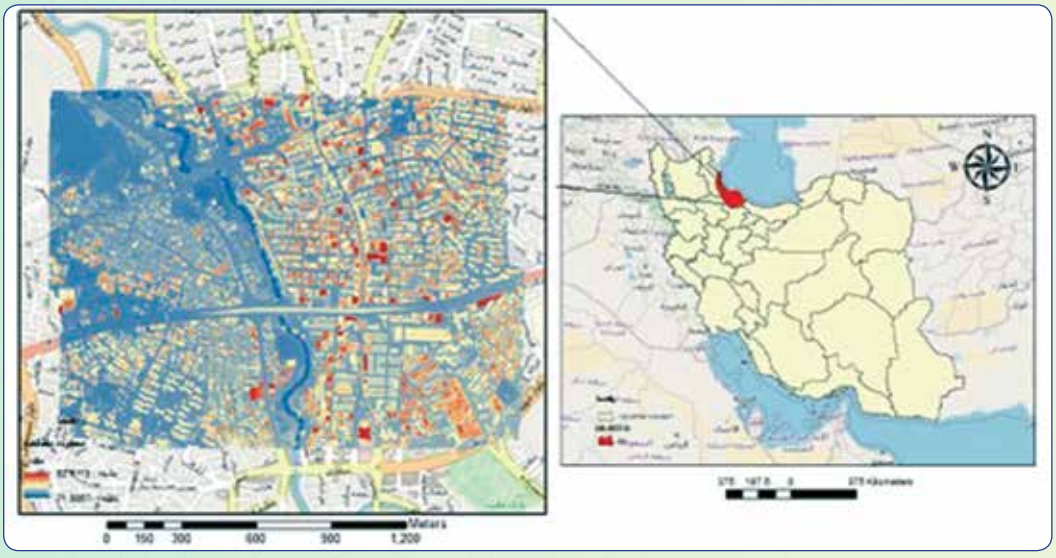
منطقه موردمطالعه، محله گلسار در منطقه یک شهر رشت است (شکل۱). داده‌های اصلی شامل ۷۶۳ تصویر هوایی هستند که منطقه موردمطالعه را پوشش می‌دهند(شکل۲). همچنین اطلاعات تکمیلی تهیه‌شده در قالب تصاویر پهپادی نیز در اختیار قرارگرفته است(شکل۲). علاوه بر این، سازمان نقشه‌برداری کشور داده‌های مربوط به عوارض طبیعی و انسانی شهر رشت شامل موقعیت و مشخصات ساختمان‌ها، مسیرها و جاده‌های اصلی و فرعی، رودخانه‌ها، بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، نقاط مربوط به درختان و سایر عناصر شهری را در اختیار مجری قرار داده که از نقشه‌های بزرگ‌مقیاس استخراج‌شده است. شکل شماره ۳ نمونه‌ای از تصاویر هوایی منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۲- آماده‌سازی داده‌ها

- **پیش‌پردازش تصاویر و تولید ابر نقطه**

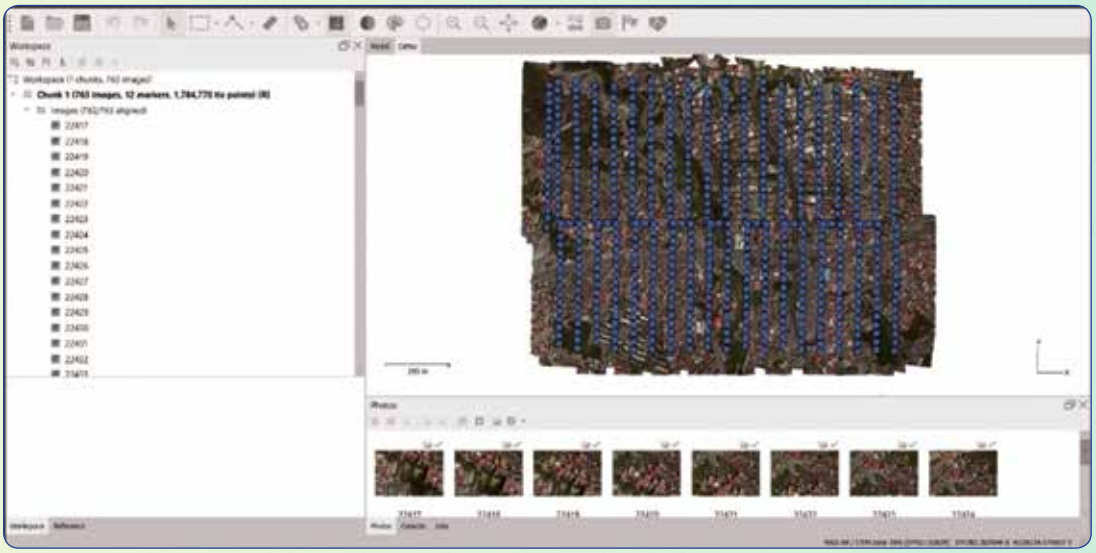
برای انجام پیش‌پردازش داده‌های اخذ شده، تصاویر هوایی به نرم‌افزار Agisoft Metashape منتقل و پیش‌پردازش‌های اولیه بر روی تمام تصاویر اعمال شد. این تنظیمات شامل تعریف بیضوی مبنا و سیستم تصویر متناسب با موقعیت جغرافیایی منطقه (WGS 84 / UTM zone 39N) موردمطالعه است که به‌عنوان پایه‌ای برای پردازش دقیق و مدل‌سازی سه‌بعدی داده‌ها می‌باشد.

در مرحله بعد، تصاویر نیاز به زمین مرجع‌سازی دارند تا با سایر داده‌های مکانی ازنظر موقعیت جغرافیایی منطبق شوند و به‌عنوان یک‌لایه اطلاعاتی قابل‌استفاده در تحلیل‌ها قرار گیرند. ورودی اصلی این مرحله، ۷۶۳ تصویر هوایی برداشت‌شده از سطح منطقه است که پس از مثلث‌بندی به یکدیگر متصل شده‌اند. نمونه‌ای از تصاویر هوایی زمین مرجع‌شده (WGS 84 / UTM zone 39N) منطقه موردمطالعه در شکل شماره ۴ نمایش داده‌شده است.



شکل ۱: محدوده موردمطالعه

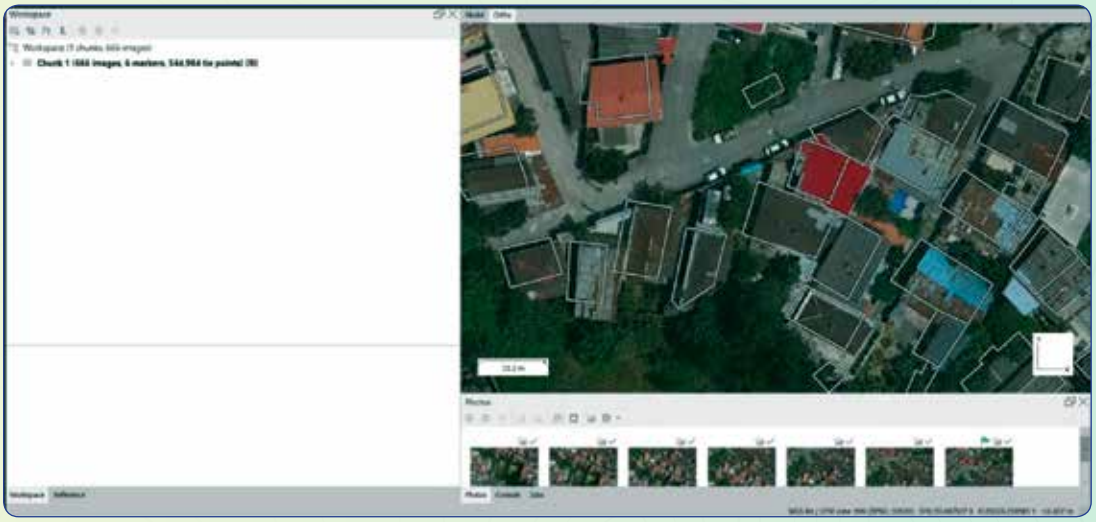
1. National Spatial Data Infrastructure



شکل ۲: مجموع تصاویر ارائه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور (۷۶۳ تصویر)



شکل ۳: نمونه‌ای از تصاویر هوایی محله گلسار واقع در منطقه یک شهر رشت



شکل ۴: نمونه‌ای از تصاویر هوایی محله گلسار واقع در منطقه یک شهر رشت

• تولید محصولات مشتق شده

پس از انجام فرآیندهای مثلث‌بندی هوایی و زمین مرجع‌سازی، از بلوک فتوگرامتری برای تولید داده‌های اصلی شامل اورتوفتو[2]، ابر نقاط[3]، مدل ارتفاعی رقومی[4] (DEM) و مدل رقومی زمین[5] (DTM) استفاده شد.

• اورتوفتو: تصویر هوایی تصحیح‌شده‌ای است که تمامی اعوجاجات هندسی (ناشی از اعوجاجات دوربین، پرسپکتیو و ناهمواری زمین) از آن حذف‌شده و به‌طور دقیق با DEM منطقه منطبق می‌شود و هر نقطه آن دارای مختصات جغرافیایی دقیق است. این تصویر به‌عنوان نقشه پایه دقیق در پروژه‌های مکانی و GIS مورداستفاده قرار می‌گیرد.

ورودی این فرآیند شامل تصاویر هوایی با همپوشانی مناسب و نقاط کنترل زمینی (GCPs) با مختصات دقیق است. کیفیت نهایی اورتوفتو تحت تأثیر پارامترهای زیر است:

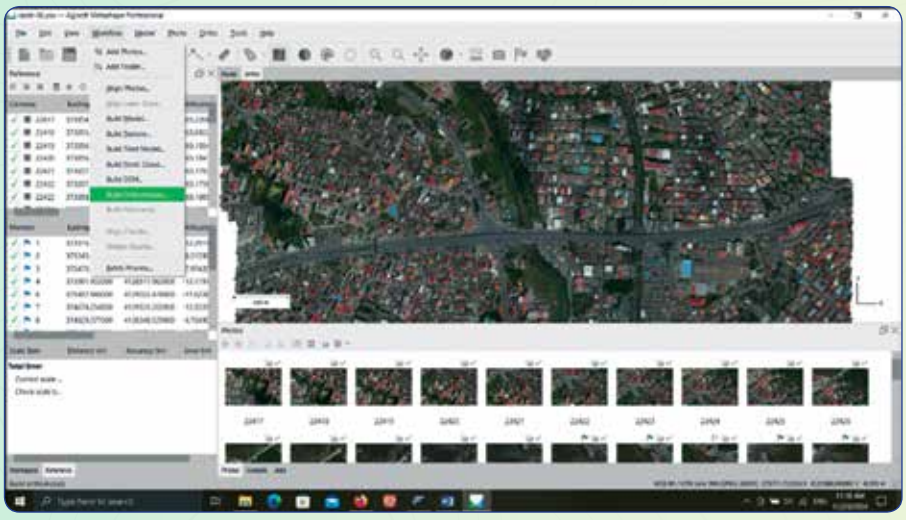
- دقت زمین مرجع سازی: که با تعداد و دقت GCPs و خطای RMSE سنجیده می‌شود.
- نوار تصحیح اعوجاج (Seamlines): خطوط بهینه برای ترکیب تصاویر و کاهش اختلاف رنگ.
- رزولوشن تصویر: شامل رزولوشن مکانی(اندازه پیکسل) و رادیومتری(عمق رنگ).
- کیفیت مدل ارتفاعی (DEM/DTM) برای تصحیح جابجایی‌های ارتفاعی.
- الگوریتم‌های پردازشی مانند درون‌یابی و تصحیح رادیومتری.

تنظیم بهینه این پارامترها منجر به تولید اورتوفتویی با دقت هندسی بالا و یکنواختی رنگی مناسب می‌گردد (شکل ۵).

• ابر نقاط(Point Cloud): مجموعه‌ای سه‌بعدی از نقاط سطح زمین است که موقعیت دقیق هر نقطه با استفاده از تصاویر هوایی و اطلاعات مرجع تعیین می‌شود. ورودی این فرآیند ۷۶۳ تصویر هوایی و نقاط کنترل زمینی استخراج‌شده از نقشه پایه است. برای افزایش دقت و حذف نقاط نامطلوب، از ابزار Gradual Selection در نرم‌افزار Metashape استفاده شد. چهار معیار زیر برای شناسایی و حذف این نقاط اعمال گردید:

- خطای نگاشت مجدد (Reprojection Error)
- عدم قطعیت بازسازی (Reconstruction Uncertainty)
- دقت نگاشت (Projection Accuracy)
- تعداد تصاویر مشاهده‌شده (Image Count)

تعداد نقاط ابر اولیه ۲۳۵،۳۹۷،۴۹۶ نقطه بود که پس از پالایش به ۲۳۵،۵۸۳،۴۷۲ نقطه کاهش یافت(شکل ۶). نقاط نامطلوب (Undesirable Points) به نقاطی اطلاق می‌شود که به دلیل نویز، حرکت، سطوح بازتابنده، یا خطاهای پردازش، دقت کافی برای مدل‌سازی سه‌بعدی ندارند. این نقاط شامل Noisy points،Outliers و Low-confidence points می‌باشند.



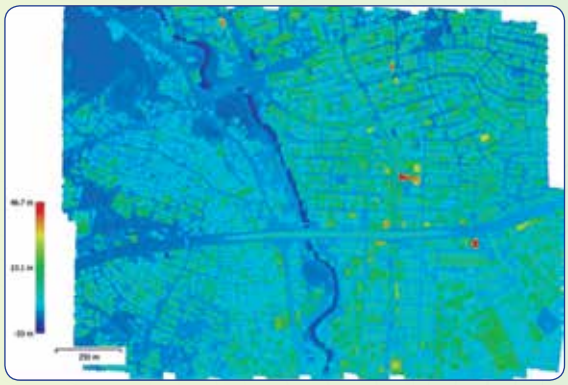
شکل ۵: اورتوفتو تولیدشده در منطقه موردمطالعه

2. Orthophoto
3. Point Cloud
4. Digital Elevation Model
5. Digital Terrain Mod



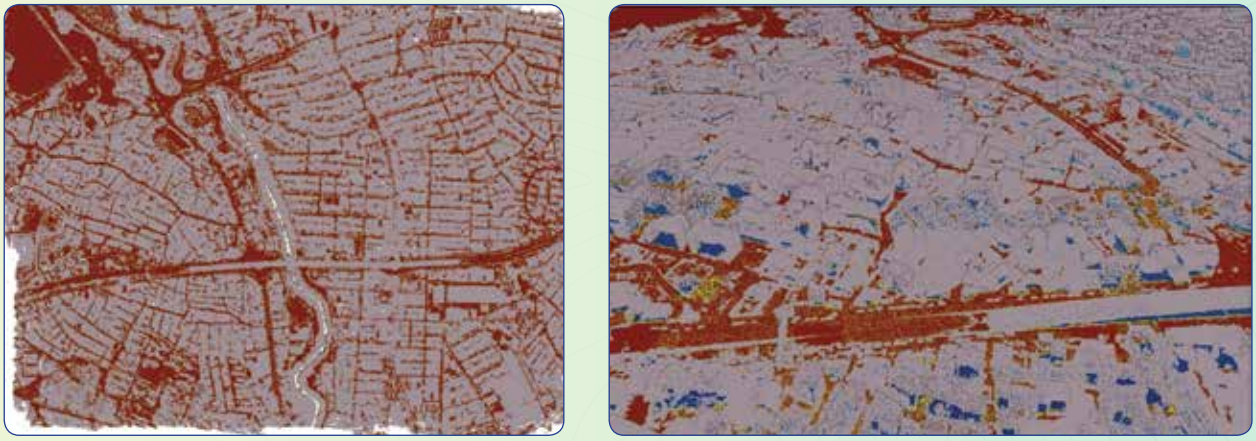
شکل ۶: بخشی از ابر نقاط تولیدشده در منطقه موردمطالعه

DEM: ایـن مـدل تغییـرات توپوگرافـی سـطح زمیـن را شـامل می‌شـود. بـا اسـتفاده از ابـر نقـاط، ارتفاعـات و تغییـرات توپوگرافـی منطقـه به‌صـورت دقیـق مدل‌سـازی شـد. پارامترهـای کلیـدی شـامل دقـت مرجع‌سـازی، نـوع مـدل (ماتریسـی یـا مثلثـی) و رزولوشـن هسـتند کـه بـر جزئیـات و دقـت مـدل تأثیـر می‌گذارند(شـکل ۷).

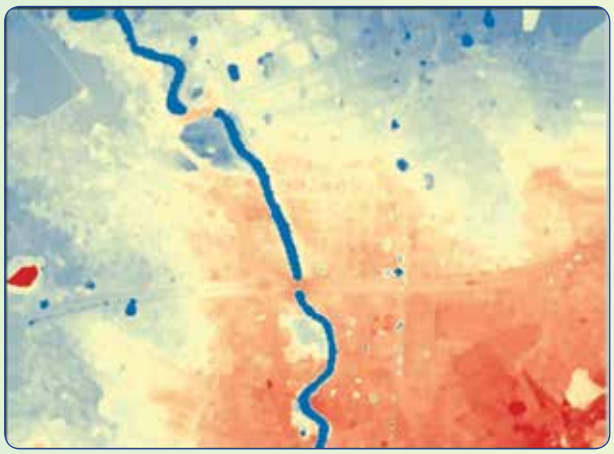


شکل ۷: مدل ارتفاعی رقومی (ساخته‌شده با ابر نقاط بعد از حذف نویز)

DTM: بـرای تولیـد DTM، ابـر نقـاط وارد نرم‌افـزار Global Mapper شـد و نقـاط سـطح زمیـن از سـایر عـوارض ماننـد سـاختمان‌ها و پوشـش گیاهـی تفکیـک گردیـد. پارامترهایـی نظیـر زاویـه تفکیـک، فاصلـه مجـاز بیـن نقـاط و محـدوده ارتفاعـی بـرای تضمیـن دقـت تنظیـم شدند(شـکل ۸). نقـاط زمیـن پـس از کلاس‌بنـدی به‌صـورت شـبکه ارتفاعـی منظـم بـا فرمـت TIFF ذخیـره و بـا اسـتفاده از الگوریتـم IDW در ArcMap درون‌یابـی شـدند تـا مـدل ارتفاعـی پیوسـته و همـواری ایجـاد شـود. ایـن مـدل پایـه و مرجـع تعییـن ارتفـاع کـف و پایـه سـاختمان‌ها در مدل‌سـازی سـه‌بعدی است(شـکل ۹).



شکل ۸: جداسازی سطح زمین از سایر عوارض در منطقه موردمطالعه



شکل ۹: DTM تولیدشده در منطقه موردمطالعه

۳-۲- تولید مدل سه‌بعدی هندسه بام ساختمان‌ها

در این بخش، روش تولید مدل سه‌بعدی هندسه بام ساختمان‌ها از داده‌های ابرنقطه با فرمت LAS و پلیگون‌های محدوده ساختمان در قالب GeoJSON ارائه می‌شود. روش پیشنهادی در پنج مرحله اصلی شامل تقسیم‌بندی ساختمان‌ها، بازسازی صفحات عمودی، تولید وجوه کاندید، بهبود دقت ساختاری و انتخاب وجوه بهینه پیاده‌سازی شده است. دقت نتایج این روش مستلزم وجود ابرنقاطی با تراکم مناسب و حداقل نویز و همچنین پلیگون‌های محدوده با دقت بالا می‌باشد.

شکل شماره ۱۰ نمای شماتیک از مراحل مختلف روش پیشنهادی را نشان می‌دهد که در ادامه به‌تفصیل شرح داده خواهد شد.

• تقسیم‌بندی ساختمان‌ها

در مرحله تقسیم‌بندی ساختمان‌ها، ابتدا داده‌های ابرنقطه بر روی مدل رقومی زمین تصویر شده و با استفاده از پلیگون‌های اعیانی ساختمان که از نقشه‌های بزرگ‌مقیاس به‌صورت دستی تهیه‌شده، محدوده هر سازه مشخص می‌گردد. نقاط واقع درون هر چندضلعی به‌عنوان داده‌های مربوط به همان ساختمان جداسازی می‌شوند. این فرآیند امکان پردازش مجزا و دقیق هر ساختمان را در مراحل بعدی مدل‌سازی فراهم می‌سازد.

• بازسازی صفحات عمودی ساختمان‌ها

بازسازی دیوارهای عمودی از چالش‌های اصلی در پردازش ابر نقاط هوایی است، زیرا این سطوح به دلیل زاویه تصویربرداری اغلب در داده‌های خام موجود نیستند. در این روش، ابتدا نقشه ارتفاعی(Heightmap) از نقاط سقف ساختمان‌ها تولیدشده و با تکنیک TIN به یک مدل سه‌بعدی تبدیل می‌شود. سپس منحنی میزان‌های تغییرات ارتفاع با الگوریتم تشخیص لبه Canny استخراج می‌شوند. این الگوریتم با مراحل کاهش نویز گوسی، محاسبه گرادیان، سرکوب غیر حداکثر و آستانه‌گذاری هیسترزیس، لبه‌های دقیق و پیوسته‌ای از مرزهای ارتفاعی تولید می‌کند. منحنی میزان‌های استخراج‌شده با روش انتقال بهینه به پلی‌لاین‌های نشان‌دهنده دیوارهای عمودی تبدیل‌شده و پس از حذف نویز و هموارسازی، به سمت زمین اکسترود می‌شوند تا دیوارها بازسازی شوند.

• تولید وجوه کاندید ساختمان‌ها

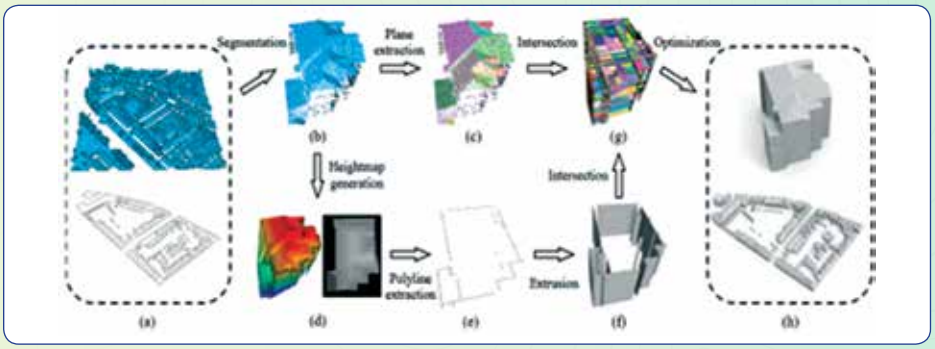
در این بخش، استخراج وجوه کاندید صفحه بام ساختمان با استفاده از الگوریتم RANSAC برای شناسایی صفحات اولیه از ابرنقاط انجام می‌شود. هر صفحه پشتیبان شامل نقاطی بافاصله کمتر از آستانه ε از صفحه مرجع است. به دلیل وجود نویز و نقاط پرت، صفحات اولیه ممکن است حاوی عناصر نامطلوب با جهت‌گیری‌های تصادفی باشند که می‌توانند منجر به ایجاد وجوه نادرست در مدل نهایی شوند.

برای بهبود کیفیت صفحات، فرآیند ادغام تکراری صفحات با شرایط زیر اجرا می‌شود:

– زاویه بین دو صفحه کمتر از $\theta t=10^\circ$ باشد

– تعداد نقاط مشترک (Nt) روی هر دو صفحه حداقل $Nt=\min(|si|,|sj|)/5$ باشد.

پس از ادغام صفحات، صفحه پشتیبان جدید با استفاده از PCA محاسبه می‌شود. سپس صفحات نهایی توسط پلیگون محدوده ساختمان برش داده‌شده و تقاطع‌های دوتایی آن‌ها برای تولید وجوه کاندید محاسبه می‌گردد. این روش اگرچه ممکن است وجوه اضافی تولید کند، اما پایه‌ای برای مرحله بعدی انتخاب وجوه بهینه فراهم می‌کند. علاوه بر این، دیوارهای عمودی نیز با اکسترود کردن پلیگون ساختمان به سمت پایین استخراج می‌شوند.



شکل ۱۰: مراحل تولید مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها

• بهبود دقت ساختاری

بهبود دقت ساختاری به‌منظور رفع ناهماهنگی‌های ناشی از نویز و تراکم نامنظم نقاط در مدل‌های سه‌بعدی انجام می‌شود. این فرآیند در دو مرحله اصلی پیاده‌سازی شده است:

در **مرحله خوشه‌بندی خطوط**، پلی‌لاین‌های استخراج‌شده بر اساس دو معیار جهت و فاصله اقلیدسی گروه‌بندی می‌شوند. خطوط با اختلاف زاویه کمتر از ۲۰ درجه و فاصله اقلیدسی کمتر از آستانه مشخص، در یک خوشه قرار می‌گیرند. این کار باعث شناسایی الگوهای تکرارشونده مانند خطوط موازی و متعامد می‌شود.

در مرحله تنظیم ساختاری، برای هر خوشه جهت میانگین محاسبه‌شده و کلیه خطوط با این جهت همسو می‌گردند. سپس روابط هندسی بهینه‌سازی می‌شوند: خطوط با زاویه کمتر از ۲۰ درجه به‌طور کامل موازی و خطوط با زاویه نزدیک به ۹۰ درجه به‌طور کامل عمود تنظیم می‌شوند. درنهایت، خطوط بازسازی‌شده با لبه‌های پلیگون‌های اعیانی تطبیق داده می‌شوند تا موقعیت دیوارها با دقت بالایی تعیین شود. این تنظیمات مبتنی بر اصول معماری شهری و باهدف ایجاد هماهنگی بین مدل و واقعیت انجام می‌گیرد.

• انتخاب وجوه بهینه ساختمان‌ها

انتخاب وجوه بهینه از میان وجوه کاندید با استفاده از فرمول‌بندی مسئله به‌صورت برنامه‌ریزی خطی دودویی انجام می‌شود. تابع هدف این مسئله شامل چهار مؤلفه اصلی است:

– مؤلفه تطابق داده‌ها (E_f): این مؤلفه کیفیت انطباق وجه‌ها با ابرنقاط را ارزیابی می‌کند:

$$E_f = 1 - \frac{1}{|P|} * \sum_{i=1}^{n} x_i * support\ f_i \qquad (1)$$

که در آن $|P|$ تعداد کل نقاط بوده و $support(f_i)$ میزان نزدیکی نقاط به وجه f_i را بر اساس ماتریس‌های کوواریانس محلی در سه مقیاس مختلف محاسبه می‌کند.

– **مؤلفه پیچیدگی مدل (E_m)**: برای کاهش پیچیدگی و تشویق ساختارهای ساده‌تر استفاده می‌شود:

$$E_m = \frac{1}{|E|} * \sum_{i=1}^{|E|} corner(e_i) \qquad (2)$$

که در آن $|E|$ تعداد لبه‌های تقاطع و $corner(e_i)$ مشخص می‌کند آیا لبه e_i به یک لبه تیز منجر می‌شود یا خیر.

– **مؤلفه پوشش نقاط (Ec)**: برای حداکثر سازی پوشش مناطق دارای داده

$$Ec = \frac{1}{area(M)} * \sum_{i=1}^{n} x_i * (area(f_i) - area(M_i^{\alpha})) \qquad (3)$$

که در آن M_i^{α} شکل آلفا مربوط به وجه f_i است.

– **مؤلفه اولویت‌بندی سقف (E_r)**: برای اولویت‌دهی به سطوح بالاتر

$$E_r = \frac{1}{|F|}\sum_{i=1}^{|F|} x_i * \frac{z_{max} - z_i}{z_{max} - z_{min}} \qquad (4)$$

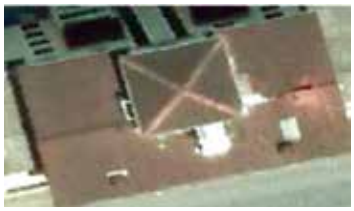
که در آن z_i مختصات مرکز سطح، z_{max} و z_{min} به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین مختصات z نقاط ساختمان هستند.

فرآیند بهینه‌سازی با کمینه‌سازی ترکیب وزنی این توابع هدف و با اعمال قیود سختی شامل اطمینان از بدون حفره بودن سطوح، تک لایه بودن سقف و اتصال صحیح وجوه انجام می‌شود. راه‌حل نهایی از طریق حل

مسئله برنامه‌ریزی خطی دودویی به دست می‌آید. در جدول شماره ۱ نمونه‌هایی از بام‌های موجود در منطقه موردمطالعه ارائه‌شده است.

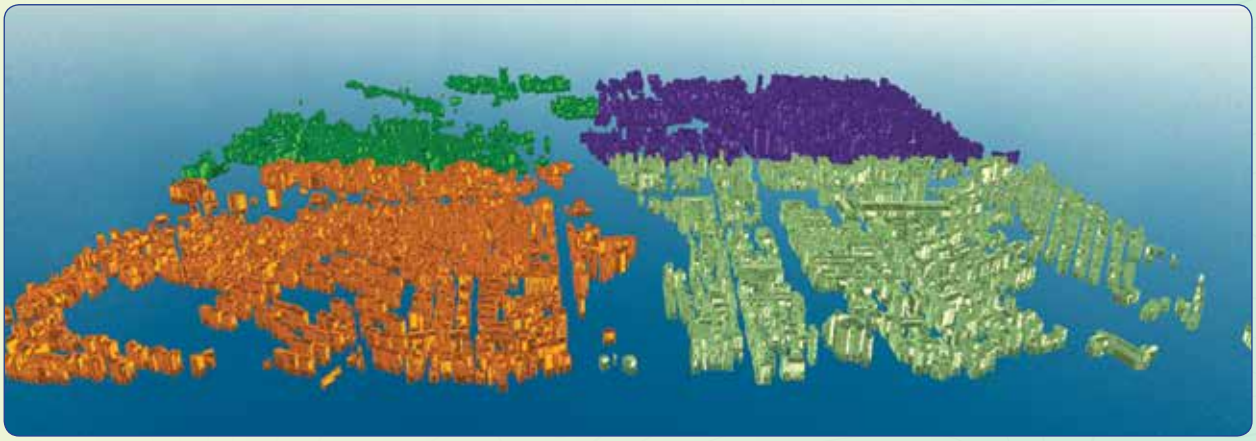
شکل‌های شماره ۱۱ و ۱۲ به ترتیب نمونه‌هایی از بازسازی سه‌بعدی ساختمان‌ها و مدل هندسه بام‌ها را همراه با ابرنقاط مربوطه نمایش می‌دهند. روش پیشنهادی علاوه بر دقت بالا در تولید هندسه بام، قادر به بازسازی اجزای دقیق سقف نظیر دودکش‌ها نیز می‌باشد، مشروط بر اینکه تراکم نقاط در این نواحی کافی باشد. خروجی نهایی مدل سه‌بعدی در قالب OBJ است که به‌عنوان ورودی برای تولید فرمت‌های استاندارد CityGML و GeoJSON مورداستفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۱: انواع مختلف بام ساختمان موجود در منطقه موردمطالعه

ردیف	تصویر	نوع سقف	ردیف	تصویر	نوع سقف
۱		سقف تخت	۶		سقف ترکیبی، شیروانی، شیروانی
۲		سقف شیروانی	۷		چهار شیب متقاطع
۳		سقف هرمی	۸		شش‌ضلعی
۴		سقف سه شیب	۹		سقف ترکیبی، شیروانی و شش‌ضلعی
۵		سقف چهار شیب	۱۰		سقف ترکیبی شیروانی و هرمی



شکل ۱۱: بازسازی سه‌بعدی ساختمان‌ها



شکل ۱۲: مدل سه‌بعدی هندسه بام ساختمان‌ها

لازم به توضیح است، در شماره‌های بعدی این نشریه، به ترتیب به مباحث تبدیل مدل‌های سه‌بعدی به فرمت‌های استاندارد GeoJSON و CityGML، تحلیل‌های معنایی و ارتفاعی ساختمان‌ها، نمایش تعاملی مدل‌ها در پلتفرم‌های وب و درنهایت ارزیابی کمی دقت مدل‌ها با استفاده از داده‌های میدانی پرداخته خواهد شد.



پیوست‌ها

پیوست ۱: واژه‌نامه اصطلاحات کلیدی

در این پیوست، مجموعه‌ای از اصطلاحات و مفاهیم تخصصی مورد استفاده در گزارش حاضر به همراه توضیحات مختصر ارائه‌شده است تا مطالعه و درک متن برای مخاطبان تسهیل گردد.

اصطلاح	توضیح
OBJ	قالب استاندارد برای ذخیره و تبادل مدل‌های سه‌بعدی هندسی.
GeoJSON	قالب داده‌ای مبتنی بر JSON برای ذخیره و تبادل داده‌های مکانی شامل مدل‌های سه‌بعدی.
CityGML	استاندارد بین‌المللی (مبتنی بر XML) برای ذخیره‌سازی و تبادل داده‌های سه‌بعدی شهری.
DSM (Digital Surface Model)	مدل رقومی سطح که شامل ارتفاع همه عوارض سطحی (ساختمان‌ها، درختان و ...) است.
DEM (Digital Elevation Model)	مدل رقومی ارتفاعی که تغییرات توپوگرافی سطح زمین را شامل می‌شود.
DTM (Digital Terrain Model)	مدل رقومی زمین که فقط ارتفاع سطح زمین بدون عوارض سطحی (ساختمان‌ها و پوشش گیاهی) را نمایش می‌دهد.
Point Cloud (ابرنقطه)	مجموعه‌ای از نقاط سه‌بعدی حاصل از اسکن لیزری یا فتوگرامتری برای بازسازی عوارض.
LAS (LiDAR Data Exchange Format)	فرمت استاندارد برای ذخیره‌سازی داده‌های لیدار، شامل اطلاعات کامل ابرنقاط سه‌بعدی.
TIN (Triangulated Irregular Network)	مدل‌سازی سه‌بعدی زمین با استفاده از مثلث‌های نامنظم برای نمایش توپوگرافی.
Canny (Edge Detection)	الگوریتم استخراج لبه برای شناسایی خطوط تغییر ارتفاع و عوارض.
RANSAC (Random Sample Consensus)	الگوریتم مقاوم برای برازش مدل‌های هندسی به داده‌های دارای نویز.
PCA (Principal Component Analysis)	روش آماری برای کاهش ابعاد و محاسبه صفحه بهینه از داده‌های ابرنقطه.
IDW (Inverse Distance Weighting)	روش درون‌یابی داده‌های مکانی بر اساس فاصله نقاط.
ArcMap	نرم‌افزار GIS برای پردازش و تحلیل داده‌های مکانی.
Global Mapper	نرم‌افزار پردازش و مدیریت داده‌های ژئوماتیک و تولید مدل‌های ارتفاعی.
Agisoft Metashape	نرم‌افزار پردازش تصاویر هوایی و تولید ابرنقطه و مدل‌های سه‌بعدی.
Gradual Selection	ابزار نرم‌افزار Metashape برای پالایش و حذف نقاط نویزی در ابرنقطه‌ها.

منابع

1. Biljecki, F., H. Ledoux, and J. Stoter, An improved LOD specification for 3D building models. Computers, environment and urban systems, 2016. 59: p. 25-37.
2. Haala, N. and M. Kada, An update on automatic 3D building reconstruction. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010. 65(6): p. 570-580.
3. Sampath, A. and J. Shan, Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial lidar point clouds. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 2009. 48(3): p. 1554-1567.
4. Xiong, B., et al., Flexible building primitives for 3D building modeling. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015. 101: p. 275-290.

کمیته تخصصی نام‌نگاری و یکسان‌سازی نام‌های جغرافیایی



آدرس کمیته تخصصی نام‌نگاری و یکسان‌سازی نام‌های جغرافیایی: https://geonames.ncc.gov.ir

آدرس پایگاه ملی نام‌های جغرافیایی: https://gndb.ncc.gov.ir



سازمان برنامه و بودجه کشور

سازمان نقشه‌برداری کشور

زیرساخت داده مکانی (SDI)

اقتصاد دیجیتال

زیرپرتال سرمایه‌گذاری

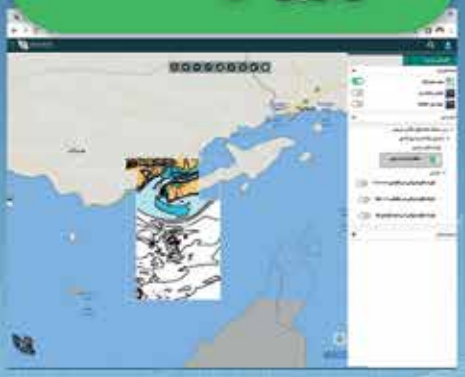


زیرپرتال مدیریت بحران





زیرپرتال MSDI



زیرپرتال حوضه‌های آبریز





گواهینامه افتا

www.iransdi.gov.ir

National Cartographic Center of Iran

www.ncc.gov.ir



سازمان برنامه و بودجه کشور

سازمان نقشه برداری کشور

میدان آزادی، خیابان معراج

صندوق پستی: ۱۳۱۸۵-۱۶۸۴

تلفن: ۷-۶۶۰۷۱۰۰۱ دورنگار: ۶۶۰۷۱۰۰۰