

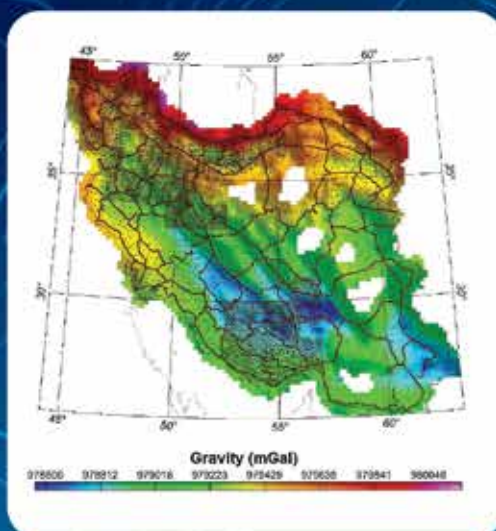


سازمان نقشه‌برداری کشور

نقشه‌برداری

شماره ۱۲۴

سال بیست و هفتم، شماره ۱۲۴، تابستان ۱۴۰۴



استخراج ساختمان از تصاویر هوایی با ترکیب معماری رمزگذار-رمزگشا UNet و ماژول تجمع هرم فضایی متخلخل (ASPP)

استخراج نقشه عمق و ویژگی‌های بستر دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 در محیط نرم‌افزار SNAP

مدلسازی نواحی عملکردی شهری با استفاده از مدل تعامل وزن‌دار فضایی مبتنی بر شبکه عصبی گراف



سرمایه‌گذاری
تولید



بیست و نهمین همایش و نمایشگاه ملی

مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی ژئوماتیک ۱۴۰۴

و پنجمین نمایشگاه بین‌المللی ایران ژئو



International Exhibition of

IRANGE



GEOMATICS
CONFERENCE



زمان: ۲۹ آبان الی ۲ آذر

نمایشگاه بین‌المللی تهران، سالن ۷ و ۲۷

ژئوماتیک
خشم‌پیدار
ایران

conf.ncc.gov.ir



محورهای همایش

تمدید شد

مهلت ارسال مقالات ۳۰ مهر
اعلام نتایج داوری ۱۰ آبان

نقشه‌برداری دقیق و میکروژئودزی

فتوگرامتری و تولید و بروزرسانی نقشه

ژئودزی، ژئودینامیک، تعیین موقعیت و ناوبری

سنجش از دور و پایش تغییرات هندسی - توصیفی

آبنگاری، تولید و بروزرسانی چارت‌های دریایی و پایش تراز دریا

کارتوگرافی، تهیه نقشه، اطلس و نام‌های جغرافیایی

زیرساخت اطلاعات مکانی، سامانه و سرویس‌های مکانی

ژئوماتیک و مخاطرات محیطی: فرونشست، زلزله، تغییرات اقلیمی و...

جغرافیا، آمایش سرزمین، بحران آب و ناترازی انرژی

حکمرانی با استفاده از داده‌های مکانی: برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری، دولت الکترونیک، جدنگاری و...

ژئوماتیک و فناوری‌های نوین: هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، متاورس، کوانتوم، دوقلوی رقمی، رباتیک و...



انجمن علمی مهندسی
نقشه‌برداری و ژئوماتیک ایران



دفتر دبیرخانه علمی: ۶۳۱۸۲۴۲۹

دفتر دبیرخانه اجرایی: ۶۳۱۸۲۵۰۷

۸۸۴۰۵۱۷۴



صاحب امتیاز: سازمان نقشه‌برداری کشور
مدیر مسئول: دکتر سید اسکندر میدایی
سر دبیر: دکتر محمد احمدلو
مدیر اجرایی: نعیمه ظفر دیزجی

هیئت تحریریه: دکتر سید اسکندر میدایی، 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 مهرانوش امتی، دکتر سید رهی فروغی‌آل‌داوود، دکتر لیلا کریمی‌دهکردی، دکتر مهرداد جعفری‌سلیم، دکتر حمیدرضا نانکلی، دکتر لیلا کریمی‌دهکردی، مهندس اشرف‌السادات قریشی

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

همکاران این شماره: دکتر محمد احمدلو، مهندس معصومه اقبالی‌مردخه، شیرین اکبری، دکتر مهرانوش امتی، دکتر معصومه آمیغ‌پی، دکتر رامین پاپی، مهندس پیمان بگتاش، علی‌محمد پوری‌ویشکائی، مهندس پرستو توکلی، مهندس حمیده چراغی، دکتر سیده‌صدیقه حسینی‌دشتیخوانی، مهندس ارسلان حیدری، مهندس صباح راموز، مهندس سیمین سراب‌همتی، دکتر عبدالرضا سعادت، مهندس ساناز صاحب‌خیر، مریم صادقی، مهندس آرش صفایی‌اصل، راحله علیرزاده، فاطمه علی‌قلی‌طایفه، حسین عیسی‌نیا، دکتر مرجان قنبری، دکتر محمد کریمی، پروفیسور کریستف کلارامونت، مهندس عباس مجیدی‌زاده، مهندس مونا سادات موسوی، مهندس سید حمید موسوی‌اصل، مهندس مریم ملکی، دکتر حمیدرضا نانکلی

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

فهرست مطالب

شماره صفحه

■	سخن سردبیر	۱
■	دستاوردهای شورای عالی نقشه‌برداری	۲
■	استخراج ساختمان از تصاویر هوایی با ترکیب معماری رمزگذار- رمزگشا UNet و مائول تجمیع هرم فضایی متخلخل (ASPP)	۴
■	واقعیت افزوده و مجازی تحت وب نقشه‌های مکان مینا	۱۳
■	استخراج نقشه عمق و ویژگی‌های بستر دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره ای Sentinel-2 در محیط نرم افزار SNAP	۱۸
■	بررسی تغییر نام‌های جغرافیایی و نقش آن در توسعه پایدار	۲۴
■	مدلسازی نواحی عملکردی شهری با استفاده از مدل تعامل وزن دار فضایی مبتنی بر شبکه عصبی گراف	۲۸
■	نقش راهبردی سازمان نقشه‌برداری کشور در توسعه زیرساخت‌های مکانی متاورس و اینترنت اشیا با بهره‌گیری از همگرایی ژئوماتیک، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در عصر دیجیتال	۳۸
■	سامانه مدل ژئوئید محلی ایران IRG2016	۴۸
■	طراحی GNSS شبکه ایستگاه‌های دائمی در استان گیلان به منظور پایش و رفتار سنجی گسل‌های فعال	۵۳
■	معرفی سرویس شناسایی هوشمند و سامانه‌ی پیامکی	۵۸
■	معرفی کتاب	۶۳
■	همراه با جامعه مهندسان نقشه‌بردار ایران	۶۴
■	سمینارها و گردهمایی‌ها	۶۶

به خوانندگان محترم، همکاران و کل جامعه نقشه‌برداری و ژئوماتیک کشور

با حس مسئولیت عمیق و اشتیاق فراوان، نقش سردبیری فصلنامه علمی و فنی سازمان نقشه‌برداری کشور را بر عهده می‌گیرم. این نشریه از دیرباز به عنوان روزه‌ای حیاتی برای نشر دانش فنی در حیطه علوم ژئوماتیک، اطلاع‌رسانی اخبار و رویدادهای سازمان عمل کرده است و بنده به عنوان عضو کوچکی از جامعه مهندسی نقشه‌برداری متعهد هستم که ضمن هدایت آن به سمت آینده‌ای پویاتر به این میراث احترام بگذارم.

در بخش نخست شماره ۱۲۴ نشریه، دستاوردهای شورای عالی نقشه‌برداری ارائه شده است. در همین راستا، "گروه کاری تدوین طرح جامع کاداستر دریایی" ذیل کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری به دبیری سازمان ثبت اسناد و املاک کشور و مشارکت مدیریت آب‌نگاری و امور جزر و مدی سازمان نقشه‌برداری کشور تشکیل شد. این طرح یکی از گام‌های مهم دولت برای نیل به توسعه اقتصاد دریامحور خواهد بود. همچنین "گروه کاری بررسی سامانه مدیریت و نظارت بر توسعه استان‌های کشور (متاک) در خصوص پنجره واحد زمین" جلسات خود را به منظور پاسخ به سوالات کلیدی اعم از مکان‌محور بودن یا نبودن سامانه و ارتباط آن با زیرساخت داده‌های مکانی برگزار کرد. در ادامه نشریه مقالات ارزشمندی در ارتباط با حیطه‌های مختلف علوم ژئوماتیک ارائه شده است.

در ادامه نیز گزارشات فنی ارزشمندی در ارتباط با سامانه مدل ژئوئید محلی ایران و همچنین معرفی سامانه شناسایی هوشمند و سامانه پیامکی توسط همکاران زحمتکش سازمان نقشه‌برداری ارائه شده است.

در انتها از همه همکاران و افراد دخیل در علوم ژئوماتیک دعوت می‌شود در بالا بردن محتوای نشریه ما را یاری فرمایند و با ارسال مقالات و پژوهش‌های کاربردی خود، سطح علمی و فنی این نشریه را ارتقا دهند. امیدوارم با ترسیم مسیری هدفمند در شناساندن هر چه بهتر علوم ژئوماتیک به عنوان بخشی ضروری از جهان امروز بتوانیم نقشی هر چند کوچک ایفا کنیم.

با احترام

احمدلو

سردبیر فصلنامه علمی و فنی سازمان نقشه‌برداری کشور



دستاوردهای شورای عالی نقشه‌برداری کشور

پیمان بکتاش

دبیر کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور
مدیر کل نظارت، کنترل فنی و استاندارد سازمان نقشه‌برداری کشور

از شماره ۱۱۸ نشریه (زمستان ۱۴۰۲) تاکنون به‌صورت 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 نحوه فعال شدن کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور و معرفی گروه‌های کاری ذیل این کمیسیون اشاره شد. همچنین به برخی نتایج و دستاوردهای مهم شورای عالی نقشه‌برداری کشور اشاره شده است. در این شماره نیز در خصوص ۲ نتیجه و دستاورد حاصله دیگر از مصوبات مهم و ارزشمند کمیسیون معین و شورای عالی نقشه‌برداری کشور سخن گفته می‌شود.



تدوین طرح جامع کاداستر دریایی و ارائه گزارش فعالیت‌های اجرای برنامه جامع تحقق سیاست‌های کلی توسعه دریامحور

به‌منظور شناسایی آب‌های تحت حاکمیت جمهوری اسلامی ایران، تحدید حدود فعالیت‌های دریایی (ساحلی/فراساحلی)، ثبت مشخصات ذینفع یا ذینفعان و نوع و مدت فعالیت‌های موردنظر، ثبت قوانین و محدوده‌های دریایی، پیاده‌سازی اطلاعات در بستر بانک اطلاعاتی قابل‌نمایش بر روی نقشه، تعیین متولی به‌منظور ایجاد زیرساخت و مدیریت داده‌های مکانی - محدوده‌ها و قوانین مرتبط با آن در حوزه دریا و سایر موضوعات این حوزه، کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور این موضوع را به‌عنوان یکی دیگر از اولویت‌های اصلی برنامه کاری خود قرار داد. از سویی دیگر کاداستر دریایی نقش بسزایی در توسعه اقتصاد دریامحور دارد. از این‌رو در راستای دومین مصوبه جلسه ۷۷ کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور مورخ ۱۴۰۲/۰۳/۲۲، مقرر گردید «گروه کاری تدوین طرح جامع کاداستر دریایی» ذیل این کمیسیون تشکیل گردد. هدف اصلی این گروه کاری، تهیه طرح جامعی مبنی بر استقرار کاداستر دریایی و ایجاد زیرساخت داده مکانی دریایی کشور با همکاری همه ذینفعان موردنظر می‌باشد. این گروه کاری فعالیت خود را از تاریخ ۱۴۰۲/۰۶/۱۲ آغاز نموده و هم‌اکنون به دبیری سازمان ثبت اسناد و املاک کشور و مشارکت فعال مدیریت آب‌نگاری و امور

جزر و مدی سازمان نقشه‌برداری کشور و سایر اعضای ذی‌ربط، ذیل کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور در حال فعالیت می‌باشد. از آنجائی که توسعه اقتصاد دریامحور یکی از اهداف و برنامه‌های مهم دولت است، ایجاد کاداستر دریایی در نیل به این هدف، بسیار ضروری و حائز اهمیت خواهد بود.

اجرای وظایف محوله ذی‌ربط ابلاغی در «برنامه جامع تحقق سیاست‌های کلی توسعه دریامحور» نیز از دیگر موارد قرارگرفته در دستور کار کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور بود. در جلسه ۸۹ این کمیسیون، دستور کاری با عنوان «ارائه گزارشی از برگزاری نشست تخصصی توسعه دریامحور و جایگاه نقشه و اطلاعات مکانی در تحقق آن در بیست و هشتمین همایش ملی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی (ژئوماتیک ۱۴۰۳) و نتایج و جمع‌بندی‌های حاصل از برگزاری این نشست و همچنین مفاد مصوبه هیئت وزیران و ابلاغ «برنامه جامع تحقق



سیاست‌های کلی توسعه دریامحور مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در این خصوص، ابتدا گزارش جامعی در خصوص برگزاری «نشست تخصصی توسعه دریامحور و جایگاه نقشه و اطلاعات مکانی در تحقق آن» در بیست و هشتمین همایش ملی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی (ژئوماتیک ۱۴۰۳) و نتایج و جمع‌بندی‌های حاصل از برگزاری این نشست توسط مدیرآبنگاری و

امور جزر و مدی سازمان ارائه شد؛ سپس مفاد مصوبه هیئت‌وزیران و ابلاغ «برنامه جامع تحقق سیاست‌های کلی توسعه دریامحور» تشریح گردید. نکته حائز اهمیت اینکه یکی از متولیان مهم در برنامه مذکور، شورای عالی نقشه‌برداری کشور تعیین شده است و به این لحاظ، نقش کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری در این راستا بسیار پراهمیت است. با تأکید بر اهمیت توجه به سیاست‌های ابلاغی کلی توسعه دریامحور از سوی مقام معظم رهبری، در جلسه کمیسیون معین خاطرنشان گردید که تحقق این سیاست‌های کلی، نیازمند هم‌افزایی و مشارکت تمامی دستگاه‌های ذی‌ربط تعیین شده در برنامه جامع تحقق این سیاست‌ها می‌باشد. این موضوع نیز به‌صورت مستمر توسط کمیسیون معین مورد پایش قرار خواهد گرفت.

■ بررسی مکان‌محور شدن سامانه مدیریت و نظارت بر توسعه استان‌های کشور (منتاک) مربوط به وزارت کشور

به دنبال درک نیاز برای حل وظایف نظارتی وزارت کشور در راستای رصد سطوح داخلی وزارتخانه تا سطح تقسیمات سیاسی درون کشوری، رصد و نظارت عالیه بر طرح‌های عمرانی ازجمله نقش بخش غیرخصوصی در انجام اهداف بالادستی در پروژه دستگاه‌ها، پروژه‌های تملک دارایی و سرمایه‌ای، پروژه‌های غیرموافقتنامه‌ای، صرف هزینه از طرف بخش‌های خصوصی در پروژه‌های احداثی و در دست داشتن اطلاعات مکانی پروژه‌های مربوطه، پروژه اربعین (زائرین عتبات کشور عراق)، پروژه مناطق حاشیه‌نشین و اطلاعات اعتباری این پروژه‌ها، سامانه‌ای در وزارت کشور

تحت عنوان «سامانه مدیریت و نظارت بر توسعه استان‌های کشور (منتاک)» از سال ۱۳۸۵ راه‌اندازی گردیده است. سامانه منتاک نقش بسزایی در شفافیت اجرای پروژه‌های عمرانی کشور دارد. بر اساس دومین مصوبه جلسه ۷۴ کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور به تاریخ ۱۴۰۱/۱۰/۲۸ مقرر شد در خصوص بررسی میزان مکان‌محور بودن سامانه «منتاک» و ارتباط آن با پنجره واحد مدیریت زمین و همچنین زیرساخت داده مکانی و ظرفیت‌های اجرایی نمودن دستورالعمل رفتارسنجی ژئودتیک در پایش سازه‌های حساس کشور و با عنایت به مصوبات شصت و نهمین جلسه کمیسیون معین در خصوص پنجره واحد دولت، مقرر گردید «گروه کاری بررسی سامانه مدیریت و نظارت بر توسعه استان‌های کشور (منتاک) در خصوص پنجره واحد زمین» ذیل کمیسیون معین تشکیل گردد. هدف از تشکیل این گروه کاری به‌منظور پاسخ به این سؤالات می‌باشد: آیا سامانه منتاک مکان‌محور است؟ اگر این سامانه مکان‌محور است ارتباط آن با SDI چیست؟ آیا بحث توزیع یافتگی اطلاعات مکان‌محور در چارچوب SDI گنجانده شده است؟ ارتباط این سامانه با سامانه پنجره واحد زمین چیست؟

گفتنی است، این گروه کاری تاکنون چهار جلسه خود را برگزار نموده و هم‌اکنون در حال فعالیت می‌باشد.

این دو دستاورد کمیسیون معین شورای عالی نقشه‌برداری کشور، نقش مهمی در «حکمرانی مکان‌محور» و «تحقق اهداف کلان کشور» دارد. در چشم‌انداز کوتاه‌مدت با پیگیری مستمر این دو موضوع و همکاری دستگاه‌های ذی‌ربط، برگ زرین دیگری در کارنامه شورای عالی نقشه‌برداری کشور قرار خواهد گرفت.

استخراج ساختمان از تصاویر هوایی با ترکیب معماری رمزگذار- رمزگشا UNet و ماژول تجمع هریم فضایی متخلخل (ASPP)

مهرنوش امتی، رئیس اداره پردازش تصاویر سازمان نقشه‌برداری کشور
عباس مجیدی‌زاده، کارشناس اداره پردازش تصاویر سازمان نقشه‌برداری کشور

چکیده

استخراج ساختمان‌ها از تصاویر ماهواره‌ای یا هوایی یکی از موضوعات کاربردی در حوزه‌های سنجش‌ازدور و فتوگرامتری در سال‌های اخیر بوده است. در دنیای امروز با توجه به ظرفیت نقشه و اطلاعات مکانی در توسعه پایدار کشوری، ضرورت استفاده از اطلاعات مکانی به‌عنوان ابزاری حائز اهمیت در تأمین اهداف و سیاست‌های کلان اقتصادی و اجتماعی موردتوجه قرار گرفته است. از کاربردهای استخراج ساختمان‌ها می‌توان به پایش تغییرات کاربری اراضی شهری، برنامه‌ریزی و توسعه در راستای هوشمندسازی شهری، تخمین جمعیت، مدیریت بحران و به‌روزرسانی نقشه‌های مبنایی اشاره نمود. این مقاله ترکیبی از مدل یادگیری عمیق UNet با ساختار رمزگذار-رمزگشا و ماژول تجمع هریم فضایی متخلخل را برای استخراج ساختمان از تصاویر هوایی ارائه می‌دهد. مدل پیشنهادی از یک ماژول تجمع هریم فضایی متخلخل برای اخذ و جمع‌آوری اطلاعات زمینه‌ای چند مقیاسه و قابلیت شبکه‌های رمزگذار-رمزگشا برای بازیابی اطلاعات از دست‌رفته بهره می‌برد. مدل پیشنهادی بر روی مجموعه داده هوایی ساختمان‌های WHU مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی در قطعه‌بندی معنایی ساختمان‌ها، از شبکه‌های عصبی عمیق UNet و Deeplabv3 استفاده شد. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از استخراج ساختمان‌ها، اثربخشی مدل پیشنهادی UNet-ASPP را نسبت به مدل‌های یادگیری عمیق نشان می‌دهد. مدل UNet-ASPP پیشنهادی با ۹۸/۹۰ درصد دقت کلی، ۹۴/۵۰ درصد MeanIoU و ۹۶/۲۵ درصد MeanBFScore عملکرد بهتری را در مقایسه با شبکه‌های عصبی UNet و Deeplabv3 به ترتیب با ۹۸/۸۵ و ۹۸/۵۶ درصد دقت کلی، ۹۴/۴۵ و ۹۳/۱۰ درصد MeanIoU، ۹۶/۲۰ و ۹۵/۲۰ درصد MeanBFScore کسب کرد.

واژگان کلیدی: رمزگذار-رمزگشا، ماژول تجمع هریم فضایی متخلخل، یادگیری عمیق، معماری UNet.

۱- مقدمه

و زمین‌های خالی بیش از پیش احساس می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از شبکه‌های یادگیری عمیق، به‌ویژه مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) و مدل‌های پیشرفته‌ای نظیر رمزگذار-رمزگشا^۱، ترنسفورمر^۲، شبکه‌های مولد تخاصمی^۳، خود رمزگذار^۴، شبکه‌های مبتنی بر توجه^۵ و شبکه‌های ترکیبی^۶، توانسته است دقت استخراج ساختمان‌ها را به‌طور قابل توجهی بهبود دهند. این شبکه‌ها با بهره‌گیری از یادگیری ویژگی‌های عمیق، توانایی تشخیص دقیق لبه‌ها، جداسازی ساختمان از پس‌زمینه‌های پیچیده و مقابله با نویزهای مختلف را دارند. همچنین، استفاده از

استخراج ساختمان از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای یکی از موضوعات اساسی در سنجش‌ازدور و پردازش تصویر است که کاربردهای گسترده‌ای در نقشه‌برداری، شهرسازی، مدیریت بحران و برنامه‌ریزی شهری دارد. روش‌های سنتی مبتنی بر پردازش تصویر و ویژگی‌های هندسی در استخراج ساختمان، به دلیل تغییرات پیچیده در شکل، اندازه و شرایط نوری ساختمان‌ها، دقت و قابلیت تعمیم محدودی دارند. با افزایش روزافزون تصاویر با وضوح بالا، نیاز به روش‌های دقیق و خودکار برای شناسایی و تفکیک ساختمان‌ها از سایر عناصر شهری مانند جاده‌ها، درختان

1. High-Resolution Imagery
4. Transformer
7. Attention-based Networks

2. Convolutional Neural Network
5. Generative Adversarial Networks (GAN)
8. Hybrid Networks

3. Encoder-Decoder
6. Autoencoders

ماژول‌هایی نظیر تجمیع ویژگی^۹، ماژول‌های توجه^{۱۰}، ماژول‌های تقویت ویژگی^{۱۱} و بلوک‌های باقیمانده^{۱۲}، دقت مدل را در تشخیص جزئیات ظریف بهبود می‌بخشد. ترکیب داده‌های چند طیفی و تصاویر تلفیقی به‌عنوان ورودی، امکان استخراج ساختمان‌ها را در شرایط مختلف محیطی و نوری تقویت کرده است. در این مقاله، روشی مبتنی بر شبکه‌های یادگیری عمیق برای استخراج ساختمان‌ها از تصاویر هوایی ارائه شده و عملکرد آن با روش‌های مرجع مقایسه می‌شود.

در دو دهه اخیر، به دلیل ظهور داده‌ها در مقیاس بزرگ، روش‌های یادگیری ماشین سنتی تحت تأثیر چالش‌های فضای استخراج ویژگی قرار گرفته‌اند. این رویکردها سرعت و دقت محاسباتی پایینی در یادگیری داده‌های آموزشی دارند. به دلیل ابعاد بالای داده‌های آموزشی، آن‌ها به سیستمی با حافظه افزایش‌یافته نیاز داشتند که غیراقتصادی بود. توسعه رویکردهای یادگیری عمیق و کارایی قابل توجه آن‌ها در مقایسه با روش‌های سنتی یکی از موضوعات موردعلاقه در زمینه‌های مختلف علمی در سال‌های اخیر بوده است. طیف گسترده‌ای از مطالعات در قطعه‌بندی معنایی و طبقه‌بندی داده‌های سنجش‌ازدور منتشر شده است. این رویکردها را می‌توان بر اساس نوع داده‌های کارشده، روش مورد استفاده برای قطعه‌بندی بخش‌ها، نوع تقسیم‌بندی و روش تشخیص و ردیابی شی طبقه‌بندی کرد. در این زمینه، لی و همکاران (۲۰۱۹) در چارچوب یک مدل یادگیری عمیق کانولوشنی با استفاده از ترکیب شبکه رمزگذار-رمزگشا U-Net و ساختار تجمیع هرم فضایی، مدل تجمیع هرم فضایی U-شکل^{۱۳} برای قطعه‌بندی معنایی ساختمان در تصاویر با وضوح بالای ماهواره‌ای را ارائه کردند. مدل پیشنهادی در دو مجموعه داده در دسترس عموم شامل مجموعه داده جاده‌ها و ساختمان‌های ماساچوست^{۱۴} و مجموعه داده برچسب‌گذاری تصاویر هوایی اینریا^{۱۵} مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجربی در این مجموعه داده‌ها، بهبود کمی و کیفی مدل پیشنهادی را در مقایسه با مدل‌های قطعه‌بندی معنایی Tiramisu، FCN، U-Net، SegNet و FRRN برای قطعه‌بندی خودکار ساختمان از تصاویر سنجش‌ازدوری با وضوح بالا نشان داد. وانگ و همکاران (۲۰۲۰)، در

مطالعه‌ای با هدف بهبود دقت استخراج ساختمان‌ها از تصاویر هوایی با وضوح بالا، شبکه عصبی ENRU-Net^{۱۶} را بر پایه ترکیب اطلاعات محلی و زمینه‌ای معرفی کردند. رویکرد پیشنهادی، ترکیبی از یک ساختار رمزگذار-رمزگشا با یک بلوک غیرمحلی هرمی نامتقارن^{۱۷} است که قادر به استخراج اطلاعات زمینه‌ای سراسری و حفظ جزئیات ساختمان‌ها می‌باشد. نتایج آزمایش‌ها روی دو مجموعه داده عمومی (ساختمانی ماساچوست و WHU) نشان داد که ENRU-Net دقت بالاتر و تفکیک‌پذیری بهتری نسبت به مدل‌های رایج مانند FCN-8s، U-Net، SegNet و Deeplabv3 در قطعه‌بندی ساختمان‌ها و شناسایی مرزها دارد. لی و همکاران (۲۰۲۲) روشی مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشنی برای استخراج ساختمان از تصاویر سنجش‌ازدور با وضوح بالا ارائه دادند. مدل پیشنهادی شامل یک ماژول هم‌ترازی ویژگی‌های هدایت‌شده ساختاری^{۱۸} (SCFAM) است که به حفظ انسجام اطلاعات ساختاری و معنایی در ویژگی‌های سطح بالا کمک می‌کند. همچنین، از ماژول استخراج ویژگی هرمی^{۱۹} (PFE) برای استخراج اطلاعات چندمقیاسی و ماژول‌های توجه در ابعاد فضایی و کانالی برای تقویت ویژگی‌های مربوط به ساختار ساختمان‌ها استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها روی دو مجموعه داده WHU و ماساچوست نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با مدل‌های مرجع مانند UNet++، UNet و DeepLabV3+، دقت بیشتری در استخراج ساختمان‌ها، خصوصاً در مرزبندی دقیق آن‌ها ارائه می‌دهد.

یکی از چالش‌های اصلی در استخراج ساختمان‌ها، تنوع در شکل، اندازه و الگوهای ساختاری ساختمان‌ها در مناطق مختلف است. علاوه بر این، عوامل محیطی مانند سایه‌ها، همپوشانی با درختان و تغییرات نور می‌توانند دقت استخراج را تحت تأثیر قرار دهند. برای غلبه بر این چالش‌ها، روش‌های پیشرفته و استفاده از ماژول‌هایی جهت بهبود دقت توسعه‌یافته‌اند که توانایی استخراج ویژگی‌ها در چندین مقیاس را فراهم می‌کنند. در این مقاله برای استخراج و قطعه‌بندی ساختمان از تصاویر قائم هوایی، ترکیبی از شبکه عصبی رمزگذار-رمزگشا کانولوشنی U-Net و ماژول تجمیع هرم فضایی متخلخل^{۲۰}

در دو دهه اخیر، به دلیل ظهور داده‌ها در مقیاس بزرگ، روش‌های یادگیری ماشین سنتی تحت تأثیر چالش‌های فضای استخراج ویژگی قرار گرفته‌اند. این رویکردها سرعت و دقت محاسباتی پایینی در یادگیری داده‌های آموزشی دارند. به دلیل ابعاد بالای داده‌های آموزشی، آن‌ها به سیستمی با حافظه افزایش‌یافته نیاز داشتند که غیراقتصادی بود. توسعه رویکردهای یادگیری عمیق و کارایی قابل توجه آن‌ها در مقایسه با روش‌های سنتی یکی از موضوعات موردعلاقه در زمینه‌های مختلف علمی در سال‌های اخیر بوده است. طیف گسترده‌ای از مطالعات در قطعه‌بندی معنایی و طبقه‌بندی داده‌های سنجش‌ازدور منتشر شده است. این رویکردها را می‌توان بر اساس نوع داده‌های کارشده، روش مورد استفاده برای قطعه‌بندی بخش‌ها، نوع تقسیم‌بندی و روش تشخیص و ردیابی شی طبقه‌بندی کرد. در این زمینه، لی و همکاران (۲۰۱۹) در چارچوب یک مدل یادگیری عمیق کانولوشنی با استفاده از ترکیب شبکه رمزگذار-رمزگشا U-Net و ساختار تجمیع هرم فضایی، مدل تجمیع هرم فضایی U-شکل^{۱۳} برای قطعه‌بندی معنایی ساختمان در تصاویر با وضوح بالای ماهواره‌ای را ارائه کردند. مدل پیشنهادی در دو مجموعه داده در دسترس عموم شامل مجموعه داده جاده‌ها و ساختمان‌های ماساچوست^{۱۴} و مجموعه داده برچسب‌گذاری تصاویر هوایی اینریا^{۱۵} مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجربی در این مجموعه داده‌ها، بهبود کمی و کیفی مدل پیشنهادی را در مقایسه با مدل‌های قطعه‌بندی معنایی Tiramisu، FCN، U-Net، SegNet و FRRN برای قطعه‌بندی خودکار ساختمان از تصاویر سنجش‌ازدوری با وضوح بالا نشان داد. وانگ و همکاران (۲۰۲۰)، در

مطالعه‌ای با هدف بهبود دقت استخراج ساختمان‌ها از تصاویر هوایی با وضوح بالا، شبکه عصبی ENRU-Net^{۱۶} را بر پایه ترکیب اطلاعات محلی و زمینه‌ای معرفی کردند. رویکرد پیشنهادی، ترکیبی از یک ساختار رمزگذار-رمزگشا با یک بلوک غیرمحلی هرمی نامتقارن^{۱۷} است که قادر به استخراج اطلاعات زمینه‌ای سراسری و حفظ جزئیات ساختمان‌ها می‌باشد. نتایج آزمایش‌ها روی دو مجموعه داده عمومی (ساختمانی ماساچوست و WHU) نشان داد که ENRU-Net دقت بالاتر و تفکیک‌پذیری بهتری نسبت به مدل‌های رایج مانند FCN-8s، U-Net، SegNet و Deeplabv3 در قطعه‌بندی ساختمان‌ها و شناسایی مرزها دارد. لی و همکاران (۲۰۲۲) روشی مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشنی برای استخراج ساختمان از تصاویر سنجش‌ازدور با وضوح بالا ارائه دادند. مدل پیشنهادی شامل یک ماژول هم‌ترازی ویژگی‌های هدایت‌شده ساختاری^{۱۸} (SCFAM) است که به حفظ انسجام اطلاعات ساختاری و معنایی در ویژگی‌های سطح بالا کمک می‌کند. همچنین، از ماژول استخراج ویژگی هرمی^{۱۹} (PFE) برای استخراج اطلاعات چندمقیاسی و ماژول‌های توجه در ابعاد فضایی و کانالی برای تقویت ویژگی‌های مربوط به ساختار ساختمان‌ها استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها روی دو مجموعه داده WHU و ماساچوست نشان می‌دهد که ENRU-Net دقت بالاتر و تفکیک‌پذیری بهتری نسبت به مدل‌های رایج مانند FCN-8s، U-Net، SegNet و Deeplabv3 در قطعه‌بندی ساختمان‌ها و شناسایی مرزها دارد. لی و همکاران (۲۰۲۲) روشی مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشنی برای استخراج ساختمان از تصاویر سنجش‌ازدور با وضوح بالا ارائه دادند. مدل پیشنهادی شامل یک ماژول هم‌ترازی ویژگی‌های هدایت‌شده ساختاری^{۱۸} (SCFAM) است که به حفظ انسجام اطلاعات ساختاری و معنایی در ویژگی‌های سطح بالا کمک می‌کند. همچنین، از ماژول استخراج ویژگی هرمی^{۱۹} (PFE) برای استخراج اطلاعات چندمقیاسی و ماژول‌های توجه در ابعاد فضایی و کانالی برای تقویت ویژگی‌های مربوط به ساختار ساختمان‌ها استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها روی دو مجموعه داده WHU و ماساچوست نشان می‌دهد که ENRU-Net دقت بالاتر و تفکیک‌پذیری بهتری نسبت به مدل‌های رایج مانند UNet++، UNet و DeepLabV3+، دقت بیشتری در استخراج ساختمان‌ها، خصوصاً در مرزبندی دقیق آن‌ها ارائه می‌دهد.

یکی از چالش‌های اصلی در استخراج ساختمان‌ها، تنوع در شکل، اندازه و الگوهای ساختاری ساختمان‌ها در مناطق مختلف است. علاوه بر این، عوامل محیطی مانند سایه‌ها، همپوشانی با درختان و تغییرات نور می‌توانند دقت استخراج را تحت تأثیر قرار دهند. برای غلبه بر این چالش‌ها، روش‌های پیشرفته و استفاده از ماژول‌هایی جهت بهبود دقت توسعه‌یافته‌اند که توانایی استخراج ویژگی‌ها در چندین مقیاس را فراهم می‌کنند. در این مقاله برای استخراج و قطعه‌بندی ساختمان از تصاویر قائم هوایی، ترکیبی از شبکه عصبی رمزگذار-رمزگشا کانولوشنی U-Net و ماژول تجمیع هرم فضایی متخلخل^{۲۰}

9. Feature Aggregation

11. Feature Enhancement

13. U-Shaped Spatial Pyramid Pooling (USPP)

15. INRIA Aerial Image Labeling Dataset

17. Asymmetric Pyramid Non-local Block (APNB)

19. Pyramid Feature Extraction (PFE)

10. Attention

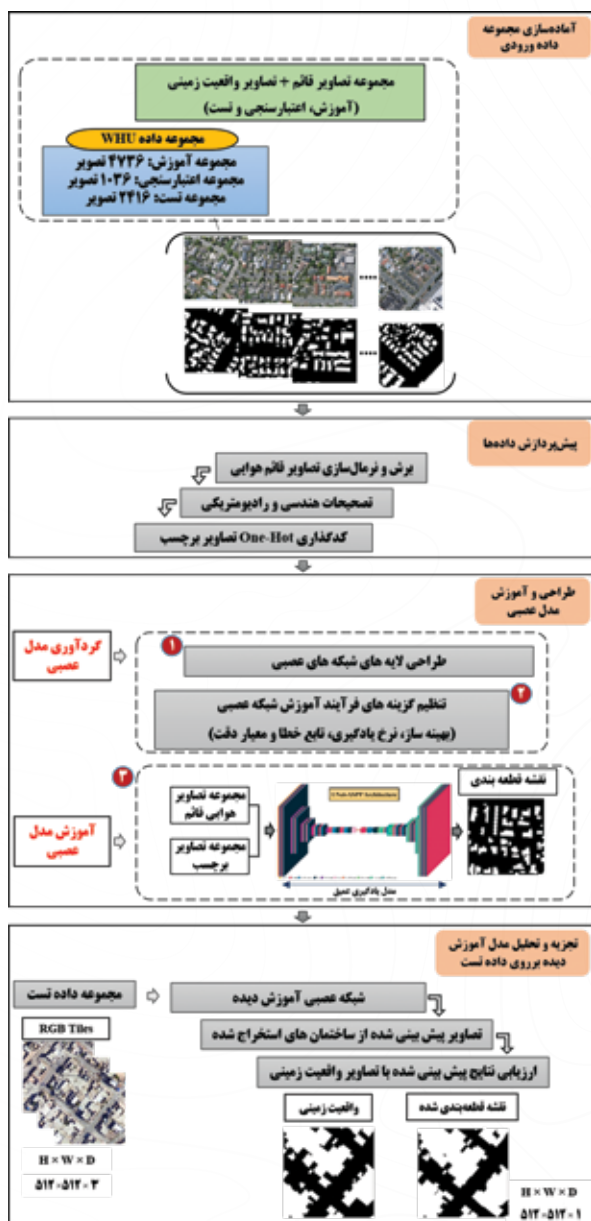
12. Residual Blocks

14. Massachusetts roads and buildings dataset

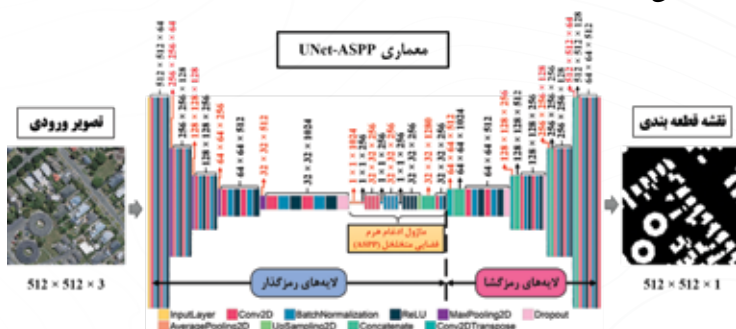
16. Efficient Non-local Residual U-shape Network (ENRU-Net)

18. Structural-Cue-guided Feature Alignment Module

20. Atrous Spatial Pyramid Pooling (ASPP)



شکل ۱: فلوچارت روش پیشنهادی



شکل ۲: معماری UNet-ASPP
(ابعاد تصاویر ورودی $512 \times 512 \times 3$ و ابعاد نقشه قطعه‌بندی خروجی $512 \times 512 \times 1$)

تحت عنوان UNet-ASPP پیشنهاد شد. در این معماری، ماژول تجمیع هرم فضایی متخلخل به‌عنوان اتصالی میان مسیر رمزگذار و رمزگشا اضافه شده است. این مدل از ساختار تجمیع هرم فضایی برای استخراج اطلاعات زمینه‌ای چند مقیاسه و از شبکه رمزگذار-رمزگشا برای بازیابی اطلاعات از دست‌رفته بهره می‌برد. ماژول تجمیع هرم فضایی در زیر شبکه رمزگذار وظیفه اخذ اطلاعات زمینه‌ای چند مقیاسه را با تجمیع ویژگی‌ها در وضوح‌های مختلف بر عهده دارد.

۲- روش تحقیق

روش پیشنهادی متشکل از چهار مرحله اصلی شامل آماده‌سازی مجموعه داده ورودی (آموزش، اعتبارسنجی و تست)، پیش‌پردازش داده‌ها (انجام تنظیمات و پیش‌پردازش‌های اولیه بر روی مجموعه داده ورودی به‌منظور آماده‌سازی آن‌ها برای آموزش شبکه عصبی)، طراحی و آموزش شبکه عصبی (این مرحله مربوط به تعیین و تنظیم پارامترهای آموزش شبکه عصبی، طراحی و وزن دهی اولیه لایه‌ها و عملیات آموزش شبکه عصبی است که طی آن ویژگی‌های مکانی مجموعه داده ورودی استخراج و در نهایت به یک طبقه‌بند کننده داده می‌شود) و ارزیابی شبکه عصبی آموزش‌دیده بر روی داده آزمایشی (بررسی نتایج پیش‌بینی‌شده حاصل از قطعه‌بندی ساختمان‌ها در تصاویر تست با تصاویر واقعیت زمینی متناظر) است (شکل ۱).

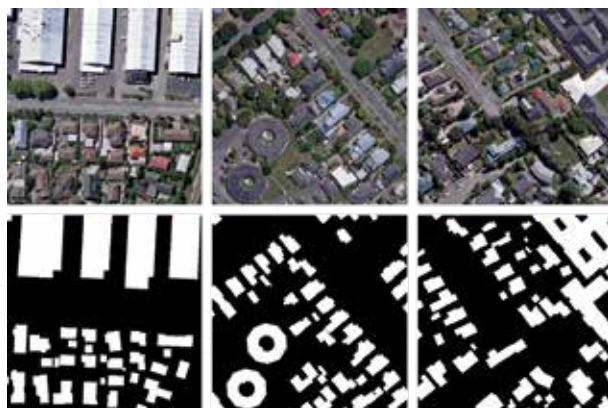
مدل پیشنهادی یک شبکه عصبی کانولوشنی مبتنی بر معماری رمزگذار-رمزگشا UNet است. ساختار اصلی شبکه UNet-ASPP از سه بخش تشکیل شده است. بخش اول مربوط به زیر شبکه کانولوشنی رمزگذار است. بخش دوم مبتنی بر ساختار ماژول تجمیع هرم فضایی متخلخل است. در بخش سوم، ساختار رمزگشا برای بازیابی ویژگی‌های سطح پایین و سطح بالای رمزگذاری شده به کار گرفته شد که به‌واسطه آن ویژگی‌های هر شاخه از طریق عملیات نمونه‌برداری افزایشی در یک نقشه ویژگی واحد رمزگشایی می‌گردد. یک نمای کلی از معماری طراحی‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

۳- نتایج

در این بخش نتایج پیاده‌سازی و تنظیمات آزمایش‌های انجام‌شده شامل جزئیات مجموعه داده مورد مطالعه، معیارهای ارزیابی، تنظیمات مربوط به پارامترهای آموزش شبکه عصبی، ارزیابی عملکرد قطعه‌بندی معنایی روش‌های یادگیری عمیق، ارائه نتایج تجربی به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی و مقایسه با روش‌های یادگیری عمیق استاندارد در قطعه‌بندی معنایی شرح داده می‌شود.

۳-۱ مجموعه داده

مجموعه داده مورد استفاده در این پژوهش مجموعه داده هوایی ساختمانی WHU است. قدرت تفکیک مکانی تصاویر هوایی ۰/۳ متر و برای تمام تصاویر موجود در مجموعه داده، واقعیت زمینی متناظر آن‌ها نیز ارائه گردیده است. مجموعه داده شامل تعداد ۸۱۸۸ تصویر RGB با ابعاد ۵۱۲ × ۵۱۲ پیکسل، که تعداد ۴۷۳۶ برای آموزش، ۱۰۳۶ برای اعتبارسنجی و ۲۴۱۶ تصویر برای ارزیابی می‌باشد. شکل شماره ۳ نمونه‌هایی از تصاویر و واقعیت زمینی مربوطه را در مجموعه داده هوایی WHU نشان می‌دهد.



شکل ۳: مجموعه داده WHU

۳-۲ معیارهای ارزیابی

یک موضوع اساسی پس از فرآیند آموزش شبکه عصبی در قطعه‌بندی معنایی، ارزیابی و ارائه گزارش کامل از عملکرد روش پیشنهادی بر روی داده تست است. در مطالعه حاضر، عملکرد قطعه‌بندی معنایی مدل پیشنهادی با استفاده از معیار دقت کلی^{۲۷}، معیار IOU^{۲۸} برای هر کلاس (معیار همبستگی بین برچسب‌های پیش‌بینی

زیر شبکه رمزگذار UNet-ASPP پیشنهادی، ترکیبی از لایه‌های کانولوشنی و مازول تجمیع هرم متخلخل با نرخ‌های اتساع^{۲۹} متغیر است که امکان کدگذاری اطلاعات چند-مقیاسه و افزایش عملکرد شبکه را فراهم می‌کند. مازول تجمیع هرم فضایی متخلخل ویژگی‌های چند-مقیاسه را به‌واسطه مجموعه‌ای از کانولوشن‌های متخلخل موازی شامل یک کانولوشن (۱×۱)، سه کانولوشن (۳×۳) با نرخ‌های اتساع ۶، ۱۲، ۱۸ و یک شاخه ادغام میانگین دوبعدی^{۳۰} استخراج می‌کند. برای نرمال‌سازی داده‌ها، پس از هر عملیات تجمیع از لایه‌های نرمال‌ساز دسته‌ای^{۳۱} و فعال‌ساز یکسوسازی‌شده خطی^{۳۲} (Relu) استفاده شده است. سپس، نقشه‌های ویژگی استخراج‌شده توسط مازول تجمیع هرم فضایی متخلخل، به هم الحاق شده و به یک لایه کانولوشنی با ابعاد (۱×۱) داده می‌شوند و در نهایت نقشه ویژگی چند-مقیاسه کانولوشنی به‌عنوان خروجی رمزگذار ارائه می‌شود. در مقابل، زیر شبکه رمزگشا با ترکیبی از ویژگی‌های سطح پایین و سطح بالا پیاده‌سازی شده است. در بخش رمزگشا، ابتدا ویژگی‌های چند-مقیاسه حاصل از مازول رمزگذار به‌واسطه یک درون‌یابی دوخطی^{۳۳}، نمونه‌برداری افزایشی می‌شوند و سپس با ویژگی‌های سطح پایین استخراج‌شده از بخش رمزگذار، به هم الحاق می‌شوند. در این مرحله به‌منظور متعادل کردن اهمیت بین ویژگی‌های سطح پایین و ویژگی‌های معنایی سطح بالای چند-مقیاسه حاصل از رمزگذار، از یک لایه کانولوشنی (۱×۱)، نرمال‌ساز دسته‌ای و فعال‌ساز Relu برای کاهش تعداد کانال‌ها استفاده شده است. پس از عملیات الحاق، از لایه‌های کانولوشنی (۳×۳)، نرمال‌ساز دسته‌ای و تابع فعال‌ساز Relu برای اصلاح و رمزگشایی ویژگی‌ها و به دنبال آن یک لایه کانولوشنی با تعداد کانال یک برای دستیابی به نقشه قطعه‌بندی استفاده می‌شود. یکی از تغییرات اساسی UNet-ASPP در مقایسه با ساختار رمزگذار-رمزگشا معمول این است که لایه پایینی در مرحله رمزگذار با مازول تجمیع هرم فضایی متخلخل به‌عنوان یک اتصال‌دهنده بین مسیر رمزگذار و رمزگشا جایگزین شده است. این امر امکان استخراج ویژگی‌ها در مقیاس‌های مختلف، نمونه‌برداری بالا^{۳۴} از نقشه‌های ویژگی و هم‌چنین یادگیری اطلاعات زمینه‌ای سراسری را فراهم می‌نماید.

21. Dilation rate

24. Rectified linear unit (Relu)

27. Overall Accuracy

22. Average Pooling 2D

25. Bilinear

28. Intersection-Over-Union (IoU)

23. Batch Normalization (BN)

26. Up-Sampling

۳-۳ نتایج و آزمایش‌ها

در این بخش، تنظیمات مربوط به آزمایش‌ها، جزئیات پیاده‌سازی شبکه‌های عصبی و ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده ارائه می‌شود. در نهایت عملکرد قطعه‌بندی معنایی معماری UNet-ASPP پیشنهادی در مقایسه با نتایج مدل‌های یادگیری عمیق U-Net و DeepLabV3 مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۳-۳-۱ جزئیات پیاده‌سازی

آزمایش‌های مربوط به پیاده‌سازی مدل UNet-ASPP پیشنهادی در نرم‌افزار پایتون نسخه ۳٫۹ با استفاده از کتابخانه یادگیری عمیق Keras بر روی پلتفرم TensorFlow اجرا شد. این آزمایش‌ها با استفاده از پردازنده گرافیکی GeForce RTX ۳۰۹۰ با ۲۴ گیگابایت حافظه و پهنای باند GDDR6X پیاده‌سازی شدند. برای ارزیابی عملکرد قطعه‌بندی معنایی در حین فرآیند آموزش و به حداقل رساندن خطای آموزش، همچنین به‌روزرسانی پارامترهای مدل عصبی طراحی‌شده، از ترکیب تابع خطا آنتروپی متقاطع دودویی^{۲۹} و تابع Dice، بهینه‌ساز تخمین گشتاور تطبیقی^{۳۳} (Adam)، معیار میانگین نسبت اشتراک به اجتماع و دقت آموزش مدل استفاده شد. آموزش مدل در ۵۰ اپک با نرخ یادگیری ۰/۰۰۱ و اندازه دسته چهار برای مجموعه تصاویر ورودی در هر اپک انجام گردید.

۳-۳-۲ ارزیابی نتایج

در این بخش، پتانسیل شبکه عصبی UNet-ASPP در مقایسه با معماری‌های یادگیری عمیق UNet و Deeplabv3 در بخش‌بندی معنایی مجموعه داده ساختمانی WHU مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور ۲۴۱۶ تصویر آزمایشی که در روند آموزش نقشی ندارند، استفاده می‌شوند. نتایج تجربی قطعه‌بندی معنایی به‌دست‌آمده از شبکه عصبی یادگیری عمیق UNet-ASPP و دو شبکه عصبی دیگر بر اساس تحلیل ماتریس خطا شکل شماره ۴، معیار ارزیابی IoU ارائه‌شده در جدول شماره ۱، و نمودار آماری شکل شماره ۵ بررسی شده است.

میزان صحت و خطای قطعه‌بندی ساختمان‌ها نسبت به پس‌زمینه براساس ماتریس خطا در شکل شماره ۴ ارائه شده است. از آنجائی که در تصاویر قائم مناطق

و هدف)، MeanIoU و MeanBFScore^{۲۹} (اندازه‌گیری میزان تطابق مرز پیش‌بینی‌شده اشیاء با واقعیت زمینی متناظر در کل مجموعه داده) به ترتیب طبق روابط (۱) تا (۴) ارزیابی شد. مقادیر این معیارها از صفر تا یک متغیر است و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده عملکرد بهتر قطعه‌بندی است.

$$OverallAccuracy = \frac{\sum_{i=1}^{N_{cls}} C_{ii}}{\sum_{i=1}^{N_{cls}} \sum_{j=1}^{N_{cls}} C_{ij}} \quad (1)$$

$$IOU_i = \frac{t \arg et \cap prediction}{t \arg et \cup prediction} = \frac{C_{ii}}{\sum_{j=1}^{N_{cls}} C_{ij} + \sum_{j=1, j \neq i}^{N_{cls}} C_{ji}} \quad (2)$$

$$Mean_{IOU} = \frac{1}{N_{cls}} \sum_{i=1}^{N_{cls}} IOU_i \quad (3)$$

$$MeanBFScore = \frac{1}{N_{cls}} \sum_{i=1}^{N_{cls}} F_1Score_i \quad (4)$$

در این روابط، N_{cls} برابر با تعداد کلاس‌ها، C_{ii} مربوط به تعداد پیکسل‌هایی است که به‌درستی به‌عنوان کلاس i برچسب‌گذاری شده‌اند، و C_{ij} تعداد پیکسل‌های متعلق به کلاس i که مدل به‌عنوان کلاس j برچسب‌گذاری کرده است. همچنین F_1Score طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$F_1Score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (5)$$

که در این رابطه، مقادیر صحت^{۳۰} و بازیابی^{۳۱} بر مبنای رابطه (۶) و (۷) تعیین می‌شوند.

$$Precision_i = \frac{C_{ii}}{\sum_{j=1}^{N_{cls}} C_{ij}} \quad (6)$$

$$Recall_i = \frac{C_{ii}}{\sum_{j=1}^{N_{cls}} C_{ji}} \quad (7)$$

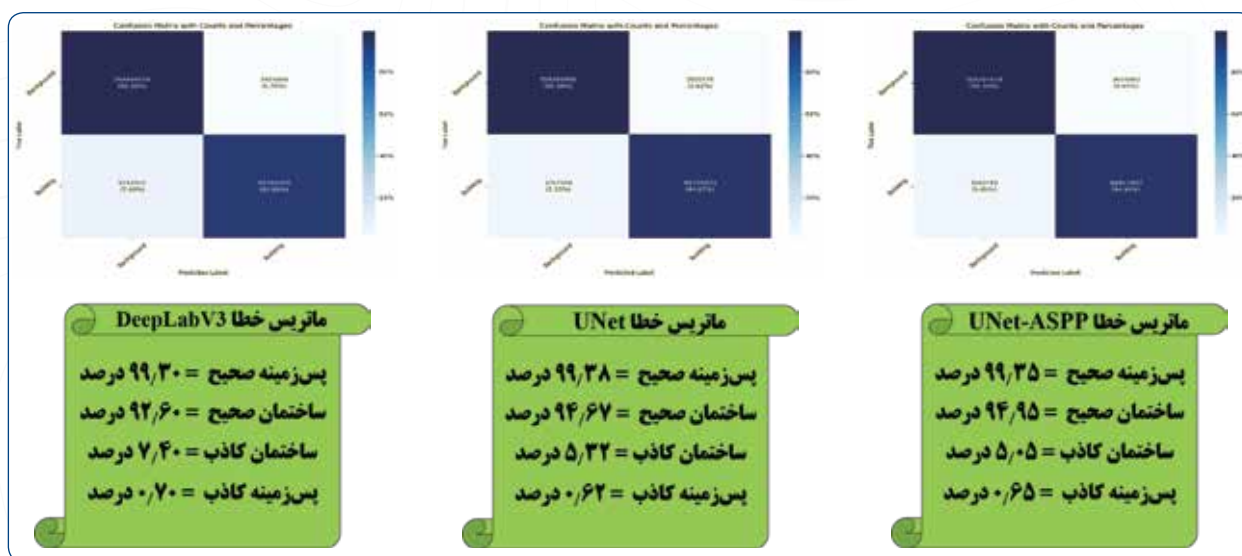
معیار صحت، میزان دقت مدل در پیش‌بینی هر کلاس را نشان می‌دهد. معیار بازیابی، نشان‌دهنده این است که مدل چقدر توانسته نمونه‌های واقعی یک کلاس را به‌درستی شناسایی کند.

29. Mean Boundary F1 Score
32. Binary Cross Entropy (BCE)

30. Precision
33. Adaptive Moment Estimation (Adam)

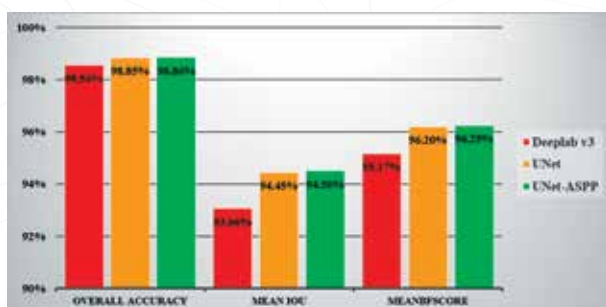
31. Recall

شهری، تنوع در شکل، اندازه و الگوهای ساختاری ساختمان‌ها وجود دارد، استخراج ساختمان‌ها با پیچیدگی‌هایی مواجه است. نتایج حاصل از ماتریس‌های خطا نشان می‌دهند که مدل UNet-ASPP با دقت ۹۴/۹۵ درصد در تشخیص ساختمان و ۹۹/۳۵ درصد در تشخیص پس‌زمینه بهترین عملکرد را نسبت به دو مدل دیگر دارد. این مدل همچنین کمترین میزان خطای کلی را ارائه می‌دهد، به‌ویژه در مقایسه با Deeplabv3 که دارای بیشترین نرخ خطای تشخیص ساختمان (۷/۴۰ درصد) است. UNet نیز عملکرد نزدیکی به UNet-ASPP دارد، با دقت ۹۴/۶۷ درصد در ساختمان و ۹۹/۳۸ درصد در پس‌زمینه، اما میزان خطای آن اندکی بالاتر است. در مجموع، UNet-ASPP به دلیل تعادل مناسب بین دقت بالا و کمترین میزان خطای طبقه‌بندی، گزینه‌ی بهتری برای استخراج ساختمان از تصاویر هوایی محسوب می‌شود.



شکل ۴: ماتریس خطا سه معماری UNet، UNet-ASPP و Deeplabv3

به‌منظور ارزیابی کلی قطعه‌بندی معنایی ساختمان‌ها، سه معیار دقت کلی، میانگین IoU و میانگین BScore برای روش پیشنهادی محاسبه و با نتایج معماری‌های UNet و Deeplabv3 مقایسه شد (شکل ۵).



شکل ۵: نتایج آماری معیارهای دقت کلی، میانگین IoU و میانگین BScore برای سه مدل یادگیری عمیق UNet، Deeplabv3 و UNet-ASPP.

یکی از معیارهای کلیدی در ارزیابی نتایج قطعه‌بندی معنایی، بررسی درصد هم‌پوشانی بین برچسب‌های پیش‌بینی شده با واقعیت‌زمینی یعنی محاسبه معیار IoU برای هر کلاس است. جدول شماره ۱ مقادیر IoU را برای هر کلاس در نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی در مقایسه با دو شبکه عصبی UNet و Deeplabv3 ارائه می‌دهد. مقادیر IoU گزارش شده در جدول شماره ۱، پتانسیل بالای مدل پیشنهادی را در مقایسه با دو مدل یادگیری عمیق دیگر نشان می‌دهد. معماری UNet-ASPP پیشنهادی از عملکرد بالایی در هم‌پوشانی قطعات ساختمانی پیش‌بینی شده با واقعیت زمینی متناظرش در مناطق شهری برخوردار است.

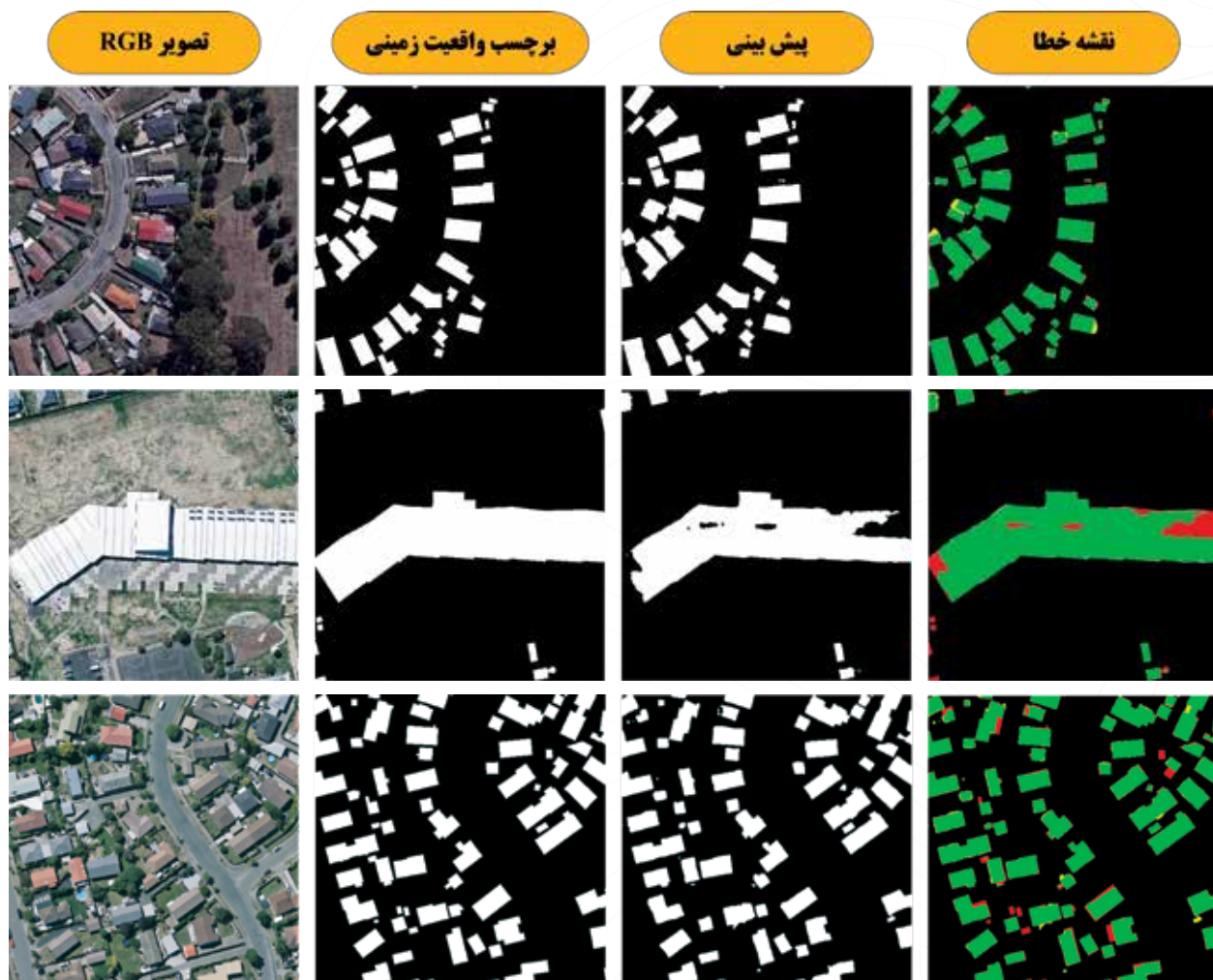
روش	معیار IoU			کلاس‌ها
	Deeplab v3	UNet	UNet-ASPP	
	۹۸/۳۹	۹۸/۷۱	۹۸/۷۳	پس‌زمینه
	۸۷/۷۳	۹۰/۱۸	۹۰/۲۶	ساختمان

جدول ۱: معیار IoU برای هر کلاس در مدل‌های UNet، Deeplabv3 و UNet-ASPP (برحسب درصد)

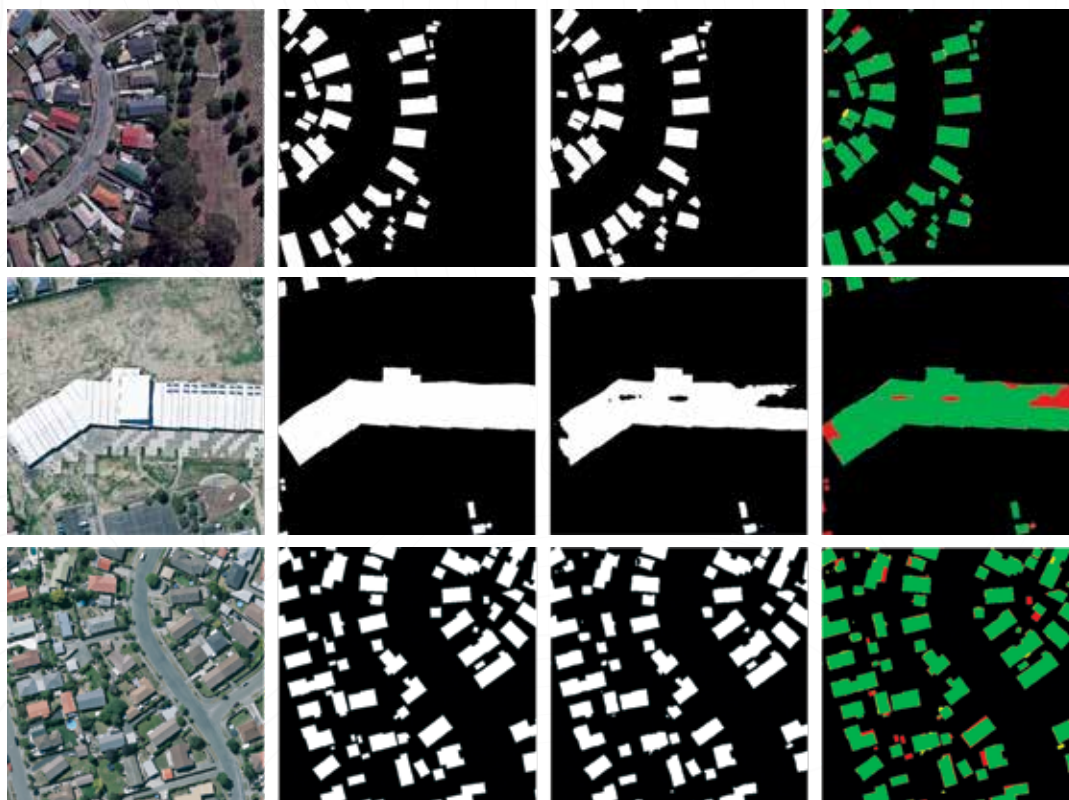
۳-۳-۳ نتایج بصری

نتایج بصری قطعه‌بندی معنایی معماری UNet-ASPP و مدل‌های UNet و Deeplabv3 بر روی سه نمونه از مجموعه داده آزمایشی در شکل شماره ۶ ارائه شده است. با بررسی نتایج بصری (ستون‌های سوم و چهارم شکل شماره ۶)، به وضوح پیداست که رویکردهای یادگیری عمیق UNet و Deeplabv3، در قطعه‌بندی معنایی ضعیف عمل کرده و در تطبیق مرزهای پیش‌بینی شده با واقعیت زمینی، قطعه‌بندی قابل قبولی را ارائه نکرده‌اند. از سوی دیگر، شبکه عصبی پیشنهادی UNet-ASPP نسبت به دو معماری دیگر عملکرد قابل قبولی در قطعه‌بندی معنایی ساختمان‌ها ارائه کرده است. با توجه به ردیف (ج) در شکل شماره ۶ مدل پیشنهادی در قطعه‌بندی معنایی کلاس ساختمان، بهتر از دو رویکرد دیگر عمل کرده است.

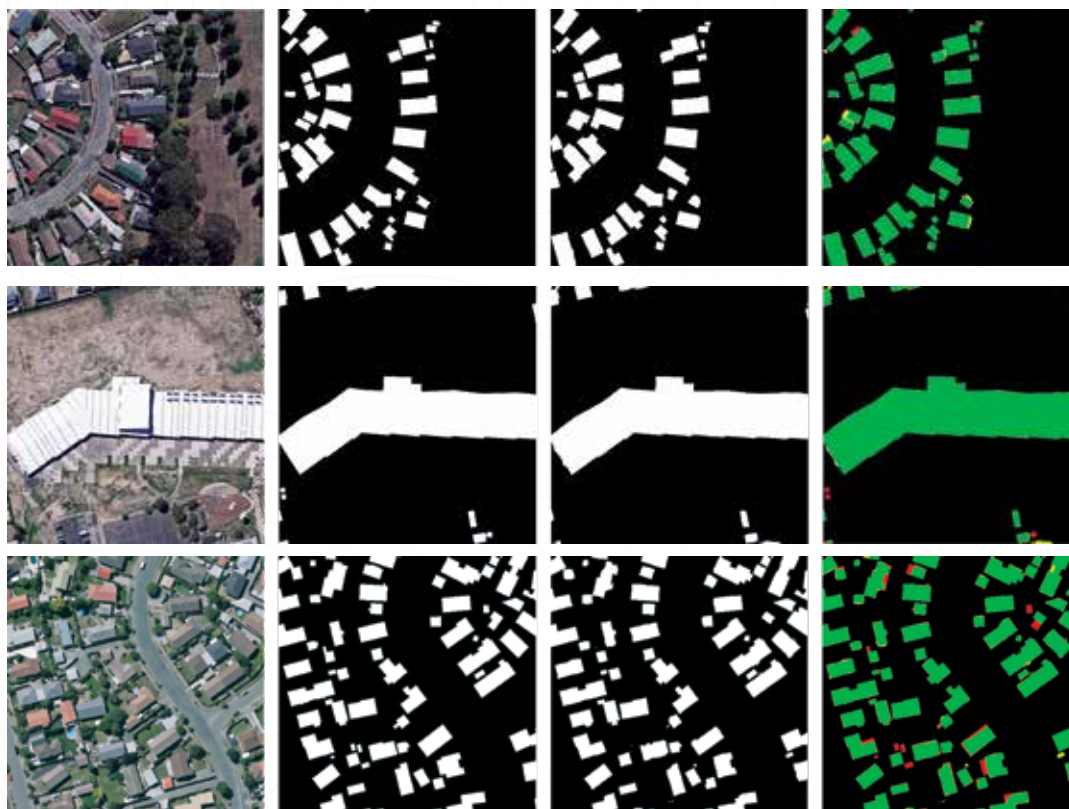
نتایج آماری ارائه شده در نمودار شکل شماره ۵، توانایی روش پیشنهادی را در قطعه‌بندی ساختمان‌ها در مناطق شهری نشان می‌دهد. شبکه عصبی UNet-ASPP با دقت کلی ۹۸/۸۶ درصد، میانگین IOU ۹۴/۵۰ درصد عملکرد بهتری را در قطعه‌بندی معنایی ساختمان‌ها ارائه کرده است. روش پیشنهادی با ۹۶/۲۵ درصد میانگین BFScore در میزان تطبیق مرز پیش‌بینی شده اشیاء با مرز واقعیت زمینی متناظر در کل مجموعه داده عملکرد بهتری نسبت به دیگر معماری‌های یادگیری عمیق داشته است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۶: نتایج بصری قطعه‌بندی معنایی ساختمان‌ها در مجموعه تست WHU.
(الف) نتایج معماری Deeplabv3، (ب) نتایج معماری UNet و (ج) نتایج معماری UNet-ASPP.

1. Kumar, S., Fundamentals of Internet of Things. 2021: Chapman and Hall/CRC.
2. Rose, K., S. Eldridge, and L. Chapin, The internet of things: An overview. The internet society (ISOC), 2015. 80(15): p. 1-53.
3. Brooks, C., et al., A component architecture for the internet of things. Proceedings of the IEEE, 2018. 106(9): p. 1527-1542.
4. Darwish, D., Improved layered architecture for Internet of Things. Int. J. Comput. Acad. Res. (IJCAR), 2015. 4(4): p. 214-223.
5. Ray, P.P., A survey on Internet of Things architectures. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 2018. 30(3): p. 291-319.
6. Babu, S.M., A.J. Lakshmi, and B.T. Rao. A study on cloud based Internet of Things: CloudIoT. in 2015 global conference on communication technologies (GCCT). 2015. IEEE.
7. Mathur, S., A. Kaushik, and A. Rana. Using internet of things in hypervisor monitoring-challenges and opportunities. in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. IOP Publishing.
8. De, S., et al., An internet of things platform for real-world and digital objects. Scalable Computing: Practice and Experience, 2012. 13(1): p. 45-58.
9. Al-Shareeda, M.A., et al., The fog computing for internet of things: review, characteristics and challenges, and open issues. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 2024. 13(2): p. 1080-1089.
10. Rupanetti, D. and N. Kaabouch, Combining Edge Computing-Assisted Internet of Things Security with Artificial Intelligence: Applications, Challenges, and Opportunities. Applied Sciences, 2024. 14(16): p. 7104.

با پیشرفت فناوری سکوها و سنجنده‌ها، امکان دسترسی به تصاویر با قدرت تفکیک بالا در بازه‌های زمانی مختلف فراهم شده است. از سوی دیگر افزایش قدرت تفکیک مکانی و طیفی و تغییر زاویه دید سنجنده، چالش‌های جدیدی را در فرآیند استخراج اطلاعات ایجاد کرده است. با توجه به پیچیدگی‌های بالای این تصاویر و ساختار متراکم مناطق شهری الگوریتم‌های سنتی استخراج ساختمان که مبتنی بر تحلیل‌های دستی یا نیمه‌خودکار هستند، با محدودیت‌های قابل‌توجهی مواجه‌اند. در دهه اخیر، با پیشرفت الگوریتم‌های یادگیری عمیق، این روش‌ها به‌طور موفقیت‌آمیزی در کاربردهای مختلف تهیه نقشه‌های دقیق شهری، مدیریت بحران، نظارت بر تغییرات کاربری شهری و برنامه‌ریزی توسعه زیرساخت‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مطالعه، توانایی الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای بهبود دقت و کارایی فرآیند قطعه‌بندی معنایی ساختمان‌ها در تصاویر قائم‌هوائی مورد بررسی قرار گرفت. یکی از چالش‌های اصلی در فرآیند استخراج ساختمان، تنوع در اندازه، تغییرات مقیاس و الگوهای ساختاری ساختمان‌ها در مناطق مختلف شهری است.

در این پژوهش، علاوه بر بهره‌گیری از معماری رمزگذار- رمزگشا UNet، از مازول تجمیع هرم فضایی متخلخل (ASPP) برای اخذ و جمع‌آوری اطلاعات زمینه‌ای در مقیاس‌های مختلف استفاده شد. در نهایت، نتایج آزمایش‌ها بر روی مجموعه داده معتبر مورد ارزیابی قرار گرفت و مزایا و محدودیت‌های روش‌ها بررسی شد. مدل UNet-ASPP پیشنهادی بهترین نتیجه را در مقایسه با شبکه‌های عصبی UNet و Deeplabv3 کسب کرد. این مطالعه نشان داد که روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق پتانسیل بالایی برای بهبود دقت و کارایی در استخراج ساختمان‌ها دارند و می‌توانند به‌عنوان ابزاری قدرتمند در حوزه‌های مختلف شهری و محیطی مورد استفاده قرار گیرند.

واقعیت افزوده و مجازی تحت وب نقشه‌های مکان‌مبنا

معصومه اقبالی مردخه، کارشناس کنترل کیفیت سازمان نقشه‌برداری کشور

چکیده

فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده نقش مهمی در بهبود نمایش و تحلیل نقشه‌های مدل سه‌بعدی شهری دارند. این فناوری‌ها با ایجاد فضایی تعاملی برای کاربران، اطلاعات مکانی را به شیوه‌ای مطلوب‌تر مدیریت می‌کنند. واقعیت مجازی امکان بررسی جزئیات مدل‌های سه‌بعدی را فراهم کرده و واقعیت افزوده اطلاعات توصیفی را به صورت هم‌زمان در محیط واقعی نمایش می‌دهد. همچنین استفاده از ابزارهایی مانند Model Viewer و سامانه‌های تحت وب، دسترسی گسترده‌ای را برای مدل‌های سه‌بعدی فراهم کرده و سبب بهبود مدیریت داده‌ها خواهد بود. جهت پیاده‌سازی این فناوری‌ها موضوعاتی چون سخت‌افزار پیشرفته، ارتقای الگوریتم‌های نرم‌افزاری، تأمین امنیت داده‌ها و ایجاد استانداردهای مناسب نیازمند توجه ویژه‌ای هستند. البته، همکاری بین دولت و بخش خصوصی و نهادهای علمی، همراه با سرمایه‌گذاری در آموزش نیروی انسانی، با هدف استفاده کامل از این فناوری‌ها ضروری می‌باشد. در این مطلب علمی، نحوه مدل‌سازی واقعیت مجازی مدل سه‌بعدی شهری همراه با اطلاعات توصیفی واقعیت افزوده و با قابلیت چرخش تعاملی تحت وب ارائه خواهد شد.

واژگان کلیدی: خدمات تحت وب مکان‌مبنا، سامانه‌های تعامل محور، مدل سه‌بعدی، واقعیت افزوده، واقعیت مجازی

مقدمه

در دهه ۲۰۱۰، ظهور سخت‌افزارهای ارزان‌قیمت مانند اکولوس ریفت^۱ و اچ تی سی وایو^۲ موجب احیاء این فناوری در صنایع مختلف شد. واقعیت افزوده نیز با نوآوری‌های دهه ۱۹۸۰ و ورود گوشی‌های هوشمند در دهه ۲۰۱۰ به محبوبیت بیشتری دست‌یافت و اپلیکیشن‌هایی مانند پوکمون گو^۳ امکان تجربه‌ای ترکیبی از دنیای دیجیتال و فیزیکی را فراهم کردند. شکل شماره ۱ خلاصه‌ای از روند توسعه و رویدادهای اصلی در تاریخ واقعیت افزوده از سال ۱۹۴۵ تا ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد.

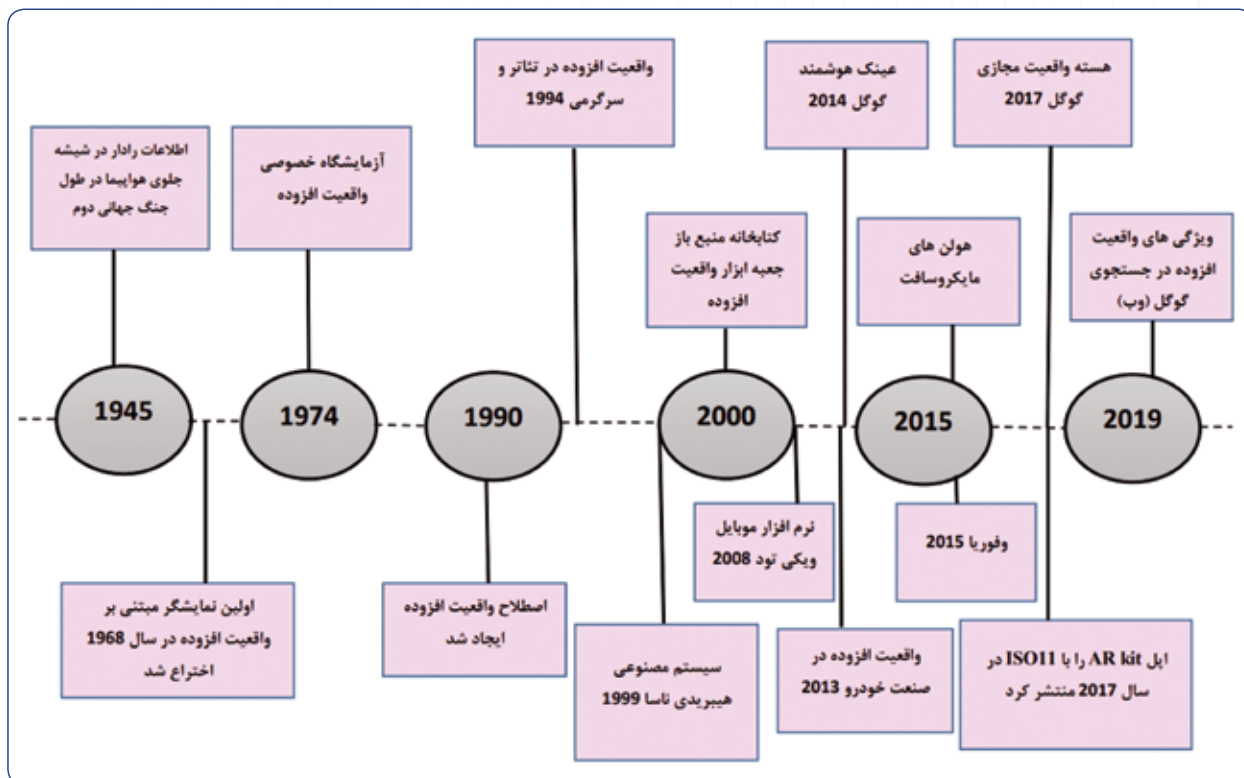
استفاده از واقعیت افزوده و مجازی به صورت شهودی و چندبعدی، وضعیت استفاده و برنامه‌ریزی زمین را برای کاربران قابل درک می‌کند. همچنین با مدیریت مدل‌های سه‌بعدی به ارائه روش‌های دقیق‌تری برای مسائلی چون مدیریت زمین، برنامه‌ریزی شهری و مدیریت منابع منجر می‌شود و ابعاد جدیدی برای استفاده از منابع زمین فراهم می‌آورد. در سیستم‌های کاداستری، استفاده

واقعیت افزوده^۱ و واقعیت مجازی^۲ دو فناوری تحول‌آفرین می‌باشند که شیوه درک و تعامل ما با محیط را تغییر داده‌اند. این فناوری‌ها مرز بین دنیای واقعی و مجازی را کمرنگ کرده و ما را به جهان‌های جدید منتقل می‌کنند. واقعیت افزوده با افزودن عناصر توصیفی و دیجیتالی به محیط واقعی، تجربه‌ای تعاملی ایجاد کرده و از ابزارهایی مانند برنامه‌های موبایل و عینک‌های هوشمند برای ارائه اطلاعات استفاده می‌کند. مثال‌های معروف برای آن شامل فیلترهای اسنپ‌چت و برنامه‌های ناوبری هستند که اطلاعاتی چون جهت را مستقیماً بر روی جاده نشان می‌دهند. در مقابل، واقعیت مجازی شرایط یک محیط مجازی را برای کاربر بازسازی می‌کند. این فضای مجازی با بازآفرینی محیط‌های واقعی یا جهان‌هایی خیالی، غالباً در بازی‌ها و شبیه‌سازی‌های آموزشی و درمانی کاربرد دارد.

1. Virtual Reality (VR)
4. HTC Vive

2. Augmented Reality (AR)
5. Pokemon Go

3. Oculus Rift



شکل ۱: تاریخچه واقعیت افزوده

مقررات، برای بهبود تصمیم‌گیری و جلب مشارکت جامعه مفید واقع می‌شود. به‌علاوه، وانگ^۹ و همکاران در سال ۲۰۲۴ از افزایش تقاضا برای کاداستر سه‌بعدی و نیاز به تصاویر پیش‌نمایش باکیفیت بالا جهت انتخاب روش نمایش بهینه سه‌بعدی پرداختند. شریفی و همکاران نیز بیان کردند که الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند با پردازش داده‌های متنوع، به شبیه‌سازی و بهبود تصمیم‌گیری‌ها بپردازند و از وقوع حوادث طبیعی جلوگیری کنند.

فناوری‌های اصلی در واقعیت افزوده و مجازی

فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی ترکیبی از اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری هستند که تجربه‌ای تعاملی و فراگیر برای کاربران ایجاد می‌کنند. اجزای کلیدی این فناوری‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

از بعد سوم به‌عنوان ابزاری ارزشمند شناخته می‌شود. بنابراین دستیابی به بعد سوم، نیازمند بررسی عمیق‌تر مدل‌های داده، رفتار کاربران و تعامل آن‌ها با سیستم‌های سه‌بعدی در تصمیم‌گیری‌های قانونی است.

پیشینه پژوهش

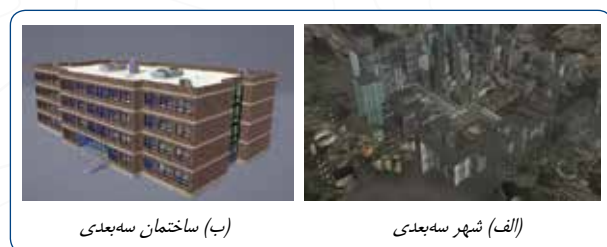
در پژوهش‌های اخیر، ماریا^۶ و همکاران در سال ۲۰۱۹، به این نتیجه رسیدند که استفاده از یک برنامه متن‌باز برای جمع‌آوری و بازنمایی داده‌های کاداستر سه‌بعدی در شهر لاریسا^۷ یونان مؤثر است و استفاده از داده‌هایی چون لیدار، توپوگرافی و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان باوجود محدودیت دسترسی به داده‌ها، سبب تسهیل روند مدل‌سازی خواهد شد. رافال^۸ و همکاران در سال ۲۰۲۴ به کاربرد واقعیت افزوده در فرایندهای شهری و برنامه‌ریزی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که این فناوری در مراحل مختلف، از تهیه سندهای برنامه‌ریزی تا اجرای

داده‌ها

همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، باوجود فناوری‌های نوین برای تولید بستری مناسب جهت پیاده‌سازی مدل‌های واقعیت مجازی و افزوده، داده‌های سه‌بعدی واقعیت مجازی، در نرم‌افزارهای Revit، Sketch up، Blender و غیره نیز تولید می‌شوند. مدل‌های سه‌بعدی تولیدشده تحت وبسایت‌هایی چون meshy.ai قابلیت استایل‌دهی خواهند داشت. مدل‌های سه‌بعدی رایگان از وبسایت‌هایی مانند <https://sketchfab.com> قابل دریافت هستند. به کمک وبسایت modelviewer.dev واقعیت افزوده مدل سه‌بعدی موردنظر تحت وب ساخته می‌شود. فایل‌های سه‌بعدی با فرمت glb قابلیت نمایش درگوشی‌های اندروید را دارند. برای نمایش فایل درگوشی‌های ios بایستی فایل‌های سه‌بعدی به فرمت USDZ تبدیل شوند که وبسایت [Convert any 3D formats online \(aspose.app\)](https://convertany3dformats.com) تبدیل فرمت‌های سه‌بعدی به یکدیگر را فراهم می‌کند.

۱-۴- مدل‌سازی و پیاده‌سازی مدل

در این پروژه برای پیاده‌سازی تحت وب، از مدل‌های سه‌بعدی برداشت‌شده از سطح شهر با فرمت GLB به‌عنوان ورودی مدل استفاده شد. فرمت GLB داده‌های مدل سه‌بعدی را در یک فایل فشرده ذخیره می‌کند که منجر به کاهش حجم فایل و افزایش سرعت بارگزاری می‌شود. مدل‌ها از سایت sketchfab.com دریافت شدند که مطابق شکل شماره ۲ شامل مدل سه‌بعدی از یک شهر و مدل سه‌بعدی ساختمان یک مدرسه می‌باشد.



شکل ۲: داده‌ها

• **هدست‌ها^{۱۰}:** این دستگاه‌ها وظیفه اصلی را در تجربه AR و VR بر عهده دارند. در VR، هدست با مسدود کردن دنیای واقعی، کاربر را در یک محیط شبیه‌سازی شده قرار می‌دهد. در AR، هدست عناصر دیجیتال را بر روی دنیای واقعی نمایش می‌دهد و ترکیبی از هر دو را ارائه می‌کند. به‌علاوه، بسیاری از هدست‌ها دارای حسگر و سیستم‌های صوتی برای بهبود تجربه کاربر هستند.

• **حسگرها^{۱۱}:** این ابزارها برای ردیابی حرکت کاربر و محیط اطراف استفاده می‌شوند. شتاب سنج‌ها، ژيروسکوپ‌ها و دوربین‌ها سبب شناسایی حرکات سر و تغییرات جهت می‌شوند. سپس اطلاعات جمع‌آوری‌شده به سیستم انتقال یافته و محتوا بر اساس دید کاربر به‌روز می‌شود.

• **فناوری ردیابی:** ردیابی حرکت یکی از عناصر اساسی این فناوری‌هاست که به دو نوع تقسیم می‌شود:

ردیابی درون به بیرون^{۱۲}: از حسگرهای تعبیه‌شده در هدست استفاده می‌کند و نیازی به تجهیزات خارجی ندارد که این امر راحتی بیشتری برای کاربر به همراه دارد.

ردیابی بیرون به درون^{۱۳}: به حسگرهای خارجی یا دوربین‌ها برای ردیابی حرکات کاربر وابسته است و دقت بالایی ارائه می‌دهد.

• **اپتیک^{۱۴}:** لنزهای استفاده‌شده در هدست‌ها برای تنظیم و بهبود جلوه‌های بصری اهمیت زیادی دارند. کیفیت این لنزها تأثیر مستقیمی بر وضوح تصویر و دقت بصری دارد.

• **فناوری نمایشگر^{۱۵}:** هدست‌ها معمولاً از نمایشگرهای پیشرفته مانند OLED و LCD بهره می‌برند. در VR، این نمایشگرها یک محیط مجازی یکپارچه و در AR، محتوای دیجیتال را بر روی دنیای واقعی نمایش می‌دهند.

• **سیستم‌های صوتی و صدای فضایی^{۱۶}:** صدای سه‌بعدی در افزایش حس حضور کاربر در تجربه فضای سه‌بعدی بسیار مؤثر است. این سیستم‌ها علاوه بر شبیه‌سازی صدا از زوایای مختلف، به‌طور دینامیک صدا را بر اساس موقعیت و حرکات کاربر تنظیم می‌کنند.

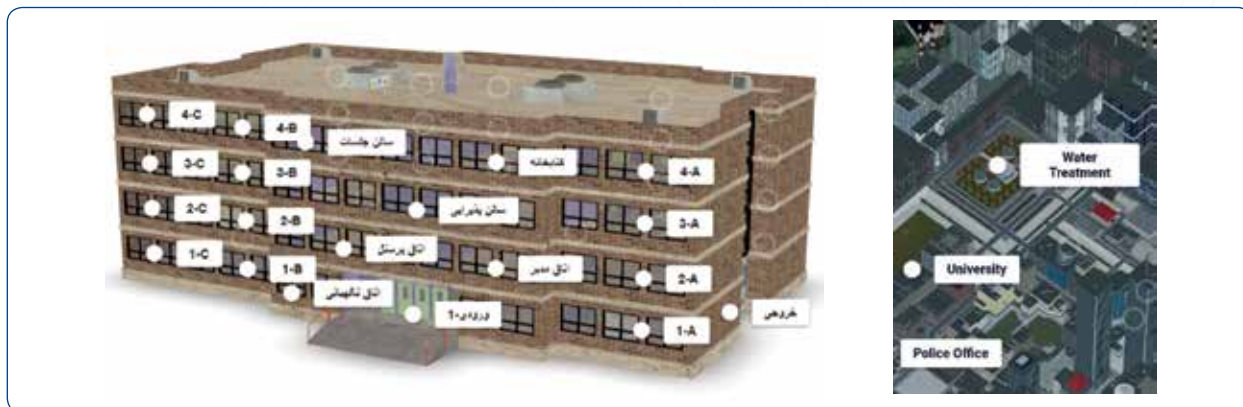
با ترکیب این اجزاء، تجربه‌های واقع‌گرایانه‌ای ایجاد می‌شود که کاربران را به دنیای جدیدی می‌برد.

10. Headsets
13. Outside-In Tracking
16. Audio Systems and Spatial Sound

11. Sensors
14. Optics

12. Inside-Out Tracking
15. Display Technology

سپس این مدل‌ها در محیط نمایشگر مدل سه‌بعدی سایت <https://modelviewer.dev>، ویرایش شده و مطابق شکل شماره ۳ اطلاعات توصیفی‌ای به‌عنوان واقعیت افزوده برای آن‌ها نشانه‌گذاری شد. در انتها با فرمت GLB خروجی مدل سه‌بعدی تهیه شد.



شکل ۳: نمایش مدل واقعیت افزوده

را که به‌صورت کدهای HTML و CSS می‌باشند در محیط ویژوال استودیو کد ویرایش شد. در ادامه با طراحی محیط یک سایت در ویژوال استودیو کد همچنین استفاده از فلکس باکس در CSS که طراحی وب را کارآمدتر و انعطاف‌پذیر می‌کند، عناصر داخلی صفحه وب مرتب و کاربرپسند شدند. در انتها مدل‌های سه‌بعدی تهیه‌شده جهت نمایش و به اشتراک‌گذاری، مطابق شکل شماره ۴-الف آماده شدند. همچنین با ویرایش کدها و اندازه صفحات، محیط سایت جهت بارگزاری در صفحات موبایل نیز مطابق شکل شماره ۴-ب بهینه‌سازی شد.

جهت پشتیبانی دستگاه‌های بیشتر، از نرم‌افزار مبدل Filestar استفاده و مدل‌ها با فرمت GLB تبدیل به فرمت USDZ شدند. لازم به ذکر است فرمت USDZ همانند فرمت GLB یک فرمت فشرده برای فایل‌های سه‌بعدی است که توسط شرکت‌های اپل و پیکسار توسعه‌یافته و به‌طور خاص برای اکوسیستم اپل و پشتیبانی از سیستم‌عامل‌های MacOS و iOS طراحی شده است.

مدل‌های سه‌بعدی موجود با دو فرمت مختلف (GLB و USDZ) در محیط سایت Glitch.com بارگزاری شدند و با یکی از نمونه‌های این سایت باهدف استفاده از کدهای واقعیت مجازی گوگل ترکیب کرده و در انتها خروجی مدنظر



(ب) نسخه مخصوص مرورگر موبایل

(الف) نسخه مخصوص مرورگر رایانه رومیزی

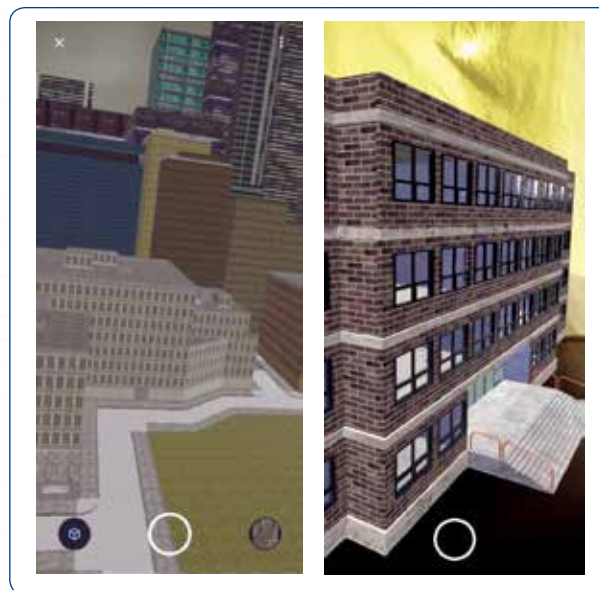
شکل ۴: سایت طراحی‌شده و نمایش دو مدل سه‌بعدی با قابلیت واقعیت افزوده و مجازی تحت وب

و بهینه‌سازی و استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین است. این فناوری‌ها به پیش‌بینی رفتارهای کاربر، بهینه‌سازی تولید محتوا و بهبود تجربه کاربری کمک می‌کنند. اقدامات امنیتی مانند رمزگذاری و کنترل دسترسی برای حفاظت از داده‌ها و حفظ حریم خصوصی کاربران ضروری است. تحلیل پیشرفته داده‌ها بینش عمیق‌تری درباره رفتارها و ترجیحات کاربران ارائه می‌دهد و امکان ایجاد تجربیات شخصی‌تر و جذاب‌تر را فراهم می‌کند.

■ مراجع و منابع

1. Reinhart, G. and C. Patron, Integrating augmented reality in the assembly domain-fundamentals, benefits and applications. CIRP Annals, 2003. 52(1): p. 5-8.
2. Vertucci, R., et al., History of augmented reality, in Springer Handbook of Augmented Reality. 2023, Springer. p. 35-50.
3. Muthalif, M.Z.A., D. Shojaei, and K. Khoshelham, A review of augmented reality visualization methods for subsurface utilities. Advanced Engineering Informatics, 2022. 51: p. 101498.
4. Gkeli, M., C. Potsiou, and C. Ioannidis, Crowdsourced 3D cadastral surveys: looking towards the next 10 years. Journal of Geographical Systems, 2019. 21: p. 61-87.
5. Kaźmierczak, R. and A. Szczepańska, Augmented reality as a technology that supports the spatial development process. Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum, 2024. 23(1): p. 71-89.
6. Wu, H.-K., et al., Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. Computers & education, 2013. 62: p. 41-49.
7. Sharifi, A., et al., Application of artificial intelligence in digital twin models for stormwater infrastructure systems in smart cities. Advanced Engineering Informatics, 2024. 61: p. 102485.
8. Baker, B.J., Virtual reality, in Encyclopedia of Sport Management. 2024, Edward Elgar Publishing. p. 1021-1023.

با استفاده از لینک و کد QR از سایت Glitch.com خروجی کار به اشتراک گذاشته می‌شود. همچنین امکان نمایش مدل‌های سه‌بعدی به صورت واقعیت افزوده در گوشی تلفن همراه پس از باز کردن لینک (با انتخاب گزینه view in your space) در پایین تصویر مدل سه‌بعدی مطابق شکل (۴)-ب را فراهم می‌آورد. این نمایش به صورت واقعیت افزوده در شکل شماره ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵: نمایش مدل واقعیت افزوده و واقعیت مجازی درگوشی‌های هوشمند

■ نتیجه‌گیری

مدیریت داده‌های واقعیت افزوده و مجازی با چالش‌های متعددی مواجه است. برنامه‌های AR و VR حجم زیادی از داده‌ها را در زمان واقعی تولید می‌کنند که نیازمند زیرساخت‌های قوی برای پردازش و ذخیره‌سازی سریع هستند. کاهش تأخیر در پردازش داده‌ها برای تجربه‌ای همه‌جانبه ضروری است. ترکیب داده‌ها از منابع مختلف و حفظ یکپارچگی آن‌ها پیچیده است و نیاز به فنون یکپارچه‌سازی دارد. حفاظت از داده‌های کاربر به دلیل ماهیت شخصی برخی برنامه‌ها اهمیت بالایی دارد و اقدامات امنیتی سخت‌گیرانه‌ای برای محافظت از اطلاعات حساس کاربران لازم است. راه‌حل‌های ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر مانند فضای ذخیره‌سازی ابری و محاسبات لبه^{۱۷} برای مدیریت حجم بالای داده‌ها استفاده می‌شوند. بهترین شیوه‌های مدیریت داده شامل رایانش ابری، محاسبات لبه، فشرده‌سازی

استخراج نقشه عمق و ویژگی‌های بستر دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 در محیط نرم‌افزار SNAP

ساناز صاحب‌خیر، کارشناس تداخل‌سنجی راداری سازمان نقشه‌برداری کشور
معصومه آمیغ‌بی، رئیس اداره ترازبایی دقیق و تداخل‌سنجی راداری سازمان نقشه‌برداری کشور

چکیده

این مطالعه باهدف پایش تغییرات عمق آب و ویژگی‌های بستر دریاچه ارومیه با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور انجام شد. برای دستیابی به این هدف، از دو تصویر ماهواره سنتینل-۲ مربوط به تاریخ‌های ۲۵ مرداد ۱۴۰۳ و ۲۵ مرداد ۱۴۰۴ استفاده گردید. پردازش تصاویر در محیط نرم‌افزار SNAP انجام پذیرفت. این افزونه با اعمال الگوریتم‌های پیشرفته‌ای نظیر مدل لیزنگا، امکان تفکیک سیگنال بازتاب یافته از بستر دریاچه از نوفه‌های محیطی را فراهم کرده و با تجزیه و تحلیل ضریب تضعیف نور در باندهای طیفی آبی و سبز، نقشه‌های عمق سنجی و پراکنش انواع بستر (شامل رسوبات رسی-سیلت دار، پهنه‌های ماسه‌ای و پوسته‌های نمکی) را تولید می‌نماید. یافته‌های تحقیق حاکی از کاهش چشمگیر ۴۸ درصدی مساحت پهنه آبی (معادل ۱۱۵۰ کیلومتر مربع) و افت ۰.۵ متری تراز سطح آب در بازه زمانی یک‌ساله مورد مطالعه بود. این کاهش منجر به خشک شدن کامل نواحی کم‌عمق شمالی و جنوب شرقی دریاچه و عقب‌نشینی آب به سمت بخش‌های مرکزی شده است. نتایج به‌دست‌آمده هم‌خوانی قابل‌توجهی با داده‌های مستند وزارت نیرو دارد و گویای بروز یک رویداد خشکی شدید و سریع در دریاچه ارومیه است. کاربرد موفقیت‌آمیز نرم‌افزار SNAP در این پژوهش، قابلیت بالای روش‌های سنجش‌ازدور اپتیک را در پایش کمی و کیفی تغییرات منابع آبی سطحی به اثبات می‌رساند.

واژگان کلیدی: دریاچه ارومیه، سنجش‌ازدور، سنتینل-۲، عمق سنجی، تغییرات سطح آب

مقدمه

مختلف، داده‌های ماهواره سنتینل-۲ به دلیل داشتن قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی مناسب، گزینه‌ای ایده‌آل برای پایش تغییرات پهنه‌های آبی کم‌عمق نظیر دریاچه ارومیه به شمار می‌روند. الگوریتم‌های متعددی برای استخراج اطلاعات عمق و ویژگی‌های بستر از تصاویر ماهواره‌ای اپتیک توسعه یافته‌اند. از جمله این روش‌ها، می‌توان به الگوریتم تجربی لیزنگا^۱ اشاره کرد که با استفاده از رابطه لگاریتمی بین بازتاب طیفی و عمق آب، امکان تخمین عمق در آب‌های شفاف و کم‌عمق را فراهم می‌سازد. این الگوریتم با کاهش اثرات نوفه‌های محیطی مانند پراکندگی رایلی و بازتابش سطحی^۲، دقت قابل‌قبولی در تخمین عمق ارائه می‌دهد. نرم‌افزار SNAP که توسط آژانس فضایی اروپا توسعه یافته، به‌عنوان یک بستر پردازشی متن‌باز و قدرتمند، امکان پردازش تخصصی داده‌های ماهواره‌ای

دریاچه ارومیه، به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و یکی از گسترده‌ترین پهنه‌های آبی شور جهان، در دهه‌های اخیر با بحران شدید کاهش منابع آب مواجه شده است. عواملی همچون تغییرات اقلیمی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و سطحی، و توسعه نامتوازن بخش کشاورزی، این اکوسیستم منحصربه‌فرد را در معرض خطر نابودی قرار داده است. پایش مستمر و دقیق تغییرات کمی و کیفی این دریاچه، به‌عنوان ضرورتی انکارناپذیر، نقش تعیین‌کننده‌ای در تدوین راهکارهای احیا و مدیریت پایدار منابع آب ایفا می‌کند. در این راستا، فناوری سنجش‌ازدور به دلیل پوشش گسترده زمانی و مکانی، تکرارپذیری مشاهدات، و توانایی استخراج اطلاعات کمی از مناطق وسیع و صعب‌العبور، به ابزاری قدرتمند و کارآمد تبدیل شده است. در میان ماهواره‌های

1. Lyzenga

2. sun glint

باقی می‌گذارد. با توجه به روند نزولی شدید تراز آب دریاچه ارومیه که توسط مطالعات مبتنی بر داده‌های مأموریت‌های GRACE و GRACE-FO نیز تأیید شده است، پایش دقیق و سریع تغییرات مکانی و عمقی این دریاچه از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. بنابراین، این مطالعه باهدف پایش تغییرات عمق آب و تهیه نقشه پراکنش انواع بستر دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و به‌کارگیری افزونه Sen2Coral در نرم‌افزار SNAP انجام گرفت. در این راستا، تصاویر مربوط به دو مقطع زمانی مرداد ۱۴۰۳ و مرداد ۱۴۰۴ پردازش و تحلیل شدند تا میزان تغییرات پهنه آبی، عمق و همچنین الگوی پراکنش رسوبات رسی-سیلت‌دار، پهنه‌های ماسه‌ای و پوسته‌های نمکی در بازه یک‌ساله موردبررسی قرار گیرد

را فراهم می‌کند. افزونه تخصصی Sen2Coral در این نرم‌افزار، با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته‌ای نظیر مدل لیزنگا و تحلیل ضریب تضعیف نور در باندهای آبی و سبز، به‌طور خاص برای مطالعات عمق سنجی و طبقه‌بندی بستر در محیط‌های آبی طراحی شده است. در مطالعات پیشین، هو و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل ترکیبی مبتنی بر یادگیری عمیق را برای نقشه‌برداری از شفافیت آب دریاچه‌های جهانی با استفاده از تصاویر لندست OLI توسعه دادند. درحالی‌که این رویکرد توانایی شبکه‌های پیچیده کانولوشنال و بازگشتی را در پیش‌بینی پارامترهای نوری سطح آب نشان می‌دهد، اما بر پویایی‌های بلندمدت ذخیره آب زیرزمینی یا تفسیرپذیری مدل تمرکز نکرده بود. این محدودیت، شکاف مهمی در درک مکانیزم‌های حاکم بر تغییرات کمی و کیفی دریاچه‌های مشابه ارومیه

داده‌ها

در این مطالعه از دو تصویر ماهواره سنتینل-۲ مربوط به تاریخ‌های ۲۵ مرداد ۱۴۰۳ و ۲۵ مرداد ۱۴۰۴ به‌منظور بررسی تغییرات میزان عمق آب، استخراج نقشه عمق و ویژگی‌های بستر دریاچه ارومیه استفاده شده است.



شکل ۱: تصویر سمت راست نشان‌دهنده تصویر اخذشده از دریاچه ارومیه در سال ۱۴۰۳
تصویر سمت چپ نشان‌دهنده تصویر اخذشده از منطقه مذکور برای سال ۱۴۰۴

■ روش

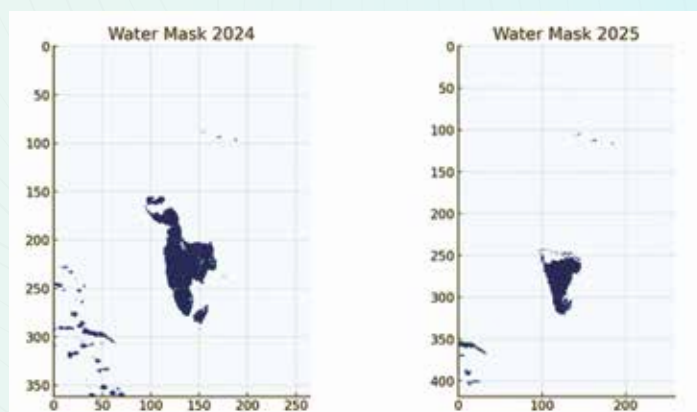
نرم‌افزار snap به‌عنوان یک نرم‌افزار متن‌باز برای پردازش‌های تخصصی داده‌های ماهواره‌ای سری سنتینل است که توسط سازمان فضایی اتحادیه اروپا طراحی شده است. این نرم‌افزار داده‌های ماهواره‌ای سنتینل ۲ را به‌صورت خودکار فراخوانی کرده و بدون نیاز به تصحیحات هندسی نسبت به انجام خودکار تصحیحات رادیومتریکی مانند رادیانس و تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره مذکور اقدام می‌کند. این نرم‌افزار امکانات متعددی دارد و از پلاگین‌های گوناگونی تشکیل شده است. یک مزیت مهم این نرم‌افزار رایگان بودن و قابلیت به‌روزرسانی آن از طریق سیستم اینترنت است. افزونه sen2coral موجود در این نرم‌افزار به‌طور خاص باهدف پژوهش‌های علمی و اعتبارسنجی تصاویر سنتینل ۲ برای نقشه‌برداری از صخره‌های مرجانی، عمق سنجی و کیفیت آب و نظارت بر تغییرات آن آماده‌شده است کاربرد افزونه sen2coral در محیط نرم‌افزار SNAP جهت برآورد عمق و تهیه نقشه بستر دریاچه ارومیه، بر پایه اصول سنجش‌ازدور اپتیکی در محیط‌های آبی کم‌عمق استوار خواهد بود. این افزونه با به‌کارگیری الگوریتم‌های

پیشرفته‌ای نظیر مدل لیزنگا، سیگنال بازتاب یافته از بستر دریاچه را از نوفه‌های محیطی شامل پراکندگی در ستون آب^۳ و بازتابش از سطح آب به‌طور مؤثر تفکیک می‌کند. با تجزیه و تحلیل ضریب تضعیف نور^۴ در باندهای طیفی مختلف سنجنده MSI ماهواره سنتینل ۲، به‌ویژه باندهای آبی (B2) و سبز (B3) که دارای عمق نفوذ بیشتری در آب هستند (در محیط‌های آبی با شفافیت بالا) (مانند اقیانوس‌های آزاد)، عمق نفوذ مؤثر نور در باندهای مرئی (۴۸۰-۵۸۰ نانومتر) می‌تواند به ۲۰ تا ۳۰ متر برسد، درحالی‌که در آب‌های ساحلی و کدر این مقدار به دلیل پراکندگی و جذب توسط ذرات معلق و مواد رنگ دانه‌دار، اغلب به کمتر از ۱ تا ۳ متر محدود می‌شود)، امکان استخراج نقشه‌های عمق سنجی و ترسیم منحنی‌های هم‌عمق^۵ برای نواحی ساحلی و کم‌عمق دریاچه فراهم می‌شود. علاوه بر این، پردازش داده‌های بازتابندگی بستر این قابلیت را ایجاد می‌کند تا انواع مختلف ژئومورفولوژی کف دریاچه، از جمله رسوبات رسی-سیلت‌دار، پهنه‌های ماسه‌ای و پوسته‌های نمکی، از یکدیگر تمایز داده شوند. در جدول زیر مزایا و معایب استفاده از افزونه sen2coral برای دریاچه ارومیه بررسی شده است:

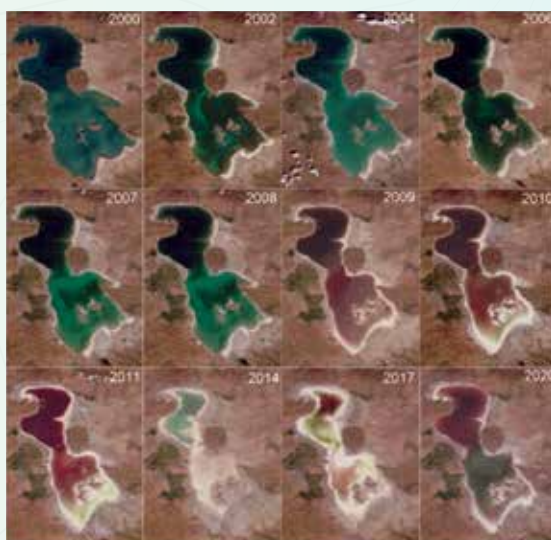
مزایا	محدودیت‌ها و چالش‌ها
پوشش وسیع و یکپارچه: امکان نقشه‌برداری از کل دریاچه در یک نما بدون نیاز به تردد میدانی	وابستگی به شفافیت آب: افزایش غلظت نمک و وجود رسوبات معلق در دریاچه ارومیه دقت برآورد عمق را کاهش می‌دهد
تکرارپذیری زمانی بالا: امکان پایش تغییرات فصل به فصل یا سالانه عمق و کف دریاچه به دلیل دوره بازگشت کوتاه سنتینل ۲ (۵ روز)	محدودیت عمق: روش‌های اپتیکی عمدتاً برای آب‌های کم‌عمق (معمولاً تا حداکثر ۲۰ متر در شرایط ایده‌آل) کاربرد دارند که ممکن است برای بخش‌های عمیق‌تر کارایی نداشته باشد
غیر مخرب و مقرون به‌صرفه: حذف هزینه‌های سنگین عملیات میدانی با قایق و اکوساندر	تأثیر پوشش کف: پوشش گسترده نمک در بستر دریاچه که بازتابندگی بسیار بالایی دارد، می‌تواند منجر به تخمین نادرست عمق (کم‌تر نشان دادن عمق واقعی) شود
تهیه نقشه از مناطق صعب‌العبور: دسترسی به مناطق وسیعی که انجام نقشه‌برداری در آن‌ها دشوار یا خطرناک است	نیاز به اعتبارسنجی میدانی: برای کالیبره کردن الگوریتم و اطمینان از دقت نتایج، وجود داده‌های کنترل زمینی ^۶ از عمق واقعی ضروری است.
تهیه هم‌زمان محصولات جانبی: استخراج اطلاعاتی درباره کیفیت آب (مانند کلروفیل) و نوع بستر در کنار عمق	حساسیت به شرایط جوی: وجود ابر، گردوغبار و اغتشاش سطح آب (باد)، کیفیت تصویر و در نتیجه دقت پردازش را تحت تأثیر قرار می‌دهد

3. Rayleigh scattering
5. isobaths

4. attenuation coefficient
6. Ground Truth



شکل ۲: نمایش ماسک آب دریاچه ارومیه در سال‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ حاصل از نرم‌افزار snap



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۳: (الف) نمایش پهنه آبی در مردادماه ۱۴۰۴ به‌دست‌آمده توسط افزونه sen2coral (ب) نمایش پهنه آبی در مردادماه ۱۴۰۳ به‌دست‌آمده توسط افزونه sen2coral (ج) نمایش پهنه آبی دریاچه ارومیه از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ توسط روش LWE

نتایج و بحث

محاسبه‌شده و نشان می‌دهد که اگر تمام آب‌های موجود در حوضه به‌طور یکنواخت توزیع شود، چه عمقی خواهد داشت. برخلاف اندازه‌گیری مستقیم عمق دریاچه که فقط آب سطحی را پوشش می‌دهد، LWE تصویر کاملی از وضعیت هیدرولوژیک منطقه ارائه می‌دهد. کاهش این شاخص، همان‌طور که در دریاچه ارومیه مشاهده‌شده، نشان‌دهنده تخلیه شدید منابع آب زیرزمینی و بحران هیدرولوژیک در سطح حوضه است. یک‌روند نزولی پایدار از سال ۱۳۸۵ آغاز شد، به‌طوری‌که مقادیر LWE در سال ۱۳۸۶ برای نخستین بار به قلمرو منفی وارد شد و نشان‌دهنده آغاز دوره بحران بود. این کاهش تداوم

بر اساس تحلیل‌های بلندمدت مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای GRACE و GRACE-FO طی دوره ۲۰ ساله (۱۳۸۲-۱۴۰۲)، دریاچه ارومیه روند تغییرات هیدرولوژیکی چشمگیری را تجربه کرده است. در سال‌های اولیه (۱۳۸۲-۱۳۸۴)، مقادیر مثبت معادل آب دریاچه (LWE) حاکی از شرایط پایدار یا حتی افزایش ذخیره آبی بود. شاخص معادل آب دریاچه یک پارامتر کلیدی در مطالعات هیدرولوژی است که تغییرات کل ذخیره آبی یک حوضه، شامل آب‌های زیرزمینی، رطوبت خاک و آب سطحی را به‌صورت یکپارچه اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص بر اساس داده‌های ماهواره‌ای GRACE و GRACE-FO

دوره استرس هیدرولوژیکی شدید را در دهه اول و یک بهبود نسبی را در دهه دوم به تصویر می کشد که در شکل شماره ۳ به تصویر کشیده شده است. ماهواره‌ای GRACE و GRACE-FO تغییرات میدان گرانش زمین را ثبت می کنند که ناشی از تغییرات توده آب (شامل آب زیرزمینی، رطوبت خاک و آب سطحی) در مقیاس بسیار بزرگ است و برای عمق سنجی مستقیم و تهیه نقشه کف بستر کاربرد ندارند، به این منظور از داده‌های ماهواره سنتینل ۲ و افزونه sen2coral استفاده شد. نتایج حاصل در قالب جداول شماره ۲ و ۳ بیان شده است.

یافت و در نهایت در سال ۱۳۹۶ به اوج خود رسید و LWE به کمترین مقدار ثبت شده خود تقریباً ۵۰۰۸- سانتیمتر تنزل یافت که نشان دهنده یک وضعیت بحرانی شدید بود. بالاین حال، یک بهبود قابل توجه در سال ۱۳۹۷ مشاهده شد که عمدتاً ناشی از افزایش بارش و احتمالاً مداخلات مدیریتی بود. پس از این سال، مقادیر LWE گرایش به تثبیت در حدود صفر نشان داد که حاکی از توقف روند کاهش و نشانه‌هایی از بهبود نسبی، هرچند دور از شرایط طبیعی اولیه، در سال‌های پایانی دوره مطالعه (۱۳۹۷-۱۴۰۲) است. این الگوی تغییرات، یک

نام منطقه	مختصات (Lat, Lon)	عمق تقریبی در سال ۱۴۰۳ (m)	عمق تقریبی در سال ۱۴۰۴ (m)	مساحت در سال ۱۴۰۳ (km ²)	مساحت در سال ۱۴۰۴ (km ²)	تغییر تراز آب
ناحیه عمیق مرکزی	37.70N,45.30E	۵,۰	۴,۵	۰,۳۸۹	۰,۱۹۹	↓ ۰,۵ متر
جنوب شرقی	37.40N,45.45E	۲,۰	خشک	۰,۱۰۰	۰,۰۰۰	خشک شدن کامل
شمال غربی	37.95N,45.10E	۳,۵	۳	۰,۲۵۰	۰,۱۲۰	↓ ۰,۵ متر
شمال شرقی	37.95N,45.50E	۲,۸	۲,۳	۰,۱۸۰	۰,۰۹۰	↓ ۰,۵ متر
جنوب غربی	37.45N,45.05E	۱,۵	خشک	۰,۰۷۰	۰,۰۰۰	خشک شدن کامل

جدول ۲: نتایج عمق سنجی و مساحت نواحی منتخب دریاچه ارومیه حاصل از افزونه sen2coral

سال	تعداد پیکسل آب	مساحت تقریبی (km ²)	تغییر نسبت به سال قبل
۱۴۰۳	۳۸۸۹	۰,۳۸۹	-----
۱۴۰۴	۱۹۹۱	۰,۱۹۹	↓ ۴۹٪ (-۰,۱۹۹ km ²)

جدول ۳: برآورد تعداد پیکسل آب حاصل از افزونه sen2coral

■ تحلیل تغییرات مساحت پهنه آبی

تبدیل شده‌اند (شکل ۳ (الف-ب)). بر اساس پردازش کمی تصاویر و محاسبه سطح بر اساس پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به عنوان آب، مساحت پهنه آبی از حدود ۲۴۰۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۴ به حدود ۱۲۵۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۵ کاهش یافته است (شکل ۲). این تغییرات نشان دهنده کاهش حدود ۱۱۵۰ کیلومتر مربعی (معادل ۴۸ درصد) در مساحت سطحی دریاچه در بازه زمانی یک ساله است. این یافته‌ها با داده‌های منتشر شده توسط وزارت نیرو که میزان کاهش تراز آب را ۵۶ سانتیمتر برآورد کرده است، همخوانی و تطابق نزدیکی دارد.

مقایسه کیفی تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده در مردادماه ۱۴۰۳ و مردادماه ۱۴۰۴ کاهش چشمگیری در وسعت پهنه آبی دریاچه ارومیه را نشان می دهد (شکل ۱). در تصویر مربوط به سال ۱۴۰۳، پهنه آبی پررنگ، بخش عمده‌ای از حوضه جنوبی و قسمت قابل توجهی از حوضه شمالی دریاچه را پوشش داده است. در مقابل، تصویر سال ۱۴۰۴ (که با رنگ آبی-سفید نمایان شده است) حاکی از کاهش شدید مساحت و عقب‌نشینی آب به نواحی مرکزی و جنوبی است، به طوری که نواحی شمالی و جنوب شرقی دریاچه به طور کامل خشک شده و به عرصه‌های نمکی

■ مراجع و منابع

1. Lyzenga, D.R., Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. International Journal of Remote Sensing, 1981. 2(1): p. 71-82.
2. Hedley, J.D., et al., Coral reef applications of Sentinel-2: Coverage, characteristics, bathymetry and benthic mapping with comparison to Landsat 8. Remote Sensing of Environment, 2018. 216: p. 598-614.
3. He, Y., et al., Water clarity mapping of global lakes using a novel hybrid deep-learning-based recurrent model with Landsat OLI images. Water Research, 2022. 215: p. 118241.
4. Kashani, A. and H.R. Safavi, Assessing groundwater drought in Iran using GRACE data and machine learning. Scientific Reports, 2025. 15(1): p. 14671.
5. Habibi, S. and S. Tasouji Hassanpour, An Explainable Machine Learning Framework for Forecasting Lake Water Equivalent Using Satellite Data: A 20-Year Analysis of the Urmia Lake Basin. Water, 2025. 17(10): p. 1431.

■ تحلیل تغییرات عمق و حجم آب

داده‌های ارتفاع‌سنجی^۷ ماهواره‌ای مأموریت ICESat-2 نشان می‌دهد که در کنار کاهش شدید مساحت، تراز سطح آب دریاچه در این بازه یک‌ساله نیز حدود ۰.۵ متر افت داشته است. با در نظر گرفتن توپوگرافی بستر و شیب ملایم حواشی دریاچه، این کاهش نسبی در تراز آب، تأثیر نامتناسبی

بر روی مساحت داشته است. نواحی کم‌عمق شرقی و جنوبی که عمدتاً عمقی کمتر از ۱ متر دارند، با این افت آب به‌طور کامل خشک‌شده‌اند. این پدیده که ناشی از رابطه‌نمایی بین کاهش تراز آب و کاهش مساحت در دریاچه‌های با بستر پهن و کم‌شیب است، علت اصلی کاهش ۴۸ درصدی مساحت را توضیح می‌دهد که در تطابق با نتایج حاصل از اعمال افزونه sen2coral بر روی منطقه مورد مطالعه است.



■ جمع‌بندی کمی

به‌طور خلاصه، مشاهدات ماهواره‌ای حاکی از آن است که دریاچه ارومیه بین مرداد ۱۴۰۳ و مرداد ۱۴۰۴ شاهد:

۱. کاهش ۰.۵ متری در تراز سطح آب
۲. کاهش ۴۸ درصدی در مساحت پهنه آبی (معادل ۱۱۵۰ کیلومتر مربع) بوده است. این ارقام گویای یک رویداد خشکی شدید و سریع است که منجر به عقب‌نشینی آب به سمت بخش‌های عمیق‌تر مرکزی شده و پیامدهای جدی برای اکوسیستم و وضعیت زیست‌محیطی دریاچه دارد.

7. altimetry

بررسی تغییر نام‌های جغرافیایی و نقش آن در توسعه پایدار

حسین عیسی‌نیا، کارشناس اداره دبیرخانه کمیته تخصصی نام‌نگاری و یکسان‌سازی نام‌های جغرافیایی سازمان نقشه‌برداری کشور

چکیده

دسترسی به نام‌های جغرافیایی صحیح، شفاف و واضح که توسط ارگان‌های ملی کشورها تصویب می‌شود، به‌عنوان مبنایی برای ارتباطات ملی و بین‌المللی بخصوص در دنیای دیجیتالی پیشرفته به شمار می‌رود و موجب تقویت روابط، پیوندها و ارتباطات برای توسعه پایدار و بهبود روابط کشورها و منطقه خواهد شد. از آنجا که ساکنان هر واحد سیاسی خود را متعلق به واحدی می‌دانند که با نام مشخص خوانده می‌شود، به هر میزان که این نام و تغییرات آن با اصول فرهنگی و روابط اجتماعی منطقه تجانس بیشتری داشته باشد در یکپارچه کردن ساکنان آن منطقه نقش بیشتر و بهتری ایفا خواهد کرد و به انسجام ملی کمک کرده و باعث هم‌گرایی و توسعه پایدار خواهد شد.

نام مکان‌های جغرافیایی یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های هویت ملی هر کشوری به شمار می‌رود. سیر تغییر نام و نام‌گذاری مکان‌های جغرافیایی در طی قرون گذشته تحت تأثیر عواملی چند بوده و از این نظر امری در خور مطالعه و بررسی است. در بعضی ادوار نام‌ها متأثر از فرهنگ اقوام بوده و توسط خود مردم انتخاب می‌شدند و در بعضی ادوار دیگر با دستور بزرگان و پادشاهان نام‌گذاری‌ها و تغییر نام‌ها انجام گردیده است. و در قرون اخیر عوامل گوناگون و متنوعی مانند سیاست دولت‌ها، خواست حکومت، ایدئولوژی، افکار عمومی، فرهنگ جامعه و ... در آن دخیل می‌باشد که این امر به نحوی در ایران هم جای بررسی و پژوهش را دارد.

واژگان کلیدی: نام‌های جغرافیایی، هویت ملی، ایدئولوژی، تقسیمات کشوری و سیاست

مقدمه

نام‌های جغرافیایی معادل واژه توپونیم می‌باشد. اسامی شهرها، روستاها، مناطق مسکونی، کوه‌ها، دره‌ها، دشت‌ها، بیابان‌ها، جنگل‌ها، مزارع، دریاچه‌ها، چشمه‌ها، رودخانه‌ها و خلاصه نام‌های هر آنچه که در ارتباط با عوارض زمین، خواه ساخته‌ی دست بشر و یا به طور طبیعی به وجود آمده باشند، در توپونیمی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

درباره اهمیت نام در جغرافیا همین بس که بهترین تصاویر ماهواره‌ای که امروزه توسط ماهواره‌های پیشرفته در اختیار بشر قرار می‌گیرند و از مشکلات امر نقشه‌برداری زمینی می‌کاهند، تا زمانی که گویا نشده‌اند یعنی نام جغرافیایی بر آن نهاده نشده است، کاربردی نمی‌یابند و در حکم نوعی تابلو جلوه می‌نمایند و این اسامی جغرافیایی هستند که به مکان‌های مختلف هویت و شخصیت می‌دهند. بنابراین بخشی از کارکرد جای نام‌های جغرافیایی مربوط به ابعاد هویتی آن‌ها است و بررسی این موضوع خود از جنبه‌های فرهنگی و سیاسی دارای اهمیت ویژه‌ای است.

تغییرات سطوح تقسیمات کشوری پس از انقلاب اسلامی

تقسیمات کشوری ایران دارای چهار سطح است و کشور به چندین استان و هر استان به چند شهرستان و هر شهرستان به تعدادی بخش و هر بخش به چند دهستان تقسیم می‌شود. واحدهای اداری مربوط به مسئولان نامبرده در بالا به ترتیب وزارت کشور، استانداری، فرمانداری، بخشداری و دهرداری نام دارند.

ایران با ۱۵ کشور مستقل و ۲۴ دولت هم‌جوار همسایه است. این کشور از جنوب با دولت‌ملت‌های مستقل کویت، عربستان، بحرین، قطر، امارات عربی متحده و عمان، از شرق با پاکستان و افغانستان، از شمال با ترکمنستان، قزاقستان، روسیه، آذربایجان و ارمنستان، و از غرب با ترکیه و عراق هم‌جوار است. ایران همچنین در شمال با جمهوری‌های خودمختار داغستان، نخجوان و در جنوب با شش امیرنشین از هفت امیرنشین تشکیل دهنده‌ی امارات عربی متحده یعنی ابوظبی، دبی، شارجه، عجمان،

و حضور درازمدت قدرت‌های فرامنطقه‌ای، برپیچیدگی اوضاع سیاسی پیرامونی ایران افزوده است. چنین وضعیتی باعث بالا رفتن ظرفیت‌های بالقوه مشاجره و کاهش ضریب‌های امنیتی درازمدت برای ایران شده است. و یکی از منابع مشاجره و چالش برانگیز در منطقه می‌تواند نام‌های جغرافیایی باشد، مثلاً جعل نام خلیج فارس، به خلیج عربی توسط کشورهای عرب منطقه باعث به‌روز مشکلات و مسائل عدیده‌ای در منطقه گردید.

ام‌القوین و راس‌الخیمه همسایه است. ایران پس از فدراتیو روسیه و به همراه چین دارای بیشترین همسایه در جهان است؛ همسایگانی که اغلب دارای نظام سیاسی ناپایدار و گرفتار تنگنای حاد ارتباطی‌اند. بیشتر این دولت‌ها در شمار کشورهای کمتر توسعه یافته به شمار می‌روند، که دارای دیدگاه‌های متفاوت ژئوپلیتیک و نظام ایدئولوژیک هستند. این چشم‌انداز به موازات تداخل علاقه‌ها و منافع این ملت‌ها در یکدیگر اندک بودن تعاملات تجاری و اقتصادی، وجود ناهمگنی‌های فرهنگی، مذهبی



نقشه پراکنش تغییر نام سطوح تقسیمات کشوری به تفکیک استان

■ تجزیه و تحلیل

تغییرات در نام واحدهای سیاسی کشور در دوره پس از پیروزی انقلاب اسلامی یعنی از اواخر سال ۱۳۵۷ تا تیرماه سال ۱۴۰۲ در مجموع ۲۵۲ مورد بوده است. که ۲ تغییر در نام استان، و ۲۷ تغییر در نام شهرستان‌ها و ۸۵ تغییر در نام بخش‌ها و ۱۳۸ تغییر در نام دهستان‌ها داشته‌ایم که به علل گوناگونی بوده است.

در ابتدای پیروزی انقلاب اسلامی مسئولین و مردم ایران به خاطر مخالفت با سیاست‌های رژیم گذشته، در همان اوایل پیروزی انقلاب اقدام به تغییر و اصلاح اسمی‌ای که منتسب به آن رژیم بود کردند. هرچند گاهی اوقات در مفهوم آن اشتباه صورت گرفت، به طور مثال منظور از کلمه شاه در همه موارد نظام شاهنشاهی نیست بلکه در خیلی از موارد منظور بزرگی و عظمت است، البته لازم به ذکر است که این تلاش در پاره‌ای از موارد به ثمر نرسید و به همان نام قبلی برگشت. مانند تغییر نام استان کرمانشاهان به باختران، که به تصور این که میان نام شهر کرمانشاه یا استان کرمانشاهان، با عنوان و مقام شاهی ایران زمین، پیوند خاصی دارد، نام کرمانشاهان را بدون هیچ‌گونه توجیه علمی و تاریخی برداشته و در دی ماه ۱۳۶۰ طبق مصوبه هیئت دولت نام استان کرمانشاهان به باختران تغییر داده شد. ولی به علت مخالفت مردم و نماینده استان، در فروردین ۱۳۷۲ نام استان به همان نام قبلی خود بازگشت. مثال دیگر تغییر نام شهرضا به قمشه در تیرماه ۱۳۶۱ می باشد که این تغییر نیز در سال ۱۳۶۶ به حالت اول خود بازگشت.

نمونه‌هایی از تغییر نام‌ها در ذیل آمده است:

تغییر نام شهرستان رضائیه در استان آذربایجان غربی به ارومیه
تغییر نام شهرستان شاه‌آباد غرب در استان کرمانشاه به اسلام‌آباد غرب
تغییر نام شهرستان شهسوار در استان مازندران به تنکابن
تغییر نام دهستان شاه‌یجان در استان فارس به بختاگرد
تغییر نام بخش بندر شاهپور در استان خوزستان به بندر امام خمینی
تغییر نام شهرستان دشت میشان در استان خوزستان به دشت آزادگان
تغییر نام شهرستان شاهپور در استان آذربایجان غربی به سلماس
تغییر نام شهرستان شاهی در استان مازندران به قائم‌شهر

دهستان بشاریات در استان قزوین به دو قسمت تقسیم و به همین دلیل تغییر نام داده و به بشاریات غربی و قسمت دیگر آن نیز بشاریات شرقی نام گرفت.



در سال ۱۳۸۹ در استان تهران، شهرستان ساوجبلاغ، به علت تغییر ساختار تقسیمات و ایجاد بخشی به نام بالاطالقان، نام دهستان بالاطالقان در بخش طالقان به جویستان تغییر نام داده شده است.
در استان سمنان، شهرستان شاهرود به علت ارتقاء دهستان بسطام به بخش، نام دهستان بسطام به خرقان تغییر داده شده است.
در استان تهران، شهرستان ورامین تغییر نام بخش پلشت به علت معنی و مفهوم بد آن به پاکدشت تغییر یافت.
در استان لرستان، شهرستان خرم‌آباد، تغییر نام بخش چغلوندی به بیرانوند نمونه ای دیگر است.

■ نتیجه گیری

با بررسی در نام‌های عناصر تقسیمات کشوری در می‌یابیم که معمولاً این عناصر با توجه به اوضاع طبیعی، جغرافیایی، پیشینه تاریخی، فرهنگی، اجتماعی و سیاسی نام‌گذاری شده‌اند، اما این بدان معنا نیست که تمامی آن‌ها از این الگو تبعیت کرده باشند، در بعضی از موارد مشاهده شده که این نام‌گذاری‌ها تحت تاثیر فشار اهرم‌های سیاسی، سلايق فردی و گروهی و یا متأثر از

■ مراجع و منابع

- (۱) اوجی، روح‌اله و عیسی‌نیا، حسین، طرح پژوهشی «بررسی تغییر نام‌های جغرافیایی (واحد‌های تقسیمات سیاسی کشور) در مقطع پس از انقلاب اسلامی». سازمان نقشه‌برداری تهران ۱۴۰۲
- (۲) پایگاه اطلاعات قوانین و مقررات کشور - روزنامه رسمی کشور <http://law.dotic.ir/AIPLaw/t>
- (۳) جعفرزاده، حسن. بررسی نقش و کارکرد نام کشور بر یکپارچگی ملی با تأکید بر نام ایران، همایش نام‌های جغرافیایی، تهران: سازمان نقشه‌برداری، ۱۳۹۱
- (۴) حافظ‌نیا، محمدرضا. اصول و مفاهیم ژئوپلیتیک. چاپ سوم، تهران: پایلی، ۱۳۹۰
- (۵) رفاهی‌علمداری، فیروز. مبانی توپونیمی و نگاهی به توپونیمی‌های ایران. تهران: سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۸۰
- (۶) سامانه ملی قوانین و مقررات جمهوری اسلامی ایران، معاونت حقوقی ریاست جمهوری، مصوبات هیئت وزیران ۱۳۹۳ <http://www.rooznamehrasmi.ir/Laws>
- (۷) عبدی، عطالله و عیسی‌نیا، حسین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد «بررسی نسبت ایدئولوژی و جای نام‌ها»، دانشگاه خوارزمی تهران. ۱۳۹۳
- (۸) کریمی‌پور، یدالله. ایران و همسایگان (منابع تنش و تهدید). تهران: دانشگاه تربیت معلم، ۱۳۸۰
- (۹) گنجی، محمد حسن. ملاحظات دربار نام در جغرافیا. تهران: فصلنامه سپهر، شماره ششم، ص ۱۸، ۱۳۷۱
- (۱۰) مجتهدزاده، پیروز. جغرافیای سیاسی و سیاست جغرافیایی. تهران: سمت، ۱۳۸۱
- (۱۱) مجموعه قوانین. دادگستری جمهوری اسلامی ایران، نشریه، روزنامه رسمی جمهوری اسلامی ایران. تهران: ۱۳۵۸
- (۱۲) مجموعه قوانین. دادگستری جمهوری اسلامی ایران، نشریه، روزنامه رسمی جمهوری اسلامی ایران. تهران: ۱۳۵۹
- (۱۳) مجموعه قوانین. دادگستری جمهوری اسلامی ایران، نشریه، روزنامه رسمی جمهوری اسلامی ایران. تهران: ۱۳۷۰

احساسات مردمی بوده است و به همین دلیل حتی پس از گذشت چند سال، این اسامی نتوانسته با اقبال عمومی مواجه شود و چه بسا همان نام‌های قبلی مورد استفاده قرار گرفته است.

نام‌گذاری در ایران از زمان‌های گذشته تاکنون از قانون مشخصی پیروی نکرده و در هر زمان عواملی تأثیرگذار بر این موضوع بوده است که باعث تغییر نام‌گذاری‌های متنوع گردیده است. حفظ و حراست از نام‌های جغرافیایی می‌تواند یکی از اهداف مهم توسعه پایدار برای جوامع مختلف در سطح جهانی باشد، نسل‌های گذشته سرمایه‌های عظیمی همچون نام‌های تاریخی را برای نسل حاضر به ارث گذاشته‌اند و نسل حاضر باید وارثان خوبی برای گذشتگان باشند و در حفظ و پاسداشت این نام‌ها کوشا باشند. یکی از ابعاد توسعه پایدار محیط پیرامون انسان‌هاست. در مفهوم توسعه پایدار، پایداری اقتصادی، محیطی و اجتماعی در کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت، لاینفک هستند. یکی از اهداف مهم ۱۷ گانه توسعه پایدار، صلح و عدالت می‌باشد، حفاظت و استفاده پایدار و صحیح از نام‌های تاریخی سکونتگاه‌های انسانی و سرزمینی برای ترویج جوامع صلح آمیز، دسترسی به عدالت برای همه و ایجاد آرامش در همه سطوح بسیار موثر است.

در چارچوب مطالعات جغرافیای سیاسی، نام‌های جغرافیایی در حکم شناسنامه یک ملت و سرزمین قلمداد می‌شوند؛ زیرا اسامی استان، شهرستان، بخش، دهستان، شهر، روستا و ... همگی جزئی از تاریخ و جغرافیای ساکنان آن محل هستند و حفظ و حراست از آن‌ها خدمتی بزرگ به فرهنگ سرزمین آنجا قلمداد می‌شود. در واقع نام‌ها بویژه نام هر منطقه مشخص کننده محدوده حاکمیت و قلمرو، مرز خودی از بیگانه، نوع حکومت و ... می‌باشد. لذا حفظ نام‌های جغرافیایی و عدم تغییر آن‌ها مگر در شرایط خاص باید در دستور کار دولت‌ها قرار گیرد، و قدر این گنجینه گرانبها را باید دانست و به حراست از آن‌ها همچون یکی از آثار مهم تاریخی، ملی و فرهنگی پرداخت زیرا این نام‌ها با وجود تفاوت‌هایشان می‌توانند باعث پیوند میان ساکنان واحدهای سیاسی شوند.

مدلسازی نواحی عملکردی شهری با استفاده از مدل تعامل وزن دار فضایی مبتنی بر شبکه عصبی گراف

مرجان قنبری، کارشناس اداره سامانه های مکانی سازمان نقشه برداری
محمد کریمی، دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ایران
کریستف کلارامونت، Naval Academy Research Institute, Brest, France
محمد احمدلو، رئیس اداره راهبری پژوهش، سازمان نقشه برداری

چکیده

مدل سازی نواحی عملکردی شهری برای درک سازمان دهی فضایی-اجتماعی و بهبود برنامه ریزی شهری و تخصیص منابع اهمیت زیادی دارد. اگرچه پژوهش های بسیاری بر شناسایی این نواحی در گذشته و حال تمرکز داشته اند، با این حال توسعه ی رویکردهای پیش بینی کننده برای ترسیم تکامل آینده ی آنها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعه چارچوبی نوین برای پیش بینی پویایی نواحی عملکردی در شهر شیکاگو معرفی می کند که بر داده های سفر تاکسی استوار است. روش پیشنهادی شامل دو مرحله است: نخست، کالیبراسیون مدل تعامل فضایی وزن دار مبتنی بر شبکه عصبی گراف (GNN-SWIM) با داده های تاریخی سفر در ۴۸ بازه نیم ساعته و تولید سفرهای پیش بینی شده؛ دوم، استفاده از الگوریتم Infomap برای استخراج تغییرات زمانی نواحی عملکردی از شبکه های پیش بینی شده. نتایج نشان می دهد که چارچوب پیشنهادی در بازتولید تعداد و مرزهای نواحی عملکردی با داده های واقعی همخوانی بالایی دارد و تحلیل خودهمبستگی فضایی نیز دقت مدل در بازنمایی ساختارهای فضایی-زمانی را تأیید می کند.

واژگان کلیدی: مدل سازی نواحی عملکردی شهری؛ مدل تعامل وزن دار فضایی مبتنی بر شبکه عصبی گراف؛ الگوریتم تشخیص جامعه Infomap.

مقدمه

نواحی شکل گرفته بر پایه تعامل و اتصال اشاره دارد و امکان تطبیق نظریه های تثبیت شده با مقیاس شهری را فراهم می کند. رویکرد ما بر نقش عملکردهای خاص (مسکونی، تجاری و صنعتی) در هدایت تعاملات فضایی و ماهیت پویای این نواحی تأکید دارد. شناسایی و تحلیل این نواحی بینشی کلیدی برای برنامه ریزان فراهم می کند تا سرمایه گذاری های زیرساختی، شبکه های حمل و نقل و کاربری زمین را بهینه سازی کنند تا محیط شهری کارآمدتر و پاسخگوتر شود. در گذشته، نواحی عملکردی با داده های سرشماری و نظرسنجی های سفر به محل کار و روش هایی مانند تحلیل جریان و خوشه بندی مبتنی بر آستانه شناسایی می شدند؛ اما ایستایی داده ها مانع ثبت الگوهای پویا بود. با ظهور تحلیل شبکه، گره ها و یال ها برای نمایش واحدهای فضایی و شدت تعاملات معرفی شدند و الگوریتم هایی مانند لووین، K-means و خوشه بندی سلسله مراتبی (با یا بدون

نواحی عملکردی مفهومی کلیدی در مطالعات شهری، جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای است که واحدهای فضایی با پیوندهای داخلی قوی را نشان می دهند و به طور معمول بر اساس تعاملات مهمی مانند جریان رفت و آمد و فعالیت های اقتصادی تعریف می شوند. در مقیاس شهری، این مناطق از طریق تحرک نیروی کار، تجارت و جریان منابع شکل می گیرند و فراتر از مرزهای اداری، تحت تأثیر فعالیت های اقتصادی، شبکه های حمل و نقل و پویایی های اجتماعی قرار دارند. اگرچه نواحی عملکردی سنتی در مقیاس منطقه ای بررسی شده اند، الگوهای مشابه درون شهرها نیز مشاهده می شوند، جایی که تحرک روزانه و سفرهای خدماتی، نواحی منسجم درون شهری را شکل می دهند و به طور معمول به عنوان نواحی عملکردی شهری یا جوامع پویا شناخته می شوند. در این مطالعه، اصطلاح «نواحی عملکردی شهری» به

می‌کند. در مرحله اعتبارسنجی، توان مدل در حفظ تعداد پایدار نواحی، روندهای روزانه و خودهمبستگی فضایی مثبت ارزیابی می‌شود تا دقت بازتولید ساختار فضایی-زمانی نواحی عملکردی سنجیده شود.

■ منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز

شیکاگو با جمعیتی بیش از ۲.۷ میلیون نفر و مساحت بالغ بر ۶۰۶ کیلومتر مربع، نمونه‌ای مناسب برای مطالعه نواحی عملکردی شهری است. تنوع کاربری زمین در بخش‌های مسکونی، تجاری، صنعتی و تفریحی، تعاملات فضایی پیچیده‌ای ایجاد کرده که بر پویایی شهری اثر می‌گذارد. شبکه حمل‌ونقل گسترده شهر شامل ۱۴۵ مسیر اتوبوس، ۸ خط قطار و حدود ۷۰۰۰ تاکسی، داده‌های ارزشمندی برای تحلیل تعاملات فضایی فراهم می‌کند. وجود بیش از ۱۰۰ محله متمایز و دسترسی به بیش از ۳۰۰ میلیون رکورد سفر تاکسی سالانه، بستر مناسبی برای مدل‌سازی و تحلیل تکامل نواحی عملکردی فراهم می‌سازد. شکل ۱ مرزها و شبکه حمل‌ونقل شهر را نشان می‌دهد و ساختار پیچیده آن را برجسته می‌کند.



شکل ۱: مرز جغرافیایی و شبکه حمل‌ونقل شهر شیکاگو، ایالت متحده آمریکا

محدودیت فضایی) امکان شناسایی نواحی با اتصال داخلی بالا را فراهم کردند. در دسترس بودن کلان داده‌هایی نظیر GPS^۵، سوابق تلفن همراه و داده‌های شبکه‌های اجتماعی، تحلیل تعاملات فضایی را دقیق‌تر و پویاتر ساخت. همچنین، روش‌های یادگیری ماشین مانند DBSCAN و به‌ویژه شبکه‌های عصبی گراف (GNN^۶) با ترکیب داده‌های فضایی و توصیفی، شناسایی نواحی عملکردی را بر اساس پویایی‌های پیچیده ممکن کرده‌اند، هرچند به پیش‌پردازش و توان محاسباتی بالایی نیاز دارند.

باوجود پیشرفت در شناسایی نواحی عملکردی، بیشتر رویکردهای موجود تنها گذشته و حال را توصیف کرده و توان پیش‌بینی تکامل آینده این نواحی را ندارند. مدل‌سازی دقیق تکامل نواحی عملکردی می‌تواند ابزار مؤثری برای تصمیم‌گیری پیشگیرانه برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران فراهم کند. این مدل با پیش‌بینی ساختارهای فضایی مبتنی بر تحرک، نقاط افزایش تقاضا و تراکم نوظهور را شناسایی کرده و امکان مداخلات پیشگیرانه مانند مدیریت ترافیک تطبیقی، مسیرهای بهینه حمل‌ونقل عمومی و راهکارهای چندوجهی را فراهم می‌سازد. همچنین گذارهای کاربری زمین و مراکز تجاری جدید را آشکار کرده و شواهدی برای به‌روزرسانی سیاست‌های منطقه‌بندی ارائه می‌دهد. با همسوسازی مکان‌یابی زیرساخت‌ها با الگوهای تقاضای پیش‌بینی‌شده، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده برای خدمات حیاتی مانند مدارس، بیمارستان‌ها و امدادسانی تسهیل شده و زمینه توسعه شهری مقاوم، عادلانه و پایدار فراهم می‌شود.

این پژوهش رویکردی یکپارچه برای پیش‌بینی تکامل نواحی عملکردی شهری ارائه می‌دهد و محدودیت‌های گذشته‌نگر مدل‌های سنتی تعامل فضایی (SIM^۷) و روش‌های تشخیص جامعه را برطرف می‌کند. در این رویکرد، مدل تعامل وزن‌دار فضایی مبتنی بر شبکه عصبی گراف^۸ (SWIM GNN-) با داده‌های سفر تاکسی تاریخی در ۴۸ بازه نیم‌ساعته کالیبره شده و جریان‌های تحرک آینده را تولید می‌کند. سپس شبکه‌های پیش‌بینی‌شده به الگوریتم Infomap داده می‌شوند تا نواحی عملکردی شهری در هر بازه زمانی استخراج و ترسیم شوند. روش Infomap با تحلیل شدت جریان و سلسله‌مراتب تعاملات، نواحی را بر اساس فعالیت واقعی شهری تقسیم‌بندی

5. Global Positioning System
7. Spatial Interaction Model

6. Graph Neural Network
8. Graph Neural Network based Spatially Weighted Interaction Model

نیم‌ساعته تقسیم و ماتریس‌های جریان بین منطقه‌ای با دقت زمانی و مکانی تولید گردید. سپس مدل GNN-SWIM با استفاده از طول مسیر و تفاوت کاربری زمین (ADLU) به‌عنوان متغیرهای مستقل، حجم سفرها را پیش‌بینی کرد. ماتریس‌های تعامل واقعی و پیش‌بینی‌شده بین مناطق برای تحلیل الگوهای تحرک شهری ساخته شدند. در ادامه، الگوریتم Infomap برای شبکه‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده به کار رفت تا نواحی عملکردی شهری در هر بازه زمانی شناسایی شوند و پایداری نتایج با شاخص‌های NMI^{۱۰} و ARI^{۱۱} ارزیابی شد. درنهایت، عملکرد مدل با بررسی پویایی فضایی-زمانی، تعداد و بررسی الگوی خودهمبستگی فضایی نواحی سنجیده شد تا توانایی آن در بازتولید ساختار پیچیده شهری ارزیابی گردد.

۱-۳- مدل تعامل فضایی وزن‌دار مبتنی بر شبکه عصبی گراف (GNN-SWIM)

این روش با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی گراف، روابط فضایی غیرخطی میان تعاملات شهری را شناسایی کرده و وزن‌های فضایی را بر اساس شباهت‌های یاد گرفته‌شده بین تعاملات، نه فقط فاصله هندسی، تعریف می‌کند. این شباهت‌ها از ترکیب ویژگی‌هایی مانند مختصات مبدأ و مقصد و طول مسیر استخراج‌شده و در فرایند کالبراسیون مدل به کار می‌روند. ارزیابی با داده‌های واقعی سفر تاکسی شیکاگو نشان می‌دهد که GNN-SWIM قادر است نایستایی فضایی را توضیح داده و دقت پیش‌بینی تعاملات را بهبود بخشد، بنابراین بستری کارآمد برای مدل‌سازی نواحی عملکردی شهری فراهم می‌سازد. در این چارچوب، جریان‌های شهری به‌صورت لبه‌هایی در گرافی تعریف می‌شوند که مبدأ و مقصد آن‌ها مراکز مناطق اجتماعی شیکاگو هستند و کوتاه‌ترین مسیر جاده‌ای به‌عنوان نماینده مسیر واقعی در نظر گرفته می‌شود. دو متغیر کلیدی مدل شامل طول مسیر (نمایانگر نزدیکی فضایی و تأثیر آن بر شدت تعامل) و تفاوت مطلق در تنوع کاربری زمین (ADLU) است که با استفاده از آنتروپی فضایی محاسبه می‌شود. مقدار بالای ADLU بیانگر ناهم‌ترازی عملکردی و افزایش انگیزه سفر بین مناطق است، درحالی‌که مقادیر پایین نشان‌دهنده هم‌ترازی عملکردی و کاهش تعامل‌ها است. ترکیب این متغیرها، توان مدل در تبیین و پیش‌بینی پویایی‌های شهری را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد.

این تحقیق با استفاده از داده‌های سفر تاکسی شیکاگو به شناسایی نواحی عملکردی شهری می‌پردازد. سفرهای تاکسی به‌عنوان شاخص تحرک انسانی، الگوهای تعامل فضایی و خوشه‌های مناطق پر ارتباط را آشکار کرده و امکان مدل‌سازی واقعی نواحی عملکردی را فراهم می‌کنند. تحلیل بر اساس ۷۷ منطقه اجتماعی شیکاگو با مرزها و ویژگی‌های جمعیتی و اقتصادی مشخص انجام‌شده و مبدأ و مقصد سفرها با شناسه مناطق تعیین‌شده‌اند (شکل ۲). داده‌های کاربری زمین و شبکه جاده‌ای نیز برای استخراج متغیرهای مؤثر استفاده‌شده و تمامی داده‌ها از منابع آزاد مانند پورتال داده شیکاگو و OpenStreetMap گردآوری‌شده‌اند. برای تحلیل تعاملات سفر، شبکه‌ای فضایی ایجاد شد که در آن گره‌ها مراکز مناطق اجتماعی و لبه‌ها مسیرهای سفر بین آن‌ها را نشان می‌دهند. هر لبه بر اساس کوتاه‌ترین مسیر بین مبدأ و مقصد ترسیم و وزن آن بر اساس تعداد سفرها نرمال‌سازی شد تا در بازه ۰ و ۱ قرار گیرد و امکان مقایسه و ادغام در تحلیل‌های بعدی فراهم شود.



شکل ۲: مناطق اجتماعی شهر شیکاگو، ایالت متحده آمریکا.

روش تحقیق

این بخش چارچوبی جامع برای مدل‌سازی و پیش‌بینی نواحی عملکردی شهری شیکاگو ارائه می‌دهد. ابتدا داده‌های سفر بین منطقه‌ای تاکسی شیکاگو پردازش و سفرهای درون منطقه‌ای حذف شدند. داده‌ها در ۴۸ بازه

9. Absolute Difference in Land Use
11. Adjust Rand Index

10. Normalized Mutual Information

ادغام شاخص ADLU در مدل‌های تعامل فضایی با کمی‌سازی روابط عملکردی میان مناطق، قدرت تبیین مدل را افزایش داده و بازنمایی واقع‌گرایانه‌تری از پویایی‌های شهری ارائه می‌دهد. این شاخص جریان‌محور، گذار از تحلیل‌های ایستای فضایی به مدل‌سازی پویای تعامل‌ها را ممکن کرده و به ابزاری کلیدی در تحلیل «فضای جریان» تبدیل می‌شود. تنوع کاربری زمین در این پژوهش با استفاده از آنتروپی فضایی سنجیده شده است که نسخه گسترش‌یافته آنتروپی کلاسیک در مطالعات فضایی است. این شاخص با ترکیب دو بُعد فاصله درون‌گروهی d_j^{int} (میزان تجمع کاربری‌های مشابه) و فاصله برون‌گروهی d_j^{ext} (تعامل میان انواع مختلف کاربری)، ساختار فضایی و سهم هر کاربری در تنوع کلی منطقه را آشکار می‌کند و بینشی جامع از روابط عملکردی میان کاربری‌های شهری فراهم می‌سازد.

$$d_j^{int} = \frac{1}{N_j \times (N_j - 1)} \sum_{i \in C_j} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{N_j} d_{i,k} \quad \text{if } N_j > 1, \quad d_j^{int} = \lambda \quad \text{Otherwise} \quad (1)$$

$$d_j^{ext} = \frac{1}{N_j \times (N - N_j)} \sum_{i \in C_j} \sum_{\substack{k=1 \\ k \notin C_j}}^{N - N_j} d_{i,k} \quad \text{if } N_j \neq N, \quad d_j^{ext} = \lambda \quad \text{Otherwise} \quad (2)$$

$$H_s = - \sum_{i=1}^n \frac{d_i^{*int}}{d_i^{*ext}} P_i \log_2(P_i) \quad (3)$$

$$ADLU_{OD} = |H_{sO} - H_{sD}| \quad (4)$$

ویژگی‌های ذاتی و روابط فضایی گره‌ها را هم‌زمان کدگذاری کرده و از طریق تجمیع اطلاعات همسایگی، الگوهای محلی و سراسری را یاد می‌گیرد. داده‌های جغرافیایی مانند مختصات و طول کوتاه‌ترین مسیر به مدل اضافه‌شده و شباهت فضایی بین جریان‌ها به‌عنوان وزن در مدل SWIM به کار می‌رود، که به بهبود دقت پیش‌بینی تعاملات فضایی کمک می‌کند.

در این معماری، ویژگی‌های گره و ماتریس مجاورت به‌عنوان ورودی استفاده‌شده و L لایه کانولوشن گراف جاسازی‌ها را از طریق تبادیل پیام بین گره‌ها به‌روزرسانی می‌کنند. تابع فعال‌سازی ReLU و ماتریس پارامترهای قابل یادگیری، روابط پیچیده و غیرخطی بین گره‌ها را مدل می‌کنند. ویژگی‌های فضایی کلیدی شامل مختصات مبدأ و مقصد و طول کوتاه‌ترین مسیر است که چارچوبی جامع برای تحلیل روابط فضایی ایجاد می‌کند. مدل با یک تابع زیان متضاد آموزش داده می‌شود که گره‌های مشابه را با حفظ همگونی ساختاری و ناهمگونی فضایی در فضای جاسازی به‌هم نزدیک و گره‌های ناهمگن را از هم دور می‌کند. آموزش در دو مرحله انتشار روبه‌جلو و عقب با بهینه‌ساز Adam انجام‌شده و جاسازی‌های بهینه گره‌ها تولید می‌شود.

در روابط فوق، d_j^{int} و d_j^{ext} به ترتیب نشان‌دهنده میانگین فاصله‌های درون‌کلاسی و بین‌کلاسی برای کاربری زمین کلاس j هستند. C_j مجموعه موجودیت‌های متعلق به کلاس j است و N_j کاردینالیتی مجموعه C_j را نشان می‌دهد. N تعداد کل موجودیت‌ها را در نظر می‌گیرد و $d_{i,k}$ فاصله بین دو موجودیت i و k است. مقادیر d_j^{int} و d_j^{ext} به‌صورت نرمال‌شده استفاده می‌شوند. d_j^{int} با $\text{Max}(d_j^{int})$ (حداکثر مقدار آن در بین تمام کلاس‌های j) نرمال‌سازی می‌شود و d_j^{ext} نیز با $\text{Max}(d_j^{ext})$ نرمال‌سازی می‌گردد. مقادیر نرمال‌شده به ترتیب با d_j^{*int} و d_j^{*ext} نمایش داده می‌شوند. درنهایت، H_s نمایانگر آنتروپی فضایی است و $ADLU_{OD}$ تفاوت مطلق در تنوع کاربری زمین بین مبدأ و مقصد را اندازه‌گیری می‌کند.

۳-۲- مدل تعامل وزن‌دار فضایی مبتنی بر شبکه عصبی گراف (GNN-SWIM)

مدل GNN-SWIM با ترکیب شبکه‌های عصبی گراف و مدل‌سازی تعاملات وزن‌دار فضایی، جریان‌های شهری را تحلیل می‌کند. در این چارچوب، هر جریان به‌صورت یک گره و ارتباط بین مبدأ و مقصد به‌صورت یال نمایش داده می‌شود. GNN با ایجاد جاسازی‌های برداری فشرده،

$$\hat{H}(l+1) = \sigma(\hat{A} \cdot \hat{H}(l) \cdot \hat{W}(l)) \quad (5)$$

$$Loss = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [y_{v_i v_j} \cdot dist_{v_i, v_j}^2 + (1 - y_{v_i v_j}) \cdot \max(0, m - dist_{v_i, v_j})^2] \quad (6)$$

با افزایش فاصله کاهش یافته و بیشترین مقدار به جریان مرجع اختصاص می‌یابد [28, 29]. در این مدل، حجم جریان بین مناطق i و j ، $ADLU_{ij}$ تفاوت در تنوع کاربری اراضی، و d_{ij} کوتاه‌ترین فاصله مسیر بین آن‌هاست. ضرایب α ، k و β به ترتیب اثر پایه، حساسیت به تفاوت کاربری و تأثیر فاصله را نشان می‌دهند و برای هر جریان به صورت محلی کالیبره می‌شوند. روش SWIM با رویکرد متمرکز بر جریان از تخمین فضایی-محلی پویا بهره می‌برد که در آن پارامترها برای هر جریان جداگانه و متناسب با شرایط فضایی برآورد می‌شوند. این کار با تعریف یک همسایگی فضایی و اعمال سیستم وزندهی بر اساس فاصله از جریان مرجع انجام می‌گیرد و تغییرات محلی روابط بین متغیرها را با دقت مدل می‌کند. اگر مدل از توزیع گاوسی پیروی کند، پارامترها با روش حداقل مربعات وزن دار جغرافیایی (GWR) تخمین زده می‌شوند؛ و در صورت پیروی از توزیع پواسون، از رویکرد درستمایی لگاریتمی وزن دار جغرافیایی (GWLR) استفاده می‌شود. در هر دو حالت، وزن فضایی W_{ij} بر اساس شباهت فضایی جریان‌ها محاسبه شده و به مدل امکان می‌دهد روابط بین متغیرها را به صورت پویا و وابسته به مکان برآورد کند.

$$T_{ij} = k_{ij} ADLU_{ij}^{\alpha_{ij}} d_{ij}^{\beta_{ij}} \quad (8)$$

$$B_{ij} = (X^T W_{ij} X)^{-1} X^T W_{ij} T_{ij} \quad (9)$$

$$\lambda_{ij} = \exp(k_{ij} + \alpha_{ij} \ln(ADLU_{ij}) + \beta_{ij} \ln(d_{ij})) \quad (10)$$

$$\ln L(\lambda_{ij}) = \sum_{ij} (-\lambda_{ij} + T_{ij} \ln \lambda_{ij} - \ln T_{ij}) W_{ij} \quad (11)$$

۳-۳- الگوریتم تشخیص جامعه Infomap

الگوریتم Infomap برای شناسایی جوامع (نواحی عملکردی شهری) به کار می‌رود؛ رویکردی که بدون تحمیل مرزهای مصنوعی، نواحی را بر اساس الگوهای واقعی جریان‌های شهری آشکار می‌سازد و برای شهرهای چندمرکزی با ارتباطات قوی میان مناطق غیر مجاور کارآمد است. الگوریتم بر دو شبکه فضایی حاصل از ماتریس‌های مجاورت وزن دار (تعاملات واقعی و پیش‌بینی شده) و با استفاده از بسته igrph در پایتون اجرا شد. شبکه‌ها از

در رابطه ۵، $\hat{H}(l+1)$ نشان‌دهنده ماتریس تعبیه‌های گره پس از به‌روزرسانی در لایه $l+1$ است. تابع فعال‌سازی ReLU با معرفی غیرخطی بودن به مدل، امکان یادگیری روابط پیچیده‌تر را فراهم می‌سازد. همچنین $\hat{W}(l)$ ماتریس پارامترهای قابل یادگیری مربوط به لایه l ام را نشان می‌دهد که نقش کلیدی در تبدیل و به‌روزرسانی تعبیه‌های گره ایفا می‌کند. در رابطه ۶، N_{vivj} بیانگر تعداد کل گره‌های موجود در گراف است. برچسب دودویی y_{vivj} نشانگر رابطه شباهت بین گره‌های v_i و v_j می‌باشد، به طوری که مقدار ۱ نشان‌دهنده شباهت (در صورت اشتراک مبدأ یا مقصد جغرافیایی) و مقدار ۰ بیانگر عدم شباهت (در صورت تفاوت در هر دو مکان مبدأ و مقصد) است. پارامتر $dist_{v_i, v_j}$ فاصله اقلیدسی بین بردارهای تعبیه دو گره را محاسبه می‌کند، درحالی که m به عنوان پارامتر حاشیه، حداقل فاصله مطلوب بین تعبیه‌های گره‌های غیرمشابه را تضمین می‌نماید. این رویکرد به مدل اجازه می‌دهد تا هم‌زمان همگونی‌های ساختاری را تقویت و ناهمگونی‌های فضایی را حفظ کند.

برای سنجش شباهت بین جریان‌ها، از شباهت کسینوسی استفاده می‌شود که زاویه بین بردارهای جاسازی گره‌ها را اندازه‌گیری کرده و میزان همسویی ویژگی‌ها را بین ۰ تا ۱ تعیین می‌کند، به طوری که ۱ تطابق کامل، صفر استقلال و ۰.۵ تضاد کامل را نشان می‌دهد. این معیار، ابزار مناسبی برای تحلیل شباهت‌های ساختاری و روابط غیرخطی در گراف فراهم می‌کند.

$$Sim_{cos}(v_i, v_j) = \frac{\hat{H}_{v_i} \cdot \hat{H}_{v_j}}{\|\hat{H}_{v_i}\| \|\hat{H}_{v_j}\|} \quad (7)$$

در رابطه ۷، $\hat{H}_{v_i}$ و $\hat{H}_{v_j}$ به ترتیب جاسازی‌های گره‌های v_i و v_j هستند.

در گام بعدی مدل SWIM با تمرکز بر جریان‌های فضایی، از هر جریان بین مبدأ i و مقصد j به عنوان نقطه مرجع برای کالیبراسیون استفاده می‌کند. در این چارچوب، یک تابع هسته‌ای فضایی به جریان‌ها بر اساس فاصله‌شان از جریان مرجع وزن می‌دهد؛ وزن‌ها

b) به ترتیب مجموع سطری و ستونی در ماتریس توافق را نشان می‌دهند که بیانگر توزیع کلی تخصیص‌های خوشه‌ای در هر یک از روش‌ها هستند.

■ نتایج و ارزیابی

جدول شماره ۱ نتایج مدل GNN-SWIM را برای متغیرهای طول مسیر و ADLU نشان می‌دهد. ضرایب طول مسیر بین ۱/۲۱۳- تا ۰/۷۹۷- متغیر بوده و میانگین آن ۱/۰۵۵- با انحراف معیار ۰/۰۶۷۲ است. این نتایج بیانگر اثر منفی و پایدار طول مسیر بر کاهش تعامل‌های فضایی است. ضرایب متغیر ADLU از ۰/۱۹۶۲ تا ۰/۵۸۳۲ متغیر بوده و میانگین ۰/۴۲۲۱ با انحراف معیار ۰/۰۶۸۱ را نشان می‌دهد که بیانگر اثر مثبت و یکنواخت تنوع کاربری زمین‌بر تعامل‌ها است. شاخص‌های برازش نیز عملکرد قوی مدل را تأیید می‌کنند؛ ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۷۸۶۳ و ضریب تعیین تعدیل‌شده ۰/۷۸۶۲ است که نشان می‌دهد مدل حدود ۷۸/۶ درصد از تغییرات تعامل‌های فضایی را توضیح می‌دهد. همچنین میانگین خطای مطلق (MAE) برابر ۰/۴۳۹۹ است که حاکی از دقت مناسب پیش‌بینی‌ها و نزدیکی نتایج پیش‌بینی‌شده به مقادیر واقعی است.

شکل شماره ۳ نتایج تحلیل پایداری نواحی عملکردی شهری بر اساس ۱۰۰ بار اجرای الگوریتم Infomap در هر بازه زمانی را نشان می‌دهد. شاخص NMI برای نواحی مدل‌سازی‌شده با میانگین ۰/۹۰۷ و انحراف معیار ۰/۰۳۴ بیانگر ثبات بالای ساختار فضایی-زمانی در طول ۴۸ بازه است. شاخص ARI نیز با میانگین ۰/۷۰۲ و مقادیر بالاتر از ۰/۸۰ در ساعات پرتردد، دقت بالای مدل در بازتولید الگوهای عملکردی شهری را تأیید می‌کند.

شکل شماره ۴ توزیع فضایی نواحی عملکردی مدل‌سازی شده طی یک شبانه‌روز را نمایش می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که در بخش شمال شرقی، محلاتی مانند گارفیلد ریج (۵۶) و اوهر (۷۶) به طور مکرر ظاهر می‌شوند، در مرکز شهر مرزها پویا و متغیر هستند و در جنوب شرقی محلاتی چون ساوت دیرینگ (۵۱)، ایست ساید (۵۲) و آوالون پارک (۴۵) الگویی پایدار در تمام بازه‌ها دارند. این یافته‌ها نشان‌دهنده توانایی مدل در شناسایی و حفظ تداوم فضایی-زمانی نواحی عملکردی شهری است. در ساعات اوج سفر، نواحی عملکردی گسترده و پیوسته‌ای میان شرق، مرکز و غرب شهر شکل می‌گیرند که هر بخش با عملکردهای متمایز اما مکمل، به انسجام و کارایی کلان‌شهر کمک می‌کند.

لبه‌های جهت‌دار با وزن‌های نرمال‌شده تشکیل شده‌اند و هیچ‌گونه حلقه‌ی خودی در آن‌ها وجود ندارد و زمان مارکوف برابر ۱ در نظر گرفته شد. هر تحلیل برای پایداری ۱۰۰ بار تکرار و از ساختار سلسله‌مراتبی دوسطحی برای توازن دقت و کارایی استفاده گردید. در این فرایند، با شبیه‌سازی پیاده‌روی‌های تصادفی، مرزبندی جوامع به گونه‌ای انجام شد که هزینه جابه‌جایی درون جامعه‌ای و بین جامعه‌ای حداقل شود.

به دلیل ماهیت تصادفی Infomap، نتایج چندین اجرا با رویکرد اجماع ترکیب شدند تا هر منطقه به جامعه‌ای که بیشترین تکرار را داشت، تخصیص یابد و نواحی عملکردی پایدار به دست آید. برای اعتبارسنجی، از دو شاخص NMI و ARI استفاده شد. شاخص NMI میزان اطلاعات مشترک بین دو پارتیشن (واقعی و پیش‌بینی‌شده) را اندازه می‌گیرد و نشان می‌دهد آگاهی از یکی تا چه حد عدم قطعیت دیگری را کاهش می‌دهد، درحالی که ARI میزان توافق بین دو خوشه‌بندی را بر اساس تعداد مناطق منطبق و توزیع کلی تخصیص‌ها ارزیابی می‌کند.

$$L = \sum_{c \in C} \left(\frac{N_c}{N} \cdot H(c) + P(c) \cdot H(w) \right) \quad (12)$$

$$H = - \sum_{i \in c} \sum_{j \in c} P(i \rightarrow j) \log P(i \rightarrow j) \quad (13)$$

$$NMI(C_1, C_2) = \frac{I(C_1, C_2)}{H(C_1) + H(C_2)} \quad (14)$$

$$ARI = \frac{\sum_{ij} (n_{ij}^2) - [\sum_i (a_i^2) \sum_j (b_j^2)] / (N^2)}{\frac{1}{2} [\sum_i (a_i^2) \sum_j (b_j^2)] - [\sum_i (a_i^2) \sum_j (b_j^2)] / (N^2)} \quad (15)$$

در رابطه ۱۲ و ۱۳، L طول کل توضیحات، N_c تعداد گره‌های موجود در جامعه c ، N تعداد کل گره‌ها، c آنتروپی اتصالات داخلی، P احتمال حرکت یک رهگذر تصادفی از جامعه i به جامعه j ، و $H(w)$ آنتروپی اتصالات خارجی است. در رابطه ۱۴، $I(C_1, C_2)$ نمایانگر میزان اطلاعات مشترک بین دو پارتیشن است که به صورت کمی نشان می‌دهد دانش درباره یک پارتیشن تا چه حد می‌تواند عدم قطعیت درباره پارتیشن دیگر را کاهش دهد؛ $H(C)$ معیاری از آنتروپی یا درجه بی‌نظمی در تخصیص‌های جوامع شهری را ارائه می‌دهد. در رابطه ۱۵، n_{ij} نشانگر تعداد مناطق شهری است که در هر دو روش (واقعی و مدل‌سازی شده) به یک خوشه عملکردی مشابه تخصیص داده شده‌اند. مقادیر a_i و

جدول ۱: نتایج سناریوهای مدل سازی تعامل های فضایی

مدل	متغیر مستقل	کمینه	پیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تعیین R^2	ضریب تعیین تعدیل شده	میانگین خطای مطلق (MAE)
GNN-SWIM	طول مسیر ADLU	-۱/۲۱۳ ۰/۱۹۶۲	-۰/۷۹۷۱ ۰/۵۸۳۲	-۱/۰۵۵ ۰/۴۲۲۱	۰/۰۶۷۲ ۰/۰۶۸۱	۰/۷۸۶۳	۰/۷۸۶۲	۰/۴۳۹۹

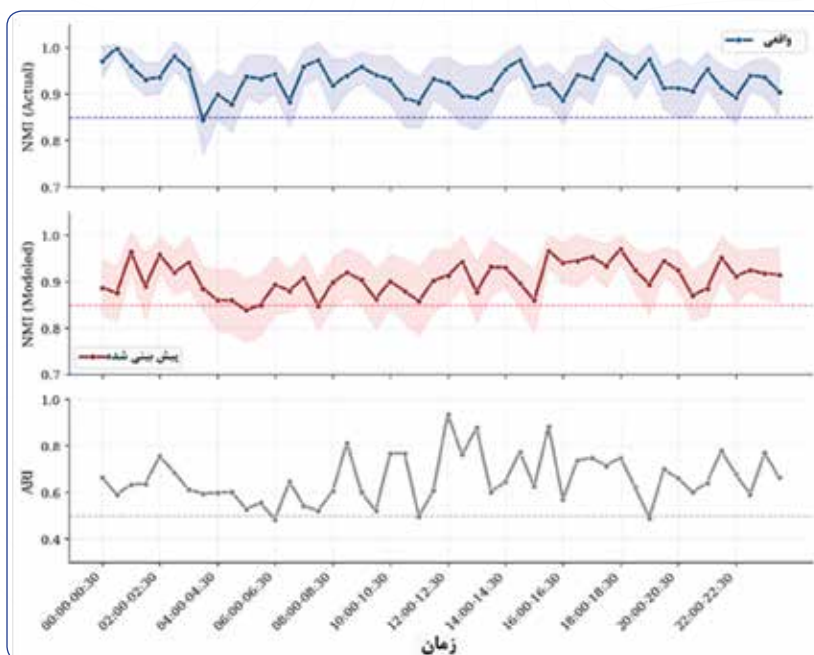
اکثر بازه های زمانی مقادیر بالایی دارد که نشان دهنده خودهمبستگی فضایی قوی و انسجام نواحی عملکردی است. بیشترین مقدار شاخص موران در بازه ۰۵:۳۰-۰۶:۰۰ برابر ۰/۸۱۸۹ ثبت شده و کمترین مقدار در بازه ۱۳:۳۰-۱۴:۰۰ برابر ۰/۶۳۹۶ مشاهده شده است. در ساعات اوج سفر، شاخص موران به طور طبیعی بالاتر است، اما حتی در ساعات پایانی شب و اوایل صبح، نواحی عملکردی ساختار خوشه بندی معناداری دارند که نشان دهنده حفظ الگوهای فضایی تعامل ها با وجود کاهش فعالیت ها است. مناطق جنوب شرقی شهر ثبات بالاتری دارند و ساختار فضایی نواحی عملکردی آن ها در طول روز پایدار باقی می ماند، این الگو می تواند به دلیل ترکیب متوازن کاربری های صنعتی، مسکونی و زیست محیطی باشد. به طور کلی، نتایج شاخص موران نشان می دهد که GNN-SWIM توانسته ساختار فضایی منسجم و پایدار نواحی عملکردی شهری را با دقت بالا بازتولید کند و تغییرات زمانی تعامل های شهری را به شکل معنادار شبیه سازی نماید.

مرکز شهر، نواحی کوچک تر و پویاتری دیده می شوند که بازتابی از بافت فشرده و چندمنظوره این بخش است؛ جایی که فعالیت های روزانه و شبانه در قالب الگوهای زمانی متفاوت ساختار تعاملات را شکل می دهند. در جنوب شرقی شهر، الگوی فضایی منسجم تر و پایدارتر مشاهده می شود؛ ترکیبی متعادل از کاربری های صنعتی، مسکونی و طبیعی که ضمن کاهش تعارضات فضایی، تاب آوری محیطی و فرصت های اشتغال محلی را تقویت می کند. در مجموع، مدل GNN-SWIM توانسته الگوهای فضایی و زمانی شهر شیکاگو را به دقت بازنمایی کرده و نواحی عملکردی معنادار و منطبق با واقعیت شهری را شناسایی کند.

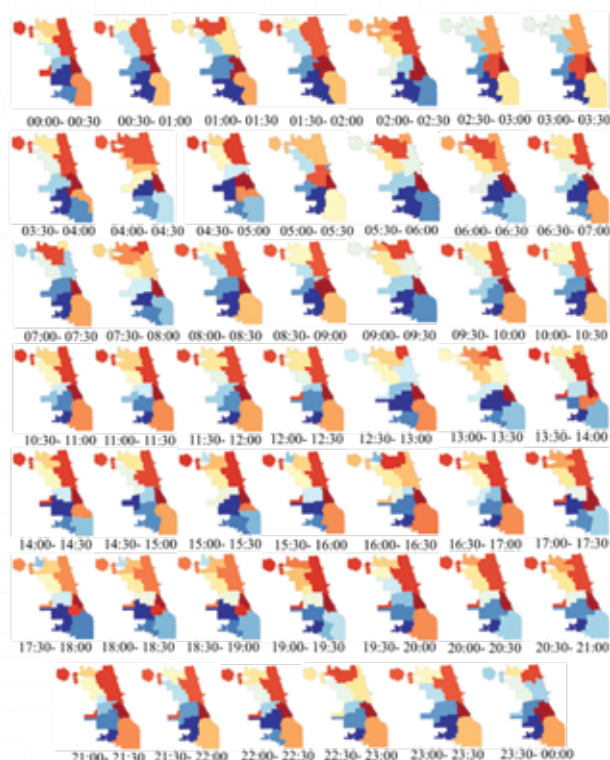
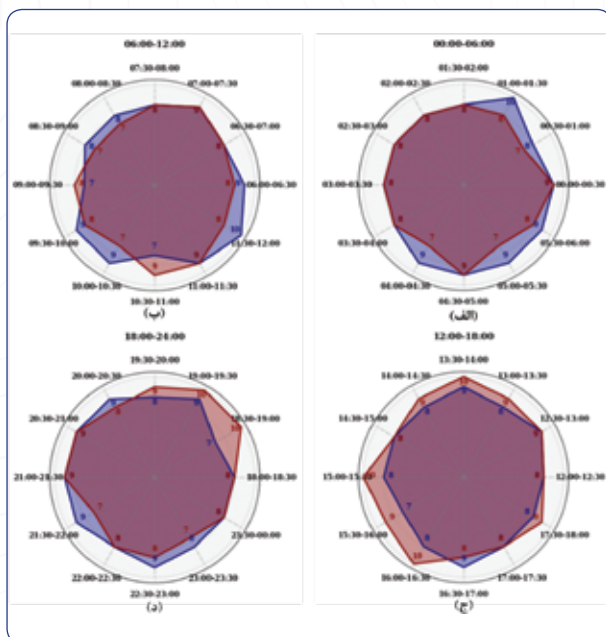
شکل ۵ شماره تغییرات تعداد نواحی عملکردی مدلسازی شده با GNN-SWIM را طی شبانه روز نشان می دهد. تعداد نواحی در بازه های زمانی مختلف بین ۷ تا ۱۰ متغیر است؛ کمترین تغییرات در نیمه شب تا صبح (۰۶:۰۰-۰۰:۰۰) و بیشترین نوسان ها در میانه روز (۱۲:۰۰-۱۸:۰۰) مشاهده شده است، به طوری که بیشترین اختلاف در

ساعت ۱۸:۳۰-۱۹:۰۰ رخ داده و مدل ۱۰ ناحیه را شناسایی کرده است. در بازه شبانه گاهی (۲۱:۰۰-۲۴:۰۰) بیشترین همپوشانی با داده های واقعی دیده می شود. در کل، نواحی عملکردی مدلسازی شده با GNN-SWIM بازنمایی دقیق، پایدار و معناداری از دینامیک فضایی و تعاملات شهری ارائه می کنند، به طوری که تعداد نواحی در ۲۰ بازه زمانی به طور کامل با داده های واقعی تطابق داشته و نوسان ها کنترل شده است.

شکل شماره ۶ مقادیر شاخص موران (Moran's I) را برای نواحی عملکردی مدلسازی شده با GNN-SWIM در طول شبانه روز نشان می دهد. این شاخص در

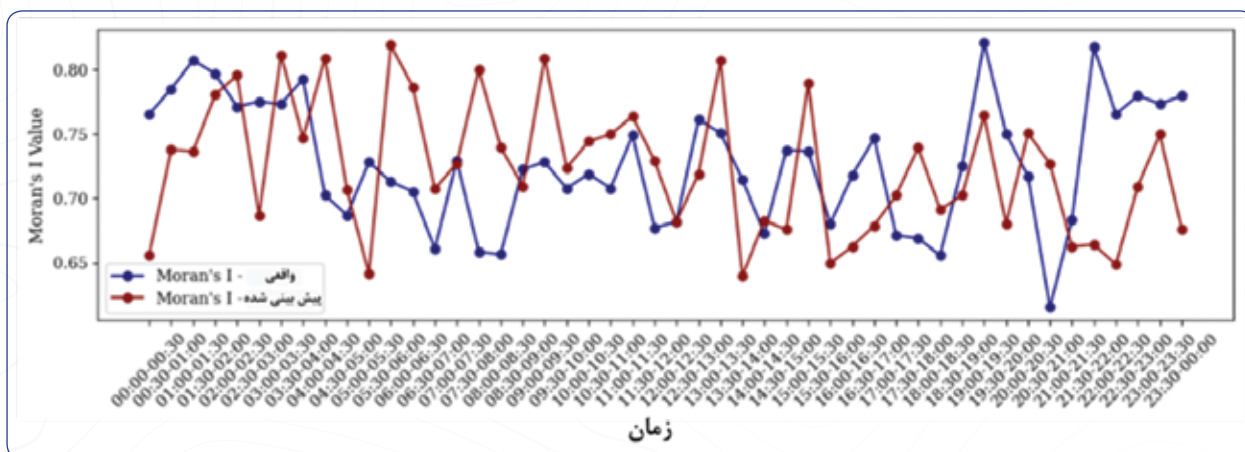


شکل ۳: پایداری و ثبات نواحی عملکردی واقعی و مدل سازی درون شهری مبتنی بر مدل GNN-SWIM در طول زمان بر اساس ۱۰۰ اجرای Infomap در هر بازه زمانی. NMI نشان دهنده ثبات مناطق عملکردی واقعی و مدلسازی شده درون شهری است، درحالی که ARI شباهت آن ها را کمی می کند.



شکل ۵: مقایسه تعداد نواحی عملکردی شهری واقعی (آبی) و مدل سازی شده با استفاده از تعامل های فضایی پیش بینی شده با رویکرد GNN-SWIM (قرمز) در بازه های زمانی مختلف: (الف) ۰۰:۰۰-۰۱:۳۰، (ب) ۰۱:۳۰-۰۳:۰۰، (ج) ۰۳:۰۰-۰۴:۳۰، و (د) ۰۴:۳۰-۰۶:۰۰.

شکل ۴: توزیع فضایی نواحی عملکردی شهری مدل سازی شده در طول زمان.



شکل ۶: تحلیل زمانی خودهمبستگی فضایی، مقدار شاخص موران، برای نواحی عملکردی شهری واقعی و مدل سازی شده شده با استفاده از تعامل های فضایی پیش بینی شده با رویکرد GNN-SWIM در طول روز.

■ نتیجه گیری

نواحی عملکردی شهری مناطقی هستند که بر اساس تعاملات فضایی و جابه جایی های افراد شکل می گیرند و شناسایی آنها برای برنامه ریزی شهری و تخصیص بهینه منابع اهمیت دارد. در این مطالعه، رویکرد GNN-SWIM برای پیش بینی تکامل زمانی این نواحی معرفی شد. این روش با ترکیب پیش بینی جریان های تحرک و الگوریتم Infomap، نواحی عملکردی پویا را در ۴۸ بازه نیم ساعته شناسایی کرده و تغییرات کوتاه مدت تحرک را ثبت می کند. نتایج نشان می دهد که GNN-SWIM تعاملات فضایی را با دقت و انعطاف پذیری بالا بازنمایی می کند؛ ADLU با شدت تعاملات رابطه مثبت و طول مسیر با شدت تعاملات رابطه منفی دارد. مدل، تعداد و توزیع نواحی عملکردی را به خوبی پیش بینی می کند و مقادیر بالای NMI و ARI، پایداری و همسویی آن با داده های واقعی را به ویژه در ساعات اوج ترافیک تأیید می کنند. الگوهای خودهمبستگی فضایی-زمانی مدل با ساختار واقعی شیکاگو همسو هستند؛ در ساعات اوج، نواحی بزرگ و یکپارچه اطراف مراکز حمل و نقل و اقتصادی شکل می گیرند، نواحی مرکزی کوچک و پویا هستند و چرخه های فعالیت روزانه را منعکس می کنند، و نواحی جنوب شرقی با ترکیب متعادل کاربری های صنعتی، مسکونی و محیط زیستی، پایدار و منسجم باقی می مانند. خوشه های فضایی به صورت پویا گسترش و انقباض می یابند؛ در زمان های اوج تعاملات، فشرده و متمرکز و در دوره های کم فعالیت پراکنده تر هستند. به طور کلی نتایج نشان داد، GNN-SWIM قادر است نواحی عملکردی معنادار و پایدار را بازتولید کند، تغییرات کوتاه مدت تحرک شهری را به خوبی ثبت نماید و ابزاری مؤثر برای تحلیل پویایی شهری و برنامه ریزی مبتنی بر تعاملات فضایی ارائه دهد. مدل می تواند با داده های لحظه ای و بازه های زمانی کوتاه تر، دقت و پاسخگویی به تغییرات سریع شهری را افزایش دهد.

■ تشکر و قدردانی

این کار با حمایت مرکز پژوهش و برنامه ریزی شهر تهران [۱۳۷، ۱۴۰۴-۸۸] انجام شده است.

■ مراجع و منابع

1. Klapka, P. and M. Halás, Conceptualising patterns of spatial flows: Five decades of advances in the definition and use of functional regions. *Moravian Geographical Reports*, 2016. 24(2): p. 2-11.
2. Kraft, S., et al., Functional regions as a platform to define integrated transport system zones: The use of population flows data. *Applied geography*, 2022. 144: p. 102732.
3. Farmer, C.J. and A.S. Fotheringham, Network-based functional regions. *Environment and Planning A*, 2011. 43(11): p. 2723-2741.
4. Fotheringham, A.S., C. Brunsdon, and M. Charlton, Geographically weighted regression. *The Sage handbook of spatial analysis*, 2009. 1: p. 243-254.
5. Hong, Y. and Y. Yao, Hierarchical community detection and functional area identification with OSM roads and complex graph theory. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019. 33(8): p. 1569-1587.
6. Manley, E., Identifying functional urban regions within traffic flow. *Regional Studies, Regional Science*, 2014. 1(1): p. 40-42.
7. Zhou, Y. and J.-C. Thill, Urban nodal regions through communities of functionally critical locations in the transportation network. *Development Studies in Regional Science: Essays in Honor of Kingsley E. Haynes*, 2020: p. 293-311.
8. Lalović, K., I. Sentić, and I. Živojinović, Urban and regional planning for sustainability. *Climate action*, 2020: p. 851-862.
9. Mohanty, M., Sustainable urban planning and making sustainable cities. 2020, Springer Nature.
10. Duque, J.C. and M. Hierro, Shocks and spatial regime fades in Spain's international migration distribution. *International Migration*, 2016. 54(6): p. 26-42.
11. Gong, L., et al., Inferring trip purposes and uncovering travel patterns from taxi trajectory data. *Cartography and Geographic Information Science*, 2016. 43(2): p. 103-114.

- Data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2025. 9(1): p. 15.
22. Zhao, Y., et al., Dynamic community detection considering daily rhythms of human mobility. *Travel Behaviour and Society*, 2023. 31: p. 209-222.
23. Rosvall, M., D. Axelsson, and C.T. Bergstrom, The map equation. *The European Physical Journal Special Topics*, 2009. 178(1): p. 13-23.
24. Claramunt, C. Towards a spatio-temporal form of entropy. in *International Conference on Conceptual Modeling*. 2012. Springer.
25. Ghanbari, M., et al., Modeling intra-city functional regions through spatial interaction analysis: a case study of Chicago. *Cartography and Geographic Information Science*, 2025: p. 1-27.
26. Goyal, P. and E. Ferrara, Graph embedding techniques, applications, and performance: A survey. *Knowledge-Based Systems*, 2018. 151: p. 78-94.
27. Shi, Y., et al., Mobile edge artificial intelligence: Opportunities and challenges. 2021.
28. Kordi, M., Geographically weighted spatial interaction (GWSI). 2013, University of St Andrews.
29. Kordi, M. and A.S. Fotheringham, Spatially weighted interaction models (SWIM). *Annals of the American Association of Geographers*, 2016. 106(5): p. 990-1012.
12. Hawelka, B., et al., Geo-located Twitter as proxy for global mobility patterns. *Cartography and geographic information science*, 2014. 41(3): p. 260-271.
13. Irmischer, I.J. and K.C. Clarke, Measuring and modeling the speed of human navigation. *Cartography and Geographic Information Science*, 2018. 45(2): p. 177-186.
14. Hu, S., et al., Urban function classification at road segment level using taxi trajectory data: A graph convolutional neural network approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2021. 87: p. 101619.
15. Ghanbari, M., et al. A Spatial Interaction Model for the Identification of Urban Functional Regions. in *International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems*. 2024. Springer.
16. Sun, Z., et al., Block2vec: An approach for identifying urban functional regions by integrating sentence embedding model and points of interest. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2021. 10(5): p. 339.
17. Zhao, W., et al., Identifying urban functional regions from high-resolution satellite images using a context-aware segmentation network. *Remote sensing*, 2022. 14(16): p. 3996.
18. Fotheringham, A.S., Hierarchical destination choice: discussion with evidence from migration in the Netherlands. 1987: Netherlands Interuniversity Demographic Institute.
19. Yang, X., et al., Spatial heterogeneity in spatial interaction of human movements—Insights from large-scale mobile positioning data. *Journal of Transport Geography*, 2019. 78: p. 29-40.
20. Yang, Z., et al., Analysis of Washington, DC taxi demand using GPS and land-use data. *Journal of Transport Geography*, 2018. 66: p. 35-44.
21. Ghanbari, M., et al., Enhancing Urban Transportation Flow Modeling Through a Graph Neural Network-based Spatially Weighted Interaction Model: a Case Study of Chicago Taxi

نقش راهبردی سازمان نقشه‌برداری کشور در توسعه زیرساخت‌های مکانی متاورس و اینترنت اشیا با بهره‌گیری از همگرایی ژئوماتیک، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در عصر دیجیتال

سید حمید موسوی اصل، کارشناس محاسبات سازمان نقشه‌برداری کشور

چکیده

با گسترش فناوری‌هایی همچون واقعیت مجازی VR، واقعیت افزوده AR، هوش مصنوعی AI و اینترنت اشیا IoT، مفهوم «متاورس» به عنوان یک فضای مجازی چندبعدی، پایدار و تعاملی شکل گرفته است که امکان ادغام داده‌های مکان محور با محیط‌های دیجیتال را فراهم می‌آورد. توسعه چنین محیطی مستلزم دسترسی به داده‌های مکانی دقیق و قابلیت انجام تحلیل‌های پیچیده است؛ وظیفه‌ای که در حوزه ژئوماتیک، از طریق فتوگرامتری، سنجش از دور، سیستم‌های اطلاعات مکان محور GIS و سامانه‌های موقعیت‌یابی ماهواره‌ای GNSS محقق می‌شود. در این میان، هوش مصنوعی با ارتقای کارایی تحلیل‌های مکانی و شبیه‌سازی، و اینترنت اشیا با فراهم‌سازی داده‌های بلادرنگ از محیط واقعی، زمینه‌ساز ایجاد متاورس‌های پویا و هوشمند می‌شوند. هم‌افزایی این فناوری‌ها، بستر لازم برای کاربردهایی نظیر توسعه شهرهای هوشمند، مدیریت بحران، آموزش تعاملی، گردشگری دیجیتال و برنامه‌ریزی شهری را فراهم می‌سازد. در این راستا، سازمان نقشه‌برداری کشور به عنوان نهاد ملی متولی تولید و استانداردسازی داده‌های مکانی، می‌تواند نقشی راهبردی در طراحی زیرساخت ملی داده‌های مکانی و حمایت از پروژه‌های متاورس مکان محور ایفا کند. بررسی چالش‌هایی همچون نبود استانداردهای یکپارچه، مسائل حقوقی مالکیت داده و ضعف زیرساخت‌های ارتباطی، در کنار شناسایی فرصت‌های فناورانه، برای دستیابی به یک اکوسیستم متاورسی مبتنی بر داده‌های مکانی ضروری است.

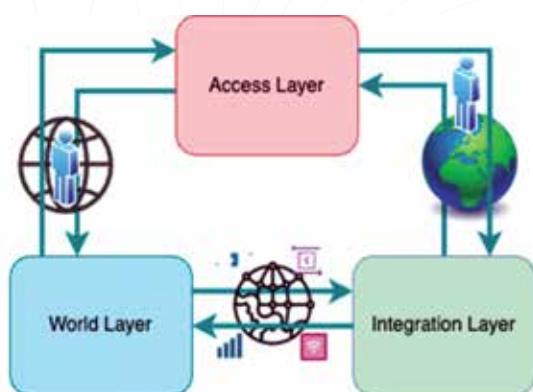
واژگان کلیدی: متاورس، اینترنت اشیا، ژئوماتیک، هوش مصنوعی، داده‌های مکانی، سازمان نقشه‌برداری کشور، واقعیت مجازی، شهر هوشمند، مدل‌سازی سه‌بعدی، تحلیل فضایی.

مقدمه

۲۰۱۶، توسعه یافت و از آن پس، به عنوان تصویری از آینده اینترنت مورد توجه جدی قرار گرفت. متاورس به طور کلی به عنوان فضایی سه‌بعدی، غیرمتمرکز و پایدار تعریف می‌شود که کاربران از طریق آواتارها در آن حضور یافته، تجربه زیست دیجیتال دارند و با عناصر مجازی و واقعی به صورت هم‌زمان تعامل برقرار می‌کنند. این فضاها، دربردارنده فناوری‌های متعددی نظیر واقعیت مجازی VR، واقعیت افزوده AR، بلاکچین، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا هستند. آنچه این محیط را از سایر فضاهای دیجیتال متمایز می‌سازد، تمرکز آن بر مکان، فضا و تعامل آنی است. در همین راستا، محیط‌های مکان محور مجازی Virtual Geographic Environments VGE را می‌توان یکی از زمینه‌های مقدماتی و بنیادین شکل‌گیری متاورس‌های

تحولات فناوری در دهه‌های اخیر، مرز میان دنیای فیزیکی و فضای مجازی را به طرز چشم‌گیری کمرنگ کرده است. در این میان، مفهوم متاورس، به عنوان یک محیط دیجیتال پایدار، تعاملی و چندکاربره، به نماد آینده اینترنت تبدیل شده است. واژه متاورس Metaverse از ترکیب دو واژه Meta بی‌معنای «فراتر» و Universe بی‌معنای «جهان» ساخته شده و نخستین بار در سال ۱۹۹۲ در رمان Snow Crash اثر نیل استفسون مطرح شد. در این رمان، متاورس فضایی مجازی و پایدار بود که با زندگی واقعی شخصیت‌ها تعامل داشت. مفهوم متاورس در سال‌های بعد، به ویژه در رمان Ready Player One و سپس فیلم آن به کارگردانی استیون اسپیلبرگ

است. ویژگی‌هایی مانند چندکاربره بودن، پایداری داده‌ها، تعامل آنی، و ادغام با داده‌های واقعی نشان می‌دهند که GVWها نه فقط بازتابی از متاورس، بلکه گونه‌ای خاص از آن با محوریت مکان و اطلاعات مکان محور هستند. در نتیجه، GVWها را می‌توان حلقه اتصال بین GIS سنتی و متاورس آینده دانست. این چارچوب می‌تواند زیرساختی برای کاربردهایی مانند برنامه‌ریزی شهری، حفاظت از میراث فرهنگی، گردشگری مجازی و مدیریت بحران فراهم آورد. در نهایت، جهان‌های مجازی مبتنی بر مکان، صرفاً پاسخ‌گوی نیازهای فناورانه عصر حاضر نیستند؛ بلکه به مثابه بستری نوین، چشم‌اندازی از آینده فضاوند متاورس را پیشروی ما قرار می‌دهند. این فضاها با تلفیق فناوری‌های مکان محور و تعاملات دیجیتال، مسیر تحول درک انسان از مکان، حضور و ارتباط را در زیست‌بوم‌های مجازی ترسیم می‌کنند. در چنین بستر پیچیده و پویایی، دسترسی به داده‌های دقیق مکانی، مدل‌سازی سه بعدی و تحلیل‌های مکانی لحظه‌ای، به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر بدل می‌شود.



داده‌ها بین دنیای دیجیتال و دستگاه‌های الکترونیکی هوش مصنوعی با API ها جریان دارند. لایه جهانی جهت اقامات مجازی را به لایه یکپارچه سازی ارسال می‌کند. در حالی که داده‌های دنیای واقعی محیط مجازی را به روز رسانی می‌کنند.

در این میان، مجموعه علوم ژئوماتیک که مجموعه‌ای از فناوری‌ها و روش‌های نقشه‌برداری نوین را شامل می‌شود، از جمله فتوگرامتری، سنجش از دور، سیستم‌های اطلاعات مکان محور GIS و موقعیت‌یابی ماهواره‌ای GNSS نقش زیربنایی در توسعه زیرساخت‌های مکانی متاورس ایفا می‌کند. بدون وجود چنین داده‌هایی، نه امکان شبیه‌سازی مؤثر، نه تحلیل دقیق و نه بهره‌برداری کاربردی در سناریوهای حساس فراهم می‌شود. از جهت دیگر، هوش مصنوعی به عنوان ابزار تحلیل گر داده‌های حجیم مکانی

مکانی محور دانست. این محیط‌ها، از دهه ۱۹۹۰ میلادی توسط نهادهایی چون مایکروسافت و ناسا توسعه یافتند و در میانه دهه ۲۰۰۰ با ظهور Google Earth در سطح عمومی محبوب شدند. محیط‌های VGE، بازنمایی‌های دیجیتالی از محیط‌های فیزیکی‌اند که به کاربران امکان مشاهده، مسیریابی، تحلیل و تجسم داده‌های مکانی را می‌دهند. با گسترش داده‌ها و کاربردهای نوین، چالش‌هایی مانند ناسازگاری داده‌ها و توزیع دشوار اطلاعات نیز پدید آمد. برای حل این چالش‌ها، کنسرسیوم آزاد مکان محور OGC در دهه ۹۰ تأسیس شد و تاکنون بیش از ۱۵۰ استاندارد برای تبادل داده‌های مکانی ارائه کرده است؛ از جمله 3D برای استریم داده‌های سه بعدی حجیم و CityGML برای تعریف مدل‌های شهری مجازی. با پیشرفت ابزارهایی مانند CesiumJS و gmp-map-3d گوگل، امروزه کاربران می‌توانند کره‌های سه بعدی زمین را در مقیاس جهانی بسازند و کاوش کنند. اما پرسش بنیادین این است که: آیا این فضاها مکان محور صرفاً ابزاری برای مشاهده‌اند یا می‌توانند به فضاهایی زنده، تعاملی و قابل زیست تبدیل شوند؟ در پاسخ به این پرسش، مفهوم جهان‌های مجازی مکان محور Geospatial Virtual Worlds – GVWs مطرح می‌شود. این محیط‌ها با ترکیب خصوصیات جهان‌های مجازی سنتی همچون چندکاربره بودن، تداوم داده‌ها، و حضور آواتارها با داده‌های مکانی و واقعی، قدمی اساسی در جهت تحقق متاورس‌های مکان محور محسوب می‌شوند. در واقع، GVWها تکامل یافته نسل VGEها هستند که نه تنها داده‌ها را نمایش می‌دهند، بلکه به کاربران اجازه می‌دهند در یک فضای مشترک حضور یابند، تعامل کنند، داده‌ها را در لحظه تولید و ویرایش کنند و به صورت جمعی محیط را تجربه یا حتی شکل دهند. برای نمونه، در یک محوطه باستان‌شناسی، در VGE تنها امکان مشاهده مدل سه بعدی آن محل وجود دارد؛ اما در GVW، پژوهشگران از سراسر جهان می‌توانند در آن فضا با آواتارهای خود حاضر شده، به کاوش، تبادل نظر، مستندسازی و حتی بازسازی آثار بپردازند. در این راستا، پلتفرم‌های متاورسی نظیر Second Life و OpenSim نشان داده‌اند که چگونه محیط‌های مجازی می‌توانند به بستری برای خلق محتوا، تعامل و زندگی اجتماعی دیجیتال تبدیل شوند. همچنین تأسیس انجمن استانداردهای متاورس در سال ۲۰۲۲ نشانگر حرکت جامعه جهانی به سوی تعریف یک معماری مشترک برای توسعه این فضاها بر پایه استانداردهای باز

و اینترنت اشیا به عنوان پل ارتباطی میان دنیای واقعی و دیجیتال، دو مؤلفه کلیدی در فرآیند شکل‌گیری و تکامل متاورس محسوب می‌شوند. همگرایی این سه فناوری، فرصت‌هایی نوین در حوزه‌هایی نظیر توسعه شهرهای هوشمند، شبیه‌سازی و مدیریت هم‌زمان بحران‌ها، آموزش تعاملی، گردشگری مجازی و نظارت محیطی را پیش روی ما قرار می‌دهد. با این حال، تحقق چنین افق‌هایی در سطح ملی، مستلزم حضور نهادی مقتدر و متخصص در زمینه داده‌های مکانی است. در ایران، سازمان نقشه‌برداری کشور با سابقه‌ای بیش از پنج دهه در تولید و مدیریت داده‌های مکانی، به عنوان یکی از نهادهای زیرساختی کلیدی، نقش محوری در ورود کشور به عرصه متاورس و اینترنت اشیا ایفا می‌کند. این سازمان نه تنها مرجع رسمی برای تهیه نقشه‌های پایه، مدل‌های ارتفاعی و داده‌های ژئودتیک به شمار می‌رود، بلکه می‌تواند با ایفای نقش راهبردی در حوزه‌هایی چون سیاست‌گذاری، استانداردسازی و هماهنگ‌سازی بین بخشی، بستر شکل‌گیری یک زیرساخت ملی مبتنی بر متاورس را فراهم آورد. ظرفیت‌های فناوریانه این سازمان از جمله بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته در نقشه‌برداری هوایی و زمینی، اسکن لیزری، فتوگرامتری پهپادی، مدل‌سازی رقومی زمین و سامانه‌های ملی GIS، امکان تولید مدل‌های دقیق و واقع‌گرایانه سه‌بعدی از شهرها، منابع طبیعی، زیرساخت‌ها و حتی لایه‌های زیرزمینی را فراهم می‌کند. این مدل‌ها، در صورت در اختیار قرار گرفتن جامعه علمی، شرکت‌های فناوری و فعالان دانش‌بنیان، می‌توانند مبنای توسعه متاورس بومی و خدمات مکانی هوشمند در حوزه‌های گوناگون باشند. از سوی دیگر، توسعه شبکه ملی اطلاعات، گسترش زیرساخت‌های ارتباطی و به کارگیری حسگرهای محیطی، زمینه اتصال داده‌های هم‌زمان اینترنت اشیا به این مدل‌های مکانی را فراهم کرده و ساختار متاورسی را امکان‌پذیر می‌سازد که نه تنها بازتاب‌دهنده واقعیت‌های محیطی است، بلکه قادر به تحلیل، پیش‌بینی و تصمیم‌سازی در زمان واقعی نیز خواهد بود. تحقق این چشم‌انداز، بدون وجود مرجعی برای تولید، نگهداری و به‌روزرسانی داده‌های مکانی با کیفیت، ساخت‌یافته و مبتنی بر استانداردهای بین‌المللی، امکان‌پذیر نخواهد بود. در این مقاله، با رویکردی تحلیلی و مروری، تلاش خواهیم کرد به این پرسش‌ها پاسخ دهیم: چگونه ترکیب ژئوماتیک، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا می‌تواند بنیان توسعه

متاورس را شکل دهد؟ چه کاربردهایی از این همگرایی فناوریانه در متاورس متصور است؟ سازمان نقشه‌برداری کشور چه جایگاهی می‌تواند در این فرآیند ملی ایفا کند؟ و در نهایت، چه چالش‌ها و فرصت‌هایی در این مسیر پیش رو داریم؟ در ادامه، ابتدا به تشریح مفاهیم بنیادی پرداخته و سپس با بررسی نمونه‌های عملی و سناریوهای کاربردی، مسیر شکل‌گیری متاورس مکانی محور را ترسیم خواهیم کرد. در عصر تحول دیجیتال، مرز میان دنیای فیزیکی و فضای مجازی به‌طور بی‌سابقه‌ای در حال کمرنگ شدن است. پیشرفت فناوری‌های نوینی همچون واقعیت مجازی VR، واقعیت افزوده AR، هوش مصنوعی AI و اینترنت اشیا IoT، زمینه‌ساز شکل‌گیری مفهومی تحت عنوان متاورس شده است؛ محیطی چندبعدی، پایدار و تعاملی که کاربران می‌توانند در آن با یکدیگر و عناصر دیجیتال ارتباط برقرار کنند، تجربه‌های جدید بیاموزند، دارایی‌های مجازی داشته باشند و حتی تصمیم‌سازی کنند. آنچه متاورس را از سایر محیط‌های دیجیتال متمایز می‌سازد، حضور مؤلفه‌های «مکان» و «فضا» به عنوان عناصر کلیدی تجربه کاربری است. برای ایجاد چنین بستر دیجیتالی، دسترسی به داده‌های مکانی دقیق، مدل‌سازی سه‌بعدی و تحلیل‌های مکانی آنی ضروری است. این امر تنها از طریق مجموعه علوم ژئوماتیک که شامل ابزارهایی مانند فتوگرامتری، سنجش‌ازدور، سیستم‌های اطلاعات مکان محور GIS و موقعیت‌یابی ماهواره‌ای GNSS است، امکان‌پذیر می‌شود. بدون چنین زیرساخت‌هایی، متاورس نمی‌تواند به‌طور واقعی شبیه‌سازی شده و در کاربردهای حساس مورد استفاده قرار گیرد. در این میان، هوش مصنوعی نقش مهمی در پردازش داده‌های حجیم و پیچیده مکانی ایفا می‌کند. مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به متاورس امکان می‌دهند تا در تحلیل داده‌ها، شبیه‌سازی، ایجاد آواتارهای هوشمند و حتی ارتباطات عصبی نقش‌آفرین باشد. همچنین، اینترنت اشیا به عنوان پلی میان دنیای واقعی و دیجیتال، با گردآوری داده‌های آنی از محیط فیزیکی، متاورس را به جهانی پویا و همواره به‌روز تبدیل می‌کند. فناوری‌های مکملی همچون شبکه‌های پرسرعت و دیجیتال توپین، زیرساخت‌های کلیدی این اتصال محسوب می‌شوند. ترکیب این فناوری‌ها فرصت‌های گسترده‌ای برای توسعه متاورس ایجاد می‌کند. نمونه‌هایی از این کاربردها عبارت‌اند از: توسعه شهرهای هوشمند با مدل‌های دیجیتال و آنی برای برنامه‌ریزی و مدیریت

مدیریت فضاهای مجازی فراهم می‌آورند. این همگرایی، امکان ساخت لایه‌های مکانی پویا، دقیق و منطبق با دنیای فیزیکی را در متاورس ایجاد کرده و زمینه‌ساز توسعه زیرساخت‌های اطلاعات مکانی نوین در بسترهای مجازی شده است. همچنین هوش مصنوعی با تحلیل الگوهای مکانی و استخراج دانش از داده‌های حجیم، به بهینه‌سازی تعاملات فضایی در متاورس کمک می‌کند. نتیجه این تعامل میان ژئوماتیک، AI و IoT، شکل‌گیری زیرساخت‌های اطلاعات مکانی هوشمند در متاورس است که می‌توانند در حوزه‌هایی نظیر مدیریت منابع، شهرسازی مجازی، شبیه‌سازی‌های مکانی و تصمیم‌سازی‌های مکانی زمانی مورد استفاده قرار گیرند. برای درک درست نقش و ظرفیت فناوری‌های نوین در ساختار متاورس، ابتدا باید مفاهیم کلیدی و پایه‌ای این فضا را به‌خوبی تعریف کنیم. این مفاهیم شامل مجموعه علوم ژئوماتیک نقشه‌برداری نوین، متاورس، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا هستند که هر کدام به‌تنهایی تحولات اساسی در حوزه مهندسی و فناوری اطلاعات ایجاد کرده‌اند و در ترکیب با یکدیگر، فرصت‌های نوآورانه و گسترده‌ای را برای توسعه محیط‌های هوشمند و مجازی فراهم می‌آورند. در بستر متاورس، اهمیت ژئوماتیک دوچندان می‌شود؛ چراکه ساخت یک دنیای دیجیتال واقع‌گرایانه نیازمند داده‌های مکانی دقیق، نقشه‌های سه‌بعدی تعاملی و مدل‌سازی فضایی پیشرفته است. به‌عنوان نمونه، بدون فناوری‌های ژئوماتیکی، تهیه مدل‌های دقیق از شهرها، ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری تقریباً غیرممکن خواهد بود. ژئوماتیک رابطه‌ای ناگسستی با مفهوم مکان دارد و به همین دلیل، به ابزاری حیاتی برای شکل‌دهی به محیط‌های متاورس بدل شده است. تبدیل داده‌های خام فضایی به مدل‌های تحلیلی و گرافیکی به کاربران امکان می‌دهد در محیطی دیجیتال ولی مبتنی بر واقعیت، تصمیم‌گیری کنند، تعامل داشته باشند و تجربه‌های متنوعی کسب کنند. متاورس، مفهومی تازه ولی در حال رشد است که بستری مجازی را برای زندگی، کار، تعامل، یادگیری و حتی مالکیت دیجیتال فراهم می‌کند. برخلاف محیط‌های واقعیت مجازی سنتی که غالباً ایستا هستند، متاورس یک شبکه زنده، پویا و مداوم از فضاهای دیجیتال است که قابلیت توسعه، تغییر و هم‌افزایی با داده‌های واقعی را دارد. این فضا بر پایه فناوری‌های متنوعی مانند واقعیت افزوده

شهری، شبیه‌سازی بحران‌ها و مدیریت شرایط اضطراری، آموزش تعاملی و گردشگری مجازی، و همچنین صنایع پیشرفته که از مدل‌های دیجیتال برای بهینه‌سازی فرآیندها استفاده می‌کنند. در سطح ملی، تحقق این چشم‌انداز نیازمند وجود نهادهای حاکمیتی و تخصصی است. در ایران، سازمان نقشه‌برداری کشور به‌عنوان متولی اصلی تولید و مدیریت داده‌های مکانی، نقش مهمی در ایجاد زیرساخت‌های متاورسی ایفا می‌کند. این سازمان با بهره‌گیری از فناوری‌هایی مانند نقشه‌برداری هوایی و زمینی، اسکن لیزری، فتوگرامتری پهپادی، مدل‌سازی رقومی زمین و سامانه‌های ملی GIS، قادر است مدل‌های سه‌بعدی از شهرها، منابع طبیعی و زیرساخت‌ها را ایجاد و در اختیار سازمان‌های فناور، دانشگاه‌ها و شرکت‌های دانش‌بنیان قرار دهد تا پایه‌گذار متاورس ایرانی باشد [۲۵].

باین‌حال، مسیر توسعه این فناوری با چالش‌هایی همراه است؛ از جمله امنیت داده‌ها، استانداردسازی بین‌المللی، توسعه زیرساخت‌های ارتباطی کم تأخیر و تضمین شفافیت در استفاده از هوش مصنوعی. عبور از این موانع مستلزم سیاست‌گذاری دقیق، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و همکاری بین بخشی است.

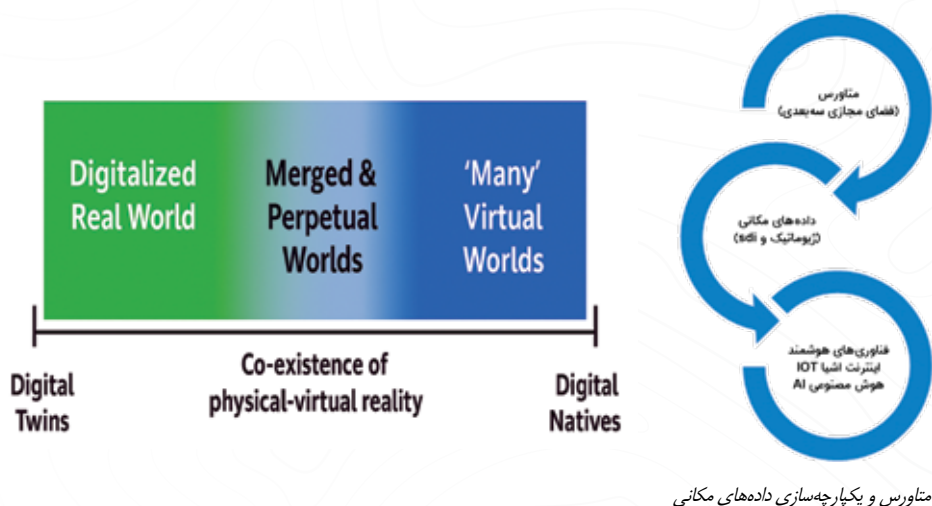
■ ژئوماتیک، متاورس، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا

متاورس به‌عنوان یکی از مظاهر تحول دیجیتال، بستری فناورانه است که با ادغام فناوری‌هایی مثل اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، AI، بلاک چین و ژئوماتیک، امکان تعاملات پیچیده و چندبعدی را در فضاهای مجازی فراهم می‌سازد. در این میان، اطلاعات مکانی به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی در ساختار متاورس، نقشی بنیادین در ایجاد، پایش و به‌روزرسانی محیط‌های مجازی ایفا می‌کند. متاورس و اینترنت اشیا را می‌توان به‌عنوان دوقلوهای دیجیتالی در نظر گرفت که در تعامل مستمر با زیرساخت‌های اطلاعات مکانی عمل می‌کنند. دستگاه‌های IoT، با تولید داده‌های مکانی غنی، امکان تغذیه پایگاه‌های داده متاورس را فراهم می‌آورند. این داده‌ها، که با برچسب‌های شناسایی یکتا قابل ردیابی هستند، از طریق فناوری بلاک چین ثبت و ذخیره می‌شوند و به‌عنوان منابع معتبر و قابل‌اتکا در معماری داده محور متاورس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

از سوی دیگر، فناوری‌های ژئوماتیک از جمله سنجش‌ازدور، سیستم‌های اطلاعات مکان محور GIS و مدل‌سازی سه‌بعدی، چارچوبی تحلیلی و دقیق برای تعریف و

پیش‌بینی فضایی برای مدیریت بحران در محیط‌های متاورسی توسعه دهند. ترکیب هوش مصنوعی و داده‌های مکانی منجر به شکل‌گیری مفهوم جدیدی به نام «هوش فضایی» شده است که در متاورس نقشی حیاتی در تصمیم‌گیری آنی دارد. همچنین ادغام AI با GIS امکان اجرای تحلیل‌های پیچیده‌ای مانند خوشه‌بندی، مسیریابی هوشمند و شناسایی ناهنجاری‌های فضایی در محیط‌های مجازی را فراهم می‌کند. اینترنت اشیا شبکه‌ای از دستگاه‌ها، حسگرها و اشیاء متصل به اینترنت است که قادر به جمع‌آوری و تبادل داده هستند. در متاورس، IoT به‌عنوان واسطه‌ای میان جهان فیزیکی و دیجیتال عمل می‌کند. داده‌های جمع‌آوری‌شده از حسگرهای محیطی مانند دما، حرکت، صوت و... به‌صورت آنی وارد متاورس شده و باعث تغییرات، واکنش‌ها یا تصمیم‌گیری در آن می‌شوند. برای نمونه، در شبیه‌سازی متاورسی مدیریت شهری، داده‌های حسگرهای ترافیکی، آلودگی یا زلزله می‌توانند هم‌زمان به مدل سه‌بعدی شهر وارد شده و در تحلیل‌های AI مورد استفاده قرار گیرند. این همگرایی فناورانه، «متاورس تطبیقی» را به وجود می‌آورد که بر اساس واقعیت محیطی تنظیم می‌شود و پویایی جهان واقعی را در خود منعکس می‌کند.

AR، واقعیت مجازی VR، بلاک‌چین، کلان داده، هوش مصنوعی و داده‌های مکانی شکل گرفته است. نکته کلیدی در طراحی متاورس‌های هوشمند، اهمیت «بعد مکان» و «درک فضایی» است که تنها با مجموعه علوم ژئوماتیک قابل تحقق است. با ادغام داده‌های مکانی دقیق و مدل‌های سه‌بعدی ژئوماتیکی در متاورس، می‌توان محیط‌هایی خلق کرد که علاوه بر بازنمایی بصری، قابلیت واکنش به رویدادها، تحلیل داده‌ها و ایجاد تعاملات هوشمند را نیز دارند. به بیان دیگر، آینده متاورس مبتنی بر مفهومی به نام «مکان آگاهی» خواهد بود که نیازمند زیرساخت‌های علمی ژئوماتیک و داده‌های آنی اینترنت اشیا است. هوش مصنوعی به مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و سیستم‌ها گفته می‌شود که توانایی یادگیری، استنتاج، تصمیم‌گیری و پیش‌بینی را با الهام از فرآیندهای شناختی انسان‌ها دارند. در متاورس، AI نقش‌های متعددی را ایفا می‌کند؛ از طراحی کاراکترهای هوشمند و تعاملی گرفته تا تحلیل رفتار کاربران، پردازش داده‌های حسگرها و کنترل پویا و خودکار محیط‌های مجازی. یکی از کاربردهای مهم AI در حوزه داده‌های مکانی و ژئوماتیک، پردازش و تحلیل حجم گسترده داده‌های فضایی است. برای مثال، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند تغییرات کاربری زمین را از تصاویر ماهواره‌ای شناسایی کنند یا مدل‌های



متاورس و یکپارچه‌سازی داده‌های مکانی

محیطی تعاملی، ذینفعان مانند مسئولان محیط زیست، کشاورزان و مدیران منابع طبیعی قادر خواهند بود نتایج را به صورت بصری مشاهده و بر اساس آن تصمیم گیری نمایند.



دامنه کاربری متاورس

چالش ها و فرصت ها در توسعه متاورس مکان محور با تکیه بر SDI، کاداستر و نقش سازمان نقشه برداری کشور

ورود به عرصه متاورس به عنوان یک بستر نوظهور برای تعاملات دیجیتال، مستلزم برخورداری از زیرساخت های مکانی دقیق، هوشمند و یکپارچه است. تحقق یک متاورس واقعی و قابل اتکا، تنها زمانی امکان پذیر است که داده های مکانی دقیق، مدل های سه بعدی واقع گرایانه، تحلیل های پیشرفته فضایی و اطلاعات آنی، به عنوان مؤلفه های کلیدی، در شکل گیری آن نقش آفرینی کنند. در این راستا، تحلیل دقیق فرصت ها و چالش هایی که در سطوح مختلف زیرساختی، نهادی، فناورانه و حکمرانی داده وجود دارد، امری ضروری به نظر می رسد. یکی از موانع جدی در مسیر توسعه متاورس مکان محور، نبود انسجام و یکپارچگی در داده های مکانی در سطح ملی است. با آنکه نهادهای مختلفی در کشور در حوزه تولید و مدیریت داده های مکانی فعال اند، اما فقدان استانداردهای مشترک و بسترهای ارتباطی مؤثر، مانعی جدی برای تبادل و بهره برداری یکپارچه از داده ها به شمار می آید. این مسئله بر اهمیت نقش زیرساخت ملی داده های مکانی یا همان SDI Spatial Data Infrastructure می افزاید؛ ساختاری که متشکل از سیاست ها، فناوری ها، استانداردها و نهادهایی

کاربردهای تلفیقی ژئوماتیک، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در متاورس

همگرایی فناوری های مکانی با هوش مصنوعی و اینترنت اشیا افق های نوینی را برای توسعه متاورس گشوده است. محیط متاورسی فراتر از یک بازنمایی صرفاً گرافیکی از فضا است؛ این فضا بستری هوشمند است که باید به طور مداوم با داده های واقعی تغذیه شود، با تحلیل های آنی به روزرسانی گردد و از نظر مکانی توان پاسخگویی، تحلیل و تصمیم گیری داشته باشد. تحقق چنین بستری تنها در صورت استفاده همزمان و یکپارچه از فناوری های علوم ژئوماتیک، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا ممکن است. یکی از کاربردهای کلیدی مشترک ژئوماتیک و متاورس، ساخت نسخه های دیجیتالی سه بعدی از محیط های واقعی است که به آن ها «دوقلوهای دیجیتال» گفته می شود. این مدل ها بازنمایی دقیقی از ساختارهای فیزیکی مانند شهرها، تأسیسات صنعتی، زیرساخت های حمل و نقل و منابع طبیعی هستند که به صورت زنده با داده های مکانی و حسگرهای IoT به روزرسانی می شوند. برای ایجاد این مدل ها از داده هایی نظیر اسکن لیزری زمینی TLS، نقشه برداری پهپادی، فتوگرامتری هوایی، سنجش از دور و GIS بهره گرفته می شود که پس از آن با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین طبقه بندی، فیلتر و مدل سازی می گردند. داده های آنی حسگرهای IoT، مانند اطلاعات ترافیکی، کیفیت هوا، سطح نویز و دمای محیط، به این مدل ها افزوده می شود تا محیط دیجیتال نه تنها نمایی ایستا بلکه فضایی تعاملی، پویا و هوشمند باشد.

به عنوان نمونه، پروژه Virtual Singapore نمونه موفق است که با ادغام داده های مکانی سه بعدی، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، یک شهر مجازی برای تحلیل سناریوهای برنامه ریزی شهری ساخته است. متاورس همچنین در پایش محیط زیست و مدیریت منابع طبیعی کاربرد فراوانی دارد. با بهره گیری از داده های سنجش از دور، پهپادها، حسگرهای زمینی و شبکه های IoT، اطلاعات دقیقی از وضعیت جنگل ها، کیفیت آب، آلودگی هوا، فرسایش خاک و تغییرات اقلیمی قابل جمع آوری است. این داده ها در محیط متاورسی به صورت تعاملی تجزیه و تحلیل می شوند. ۵. برای مثال، یک مدل متاورسی از حوزه آبخیز می تواند داده های هیدرولوژیکی آنی را از ایستگاه های IoT دریافت کرده و بر اساس تحلیل های هوشمند، پیش بینی سیلاب، کم آبی یا آلودگی منابع آب را ارائه دهد. همچنین با ایجاد

بومی برای پیاده‌سازی متاورس منطبق بر نیازهای کشور. در این زمینه، پیشنهاد می‌شود سازمان نقشه‌برداری کشور با طراحی یک طرح جامع با عنوان «ژئومتاورس ایران»، نقشه‌راهی برای توسعه زیرساخت مکانی متاورس ترسیم کند. تمرکز بر توسعه SDI، تکمیل کاداستر، آزادسازی داده‌های غیر محرمانه، و استانداردهای فراداده‌ها، از جمله محورهای کلیدی این نقشه‌راه خواهد بود. همچنین، توسعه همکاری‌های بین بخشی با سازمان‌های فناوری، پژوهشگاه‌ها و شرکت‌های دانش‌بنیان، می‌تواند منجر به هم‌افزایی در بهره‌گیری از ظرفیت‌های هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در تولید متاورس‌های تخصصی و بومی شود. در نهایت، متاورس نه صرفاً یک ابزار سرگرمی یا نمایش، بلکه بستری راهبردی برای تصمیم‌سازی، مدیریت منابع، برنامه‌ریزی شهری، مدل‌سازی بحران و آموزش آینده‌نگرانه است. تحقق چنین چشم‌اندازی، مستلزم انسجام نهادی، دسترسی به داده‌های مکانی دقیق و به‌روز، و ایفای نقش فعال سازمان‌هایی چون سازمان نقشه‌برداری کشور در این عرصه است.



نتیجه‌گیری

مدیریت بحران یکی از حوزه‌های حیاتی بهره‌مند از تلفیق ژئوماتیک، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در متاورس است. در رخدادهایی مانند زلزله، سیل، آتش‌سوزی یا حملات، اتخاذ تصمیمات سریع و دقیق مستلزم دسترسی به داده‌های مکانی به‌روز، شبیه‌سازی سناریوهای بحران و تحلیل داده‌های گسترده است. با ایجاد شبیه‌سازهای آنی در بستر متاورس که بر اساس داده‌های واقعی و اطلاعات IoT تغذیه می‌شوند، می‌توان الگوهای تخلیه اضطراری، مسیرهای امدادرسانی و نقاط پرخطر را شبیه‌سازی کرد.

است که باهدف تسهیل تولید، اشتراک‌گذاری، و استفاده مؤثر از داده‌های مکانی طراحی شده و نقشی زیربنایی در تحقق متاورس ایفا می‌کند. در این میان، سازمان نقشه‌برداری کشور با جایگاه مرجع در تولید داده‌های پایه مکانی، می‌تواند نقش کلیدی در توسعه و مدیریت SDI بر عهده گیرد. برخورداری این سازمان از زیرساخت‌های ملی ژئودتیک، مدل‌های رقومی ارتفاع، نقشه‌های توپوگرافی سراسری، سامانه‌های GNSS، و فناوری‌های فتوگرامتری و سنجش‌ازدور، این امکان را فراهم می‌آورد تا داده‌هایی با دقت و کیفیت بالا، مطابق با استانداردهای جهانی، برای تغذیه متاورس مکان‌محور ارائه شود. از سوی دیگر، ایجاد تعامل سازنده با سایر نهادهای کلیدی نظیر شهرداری‌ها، سازمان ثبت اسناد و املاک، شرکت‌های خدمات زیرساختی و مراکز علمی، می‌تواند زمینه‌ساز همگرایی لایه‌های مختلف اطلاعات مکانی و کاربری آن‌ها در فضاهای هوشمند شود. یکی دیگر از الزامات اساسی در مسیر توسعه متاورس، تکمیل سامانه کاداستر در سطح ملی است. کاداستر به عنوان پایگاه رسمی ثبت اطلاعات مربوط به مالکیت اراضی، کاربری زمین و وضعیت حقوقی املاک، نقشی بنیادین در مدل‌سازی سه‌بعدی و قانونی محیط‌های متاورسی دارد. ادغام داده‌های کاداستری با مدل‌های سه‌بعدی و اطلاعات شهری، بستر لازم برای شبیه‌سازی کاربردی حقوقی را فراهم می‌آورد؛ از جمله نمایش املاک، استعمال وضعیت مالکیت، تعامل با اسناد ثبتی، و حتی انجام مبادلات دیجیتال در محیط‌های مبتنی بر مکان. در کنار چالش‌ها، فرصت‌هایی نیز پیش روی توسعه متاورس در کشور قرار دارد. بهره‌گیری از هوش مصنوعی در تحلیل الگوهای فضایی، پایش تغییرات محیطی، پیش‌بینی ترافیک و بهینه‌سازی مدل‌های سه‌بعدی، در کنار داده‌های ژئوماتیکی، می‌تواند به تولید محیط‌های مجازی واقع‌گرایانه و تصمیم‌پذیر در زمان واقعی منجر شود. همچنین، اتصال اینترنت اشیا IoT به داده‌های مکانی و آنی شهری - نظیر کیفیت هوا، ترافیک، لرزش‌های زمین، یا مصرف انرژی - مسیر تحقق شهر هوشمند در فضای متاورس را هموار می‌سازد. با این حال، توسعه متاورس در کشورمان ایران با موانعی نیز مواجه است؛ از جمله خلأ قوانین روشن در زمینه مالکیت داده‌های مکانی و دارایی‌های دیجیتال، کمبود نیروی متخصص در تلفیق فناوری‌های مکانی و دیجیتال، ضعف ارتباط نظام‌مند میان نهادهای علمی و صنعتی، و نبود الگوهای

هم‌زمان در این سه حوزه است. نقش نهادهای حاکمیتی، به‌ویژه سازمان نقشه‌برداری کشور به‌عنوان متولی اصلی تولید و مدیریت داده‌های مکانی در ایران، بسیار کلیدی است. این سازمان با بیش از نیم‌قرن سابقه، مسئولیت تأمین، استانداردسازی، به‌روزرسانی و انتشار داده‌های ژئودزی، فتوگرامتری، نقشه‌برداری زمینی و مدل‌های ارتفاعی و مکانی را بر عهده دارد. این داده‌ها ستون فقرات متاورس‌های مکان‌محور محسوب می‌شوند؛ به‌روزرسانی و انتشار داده‌های ژئودزی، فتوگرامتری، نقشه‌برداری زمینی، و مدل‌های ارتفاعی و مکانی، بر عهده سازمان‌های تخصصی نقشه‌برداری است. این داده‌ها به‌منزله ستون فقرات فضاهای متاورسی مکان‌محور محسوب می‌شوند و نقش بنیادی در شکل‌گیری زیرساخت‌های اطلاعاتی دارند. اطلاعات مکان‌محور، نه صرفاً برای نقشه‌برداری، بلکه به‌عنوان مرجع اصلی در تمام تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های کلان مورد استفاده قرار می‌گیرند. دسترسی به این اطلاعات، شرط لازم برای مدیریت هوشمند منابع، تحلیل بحران‌های محیطی، و توسعه پایدار است. در این میان، سازمان نقشه‌برداری کشور، متولی اصلی تولید، سامان‌دهی و راهبری اطلاعات مکانی به‌شمار می‌رود و مسئولیت هدایت و تضمین کیفیت داده‌های مکانی را بر عهده دارد. پژوهش حاضر باهدف ارتقاء درک مفهومی و عملی از جهان‌های مجازی مکان‌محور Geo-Spatial و Virtual Worlds، چارچوبی ساختارپذیر و قابل پیاده‌سازی برای توسعه متاورس‌های مکان‌محور ارائه می‌دهد. این چارچوب با بهره‌گیری از فناوری‌های وب‌محور و ساختار سه‌لایه‌ای دسترسی، جهان و ادغام، چالش‌هایی نظیر پایداری چندکاربره، همگام‌سازی بلادرنگ و تعامل‌پذیری ژئواسپیشیال را پوشش می‌دهد. تعریف مؤلفه‌هایی مانند سیستم‌های مختصات، خدمات مکان‌محور و دوقلوهای دیجیتال زمینه را برای هم‌راستاسازی دقیق اشیای مجازی با نمونه‌های واقعی آن‌ها فراهم کرده و بستری برای تعامل معنادار کاربران با جهان دیجیتال ایجاد می‌کند. ویژگی متمایز این مدل، تأکید بر استفاده از فناوری‌های تثبیت‌شده و باز مانند WebXR، WebSocket، WebRTC و استانداردهای باز CityGML و 3D است، درحالی‌که بسیاری از رویکردهای متاورس بر فناوری‌های نوظهور و گاه پر ریسک مانند بلاک‌چین یا رمزارزها تمرکز دارند. رویکرد پیشنهادی این مقاله با تمرکز بر عملی بودن، تطبیق‌پذیری و تعامل با داده‌های زنده محیطی

الگوریتم‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی گسترش بحران، تحلیل داده‌های سنجش‌ازدور برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و ارائه راهکارهای بهینه نقش کلیدی دارند. به‌عنوان مثال، مطالعه‌ای توسط Sivabharathy ۲۰۲۵ نشان داده است که چگونه با ترکیب داده‌های مکانی، اینترنت اشیا و تحلیل هوشمند، می‌توان شبیه‌ساز تعاملی مدیریت بحران طبیعی را در متاورس ایجاد کرد که قابلیت واکنش سریع و تصمیم‌گیری آنی را فراهم می‌کند. محیط‌های متاورسی مبتنی بر داده‌های واقعی فرصت‌های منحصربه‌فردی را در حوزه آموزش‌های مکان‌محور ایجاد کرده‌اند. در آموزش رشته‌های مهندسی عمران، نقشه‌برداری، برنامه‌ریزی شهری و علوم زمین، استفاده از شبیه‌سازهای متاورسی مبتنی بر داده‌های ژئوماتیکی و تحلیل‌های هوش مصنوعی جایگزین محیط‌های نظری شده است. دانشجویان می‌توانند در یک شهر دیجیتالی حرکت کنند، توپوگرافی زمین را بررسی کرده، کاربری زمین را تحلیل کنند و اثرات پروژه‌های زیرساختی را در محیط مشاهده نمایند. از منظر فرهنگی، بازسازی سه‌بعدی مکان‌های تاریخی، محله‌های سنتی و آثار طبیعی با استفاده از داده‌های مکانی و نمایش آن‌ها در متاورس، فرصت‌های نوینی برای گردشگری مجازی و حفظ میراث فرهنگی فراهم آورده است. پروژه‌هایی مانند CyArk که مکان‌های تاریخی را با اسکن سه‌بعدی مستندسازی کرده‌اند، اکنون به سمت ارائه این داده‌ها در پلتفرم‌های متاورسی حرکت می‌کنند و با ترکیب IoT و روایت‌های تعاملی هوش مصنوعی تکمیل می‌شوند. ترکیب سه فناوری راهبردی ژئوماتیک، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، زیرساخت کلیدی برای ایجاد، توسعه و مدیریت فضاهای دیجیتال تعاملی مانند متاورس به‌شمار می‌رود. همان‌طور که در بخش‌های پیشین این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، فناوری‌های مکانی نقش بنیادی در تولید، مدل‌سازی، تحلیل و بصری‌سازی داده‌های فضایی ایفا می‌کنند. بدون استفاده از داده‌های مکانی دقیق و ساختارمند، متاورس که به‌عنوان یک فضای مجازی تعاملی و واقع‌گرایانه شناخته می‌شود، قادر به ایفای نقش اصلی خود نخواهد بود. هوش مصنوعی با امکان انجام تحلیل‌های پیچیده مکانی و اینترنت اشیا با تأمین داده‌های محیطی به‌صورت لحظه‌ای، دو بازوی مکمل در این فرآیند هستند. بنابراین، موفقیت پروژه‌های ملی و بین‌المللی در حوزه متاورس مستلزم درک عمیق، حمایت نهادی و سرمایه‌گذاری

■ مراجع و منابع

- Pirotti, F.; Brovelli, M.A.; Prestifilippo, G.; Zamboni, G.; Kilsedar, C.E.; Piragnolo, M.; Hogan, P. An open source virtual globe rendering engine for 3D applications: NASA World Wind. Open Geospat. Data Softw. Stand. 2017, 2, 4. [Google Scholar] [CrossRef]
- Neves, J.N.; Câmara, A. Virtual environments and GIS. Geogr. Inf. Syst. 1999, 1, 557–565. [Google Scholar]
- Ellis, S.R. What are virtual environments? IEEE Comput. Graph. Appl. 1994, 14, 17–22. [Google Scholar] [CrossRef]
- Tuttle, B.T.; Anderson, S.; Huff, R. Virtual globes: An overview of their history, uses, and future challenges. Geogr. Compass 2008, 2, 1478–1505. [Google Scholar] [CrossRef]
- Stone, R.J. Applications of virtual environments: An overview. In Handbook of Virtual Environments; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2002; pp. 867–896. [Google Scholar]
- Fauville, G.; Queiroz, A.C.M.; Bailenson, J.N. Virtual reality as a promising tool to promote climate change awareness. In Technology and Health; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020; pp. 91–108. [Google Scholar]
- Lee, J.G.; Kang, M. Geospatial big data: Challenges and opportunities. Big Data Res. 2015, 2, 74–81. [Google Scholar] [CrossRef]
- Open Geospatial Consortium. Our History. Available online: <https://www.ogc.org/our-history/> accessed on 10 January 2025.
- Breunig, M.; Bradley, P.E.; Jahn, M.; Kuper, P.; Mazroob, N.; Rösch, N.; Al-Doori, M.; Stefanakis, E.; Jadidi, M. Geospatial data management research: Progress and future directions. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2020, 9, 95. [Google Scholar] [CrossRef]
- Cesium. CesiumJS. Available online: <https://cesium.com/platform/cesiumjs/> accessed on 10 January 2025.
- Google. 3D Maps JavaScript Demo. Available online: <https://mapsplatform.google.com/demos/3d-maps-javascript/> accessed on 10 January 2025.
- Evangelidis, K.; Papadopoulos, T. Is there life in Virtual Globes? Free Open Source Softw. Geospat. FOSS4G Conf. Proc. 2016, 16, 7. [Google Scholar]
- Downey, S. History of the virtual worlds. J. Technol. Stud. 2014, 40, 54–66. [Google Scholar] [CrossRef]
- Dionisio, J.D.N.; Ili, W.G.B.; Gilbert, R. 3D virtual

از طریق اینترنت اشیا و تحلیل هوشمند با کمک هوش مصنوعی، چارچوبی واقع‌گرایانه برای تحقق متاورس‌های مکان‌محور ارائه می‌دهد. ترکیب فناوری‌های ژئوماتیک، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا به‌عنوان زیرساختی کلیدی برای شکل‌گیری و مدیریت فضاها، دیجیتال‌سازی، نقش‌بنیادی دارد. بدون داده‌های دقیق مکانی، متاورس تنها به یک محیط بصری تبدیل می‌شود که فاقد معنا و قابلیت تحلیل است. هوش مصنوعی امکان تحلیل‌های پیچیده و پیشرفته را فراهم می‌آورد و اینترنت اشیا داده‌های محیطی را به‌صورت لحظه‌ای تغذیه می‌کند، که این دو به‌عنوان اجزای مکمل، متاورس را از یک فضای نمایشی به بستری برای تصمیم‌گیری و تعامل واقعی تبدیل می‌کنند. در این راستا، نقش نهادهای حاکمیتی مانند سازمان نقشه‌برداری کشور نه‌تنها در تولید داده‌های پایه، بلکه در تنظیم‌گری فضای مکانی دیجیتال نیز حیاتی است. این سازمان می‌تواند با استانداردسازی، تضمین کیفیت و همسوسازی داده‌های مکانی با فناوری‌های نوین، زیرساختی مطمئن برای توسعه متاورس‌های ایرانی فراهم کند. پروژه‌هایی مانند نقشه‌های پایه سه‌بعدی، مدل ارتفاعی ملی و پایگاه داده‌های مکانی یکپارچه می‌توانند به‌عنوان ستون فقرات فضاها، دیجیتال در حوزه‌هایی چون مدیریت بحران، گردشگری، آموزش، کشاورزی هوشمند و برنامه‌ریزی شهری مورد بهره‌برداری قرار گیرند. پیشنهاد راهبردی این پژوهش، راه‌اندازی یک پلتفرم ملی متاورس مکان‌محور با محوریت سازمان نقشه‌برداری کشور است؛ پلتفرمی که با تکیه بر داده‌های دقیق، استاندارد و تعامل‌پذیر، امکان اتصال به سنسورها، تحلیل هوشمند و نمایش سه‌بعدی را فراهم کرده و نه‌تنها پاسخگوی نیازهای داخلی باشد، بلکه ظرفیت صادرات منطقه‌ای نیز داشته باشد. درنهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که متاورس ماهیتی ژئواسپیشال دارد و تحقق آن مستلزم شناخت دقیق، سرمایه‌گذاری هدفمند و همکاری بین‌نهادی در حوزه‌های ژئوماتیک، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا است. سازمان نقشه‌برداری کشور با بازتعریف نقش خود به‌عنوان رهبر اکوسیستم مکانی دیجیتال، می‌تواند جایگاه ایران را در زنجیره جهانی متاورس تثبیت کرده و نقشی مؤثر در شکل‌دهی آینده دیجیتال ایفا نماید.

- geospatial digital twins: A novel panorama-based method with enhanced representation of virtual geographic scenes in Virtual Reality (VR). *International Journal of Geographical Information Science*, 38(2), 2301–2324. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2024.2386064>
29. Papadopoulos, T., Evangelidis, K., Kaskalis, T. H., & Evangelidis, G. (2025). The Metaverse Is Geospatial: A System Model Architecture Integrating Spatial Computing, Digital Twins, and Virtual Worlds. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(3), 126. <https://www.mdpi.com/2220-9964/14/3/126>
30. Kumar, V., & Sharma, R. 2024. Artificial Intelligence and Spatial Intelligence in Virtual Worlds. *Journal of Spatial Science*, 691, 3552. <https://doi.org/10.1080/14498596.2023.2185746>
- Li, K., Cui, Y., Li, W., Lv, T., Yuan, X., Li, S., Ni, W., Simsek, M., & Dressler, F. (2023). When Internet of Things meets Metaverse: Convergence of physical and cyber worlds. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(5), 4148–4173. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10002946>
31. Al-Sehrawy, R., Kumar, B., & Watson, R. (2021). A digital twin uses classification system for urban planning & city infrastructure management. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 832–862. https://www.researchgate.net/publication/355735735_A_Digital_Twin_Uses_Classification_System_for_Urban_Planning_City_Infrastructure_Management
32. Sivabharathy, M., Devi, G. A., MuhamedAle, H., & Madhavi, A. (2025). Disaster Management Enabled Metaverse for Crisis Response Using Digital Twin Simulation. In *Proceedings of the 2025 International Conference on Computational Innovations and Engineering Sustainability (ICCIES)*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11032231>
33. Meng, X., Li, Y., Liu, K., Liu, Y., Yang, B., Song, X., Liao, G., Wang, S., Yu, Z., Chen, L., Pan, X., & Lin, Y. (2023). Spatial data intelligence and city metaverse: A review. *Fundamental Research*, 5(3), 11691193. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667325823003527>
34. CyArk Project. 2021. Digital Preservation of Cultural Heritage through 3D Scanning. Retrieved from <https://cyark.org>
- worlds and the metaverse: Current status and future possibilities. *ACM Comput. Surv. CSUR* 2013, 45, 1–38. [Google Scholar] [CrossRef]
15. Gilbert, R.L. The prose psychological research on synthetic environments project: Conducting in-world psychological research on 3d virtual worlds. *J. Virtual Worlds Res.* 2011, 4. [Google Scholar] [CrossRef]
16. Linden Lab. Second Life. Available online: <https://secondlife.com/> accessed on 10 January 2025.
17. OpenSimulator. Main Page. Available online: http://opensimulator.org/wiki/Main_Page accessed on 10 January 2025.
18. Metaverse Standards Forum. Available online: <https://metaverse-standards.org/> accessed on 10 January 2025.
19. Thien Huynh-The et al. 2022. Artificial Intelligence for the Metaverse: A Survey. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2202.10336>
20. Open Geospatial Consortium. 2023. The Metaverse Is Geospatial: A System Model Architecture... <https://www.ogc.org/blogarticle/themetaverseisgeospatial/>
21. Xiaofeng Meng et al. 2023. Spatial Data Intelligence and City Metaverse: A Review. *Future Internet*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667325823003527>
22. Thien Huynh-The et al. 2022. Artificial Intelligence for the Metaverse: A Survey. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2202.10336>
23. Kai Li et al. 2022. When Internet of Things meets Metaverse: Convergence of Physical and Cyber Worlds. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2208.13501>
24. Ehsan Dorostkar & K. Ziari 2025. Building Sustainable Cities in the Metaverse: A Geospatial Revolution in Urban Planning. *Sustainable Futures*. <https://communities.springernature.com/posts/buildingsustainablecitiesinthemetaverseageospatialrevolutioninurbanplanning>
25. MDPI 2024. The Metaverse Is Geospatial: A System Model Architecture.... <https://www.mdpi.com/22209964/14/3/126>
26. ArXiv 2022. Mobile Edge Computing and 6G in Metaverse Environments. <https://arxiv.org/abs/2209.14147>
27. Hajar, M., & AlJaroodi, J. 2023. Foundations of the Metaverse: Key Technologies and Applications. *Journal of Emerging Technologies*, 152, 89105. <https://doi.org/10.1016/j.jet.2023.04.012>
28. Zhang, J., Zhu, J., Zhou, Y., Zhu, Q., Wu, J., Guo, Y., Dang, P., Li, W., & Zhang, H. (2024). Exploring

سامانه مدل ژئوئید محله ایران IRG2016

حمیده چراغی، رئیس اداره فیزیکی ژئودزی سازمان نقشه برداری کشور
عبدالرضا سعادت، مدیرکل اداره نقشه برداری زمینی و بنیادی سازمان نقشه برداری کشور

• **ارتفاع دینامیک:** این ارتفاع بر پایه مفاهیم فیزیکی و هیدرویدینامیکی تعریف می شود و بیانگر پتانسیل ثقل در نقطه مورد نظر است. کاربرد آن در مطالعات مرتبط با رفتار آب و جریان های سطحی می باشد.

برای تعیین ارتفاع نقاط، چه در تهیه نقشه های سراسری و پوششی و چه در اجرای پروژه های مهندسی و عمرانی ملی، ایجاد یک سیستم ارتفاعی یکپارچه امری ضروری می باشد به همین منظور ارتفاع نقاط در پروژه های اجرایی و عمرانی کشور، معمولاً از طریق عملیات تراز یابی مستقیم و اتصال به نقاط شبکه های تراز یابی دقیق اندازه گیری و تعیین می شود. اگرچه این روش از دقت بالایی برخوردار است، اما اجرای آن مستلزم صرف زمان و هزینه های عملیاتی قابل توجهی می باشد. علاوه بر این، با توجه به وقوع پدیده فرونشست در بخش های گسترده ای از ایران، ارتفاع ارتومتریک نقاط تراز یابی در این مناطق دستخوش تغییر شده و قابل استناد نمی باشد. در چنین شرایطی، تعیین مدل سطح مبنای ارتفاعی کشور (مدل ژئوئید دقیق) می تواند نقش مؤثری در کاهش حجم و هزینه عملیات تراز یابی دقیق در پروژه های اجرایی و عمرانی ایفا کند.

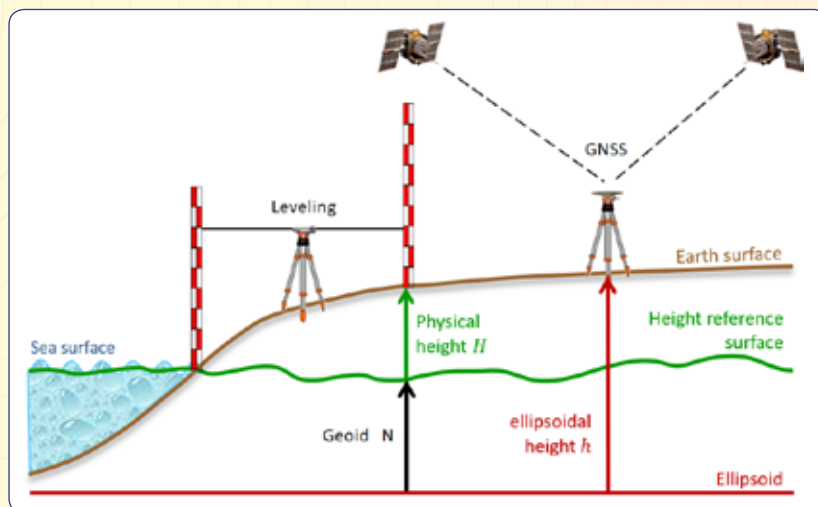
کاربرد عملی تعیین مدل ژئوئید دقیق، تبدیل ارتفاع های ژئودتیک اندازه گیری شده توسط گیرنده های GNSS به ارتفاع ارتومتریک است. با معلوم بودن ارتفاع ژئوئید دقیق N در هر نقطه (از طریق مدل های ژئوئیدیک h^{GNSS} که امروزه با استفاده از گیرنده های GNSS به راحتی و سرعت بالا قابل انجام است، ارتفاع ارتومتریک H_0 یا ارتفاع از سطح مبنای ارتفاعی (سطح ژئوئید) را به دقت تعیین نمود.

$$H_0 = h^{GNSS} - N$$

سازمان نقشه برداری کشور مسئولیت هماهنگی فعالیت های مرتبط با نقشه برداری و اطلاعات مکانی، حفظ یکپارچگی آن در سطح کشور و نظارت بر این امور در بخش غیرنظامی را بر اساس ماده (۱۱) قانون احکام دائمی برنامه های توسعه کشور بر عهده دارد. یکی از الزامات اساسی در دستیابی به این هدف، حفظ و به روز نگهداری چارچوب های مرجع مختصاتی کشور است که به واسطه آن امکان تعیین موقعیت دقیق نقاط و عوارض در سراسر کشور مطابق با استانداردهای مورد نیاز در یک سیستم یکپارچه فراهم می آید. در همین راستا، این سازمان طی سالیان گذشته اقدام به ایجاد شبکه نقاط مبنایی مسطحاتی، ارتفاعی و ثقل سنجی نموده است تا چارچوب مرجع مختصاتی مورد نیاز در پروژه های عمرانی و نقشه برداری کشور فراهم گردد. بررسی تغییرات مختصاتی این نقاط مبنایی، امکان برآورد تغییرات پوسته زمین در ایران و پایش تغییرات زمین در منطقه را میسر می سازد؛ موضوعی که از نیازهای اساسی نهادهای مسئول در حوزه مدیریت بحران به شمار می آید.

یکی از مباحث کلیدی در اجرای پروژه های عمرانی و علوم مرتبط با زمین، از جمله ژئودزی و نقشه برداری، تعیین ارتفاع نقاط واقع بر سطح زمین نسبت به یک سطح مبنای ارتفاعی است. در این زمینه، ژئوئید به عنوان یکی از سطوح هم پتانسیل (سطوح تراز) میدان ثقل زمین که به بهترین نحو ممکن سطح متوسط آب های آزاد را تقریب می زند، معمولاً به عنوان سطح مبنای ارتفاعی تعریف می گردد. دو سیستم ارتفاعی اصلی با رویکردهای متفاوت مطابق زیر تعریف شده است:

• **ارتفاع ارتومتریک:** به عنوان فاصله هندسی یک نقطه از سطح ژئوئید، در امتداد خط شاغولی واقعی، تعریف می شود. این نوع ارتفاع عمدتاً دارای ماهیت هندسی است و از طریق تراز یابی مستقیم همراه با اعمال تصحیحات مربوط به میدان ثقل زمین، محاسبه می گردد. ارتفاع ارتومتریک در بسیاری از کشورها در پروژه های اجرایی و مهندسی به عنوان سیستم ارتفاعی مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۱: ارتفاع ژئوئید N ، ارتفاع ارتومتریک H و ارتفاع بیضوی h

ارتفاع ارتومتریک حاصل از تلفیق داده‌های ارتفاع ژئودتیک و مدل ژئوئید دقیق، در پروژه‌های عمرانی ازجمله نقشه‌برداری، پل‌سازی، راه‌سازی، سدسازی و سایر فعالیت‌های زیرساختی، نقش مؤثری در دستیابی سریع‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر به اطلاعات ارتفاعی ایفا می‌کند. این رویکرد، نیاز به انجام عملیات گسترده ترازیابی سنتی را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد.

یکی دیگر از کاربردهای مهم تعیین مدل ژئوئید دقیق، استفاده در پروژه‌های زهکشی و مدیریت آب‌های سطحی است؛ حوزه‌هایی که به ارتفاع دینامیک وابسته‌اند. از آنجایی که حرکت آب در سیستم‌های زهکشی و رودخانه‌ای بر اساس تفاوت پتانسیل ثقل صورت می‌گیرد، تعیین دقیق ارتفاع دینامیک نقش مهمی در طراحی مسیرهای جریان آب و پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی ایفا می‌کند. با بهره‌گیری از مدل ژئوئید دقیق محلی، امکان تبدیل ارتفاع ژئودتیک hGNSS به ارتفاع دینامیک فراهم می‌شود. این امر در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های مدیریت منابع آب، طراحی سیستم‌های زهکشی شهری و سایر زیرساخت‌های مرتبط حائز اهمیت می‌باشد.

■ مدل ژئوئید IRG2016

تعیین مدل ژئوئید دقیق برای هر کشور مستلزم گردآوری و پردازش انواع داده‌های شتاب ثقل شامل داده‌های زمینی با دقت و تراکم بالا و داده‌های ماهواره‌ای است. در عمل تعیین ژئوئید با تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و زمینی انجام می‌گیرد. در این فرآیند، مؤلفه‌های طول‌موج بلند میدان ثقل با استفاده از مدل‌های ژئوپتانسیلی جهانی محاسبه می‌شود درحالی که مؤلفه‌های طول‌موج کوتاه با بهره‌گیری از داده‌های ثقل‌سنجی زمینی و به‌کارگیری روش‌های مناسب مدل‌سازی محلی تعیین می‌گردد. تراکم داده‌های شتاب ثقل گردآوری‌شده در یک منطقه، تأثیر مستقیم بر دقت مدل ژئوئید دارد. تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که برای دستیابی به دقتی در حدود یک سانتی‌متر در مدل‌سازی ژئوئید محلی، لازم است داده‌های شتاب ثقل با تراکم یک دقیقه کمّانی

(تقریباً ۱٫۸ کیلومتر) جمع‌آوری شوند (Jekeli et al., 2009). بااین‌حال، در صورت گردآوری داده‌ها با تراکم ۵ دقیقه کمّانی (حدود ۹ کیلومتر)، می‌توان در مناطق دشت و کوهستان به دقتی بهتر از یک دسی‌متر دست‌یافت. در ایران نیز، جهت تعیین مدل ژئوئید محلی با دقت یک دسی‌متر (که برای نقشه‌های بزرگ‌مقیاس ضروری است)، تکمیل شبکه ثقل‌سنجی درجه کشور با فواصل ۵ دقیقه کمّانی ضروری می‌باشد؛ شبکه‌ای که در حال حاضر حدود نیمی از آن تکمیل‌شده است. بدیهی است دستیابی به دقت‌های بالاتر، مستلزم افزایش تراکم داده‌های شتاب ثقل و صرف هزینه و زمان بیشتر خواهد بود.

تعیین مدل ژئوئید دقیق برای هر کشور مستلزم گردآوری و پردازش انواع داده‌های شتاب ثقل شامل داده‌های زمینی با دقت و تراکم بالا و داده‌های ماهواره‌ای است. در عمل تعیین ژئوئید با تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و زمینی انجام می‌گیرد. در این فرآیند، مؤلفه‌های طول‌موج بلند میدان ثقل با استفاده از مدل‌های ژئوپتانسیلی جهانی محاسبه می‌شود درحالی که مؤلفه‌های طول‌موج کوتاه با بهره‌گیری از داده‌های ثقل‌سنجی زمینی و به‌کارگیری روش‌های مناسب مدل‌سازی محلی تعیین می‌گردد. تراکم داده‌های شتاب ثقل گردآوری‌شده در یک منطقه، تأثیر مستقیم بر دقت مدل ژئوئید دارد. تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که برای دستیابی به دقتی در حدود یک سانتی‌متر در مدل‌سازی ژئوئید محلی، لازم است داده‌های شتاب ثقل با تراکم یک دقیقه کمّانی

■ سامانه مدل ژئوئید IRG2016

مدل ژئوئید توسعه یافته توسط سازمان نقشه برداری کشور با همکاری دانشگاه تهران از طریق درگاه اینترنتی زیر (سامانه ارائه خدمات و محصولات سازمان نقشه برداری کشور) در اختیار کاربران قرار دارد.

[/https://irg2016.ncc.gov.ir](https://irg2016.ncc.gov.ir)

[/https://eshop.ncc.gov.ir/public/irg](https://eshop.ncc.gov.ir/public/irg)

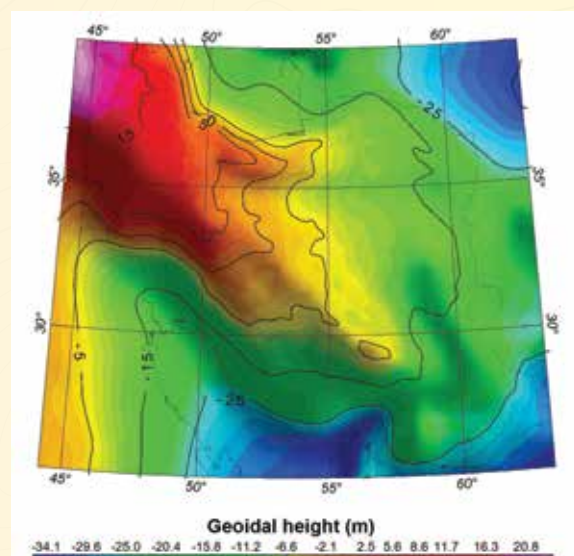


شکل ۴: درگاه اینترنتی مدل ژئوئید IRG2016

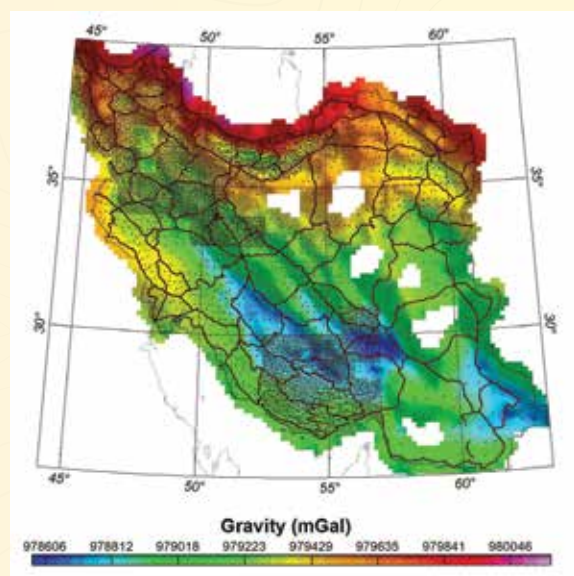
این مدل برای محدوده ایران از عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۳/۵ درجه شرقی محاسبه شده است. در این برنامه داده های ورودی را می توان به دو صورت معرفی کرد؛ به صورت نقطه ای و یا از طریق بارگذاری فایل.

در این برنامه دو روش برای تعیین ارتفاع ژئوئید نقاط در نظر گرفته شده است، یکی بر اساس درون یابی از شبکه نقاط 2.5×2.5 و دیگری بر اساس محاسبات مجزا با استفاده از مدل ژئوپتانسیلی جهانی و ضرایب توابع پایه شعاعی. در محاسبات مجزا علاوه بر طول و عرض جغرافیایی، باید ارتفاع بیضوی نقطه مدنظر بر روی سطح زمین نیز معرفی شود. در این محاسبات امکان انطباق مدل ژئوئید (Gravimetric geoid) بر نقاط کنترل GNSS/Levelling موجود در کشور فراهم شده است که این برآزش می تواند با استفاده روش های مختلف انجام گردد.

مبتنی بر توابع پایه شعاعی با تلفیق داده های زمینی و گرادیومتری ماهواره ای می باشد. دقت این مدل در فاز مطالعاتی در حدود ۲۳ سانتی متر برآورد شده است که بر اساس ۱۲۸۸ ایستگاه کنترل GNSS/Levelling پراکنده شده در سراسر ایران ارزیابی شده است. در محاسبات این مدل از ۲۱۵۲۵ داده های گرانی سنجی پالایش شده موجود در بانک اطلاعاتی سازمان نقشه برداری کشور و داده های گرادیومتری ماهواره گوس استفاده شده است. البته در نسخه های اخیر دقت این مدل بر اساس داده های کنترلی جدید بهبود یافته است.



شکل ۲: مدل ژئوئید محلی IRG2016



شکل ۳: داده گرانی سنجی زمینی استفاده شده در تعیین مدل ژئوئید IRG2016

شکل ۵: پارامترهای انتخاب فرمت ورودی داده نقطه‌ای در مدل ژئوئید IRG2016

شکل ۶: پارامترهای انتخاب فرمت ورودی داده فایلی در مدل ژئوئید IRG2016

وضعیت سامانه مدل ژئوئید IRG2016

ارائه خدمات و محصولات سازمان نقشه‌برداری کشور افزوده شد. این خدمت در حال حاضر به‌صورت رایگان در اختیار کاربران قرار دارد. تاکنون، تعداد کل کاربران سامانه که از طریق آپلود فایل‌های اطلاعاتی، خدمت مربوطه را دریافت می‌کنند، به ۶۲۵ نفر رسیده است. جدول شماره ۱ و شکل شماره ۷، توزیع کاربران را در سال‌های مختلف از زمان شروع به کار سامانه در eShop نشان می‌دهند.

سازمان نقشه‌برداری کشور از سالیان گذشته سرویس برخطی را برای محاسبه ارتفاع نقاط در سیستم ارتفاعی کشور و مدل ژئوئید محلی IRG۲۰۱۶ ارائه کرده و وب‌سایتی را برای انجام محاسبات مربوطه راه‌اندازی کرده است. در راستای یکپارچه‌سازی سامانه‌های سازمان، از سال ۱۴۰۱، خدمت ارائه ارتفاع نقاط در سیستم ارتفاعی کشور و مدل ژئوئید محلی ایران IRG۲۰۱۶ به سامانه

جدول ۱: آمار کاربران سامانه مدل ژئوئید IRG2016

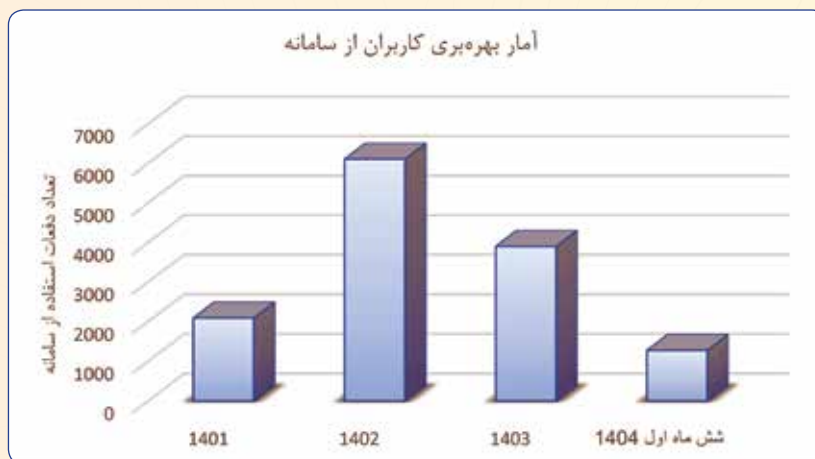
سال	تعداد کاربران جدید سامانه	مجموع کاربران سامانه از ابتدای سال ۱۴۰۱
۱۴۰۱	۱۷۹	۱۷۹
۱۴۰۲	۲۱۶	۳۹۵
۱۴۰۳	۱۵۲	۵۴۷
شش ماه اول ۱۴۰۴	۷۸	۶۲۵



شکل ۷: نموداری آمار کاربران جدید سامانه مدل ژئوئید IRG2016 در هر سال

جدول ۲: آمار دفعات استفاده از سامانه مدل ژئوئید IRG2016

سال	تعداد دفعات استفاده از سامانه در هر سال	مجموع تعداد دفعات استفاده از سامانه از ابتدای سال ۱۴۰۱
۱۴۰۱	۲۰۹۲	۲۰۹۲
۱۴۰۲	۶۱۰۹	۸۲۰۱
۱۴۰۳	۳۹۰۰	۱۲۱۰۱
شش ماه اول ۱۴۰۴	۱۲۷۵	۱۳۳۷۶



شکل ۸: آمار تعداد دفعات استفاده از سامانه در هر سال

■ مراجع و منابع

1. Jekeli, C., Yang, H. J., & Kwon, J. H. (2009). Using gravity and topography-implied anomalies to assess data requirements for precise geoid computation. *Journal of Geodesy*, 83(12), 1193-1202.
2. Saadat, A., Safari, A., & Needell, D. (2018). IRG2016: RBF-based regional geoid model of Iran. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62(3), 380-407.

از ابتدای سال ۱۴۰۱، تعداد کل دفعات استفاده از سامانه از طریق آپلود فایل‌های اطلاعاتی ۱۳۳۷۶ مرتبه می‌باشد. در جدول شماره ۲ و شکل شماره ۸، آمار دفعات استفاده از سامانه ۱۶ IRG2016 در هر سال به همراه تعداد تجمعی آن از زمان آغاز فعالیت سامانه در eshop ارائه شده است.

بیشترین تعداد دفعات استفاده از سامانه توسط یک کاربر ۱۰۵۱ مرتبه بوده که نشان‌دهنده استفاده مکرر برای پروژه‌های متعدد می‌باشد. میانگین تعداد دفعات استفاده هر کاربر از سامانه در حدود ۲۲ مرتبه بوده است.

آمارهای ارائه شده روند رشد کاربران و میزان بهره‌برداری از خدمات سامانه را نشان می‌دهد. با توسعه و ارتقای امکانات سامانه در آینده، امکان دستیابی به اطلاعات ارزشمندتری درباره مدل مذکور فراهم خواهد شد، از جمله تعیین محل تقریبی پروژه‌هایی که ارتفاع ژئوئیدی آن‌ها از طریق مدل ژئوئید ۱۶ IRG2016 محاسبه می‌شود.

طراحی GNSS شبکه ایستگاه‌های دائمی در استان گیلان به منظور پایش و رفتار سنجی گسل‌های فعال

حمیدرضا نانکلی، کارشناس پژوهش و کنترل فنی سازمان نقشه‌برداری کشور
عبدالرضا سعادت، مدیرکل نقشه‌برداری زمینی و بنیادی سازمان نقشه‌برداری کشور
سیده صدیقه حسینی دشتیخوانی، رئیس اداره ژئودزی و ژئودینامیک سازمان نقشه‌برداری کشور
پرستو توکلی، کارشناس محاسبات و تهیه گزارش سازمان نقشه‌برداری کشور
علی محمد پوری ویشکائی، کارشناس ارسال تصحیحات سازمان نقشه‌برداری کشور

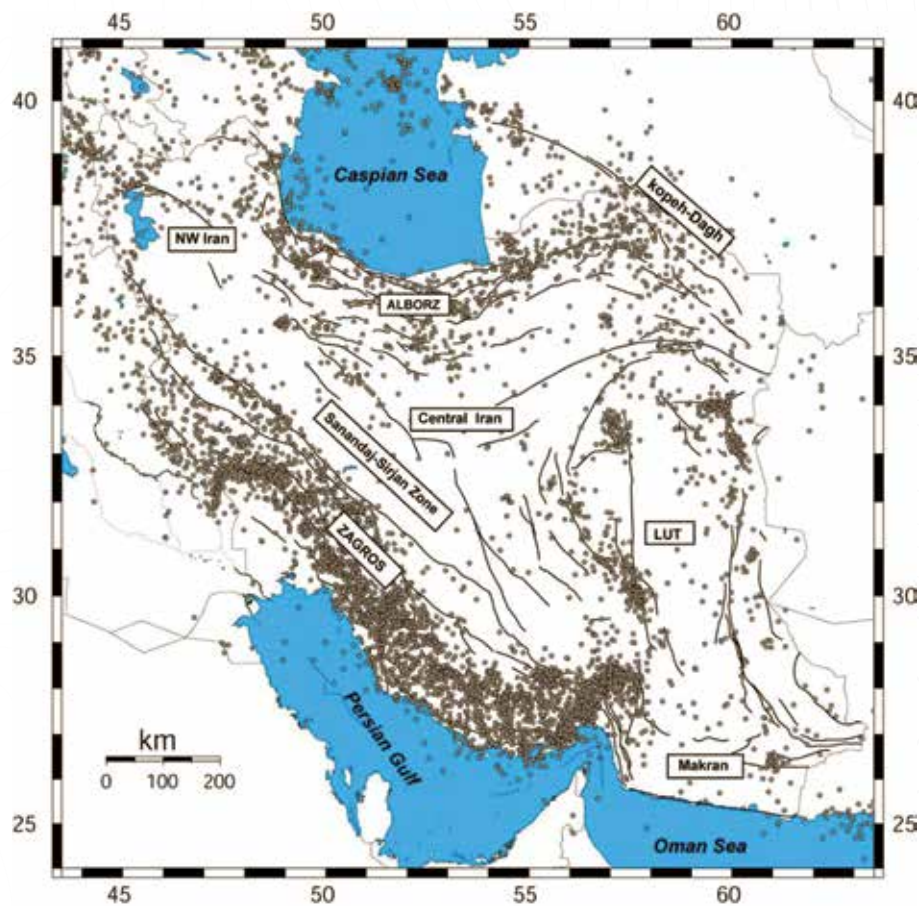
مقدمه

از نقطه نظر لرزه زمین ساختی، کشور ایران بخشی از کمربند زلزله‌خیز آلپ-همالیا را تشکیل می‌دهد. وجود گسل‌های فراوان فعال در منطقه ایران و همچنین زلزله‌های تاریخی و معاصر گویای پتانسیل بالای تغییر شکل در این منطقه می‌باشد. از بین ساختارهای تکتونیکی فعال در ایران رشته‌کوه‌های البرز که دربرگیرنده تعداد زیادی گسل فعال می‌باشد بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

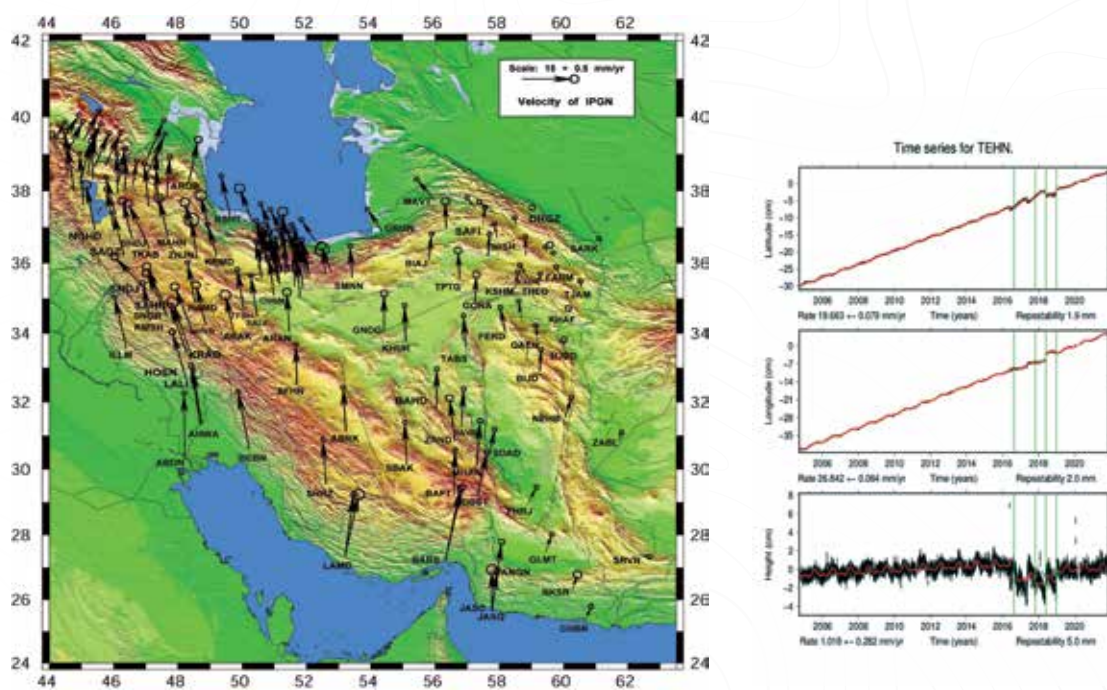
شبکه ایستگاه‌های دائمی ژئودینامیک GNSS در سال ۱۳۸۳ توسط سازمان نقشه‌برداری کشور به‌عنوان مرجع قانونی و حاکم بر فعالیت‌های نقشه‌برداری کشور ایجاد گردید و فاز اول آن، شامل ۱۰۶ ایستگاه در اوایل دی‌ماه ۱۳۸۵ به بهره‌برداری رسید. در این شبکه، گیرنده‌ها به‌صورت ۲۴ ساعته و با نرخ ۳۰ ثانیه به ردیابی و ثبت سیگنال‌های دریافتی از ماهواره‌های GNSS می‌پردازند. داده‌های جمع‌آوری شده در هر ایستگاه که شامل فایل‌های مشاهداتی و ناوبری می‌باشد، در مرکز اصلی (تهران) پردازش میشوند و در چارچوب مرجع کشوری و ITRF۲۰۲۰ نمایش داده می‌شوند. که با توجه به کاربردهای مرتبط استفاده می‌گردند. نتایج ثانویه به‌صورت سری‌های زمانی-میدان سرعت و نرخ استرین ارائه می‌گردد.

کشور ایران در بخشی از جهان با خطر لرزه‌ای بالا واقع شده است. پوسته زمین در این منطقه به علت قرار گرفتن بین صفحه اوراسیا در شمال و صفحه عربستان در جنوب، دچار دگرگونی و تغییر شکل بوده که نرخ متوسط کوتاه‌شدگی آن در حدود ۲۲ میلی‌متر در سال برآورد می‌گردد (شکل ۱). حرکات پوسته زمین در این منطقه، موجب رخ دادن زمین‌لرزه‌های ویرانگر بسیاری در گذشته شده و با توجه به تداوم این حرکات انتظار وقوع چنین این سرزمین پهناور و خسارات جانی و مالی ناشی از آن، متخصصین و مسئولین امر را بر آن داشت تا با ایجاد شبکه‌های ژئودینامیکی مطالعات جامعی را جهت درک و شناخت بهتر از حرکات پوسته زمین و تغییر شکل‌های تکتونیکی در ایران انجام دهند و نتایج آن را به اطلاع مسئولین کشور برسانند.





شکل ۱: پراکنده‌گی زمین‌لرزه‌های رخ داده در بازه ۱۹۰۰-۲۰۲۰



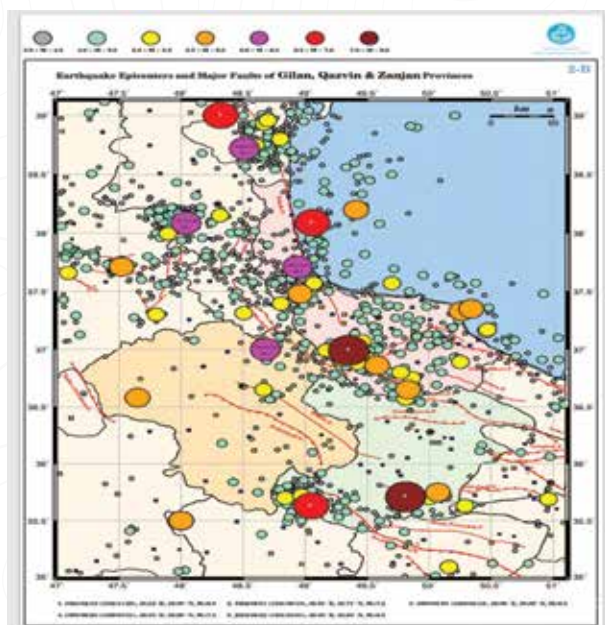
شکل ۲: سری زمانی و میدان سرعت نسبت به صفحه اوراسیا

■ نتایج

اقدامات انجام شده از اهداف مهم در ایجاد شبکه ژئودینامیک اندازه گیری و تعیین تغییرات پوسته زمین در طول زمان می باشد. در این راستا با اندازه گیری های دائم GNSS در ایستگاه های شبکه ژئودینامیک، پردازش و آنالیز نتایج می توانیم به شناخت کامل تری از وضعیت و حرکات پوسته زمین در کشور دست یابیم و بتوانیم حرکات آنها را مدل سازی کنیم. اندازه گیری های دقیق ژئودینامیک در تعیین حرکات صفحات تکتونیک قاره ای، بررسی حرکات گسل های فعال و پیش بینی روند جابجایی آنها، تعیین جابجایی و حرکت پوسته زمین برای کاهش خسارات احتمالی ناشی از زلزله و همچنین جهت مکان یابی بهینه سازه ها در پروژه های عظیم مهندسی عمران نظیر سدها، نیروگاه ها، پالایشگاه ها و تشخیص محل و میزان افت ذخایر حیاتی آب، نفت و گاز و منابع زیرزمینی کاربرد دارد. خوشبختانه در ۱۵ سال گذشته اطلاعات بسیار خوبی در زمینه نرخ تغییر شکل فلات ایران و لغزش گسل های اصلی در کشور توسط ایستگاه های دائمی سازمان نقشه برداری کشور به دست آمده است که زمینه لازم برای توسعه ایستگاه ها و پایش حرکات پوسته و پیش نشانگری زلزله را فراهم ساخته است. وقوع زمین لرزه تابع پارامترهای بسیاری از جمله عمق - رئولوژی پوسته و منتل - ویسکوزیته ضریب اصطکاک - نرخ همگرایی صفحات - تنش تکتونیکی و نرخ آن نرخ استرین (کرنش) و جهت محورهای اصلی آن می باشد. سرعت های نسبی، میدان تنش و لرزه خیزی کاملاً وابسته به فعالیت این گسل ها و خصوصیات دینامیکی آنها است. در حال حاضر با توسعه شبکه های دائمی GNSS استانی از طریق سازمان های مدیریت و برنامه ریزی استان ها گام مهمی در زمینه متراکم سازی شبکه ایستگاه های دائمی و سامانه ملی تعیین موقعیت آنی در کشور برداشته شده است.

■ لرزه خیزی استان گیلان

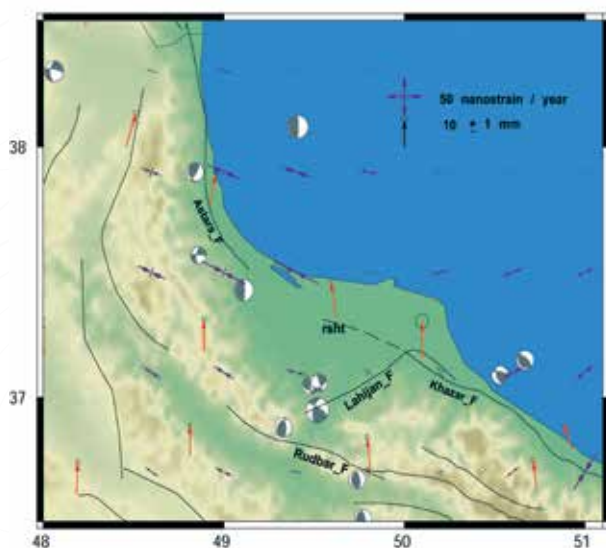
استان گیلان در پهنه فعال و با خطر نسبی بالای زمین لرزه قرار دارد. رخداد زمین لرزه های تاریخی و همچنین وجود گسل های جنبی در گستره گیلان همه نشان از لرزه خیزی بالای این استان و قرارگیری آن در زمره مناطق خطرناک از نظر مخاطرات لرزه ای است. از جمله زمین لرزه های مهم استان می توان به زمین لرزه تاریخی لاهیجان با بزرگی ۶.۵ ریشتر و زمین لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ رودبار - منجیل با بزرگی ۷.۴ اشاره کرد. بنابر گزارش مرکز لرزه نگاری کشوری طی دو دهه اخیر، حدود ۴۰۰ خردلرزه با بزرگی یک تا سه ریشتر و حدود ۱۵۰ زمین لرزه با بزرگی سه تا پنج ریشتر توسط دستگاه های لرزه نگاری در محدوده گیلان به ثبت رسیده که پرمخاطره بودن استان از نظر لرزه ای را نشان می دهد. گسل های مهم گیلان شامل گسل آستارا، گسل البرز (خزر)، گسل جیرنده، گسل رودبار، گسل منجیل و گسل لاهیجان می باشند در حال حاضر گسل البرز به شدت فعال بوده و بسیاری از زمین لرزه های گیلان و مازندران در نتیجه فعالیت همین گسل است. (شکل ۳)



شکل ۳- لرزه خیزی استان گیلان (مرکز لرزه نگاری کشوری)

■ مدل حرکت استان گیلان با استفاده از نتایج شبکه‌های GNSS موردی و دائمی سازمان نقشه‌برداری کشور

میدان سرعت و نرخ کرنش حاصل از مشاهدات ایستگاه‌های دائمی و موردی در شکل شماره ۴ به ترتیب نحوه تغییر شکل در سراسر محدوده استان را نشان می‌دهد. نمودار نرخ استرین نشان می‌دهد. تغییر شکل به صورت مایل و فشارش و روند کاهشی به سمت جنوب شرقی استان مشاهده می‌شود.



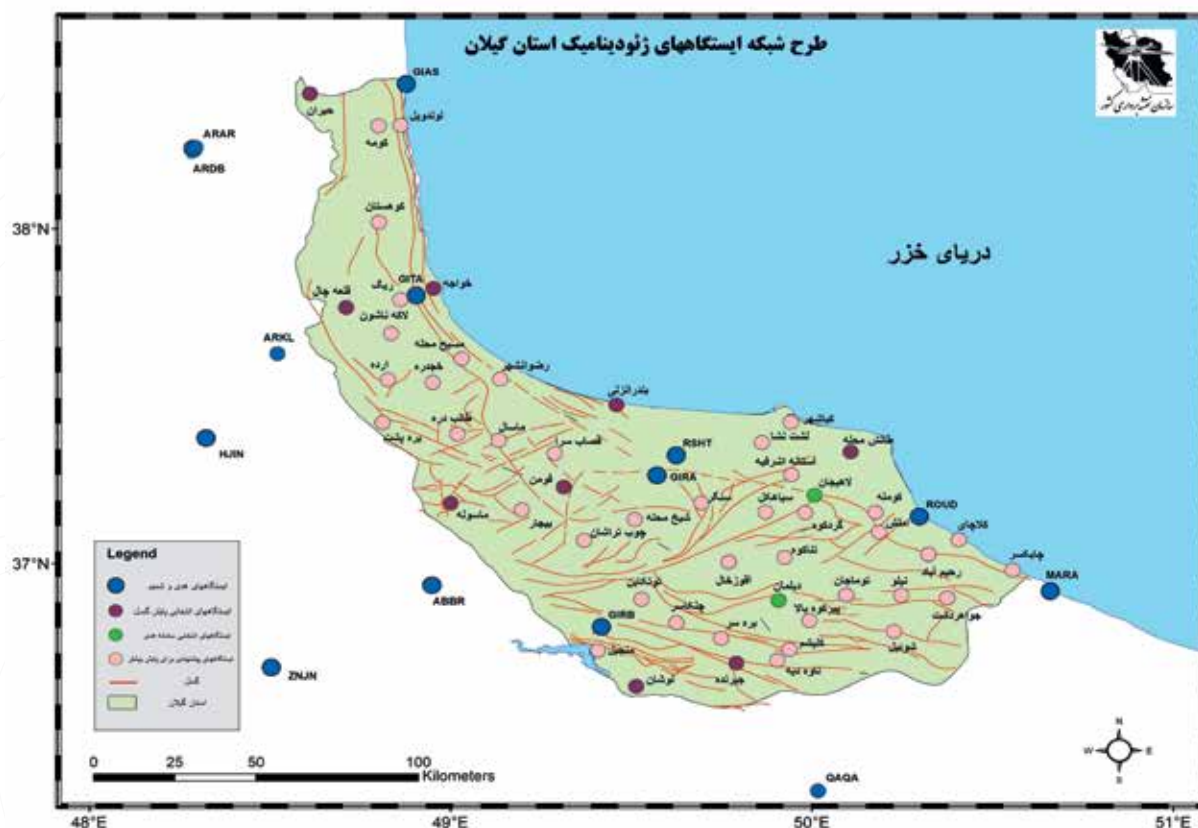
شکل ۴: میدان سرعت و نرخ (استرین) در پهنه استان گیلان

تعیین و بررسی تنسور نرخ استرین پوسته زمین، امکان توصیف فرآیندهای ژئودینامیکی مانند تجمع استرین گسل‌ها را که یک پارامتر مهم در ارزیابی خطر لرزه‌های محسوب می‌شود، فراهم می‌آورد. یکی از کاربردهای مهم شبکه ایستگاه‌های دائمی ژئودینامیک و GNSS، محاسبه نرخ استرین ژئودینامیکی و بررسی با استفاده از بردارهای سرعت می‌باشد نتایج به دست آمده از سری‌های زمانی و میدان سرعت و استرین شبکه ایستگاه‌های دائمی سازمان نقشه‌برداری کشور در منطقه حاکی از رژیم فشارشی غالب است که از سمت غرب به مرکز و شرق کاهش می‌یابد. تجزیه و تحلیل استرین و تغییرات آن در طول زمان در یک منطقه فعال زمین ساختی می‌تواند ابزار قدرتمندی در پیش‌بینی مکان و بزرگی مورد انتظار زلزله‌های آینده باشد. مناطق با نرخ بالای استرین را می‌توان به عنوان مناطقی تفسیر کرد که در آن پوسته

بالایی و پایینی در حال خزش هستند و به طور متناوب بارگذاری زمین ساختی در آن اثر دارد. مناطق با نرخ استرین بالا به طور متوسط تحت فعالیت لرزه‌ای بالا هستند، اما برای ارزیابی خطر چنین مناطقی باید دانست که آیا چرخه لرزه‌ای در مرحله اولیه است یا بعدی. نرخ کرنش بالا در مناطق خاص ممکن است ناشی از زلزله باشد، نه قبل از وقوع آن. بنابراین، همبستگی بین لرزه‌خیزی و تغییر شکل محلی و نرخ استرین از سرعت‌های بین لرزه‌ای GNSS ممکن است شاخصی از وقوع رویداد لرزه‌ای آینده باشد. بالعکس نرخ استرین کمتر نشان‌دهنده وجود گسل‌های قفل شده و رخ داده‌ای اصلی و با شدت بیشتر در آینده است.

■ افزایش تعداد ایستگاه‌های دائمی در سطح استان به منظور پایش گسل‌های فعال

طی دو سال اخیر طرح توسعه ایستگاه‌های دائمی توسط سازمان نقشه‌برداری کشور ارائه و با همکاری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان‌ها به مرحله عملیاتی رسید و در قالب آن ۱۰۰ دستگاه جدید GNSS خریداری گردید. در همین راستا سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان با خرید ۲۰ دستگاه گام مهمی در جهت توسعه شبکه ایستگاه‌های دائمی GNSS کشوری و همچنین پوشش سامانه ملی هدی برداشت. به منظور استفاده بهینه از ظرفیت ایستگاه‌های جدید با ۳ پارامتر پایش حرکات پوسته-پوشش سامانه ملی هدی-و پایش نشانگری زلزله جلسه‌ای با حضور نمایندگان سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان-پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله-سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور-موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران-مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی در محل سازمان نقشه‌برداری کشور تشکیل گردید. طراحی اولیه شبکه استان توسط سازمان نقشه‌برداری کشور انجام و با توجه به ساختار تکتونیک منطقه و پهنه‌های گسلی بحث و بررسی‌های لازم بر روی طرح اولیه صورت گرفت و دیدگاه‌های کارشناسی مطرح و جانمایی اولیه ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن تمامی پارامترهای موجود در طراحی با توافق همه اعضای شرکت‌کننده مشخص گردید. (شکل ۵)



شکل ۵: شبکه ایستگاه‌های ژئودینامیک استان گیلان

■ راهکار آینده: پایش برخط گسل‌ها

از اهداف مهم در توسعه شبکه ژئودینامیک کشوری و استانی اندازه‌گیری و تعیین تغییرات پوسته زمین در طول زمان می‌باشد. در این راستا با اندازه‌گیری‌های دائمی GNSS در ایستگاه‌های شبکه ژئودینامیک، پردازش و آنالیز نتایج می‌توانیم به شناخت کامل‌تری از وضعیت و حرکات پوسته زمین در کشور دست‌یابیم و بتوانیم حرکات آن‌ها را مدل‌سازی کنیم. بر مبنای وظایف محوله به سازمان نقشه‌برداری کشور در راستای برنامه ملی کاهش خطر حوادث و سوانح مصوب ۱۴۰۰/۹/۲۴ شورای عالی مدیریت بحران کشور افزایش تراکم شبکه‌های دائمی GNSS در اطراف گسل‌های فعال از جمله وظایف و مسئولیت‌های سازمان نقشه‌برداری کشور می‌باشد تا با بهره‌گیری از این سیستم به‌عنوان یکی از پیش‌نشانگرهای کوتاه‌مدت و سیستم هشدار زلزله احتمالاً بتوان در جهت جلوگیری از خسارات جانی و مالی بهره برد.

معرفی سرویس شناسایی هوشمند و سامانه‌ی پیامک

مریم ملکی، کارشناس آماده‌سازی اطلاعات مکانی سازمان نقشه‌برداری کشور

اطلاعات مکانی و محصولات سازمان نقشه‌برداری کشور

تصاویر هوایی از دیرباز موضوع مهم و مورد استفاده کارشناسان برای اثبات حقوق مالکیت مردم و همچنین کاربردهای مکانی اعم از تولید نقشه، بررسی آثار سیل، فرونشست، زلزله، ترافیک و غیره بر روی عوارض شهری بوده است. تصاویر ذکر شده، به دو دسته‌ی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده و عکس‌های هوایی نیز خود شامل عکس آنالوگ و تصویر رقومی می‌باشد. عکس هوایی آنالوگ توسط دوربین‌هایی مجهز سوار بر هواپیماهای مخصوص و تصاویر رقومی، با استفاده از دوربین‌های دیجیتال و یا پهپادهای نقشه‌برداری تهیه می‌گردند. به‌طور ویژه در ایران، وظیفه عکس‌برداری از عوارض گوناگون شهری و کشوری، به عهده‌ی سازمان نقشه‌برداری کشور می‌باشد. اولین پرواز جهت عکس‌برداری، سال ۱۳۳۵ با دوربین آنالوگ RMK-A شروع و به‌مرور با ورود دیگر دوربین‌ها، تعداد پروازها بالا رفته و در سال ۱۳۸۹ آخرین عکس‌برداری آنالوگ با دوربین RMK-TOP15 انجام شد. در اواخر دهه‌ی ۸۰، دوربین‌های دیجیتال (UltraCam D, XP) وارد ایران شده و از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۷، تصاویر رقومی رنگی در سطح کشور تصویربرداری شد.



دوربین آنالوگ RMK-A



دوربین آنالوگ RMK-TOP15



دوربین دیجیتال ULTRACAM-D



نمونه‌ای از تصاویر رقومی



نمونه‌ای از عکس‌های آنالوگ



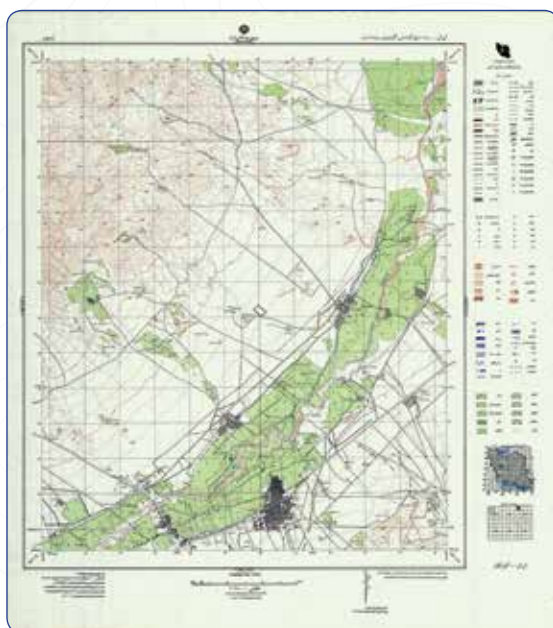
نمونه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای IKONOS



نمونه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای IRS

روش‌های اصلی تولید نقشه شامل نقشه‌برداری زمینی، نقشه‌برداری فتوگرامتری (با استفاده از عکس‌های هوایی)، سنجش‌ازدور (استفاده از تصاویر ماهواره‌ای) و همچنین رقومی سازی نقشه‌های قدیمی، مدل‌های سه‌بعدی زمین (DEM و DSM) و نقشه‌های تلفیقی می‌باشد.

از دیگر محصولات سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه‌های وکتور (برداری) بوده که عوارض جهان واقعی به‌وسیله عناصر هندسی مانند نقطه، خط و سطح، نمایش داده می‌شوند. عموماً، داده‌های مکانی دوبعدی یا سه‌بعدی در قالب فرمت‌های برداری چون DWG، Dgn و Shapefile ذخیره می‌گردند.



نمونه‌ای از نقشه‌های پوششی ۱:۲۵۰۰۰ کل کشور، مناطق خراسان و نیمروز

■ شناسایی هوشمند

یکی از روش‌های نوین برای کاربران، شناسایی محصولات سازمان توسط خود درخواست‌کننده می‌باشد. بدین منظور، افزونه‌ای در سامانه eshop.ncc.gov.ir بانام «شناسایی و ثبت هوشمند» ایجاد شده است.

از قابلیت‌های این سرویس می‌توان به دسترسی کامل و راحت به اندکس محصولات باکیفیت و دقت بالا، امکان ترسیم محدوده برای منطقه‌ی درخواستی و تعیین مقیاس دلخواه نام برد. همچنین کاربران می‌توانند محصولات خود را به‌طور تفکیک‌شده در دسته‌بندی‌های گوناگون انتخاب کرده و موقعیت مکانی موردنظر را با روش‌های متفاوت مانند بارگذاری فایل، ترسیم نقشه‌ی محدوده، وارد نمودن مختصات به شیوه‌های متفاوت همچون سیستم تصویر (x,y) UTM و یا سیستم مختصات جغرافیایی (lat,long) شناسایی نمایند. جهت تسهیل امر شناسایی، فیلترهایی برای انتخاب سال و مقیاس در نظر گرفته شده است. این فیلترها در منوی سمت چپ سامانه و همچنین در کنار نقشه‌ی انتخاب‌شده قرار گرفته تا با انتخاب هر گزینه، دستیابی به محصول صورت پذیرد.

این راستا، کاربران می‌توانند با مراجعه به سایت <https://eshop.ncc.gov.ir> در منوی «سفارش محصولات» زیرمنوی «شناسایی و ثبت هوشمند» درخواست خود را ثبت نموده و در صورت وجود محصول موردنظر، سفارش خود را ثبت نهایی کنند.



لازم به‌طور است تاکنون تعداد ۱۰۳۳۵۷۰ عکس هوایی آنالوگ، ۶۶۶۷۲۴ تصویر رقومی، ۱۱۱۹۹۶۷ نقشه و ۳۲۰۵۳ ایستگاه مبنایی در سطح کشور توسط سازمان تهیه گردیده است. در کنار داده‌های فوق، اندکس آن‌ها نیز جهت شناسایی محصولات موردنیاز درخواست‌کنندگان در اختیار کارشناسان سازمان قرار گرفته و نحوه‌ی پاسخگویی به مخاطبین را از شیوه‌ی حضوری، به شکل مجازی به‌روش‌های گوناگونی برحسب نوع دسترسی افراد به سرویس‌ها و سامانه‌ها تغییر داده است. ازجمله روش‌های شناسایی محصولات، به روش قدیمی در سایت [eshop](http://eshop.ncc.gov.ir)، سامانه‌ی پیامکی، سامانه رسا، شناسایی هوشمند و همچنین شناسایی داده‌های مکانی دانشجویان به‌صورت مستقل، می‌باشد. در این میان، دو سامانه‌ی مهم و مطرح که از دستاوردهای جدید و به‌روز سازمان نقشه‌برداری کشور محسوب می‌گردد، «سامانه‌ی پیامکی» و «شناسایی هوشمند» هستند که در ادامه به شرح این دو سرویس خواهیم پرداخت.

■ سامانه پیامکی

در راستای کاهش زمان شناسایی محصولات سازمان، سامانه‌ای تحت عنوان «سامانه پیامکی» با سرشماره «۱۰۰۰۶۳۱۸» جهت استعلام دقیق محصولات، ایجاد شده و به‌روزرسانی می‌گردد.

به‌منظور استفاده از این سامانه کافی است مختصات منطقه مورد درخواست را در سیستم تصویر (x,y) UTM و یا سیستم مختصات جغرافیایی (lat,long) به سرشماره ۱۰۰۰۶۳۱۸ ارسال نموده و پس از دریافت پیامک پاسخ، بر روی لینک ارسالی کلیک نمایید. لازم به ذکر است در شرایطی که سیستم مختصات متریک استفاده می‌نمایید، حتماً عدد زون موردنظر را به شکل زیر تایپ نمایید. x,y,zone

به‌طور مثال: ۴۰۶۲۳۶۱،۲۴۳۳۲۷،۳۹

که ۲۴۳۳۲۷، عدد ۶ رقمی مؤلفه‌ی X و ۴۰۶۲۳۶۱، عدد ۷ رقمی مؤلفه‌ی Y و عدد ۳۹، مؤلفه‌ی زون می‌باشد.

پس از باز کردن لینک ارسالی، تمامی اطلاعات محصولات موجود در محدوده‌ی موردنظر اعم از عکس، نقشه، تصویر رقومی و غیره، به‌صورت فایل pdf در اختیار کاربر قرار گرفته و بعد از انتخاب محصول موردنیاز، می‌توان آن را از طریق سایت <https://eshop.ncc.gov.ir> سفارش داد.



نمونه محصولات عکسی شناسایی شده برای محدوده‌ای مشخص



نمونه محصولات نقشه‌ای شناسایی شده برای محدوده‌ای مشخص

نتیجه‌گیری

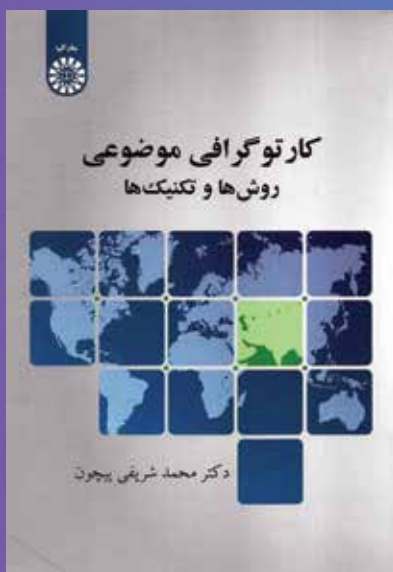
پیشنهادات خود را به سازمان نقشه‌برداری، مدیریت خدمات فنی، اداره فروش محصولات از طریق ایمیل به آدرس moshtarian@ncc.gov.ir ارسال نمایند. امید است با کمک کاربران و ارائه‌ی نظرات دقیق آن‌ها، همچنین به‌روزرسانی اطلاعات کمی و کیفی توسط کارشناسان سازمان نقشه‌برداری کشور، به‌طور پیوسته، سرویس‌های مکانی پیشین، به‌روز شده و البته سرویس‌های کاربردی جدیدی ارائه گردد.

با پیشرفت علم و تکنولوژی، روزانه شاهد دستیابی به روش‌هایی نوین جهت رفاه زندگی، در زمینه‌های گوناگون هستیم. سازمان نقشه‌برداری کشور نیز با در اختیار داشتن کارشناسان خود، پیوسته درصدد ایجاد سرویس‌های مکانی متعدد برای کاربران می‌باشد. از این منظر، در راستای ارتقای سرویس‌ها و همچنین به‌روزرسانی داده‌های مکانی آن‌ها، لازم است کاربران گرامی ضمن استفاده از سامانه‌های مذکور، نظرات و

معرفی کتاب

راحله علیزاده

سرپرست معاونت مدیر نقشه‌نگاری و اطلس‌های ملی سازمان نقشه‌برداری کشور



نام کتاب: کار توگرافی موضوعی روش‌ها و تکنیک‌ها

تألیف: دکتر محمد شریفی پیچون

ناشر: انتشارات سمت

نوبت چاپ: اول

مروری بر کتاب

در این کتاب فصل اول به‌منظور آشنایی با نقشه به تعریف طبقه‌بندی و کاربرد نقشه اختصاص یافته در فصل دوم به کار توگرافی و اصول آن توجه شده است. در فصل‌های سوم، چهارم و پنجم به ترتیب به مباحث مربوط به مقیاس نقشه، علائم قراردادی و طراحی و اطلاعات حاشیه‌ای نقشه پرداخته شده و در فصل ششم روش‌های تهیه انواع نقشه‌های موضوعی بیان شده است. در فصل هفتم انواع نمودارهای مورد استفاده در مطالعات جغرافیایی داده‌شده و فصل هشتم به تهیه انواع نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel و ترسیم انواع نقشه‌های موضوعی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS اختصاص یافته است.

تنوع پدیده‌ها و موضوع‌های مورد مطالعه به‌ویژه در علم جغرافیا و تعدد گرایش‌های جغرافیا سبب شده است که نمایش همه پدیده‌ها روی نقشه هم‌زمان امکان‌پذیر نباشد. به همین منظور نقشه‌های موضوعی متعددی در خصوص مسائل طبیعی و انسانی مدنظر قرار گرفته، خلاصه آنکه نقشه، زبان مشترک علم جغرافیا با سایر علوم و وسیله ارتباط با دیگران است.

در بسیاری از پژوهش‌ها، داده‌های بسیار زیادی وجود دارد که تهیه نقشه در ارتباط با آن‌ها امکان‌پذیر نیست، به‌ویژه آنکه تفسیر داده‌ها در قالب نمودار بیشتر قابل فهم است و کار تجزیه و تحلیل داده‌ها با سهولت بیشتری انجام می‌شود.

همراه با جامعه مهندسان نقشه‌بردار ایران

صبح راموز، کارشناس ژئوئید سازمان نقشه‌برداری کشور

برداشت‌ها و در تحکیم زیربنای اجتماعی که متشکل از همه این پیوند هاست، نقشی ایفا نماید. در زیر تلاش‌های صورت گرفته در بستر جامعه صنفی مهندسان نقشه‌بردار ایران ارائه شده است:

چند سالی است که به ابتکار جامعه، روز ۱۳ شهریورماه، به مناسبت روز گرامیداشت ابوریحان بیرونی، دانشمند پرآوازه ایرانی، گردهم‌آیی باهدف گرامیداشت مقام مهندس نقشه‌بردار، با حضور جمعی از فعالان، پیشکسوتان و مسئولان رشته برگزار می‌گردد. ابوریحان بیرونی، مانند دیگر دانشمندان بزرگ دوره شکوفایی تمدن اسلامی، جامع‌العلوم بوده و در کنار دستاوردهای متعدّدش در حوزه‌های مختلف علمی، فکری و تاریخی، تلاش‌هایی در زمینه اندازه‌گیری قطر و ابعاد زمین داشته است. تخصصی که امروزه در قالب علم ژئودزی تعریف‌شده و پایه و اساس رشته مهندسی نقشه‌برداری می‌باشد. وی، این کار را در آن برهه زمانی با کم‌ترین امکانات ممکن، ولی با دقتی بسیار خوب انجام داد و تا زمان بعد از رنسانس در اروپا و اختراع دستگاه‌های اندازه‌گیری نوین، دقت محاسبات ابوریحان بیرونی منحصر به فرد بود.

سپیدی این صفحه، قراری است برای پیوند ما و حرفه‌ای که جایگاهمان را در عرصه جامعه تعیین می‌کند. هرچه آن جایگاه در این عرصه مطلوب‌تر، بهره ما از حرفه خویش بیش‌تر. پس، فرصت را قدر باید دانست و با سعی در تعمیق این پیوند، در شکل‌گیری هویت حرفه‌ای خود سهیم می‌بایست بود. مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی به‌عنوان سطری از کتاب دستاورد و مکاشفات بشر و بخشی از توان علمی کشور، خطی از تاروپود بافته امروز و فردای این سرزمین است و ریسمانی در یکپارچگی این دست‌بافت تمدنی. زیر ضرب ناملایمات روزگار این قالیچه پرنقش‌ونگار اگر رفته است، چه غم! که بیداد و ستم، مبهوت پایداری این مرزوبوم خواهد ماند و توهّم ازهم‌گسیختگی پیکره زیبای وطن دست‌نیافتنی.

در هر سطح و موقعیتی، رسالتی که عقل و اخلاق بر عهده نهاده، انجام هرآن چه که از دست برآید، برای بهبود شرایط و کاهش دشواری‌هاست.

چه نیک اگر هرکداممان، به‌عنوان عضوی از این حرفه، و به وسع خویش، قدمی برای تعمیق این پیوند



در کلام سخنران‌ها، در کنار مشکلات موجود در عرصه سازمانی، اجرایی و آموزشی، به تلاش‌هایی که در گذشته برای ارتقای صنف انجام شده است، اشاره گردید. همچنین، به ظرفیت نهفته در رشته مهندسی نقشه‌برداری اشاره شد که فراتر و جامع‌تر از تصور عمومی و رایج بوده و فعال‌سازی آن در جامعه، همت متخصصان و دانشگاهیان را می‌خواهد. در همین راستا، راه‌های توسعه فعالیت‌ها و خدمات مهندسی نقشه‌برداری در عرصه‌های مختلف بررسی شد. در پایان این بخش، توصیه دغدغه‌مندانه یکی از پیشکسوتان را فرا چشم خود می‌گذاریم: انتفاع پایدار و مطمئن افراد، در گرو اولویت یافتن نفع جمعی و صنفی است. پیشرفت و ارتقای جایگاه صنفی، حتماً به رفاه و ارتقای جایگاه فردی اعضا منجر خواهد شد. بنابراین، هوشمندانه‌ترین انتخاب، کمک در به سامان یافتن ساختارها و روندهای رشته به هر ترتیبی است. چه از طریق مطالبه از مسئولان و چه مشارکت در انتخاب شایسته‌گان برای تصدی سمت‌ها در تشکلهای غیردولتی.

سعی بر این بوده که از این مناسبت برای معرفی و یادآوری نقش و اهمیت فعالیت‌های مهندسان نقشه‌بردار در جامعه بهره‌برداری شود. امسال نیز به سیاق هرساله، این نشست با حضور فعالان، پیشکسوتان و مسئولان صنف در محل جامعه برگزار گردید. در این مراسم علاوه بر آقایان مهندس مجربی کرمانی، مهندس ایشاری و مهندس ضرغامی از پیشکسوتان جامعه و رشته، دکتر فخری، رئیس سازمان جغرافیایی، مهندس فلاح مدیرکل کاداستر سازمان ثبت اسناد و املاک کشور، دکتر حسنلو رئیس دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران، دکتر کریمی رئیس دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه خواجه نصیر، دکتر صارمی معاون شهرسازی و معماری شهرداری تهران، دکتر علی‌محمدی رئیس سازمان نظام‌مهندسی کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست کشور، هرکدام به فراخور فعالیت، تجربه و مسئولیت خود به ایراد سخنرانی پرداختند.



سمینارها و گردهمایی‌ها

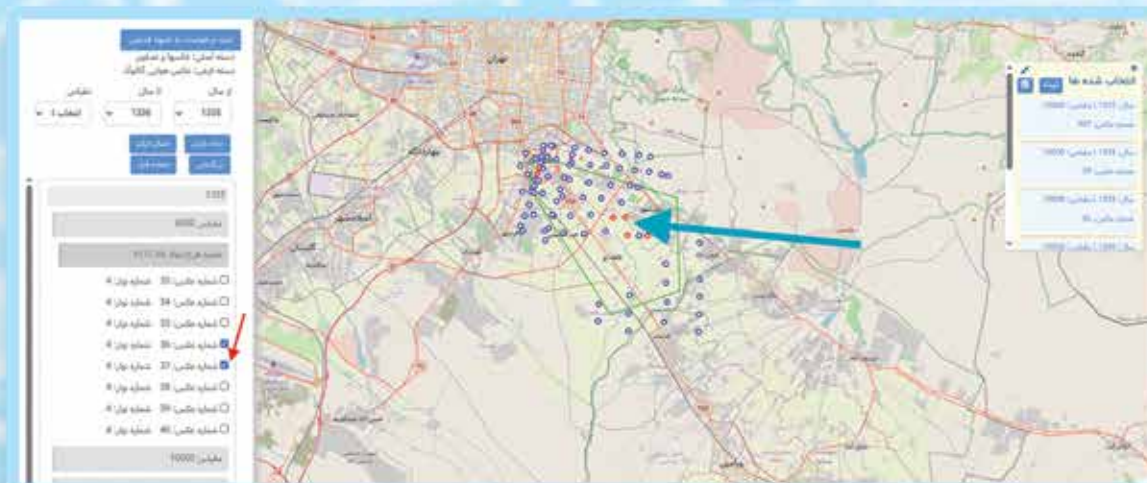
مریم صادقی

کارشناس اداره همکاری‌های بین‌الملل و صدور خدمات مهندسی سازمان نقشه‌برداری کشور

Title	Date	Venue	Topic	Deadline	Website
PhilGEOS 2025 Philippine Geomatics Symposium 2025	24-25 November 2025	On-Site, Quezon City Philippines	Enhancing Human Quality of Life through Geospatial Technologies	August 24, 2025	https://philgeos.dge.upd.edu.ph/
Pacific Islands GIS and Remote Sensing User Conference	24 November 2025	Suva Fiji	Building and Enhancing Geospatial Networks in the Pacific Islands".	August 31, 2025	https://pgrsc.org/
21st International Conference on Geoinformation and Cartography (21stICGC)	18-20 September 2025	Zadar, Croatia	to Contribute to the Development of Geoinformatics, Cartography, Geodesy and Geography Fields	September 01, 2025	https://www.kartografija.hr/
GEOBENCH workshop	20-21 November 2025	Wroclaw, Poland	Evaluation and BENCHmarking of Sensors, Systems and GEOspatial Data in Photogrammetry and Remote Sensing	September 05, 2025	https://geobench.fbk.eu/home
The First Cartography and Sustainable Development Workshop	26-28 January 2026	Oranjestad, Aruba	Sustainable Development and Cartography	September 12, 2025	https://carto-sd.icaci.org/the-first-cartography-and-sustainable-development-workshop-in-aruba/
ISPRS WG V/6 Workshop	23-25 September 2025	Tashkent, Uzbekistan	Applied Photogrammetry and Remote Sensing for Environmental and Industry	September 23-25, 2025	https://www.phedcs.com/phedcs-2025-tashkent/
Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE 2025)	4-7 May 2025	Gammarth- Tunis, Tunisia	Urban Remote Sensing	December 2, 2024	https://2025.ieee-jurse.org/
International Conference on Advanced Remote Sensing (ICARS 2025)	26-28 March 2025	Barcelona, Spain	Advanced Remote Sensing, Geodesy, Photogrammetry	November 24, 2024	https://sciforum.net/event/ICARS2025

سامانه شناسایی هوشمند

www.eshop.ncc.gov.ir



فیلم آموزشی سامانه شناسایی هوشمند



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: ۶۶۰۷۱۰۰۱-۷ دورنگار: ۶۶۰۷۱۰۰۰