

مقایسه و رتبه‌بندی آپارتمان‌ها با استفاده از تحلیل‌های مکانی و BIM

سمیه محمودی^۱، محمدرضا جلوخانی نیارکی^{۲*}، مجید کیاورزمقدم^۳، نجمه نیسانی سامانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

Somaye.Mahmoudi@ut.ac.ir

^۲ دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

mrjelokhani@ut.ac.ir

^۳ دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

Majidkiavarz@ut.ac.ir

^۴ دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

Nneysani@ut.ac.ir

(دریافت: تیر ۱۴۰۴، تصویب: مهر ۱۴۰۴)

چکیده

با رشد سریع شهرنشینی و افزایش تقاضا برای مسکن، انتخاب آپارتمان مناسب به چالشی پیچیده برای متقاضیان تبدیل شده است. این انتخاب نیازمند در نظر گرفتن مجموعه‌ای از پارامترهای فیزیکی، محیطی و مکانی است که می‌توانند بر کیفیت زندگی و رضایتمندی افراد تأثیرگذار باشند. هدف این پژوهش ارائه چارچوبی یکپارچه برای مقایسه و رتبه‌بندی آپارتمان‌ها با استفاده از داده‌های BIM و تحلیل‌های GIS دو و سه‌بعدی است. در این مطالعه، داده‌های فنی و عملکردی واحدهای آپارتمانی از BIM استخراج و پارامترهای محیطی، مکانی و رفاهی از طریق تحلیل GIS شدند. نمونه مورد بررسی شامل پنج واحد آپارتمانی با موقعیت‌های متفاوت شهری بود. نتایج نشان می‌دهد چارچوب پیشنهادی امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف هر واحد، مقایسه عملیاتی میان آپارتمان‌ها و انتخاب آگاهانه براساس نیازها و اولویت‌های افراد را فراهم می‌کند. همچنین، محدودیت‌های مرتبط با حجم نمونه و داده‌ها مشخص شده و مسیر تحقیقات آینده برای گسترش چارچوب و بهبود کمی تحلیل‌ها ارائه شده است.

واژگان کلیدی: GIS، BIM، ارزیابی املاک، تحلیل مکانی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد سریع جمعیت شهری و افزایش مهاجرت به شهرها، منجر به گسترش افقی و عمودی بافت شهری و در نتیجه، ساخت‌وساز گسترده ساختمان‌ها و آپارتمان‌هایی با ویژگی‌های متنوع شده است [۱، ۲]. هم‌زمان با این روند، تقاضا برای خرید و اجاره واحدهای مسکونی و تجاری نیز به‌طور چشمگیری افزایش یافته است [۳، ۴]. در چنین شرایطی، افراد زیادی روزانه با چالش انتخاب آپارتمانی مواجه می‌شوند که بیشترین تطابق را با نیازهایشان داشته باشد. این تصمیم‌گیری در میان گزینه‌های متنوع موجود، مستلزم محاسبه و ارزیابی دقیق مجموعه‌ای از پارامترهاست [۵، ۷].

ارزیابی و مقایسه املاک، تحت تأثیر مجموعه‌ای گسترده از عوامل قرار دارد؛ از جمله پارامترهای حقوقی، هندسی، ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری، شرایط محیطی، مکانی و نیز شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی [۸-۱۰، ۳۳-۳۵]. دستیابی به داده‌های دقیق و به‌روز درباره این عوامل، نیازمند بهره‌گیری از فناوری‌ها و ابزارهای نوین تحلیلی است. در این میان، سامانه اطلاعات مکانی^۱ (GIS) با برخورداری از توانمندی‌های ویژه در پردازش و تحلیل داده‌های مکانی، بستری ارزشمند برای استخراج اطلاعات محیطی و مکانی فراهم می‌کند. در کنار آن، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان^۲ (BIM) به‌عنوان منبع مکمل، داده‌های دقیق فیزیکی، هندسی و معنایی اجزای ساختمان را ارائه می‌دهد که می‌تواند برای تحلیل و ارزیابی املاک بسیار سودمند باشد [۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۷].

ادغام دو فناوری BIM و GIS در سال‌های اخیر به‌عنوان رویکردی نوین در ارزیابی و مدیریت املاک و مستغلات مطرح شده است. بسیاری از شاخص‌های کلیدی در این حوزه تنها از طریق ترکیب این دو فناوری قابل محاسبه هستند. برای مثال، ویژگی‌های محیطی و مکانی ملک مانند پوشش گیاهی، کیفیت هوا، چشم‌انداز، توپوگرافی و شیب زمین عموماً با استفاده از GIS استخراج می‌شوند [۲، ۳۶-۴۰]. در مقابل، تحلیل پارامترهایی همچون میزان نویز محیطی یا شدت تابش نور خورشید نیازمند به‌کارگیری هم‌زمان داده‌های ساختمانی BIM و قابلیت‌های تحلیلی سه‌بعدی GIS است [۹، ۱۰]. در همین راستا، Helbich (۲۰۱۳) با بهره‌گیری از

داده‌های اسکن لیزری هوابرد، مدلی برای برآورد تابش خورشید ارائه کرد [۴۱] و Zhang (۲۰۱۹) بر ضرورت استفاده از پارامترهای سه‌بعدی حاصل از ادغام این دو فناوری در فرآیند ارزش‌گذاری املاک تأکید نمود [۲۶].

فناوری BIM به‌عنوان منبعی غنی از داده‌های ساختمانی، اطلاعات دقیقی در مورد چرخه عمر بنا و اجزای فنی آن در اختیار قرار می‌دهد. این داده‌ها شامل مشخصاتی همچون سن ساختمان، نوع مصالح مصرفی، ابعاد و موقعیت اجزا، تعداد فضاها، سیستم‌های تأسیساتی و سایر ویژگی‌های عملکردی است [۱۲، ۱۵-۱۸، ۳۰]. چنین داده‌هایی علاوه بر توصیف ویژگی‌های فیزیکی ساختمان، برای تحلیل شاخص‌هایی چون بهره‌وری انرژی، برآورد هزینه، تهویه و انتشار کربن نیز کاربرد دارند. از سوی دیگر، GIS ابزاری توانمند برای مدیریت و تحلیل داده‌های محیطی به‌شمار می‌رود و می‌تواند عواملی نظیر آلودگی هوا، ترافیک، دسترسی به خدمات، چشم‌انداز و نور روز را به‌صورت کمی و کیفی مدل‌سازی کند [۳۱]. بنابراین، ترکیب این دو فناوری امکان تحلیل هم‌زمان عوامل ساختمانی و محیطی را فراهم می‌سازد.

شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که ادغام BIM و GIS می‌تواند دقت و جامعیت ارزیابی املاک را به‌طور چشمگیری ارتقا دهد. به‌عنوان نمونه، Liu و Yu (۲۰۱۶) با افزودن داده‌های محیطی استخراج‌شده از BIM به روش کلاسیک هزینه، مدلی تلفیقی توسعه دادند که دقت ارزیابی‌ها را افزایش داد [۱۹]. همچنین، El Yamani و همکاران (۲۰۱۹) و (۲۰۲۳) بر نقش داده‌های سه‌بعدی BIM در بهبود مدل‌های هدونیک و شبیه‌سازی شاخص‌هایی نظیر نور روز تأکید کردند [۱، ۲۱]. افزون بر این، Arcuri و همکاران (۲۰۲۱) رویکردی نیمه‌خودکار برای ترکیب BIM و GIS معرفی کردند [۱۵]. در حالی که Couto و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که بهره‌گیری از داده‌های BIM می‌تواند دقت تحلیل‌های مکانی را افزایش دهد [۲۲]. دیگر مطالعات نیز کاربردهای گسترده این ادغام را در زمینه‌هایی مانند نوسازی شهری، مالیات بر املاک و تخصیص ارزش به واحدهای مسکونی برجسته کرده‌اند [۱۴، ۱۸].

با افزایش پیچیدگی محیط‌های شهری و رشد ساختمان‌های مرتفع، توجه به بُعد سوم در تحلیل‌های ارزش‌گذاری املاک بیش از گذشته اهمیت یافته است [۹، ۱۲، ۲۱]. فناوری‌های سه‌بعدی مانند BIM، کاداستر

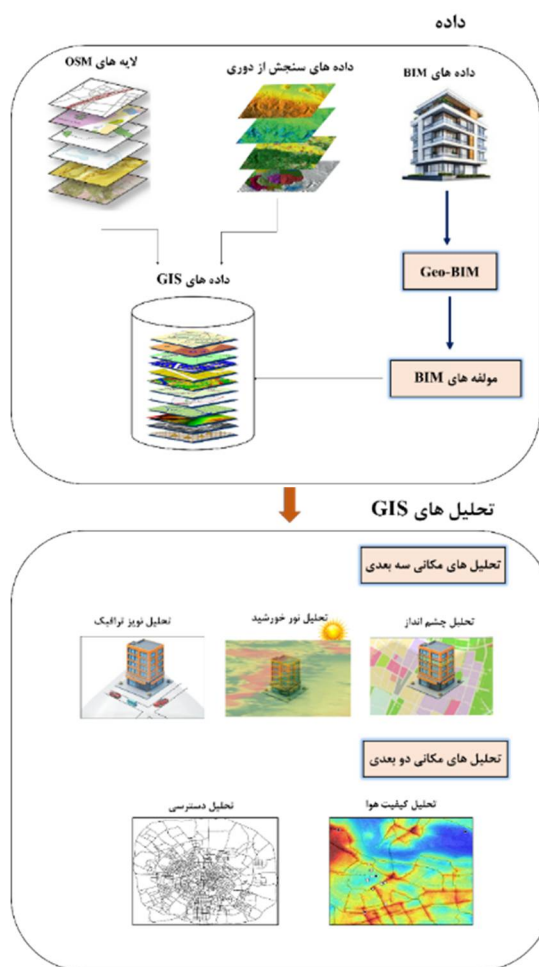
سه بعدی و مدل اطلاعات شهر، در ترکیب با GIS سه بعدی، امکان استخراج و محاسبه دقیق شاخص‌هایی نظیر چشم‌انداز، تابش خورشید و کیفیت زیست محیطی را فراهم می‌آورند [۱۰، ۱۲، ۱۶، ۱۸]. از این منظر، هم‌افزایی BIM و GIS نه تنها موجب ارتقای دقت و جامعیت تحلیل‌ها می‌شود، بلکه می‌تواند زمینه‌ساز توسعه چارچوب‌های نوین برای انتخاب، مقایسه و ارزش‌گذاری املاک در مقیاس‌های مختلف شهری باشد.

هدف اصلی مطالعه حاضر ارائه یک چارچوب عملیاتی و یکپارچه برای ارزیابی و انتخاب آپارتمان بهینه با استفاده از داده‌های BIM و تحلیل‌های مکانی GIS دوبعدی و سه بعدی است. این چارچوب، امکان محاسبه و ترکیب ۲۲ پارامتر فیزیکی، محیطی، مکانی و رفاهی شامل سن ساختمان، مساحت هر واحد آپارتمانی، پارکینگ، سیستم امنیتی، سیستم سرمایش و گرمایش، تراس و بالکن، تعداد اتاق‌ها، بهره‌وری انرژی، وضعیت نورگیری، باز بودن چشم‌انداز، چشم‌انداز طبیعی، نویز ناشی از ترافیک، دسترسی به حمل و نقل عمومی، دسترسی به تسهیلات تفریحی، دسترسی به مراکز آموزشی، دسترسی به خدمات درمانی و کیفیت هوا (شامل پنج شاخص مختلف) را فراهم می‌کند. در نهایت، این رویکرد به متقاضیان امکان می‌دهد تا انتخابی آگاهانه و مطابق با نیازها و اولویت‌های شخصی خود داشته باشند و چارچوب ارائه‌شده مسیر روشنی برای توسعه و تعمیم در مطالعات آینده فراهم می‌آورد. ساختار مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: بخش ۲ روش پژوهش، بخش ۳ پیاده‌سازی، بخش ۴ نتایج و بخش ۵ نتیجه‌گیری.

۲- روش پژوهش

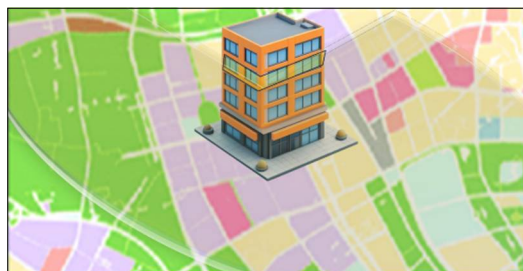
چارچوب این پژوهش بر دو مؤلفه اصلی یعنی داده‌ها و تحلیل‌های مکانی GIS استوار است و با تمرکز هم‌زمان بر پارامترهای دوبعدی و سه بعدی آپارتمان‌ها، امکان ارزیابی دقیق‌تر و انتخاب بهینه واحدهای مسکونی را فراهم می‌آورد (شکل ۱). در بخش داده‌ها، منابع اطلاعاتی متنوع شامل لایه‌های OSM^۱، داده‌های سنجش از دور و اطلاعات استخراج‌شده از BIM گردآوری، تبدیل و پیش‌پردازش می‌شوند. بخشی از شاخص‌های کلیدی همچون سن

ساختمان، مساحت هر واحد، وجود پارکینگ، سیستم امنیتی، تراس و بالکن، تعداد اتاق‌ها و شاخص بهره‌وری انرژی به‌طور مستقیم از مؤلفه‌های BIM به دست می‌آیند. در مقابل، پارامترهای پیچیده‌تر که بیشتر ماهیت محیطی و مکانی دارند، مانند وضعیت نورگیری، کیفیت و باز بودن چشم‌انداز، شدت نویز ناشی از ترافیک، و همچنین دسترسی به حمل‌ونقل عمومی، مراکز آموزشی، خدمات درمانی، امکانات تفریحی، مراکز خرید و کیفیت هوا، تنها از طریق تحلیل‌های دوبعدی و سه بعدی GIS قابل محاسبه هستند.



شکل ۱ - چارچوب مفهومی پیشنهادی

یکی از پارامترهای محاسبه‌شده با استفاده از تکنیک‌های سه بعدی GIS، چشم‌انداز ملک می‌باشد. چشم‌انداز مطلوب، به‌عنوان یکی از ویژگی‌های کلیدی، تأثیر بسزایی در ارزش‌گذاری املاک دارد. در حال حاضر، متقاضیان خرید یا اجاره املاک توجه ویژه‌ای به جنبه‌های محیطی از جمله جذابیت بصری، کیفیت دید و مناظر زیبا دارند که این امر اهمیت تحلیل دقیق چشم‌انداز را دوچندان می‌کند [۱].



شکل ۲ - تحلیل چشم‌انداز با استفاده از BIM-GIS

یکی دیگر از پارامترهایی که با استفاده از تکنیک‌های GIS سه‌بعدی محاسبه می‌شود، میزان نویز ناشی از ترافیک است. در میان تمامی منابع تولید نویز در محیط‌های شهری، صدای ترافیک وسایل نقلیه متحرک به‌عنوان اصلی‌ترین عامل آلودگی صوتی برای مناطق مسکونی شناخته می‌شود [۷]. آلودگی صوتی ناشی از ترافیک یکی از دغدغه‌های اصلی سلامت افراد ساکن در محیط‌های شهری محسوب می‌شود. قرارگیری طولانی‌مدت در معرض این نویز می‌تواند پیامدهای منفی قابل توجهی بر سلامت روانی و جسمی افراد به‌دنبال داشته باشد [۸-۱۲]. آلودگی صوتی ناشی از ترافیک جاده‌های شهری، تأثیری نامطلوب بر املاک مسکونی مجاور دارد و با توجه به افزایش اهمیت سلامت جسمی و کیفیت محیط زیست برای ساکنان، این موضوع به‌طور مستقیم بر تمایل خریداران و مستاجران به پرداخت هزینه و تصمیم‌گیری‌های آنها تأثیرگذار است [۹]. بنابراین، نویز ناشی از ترافیک به‌عنوان یکی از پارامترهای کلیدی در ارزیابی املاک شناخته می‌شود. در این مطالعه، برای تخمین میزان نویز ترافیکی از مدل C.N.R.^۵ استفاده شده است. مدل C.N.R. ویژگی‌های مرتبط با جریان ترافیک شامل حجم ترافیک (تعداد وسایل نقلیه در واحد زمان)، سرعت متوسط خودروها و ترکیب انواع وسایل نقلیه (مانند خودروهای سواری، کامیون‌ها و موتورسیکلت‌ها)، ویژگی‌های زیرساخت جاده‌ای از جمله نوع و جنس سطح جاده، شیب مسیر و وجود موانع صوتی طبیعی یا مصنوعی مانند دیوارهای عایق صدا، شرایط محیطی نظیر بازتاب صدا از ساختمان‌ها و سایر موانع، و الگوهای انتشار صوتی منابع را مدنظر قرار می‌دهد. رابطه (۱) مدل C.N.R. مورد استفاده در این مطالعه را نمایش می‌دهد که بر اساس آن مقادیر نویز در مکان‌هایی که در

افراد تمایل دارند بابت مناظری که عناصر طبیعی پیرامون ساختمان ایجاد می‌کنند، هزینه بیشتری پرداخت کنند [۲-۴]. پیش از ظهور فناوری GIS سه‌بعدی، ارزیابی چشم‌انداز املاک معمولاً مستلزم حضور فیزیکی ارزیاب در محل و بررسی محیط پیرامونی بود. روشی که علاوه بر دشواری و زمان‌بر بودن، مبتنی بر ارزیابی ذهنی و تقریبی انجام می‌شد. با به‌کارگیری داده‌های سه‌بعدی و تحلیل‌های GIS سه‌بعدی، جایگزینی کمی برای این فرآیند فراهم شده است که دقت و قابلیت اطمینان ارزیابی چشم‌انداز را به‌طور قابل توجهی ارتقا می‌بخشد [۵]. روش‌های مختلفی مانند قابلیت دیدن نشانه‌های شاخص^۱، خط دید^۲ و محدوده دید^۳ به منظور ارزیابی میزان دید و کیفیت چشم‌انداز ملک مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶]. این تحلیل‌ها قابلیت انجام بر پایه مجموعه‌های داده با سطوح مختلف جزئیات^۴ (LoD) و انواع گوناگون داده‌های موانع و ناظر را دارا می‌باشند [۵]. شناسایی موانعی که در میدان دید یک پنجره قرار دارند، مستلزم استفاده از مدل‌های ارتفاعی رستری مانند مدل رقومی ارتفاعی^۵ (DEM)، مدل رقومی زمین^۶ (DTM) و مدل رقومی سطح^۷ (DSM) است. این مدل‌ها می‌توانند با بهره‌گیری از مجموعه داده‌های مختلف و در رزولوشن‌های متنوع تولید شوند [۵]. در این مطالعه، پنجره‌های هر واحد آپارتمانی به‌عنوان ناظرها در نظر گرفته شده‌اند که از مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها استخراج می‌شوند، در حالی که موانع از DSM منطقه استخراج می‌گردند. DSM منطقه شامل تمامی عوارض محیطی است که می‌توانند میدان دید را مسدود کنند. با توجه به موقعیت مکانی سه‌بعدی هر پنجره و امکان وجود یا عدم وجود ارتباط دیداری با محیط پیرامون به‌واسطه موانع، میدان دید سه‌بعدی برای هر پنجره تعیین می‌شود. این میدان دید می‌تواند شامل عوارض و مناظر متنوعی باشد که مناظر طبیعی مانند فضاها، سبزه و رودخانه از آن جمله‌اند. با استفاده از نقشه کاربری اراضی منطقه، که در این مطالعه از داده‌های OSM استخراج شده، و به‌کارگیری ابزارهای هم‌پوشانی مکانی، امکان برآورد میزان چشم‌انداز طبیعی هر واحد آپارتمانی فراهم می‌شود (شکل ۲).

^۵ Digital Elevation Model

^۶ Digital Terrain Model

^۷ Digital Surface Model

^۸ Consiglio Nazionale delle Ricerche

^۱ Visibility of landmark

^۲ Line of sight

^۳ Viewshed

^۴ Level of Detail

معرض مستقیم منبع صوتی هستند، محاسبه می‌شود [۸].
[۱۳-۱۵].

$$L_{Aeq} = \alpha + 10 \log(Q_L + \beta Q_P) - 10 \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta L_V + \Delta L_F + \Delta L_B + \Delta L_S + \Delta L_G + \Delta L_{VB} \quad (1)$$

Q_P و Q_L به ترتیب جریان ترافیک ساعتی برای وسایل نقلیه سبک و برای وسایل نقلیه سنگین هستند. d_0 یک فاصله مرجع است که روی ۲۵ متر تنظیم شده است. α مربوط به وسایل نقلیه منفرد است، در حالی که β وزنی برای وسایل نقلیه سنگین است. $\alpha=1/35$ دسی بل و $\beta=6$ تنظیم می‌شود [۱۵]. ΔL_V یک تصحیح برای میانگین سرعت شار ترافیک جاده است، با مقادیر تعریف شده در جدول ۱. ΔL_F و ΔL_B اصلاحاتی برای نماهای بازتابنده نزدیک به نقاط ناظر یا در جهت مخالف هستند. ΔL_F و ΔL_B به ترتیب ۲/۵ و ۱/۵ تنظیم شده است. ΔL_S ضریب اصلاح روسازی جاده است (جدول ۲). ΔL_G تصحیح برای شیب جاده بیش از ۵٪ است (جدول ۳). ΔL_{VB} ضریبی است که وجود چراغ‌های راهنمایی (۱+ dBA) یا ترافیک کند (۱/۵- dBA) را در نظر می‌گیرد. بواسطه ادغام BIM در یک محیط GIS سه بعدی، پارامتر d در رابطه (۱) به راحتی از منابع نویز تا پنجره‌های هر واحد آپارتمانی قابل محاسبه است. پارامترهای Q_P ، Q_L ، α ، β ، ΔL_V ، ΔL_S و ΔL_{VB} نیز در این مطالعه از لایه خیابان‌های OSM استخراج شده‌اند. همچنین محاسبه پارامتر ΔL_G با استفاده از نقشه شیب تولید شده از DEM منطقه صورت گرفته است (شکل ۳).

جدول ۱- تصحیحات برای میانگین سرعت شار [۱۴]

میانگین سرعت شار (km/h)	ΔL_V (dBA)
۳۰-۵۰	۰
۶۰	+۱
۷۰	+۲
۸۰	+۳
۱۰۰	+۴

جدول ۲- ضریب اصلاح روسازی جاده [۱۴]

جنس سطح جاده	ΔL_S (dBA)
آسفالت صاف	-۰/۵
آسفالت ناهموار	۰
بتن	+۱/۵
سنگ فرش	+۴

جدول ۳- تصحیح برای شیب جاده [۱۴]

شیب بر حسب درصد	ΔL_G (dBA)
≤ 5	۰
۶	+۰/۶
۷	+۱/۲
۸	+۱/۸
۹	+۲/۴
۱۰	+۳
برای هر درصد بیشتر	+۰/۶

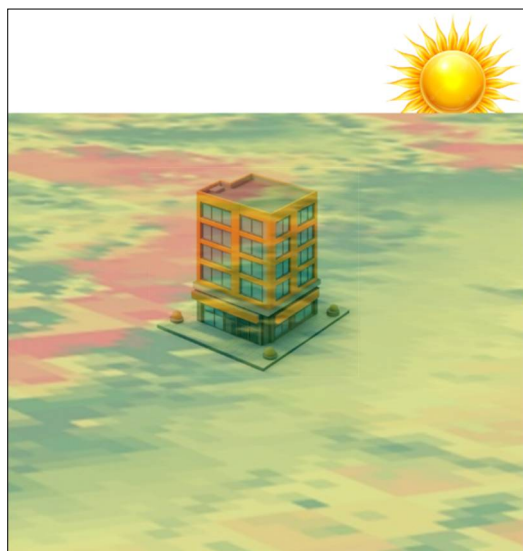


شکل ۳- تحلیل نویز ناشی از ترافیک با استفاده از BIM-GIS

۲-۱- محاسبه میزان نور دریافتی

در این مطالعه، تابش نور خورشید به هر واحد آپارتمانی با در نظر گرفتن موقعیت سه‌بعدی پنجره‌ها، جهت‌گیری و

دریافتی توسط پنجره‌های هر واحد آپارتمانی در بازه زمانی یک‌ساله، با بهره‌گیری از DSM منطقه و همچنین با در نظر گرفتن موقعیت مکانی و جهت‌گیری سه‌بعدی پنجره‌ها مبتنی بر داده‌های BIM محاسبه گردید (شکل ۴).



شکل ۴ - تحلیل روشنایی نور خورشید با استفاده از BIM-GIS

در بخش تحلیل‌های GIS از چارچوب پیشنهادی، پارامتر کیفیت هوا با بهره‌گیری از تکنیک‌های تحلیل دوبعدی GIS مورد محاسبه قرار گرفت. شواهد پژوهشی گسترده‌ای نشان داده‌اند که آلودگی هوا تأثیرات جدی و چندوجهی بر سلامت انسان دارد؛ به‌طوری‌که از منظر جسمی با بروز بیماری‌هایی نظیر اختلالات تنفسی، بیماری‌های قلبی، زوال عقل و آلزایمر مرتبط است و از منظر روانی نیز با افزایش خطر ابتلا به افسردگی، اضطراب و کاهش عملکرد شناختی همراه می‌باشد. مکانیسم‌های احتمالی این اثرات شامل القای التهاب، تخریب سلول‌های عصبی و ایجاد تغییرات بیوشیمیایی در سیستم عصبی مرکزی عنوان شده‌اند [۲۸-۳۱]. افزایش سطح آلودگی هوا رابطه معکوسی با ارزش املاک دارد، به‌طوری‌که در مناطقی با سطوح بالای آلودگی، کاهش قابل توجهی در ارزش بازار املاک مشاهده می‌شود. در مقابل، بهبود کیفیت هوا تأثیر مثبت و مستقیمی بر افزایش ارزش املاک دارد؛ به نحوی که افراد تمایل دارند هزینه‌های بالاتری را برای سکونت در مناطقی با هوای پاک‌تر پرداخت نمایند. این مسئله، نشان‌دهنده اهمیت فزاینده کیفیت محیطی در فرآیند تصمیم‌گیری خریداران و مستأجران در بازار مسکن است [۳۲-۳۴]. با وجود اینکه املاک واقع در یک منطقه جغرافیایی ممکن است به‌طور کلی در معرض سطوح مشابهی

اندازه آن‌ها محاسبه شده است. پنجره‌ها به‌عنوان نقاط ناظر استخراج شده و با بهره‌گیری از مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها و DSM منطقه، میدان دید هر پنجره نسبت به مسیر تابش خورشید تعیین می‌شود. موانع محیطی شامل ساختمان‌های مجاور و عوارض طبیعی نیز در تحلیل لحاظ شده‌اند تا محاسبه تابش خورشید دقیق و واقع‌گرایانه باشد. پارامتر نورگیری هر واحد بر اساس داده‌های BIM و تحلیل‌های سه‌بعدی GIS و در بازه زمانی یک‌ساله تعیین و امکان مقایسه کمی نور دریافتی بین واحدها فراهم شده است.

یکی دیگر از پارامترهایی که از طریق تحلیل‌های سه‌بعدی GIS قابل محاسبه است، میزان دریافت نور خورشید توسط واحدهای ساختمانی می‌باشد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که دسترسی به نور طبیعی تأثیر قابل توجهی بر ارتقاء وضعیت روانی افراد دارد، به‌گونه‌ای که می‌تواند موجب بهبود خلق‌وخو، کاهش استرس و افزایش احساس شادابی و صمیمیت در فضای زندگی گردد. همچنین، نور طبیعی با کاهش میزان اضطراب و افسردگی، حس ارتباط با محیط طبیعی را تقویت کرده و در نهایت به ارتقای کیفیت زندگی در محیط‌های مسکونی می‌انجامد [۱۶-۱۸]. در سال‌های اخیر، با افزایش تمایل به سکونت در ساختمان‌های بلندمرتبه که اغلب موجب محدود شدن نفوذ نور طبیعی به فضاهای داخلی می‌شوند، تقاضا برای واحدهایی که از تابش مستقیم و طولانی‌مدت نور خورشید بهره‌مندند، به‌طور چشمگیری افزایش یافته است [۱۹]. دسترسی به نور طبیعی خورشید در فضاهای مختلف یک واحد آپارتمانی، نقش مؤثری در ارتقای سطح رفاه ساکنان ایفا می‌کند، چرا که نور طبیعی هم از نظر فیزیولوژیکی و هم از منظر روان‌شناختی دارای اثرات مثبت اثبات‌شده‌ای بر سلامت انسان است [۲۰، ۲۱]. علاوه بر این، بهره‌مندی از نور طبیعی تأثیر قابل توجهی بر میزان انرژی مصرفی ساختمان دارد، به‌ویژه از طریق کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی و در برخی موارد، بهینه‌سازی مصرف انرژی گرمایشی در فصول سرد سال [۲۲]. در شرایط کنونی، بهره‌مندی از نور طبیعی خورشید به یکی از شاخص‌های دارای ارزش اقتصادی در بازار املاک تبدیل شده است، به‌طوری‌که خریداران و مستأجران آمادگی دارند هزینه بیشتری برای واحدهایی با نورگیری مطلوب پرداخت نمایند. میزان و مدت قرارگیری در معرض نور خورشید از عوامل مؤثر بر تفاوت در ارزش‌گذاری واحدهای مسکونی محسوب می‌شود [۲۳-۲۷]. در این پژوهش، مقدار تابش خورشیدی

از آلودگی هوا قرار گیرند، اما مجاورت با منابع آلاینده نظیر مراکز صنعتی، جاده‌های پرتردد یا کارخانه‌ها می‌تواند موجب افزایش سطح آلودگی محلی در اطراف برخی از املاک شود. در نتیجه، این املاک در مقایسه با سایر واحدهای واقع در همان منطقه، از کیفیت هوای پایین‌تری برخوردار بوده و ارزش کمتری خواهند داشت. مطالعه Davis در سال ۲۰۱۱ به بررسی تأثیر مجاورت با نیروگاه‌های آلاینده بر قیمت و اجاره املاک پرداخته و نتایج آن حاکی از کاهش قابل توجه ارزش ملک در نزدیکی این منابع آلاینده است [۳۴]. این تحقیق نشان می‌دهد که زیرساخت‌های آلاینده می‌توانند تأثیرات منفی قابل ملاحظه‌ای بر رفاه محلی و ارزیابی اقتصادی املاک داشته باشند. همچنین، Whalley و Chen در سال ۲۰۱۲ در پژوهشی دیگر، رابطه میان آلودگی هوا و ارزش املاک شهری را تحلیل کرده‌اند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که کاهش سطح آلودگی هوا منجر به افزایش تقاضا برای املاک در مناطق پاک‌تر شده و در نهایت، باعث رشد قیمت این املاک می‌شود [۲۸]. در این تحقیق، برای ارزیابی کیفیت هوا از تصاویر و داده‌های غلظت آلاینده‌های جوی ماهواره Sentinel-5P بهره‌گیری شده است. میانگین سالیانه غلظت آلاینده‌هایی همچون دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)، اوزون (O_3)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، مونوکسید کربن (CO) و ذرات معلق (آئروسول‌ها) در محدوده جغرافیایی محل قرارگیری آپارتمان مورد مطالعه برآورد گردید. ماهواره Sentinel-5P با وضوح مکانی حدود ۵/۵ در ۳/۵ کیلومتر و قابلیت پوشش جهانی روزانه، امکان پایش دقیق و به‌روز تغییرات غلظت آلاینده‌ها و کیفیت هوا را در سطوح منطقه‌ای و جهانی فراهم می‌آورد.

آخرین پارامتری که در بخش تحلیل‌های GIS چارچوب پیشنهادی با بهره‌گیری از روش‌های دو بعدی محاسبه شده، پارامتر دسترسی می‌باشد. دسترسی آسان و سریع به امکانات رفاهی و تفریحی همچون مراکز خرید، رستوران‌ها، ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی و فضاهای سبز، نقش بسزایی در افزایش تقاضا و به تبع آن، ارزش املاک در مناطق مختلف ایفا می‌کند. این موضوع ناشی از جذاب‌تر شدن منطقه مورد نظر و تسهیل دسترسی به خدماتی است که برای خریداران اهمیت و اولویت دارند [۳۵-۳۹]. در این مطالعه، دسترسی به حمل و نقل عمومی، تسهیلات تفریحی، مراکز

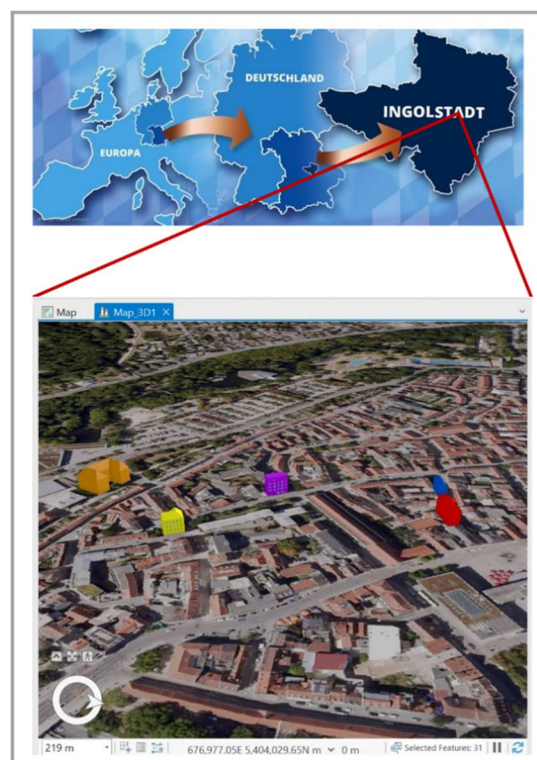
آموزشی، مراکز خرید، رستوران‌ها و خدمات درمانی بر اساس شبکه معابر شهری، موقعیت مکانی ورودی ساختمان‌ها و لایه نقشه کاربری اراضی شهر با استفاده از روش هزینه سفر مورد محاسبه قرار گرفت. روش هزینه سفر که یکی از تکنیک‌های رایج در ارزیابی دسترسی افراد به منابع و خدمات است، به کار گرفته شد. فاصله‌های بین ورودی هر ساختمان تا نزدیک‌ترین مراکز حمل و نقل عمومی، تسهیلات تفریحی، مراکز آموزشی، مراکز خرید، رستوران‌ها و خدمات درمانی با بهره‌گیری از تحلیل‌های شبکه محاسبه گردید [۴۰].

۳- پیاده‌سازی

چارچوب پیشنهادی در این مطالعه بر روی پنج واحد آپارتمانی، هر یک واقع در ساختمان‌های متفاوت و همگی در یک منطقه از شهر اجرا اینگولشتات^۱ گردید (شکل ۵). شهر اینگولشتات یکی از شهرهای مهم ایالت بایرن^۲ در جنوب آلمان است که در کرانه رود دانوب واقع شده و جمعیتی در حدود ۱۴۰ هزار نفر دارد. این شهر با سابقه تاریخی غنی و توسعه صنعتی گسترده، به‌ویژه در حوزه خودروسازی و فناوری، یکی از مراکز مهم اقتصادی و علمی منطقه به شمار می‌رود. ترکیب فضاهای تاریخی، مراکز دانشگاهی، صنایع پیشرفته و بافت‌های مسکونی متنوع، این شهر را به نمونه‌ای مناسب برای مطالعات شهری و تحلیل‌های مرتبط با انتخاب و ارزیابی املاک بدل ساخته است. شرایط اقلیمی معتدل قاره‌ای، زیرساخت‌های حمل‌ونقل کارآمد و دسترسی گسترده به خدمات شهری، از ویژگی‌های مهم این منطقه به شمار می‌روند که می‌توانند تأثیر مستقیم بر کیفیت زندگی و در نتیجه، فرآیند انتخاب و مقایسه آپارتمان‌ها داشته باشند.

۵ واحد آپارتمانی مذکور به عنوان گزینه‌های محتمل برای خریداران یا مستاجران مدنظر قرار گرفتند. بر اساس یافته‌های مطالعات پیشین، پارامترهایی همچون مساحت، سن بنا، تعداد اتاق خواب‌ها، وجود پارکینگ، دسترسی به سیستم‌های حمل و نقل عمومی، دسترسی به امکانات و خدمات شهری، کیفیت چشم‌انداز و میزان نویز محیط، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ارزش املاک محسوب می‌شوند [۴۱-۵۲]. بنابراین تعداد ۸ پارامتر داخلی ساختمان شامل سن ساختمان، مساحت هر واحد آپارتمانی، پارکینگ، سیستم امنیتی، سیستم سرمایش و گرمایش، تراس و بالکن،

تعداد اتاق‌ها و بهره‌وری انرژی و ۱۴ پارامتر خارجی ساختمان شامل وضعیت نورگیری، باز بودن چشم‌انداز، چشم‌انداز طبیعی، نویز ناشی از ترافیک، دسترسی به حمل و نقل عمومی، دسترسی به تسهیلات تفریحی، دسترسی به مراکز آموزشی، دسترسی به مراکز خرید و رستوران‌ها، دسترسی به خدمات درمانی و کیفیت هوا (پنج شاخص) در نظر گرفته شد. برای محاسبه پارامترهای مذکور علاوه بر مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها، از داده‌های لایدار منطقه، لایه‌های مختلف داده‌های OSM، محصولات کیفیت هوای ماهواره Sentinel 5 استفاده شده است.



شکل ۵ - منطقه مورد مطالعه

پارامترهای داخلی مستقیماً از مدل سه‌بعدی ساختمان استخراج شده‌اند، در حالی که پارامترهای خارجی از طریق ترکیب داده‌های سه‌بعدی ساختمان با داده‌های GIS دو و سه‌بعدی به دست آمده‌اند. برای انجام تحلیل چشم‌انداز، تعیین موقعیت ناظر(ها) و موانع ضروری است. در این مطالعه، پنجره‌های هر واحد آپارتمانی به عنوان ناظر در نظر گرفته شده‌اند که از مدل داده سه‌بعدی ساختمان استخراج شده‌اند. مدل داده سه‌بعدی ساختمان پیش از انجام هرگونه تحلیل مکانی، زمین مرجع شد. موانع نیز از طریق مدل ارتفاعی رستری منطقه، یعنی DSM، تولید شده‌اند که این

داده‌ها با بهره‌گیری از داده‌های لایدار موجود در منطقه محاسبه گردیده‌اند.

دو پارامتر شامل باز بودن چشم‌انداز و چشم‌انداز طبیعی مورد محاسبه قرار گرفتند. محاسبه چشم‌انداز کلی بر مبنای موقعیت سه‌بعدی پنجره‌های هر واحد آپارتمانی و امکان برقراری دید مستقیم یا انسداد دید به دلیل موانع موجود استوار است. برای تعیین چشم‌انداز طبیعی، تحلیل هم‌پوشانی بین نقشه فضا‌های سبز و رودخانه‌های منطقه و نقشه مناطق قابل رویت از پنجره‌های ساختمان (خروجی تحلیل باز بودن چشم‌انداز) انجام شد. نقشه‌های مربوط به رودخانه‌ها و فضا‌های سبز منطقه از داده‌های OSM استخراج گردیدند. نویز ناشی از ترافیک برای هر یک از واحدهای آپارتمانی مورد نظر بر اساس مدل C.N.R محاسبه گردید (رابطه (۱)).

بواسطه ادغام BIM در یک محیط GIS سه‌بعدی، فاصله سه‌بعدی منابع نویز تا پنجره‌های هر واحد آپارتمانی (d) محاسبه شد. پارامترهای Q_L ، Q_P ، α ، β ، ΔL_V ، ΔL_S و ΔL_{VB} هم از لایه خیابان‌های OSM استخراج شدند. لازم به ذکر است لایه خیابان‌های OSM منطقه با استفاده از ارتوفتوی منطقه از لحاظ هندسی اعتبارسنجی و اصلاح شد. همچنین محاسبه پارامتر ΔL_G با استفاده از نقشه شیب تولید شده از DEM منطقه صورت گرفت. داده‌های DEM منطقه نیز با استفاده از داده‌های لایدار موجود منطقه محاسبه شدند. میزان تابش خورشیدی دریافتی توسط پنجره‌های هر واحد آپارتمانی در طول سال ۲۰۲۳ با استفاده از DSM منطقه و جهت‌گیری و موقعیت مکانی سه‌بعدی پنجره‌ها بر روی BIM محاسبه شد. برای ارزیابی کیفیت هوا ۵ شاخص دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)، ازن (O_3)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، مونوکسید کربن (CO) و آئروسول‌ها در نظر گرفته شدند. مقادیر این شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel-5P تخمین زده شد. دسترسی هر یک از ساختمان‌ها به تسهیلات حمل و نقل عمومی، تسهیلات تفریحی، مراکز آموزشی، مراکز خرید و رستوران‌ها و خدمات درمانی بر اساس تحلیل‌های شبکه GIS محاسبه شد. برای محاسبه این پارامترها فاصله موقعیت مکانی درب ورودی ساختمان‌ها تا مراکز مذکور بر روی شبکه معابر شهری و با روش هزینه سفر در نظر گرفته شد. مراکز حمل و نقل عمومی، تسهیلات تفریحی، مراکز آموزشی، مراکز خرید و رستوران‌ها و خدمات درمانی از نقشه کاربری اراضی شهر داده‌های OSM استخراج شدند.

۴- نتایج و بحث

در این پژوهش، پنج واحد آپارتمانی بر اساس ۲۲ پارامتر مختلف شامل سن ساختمان، مساحت هر واحد آپارتمانی، پارکینگ، سیستم امنیتی، سیستم سرمایش و گرمایش، تراس و بالکن، تعداد اتاقها، بهره‌وری انرژی، وضعیت نورگیری، باز بودن چشم‌انداز، چشم‌انداز طبیعی، نویز ناشی از ترافیک، دسترسی به حمل و نقل عمومی، دسترسی به تسهیلات تفریحی، دسترسی به مراکز آموزشی، دسترسی به مراکز خرید و رستوران‌ها، دسترسی به خدمات درمانی و پنج شاخص کیفیت هوا با استفاده از داده‌های BIM و تحلیل‌های مکانی GIS دو و سه بعدی محاسبه و استخراج شدند.

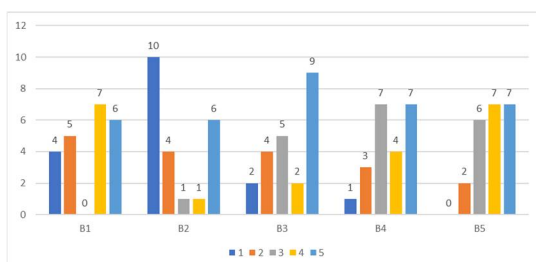
در توصیف کلی مشخصات آپارتمان‌های مورد مطالعه لازم به ذکر است که آپارتمان شماره ۲ از نظر پارامترهای مساحت، سیستم امنیتی، پارکینگ و سیستم‌های گرمایش و سرمایش ویژگی‌های خوبی دارد. آپارتمان شماره ۱ با سال ساخت کمتر در پارامترهای ساختاری عملکرد خوبی دارد، اما به دلیل کمبود امکانات رفاهی مانند پارکینگ و سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، ممکن است از نظر برخی متقاضیان خرید یا اجاره جذابیت کمتری داشته باشد. آپارتمان شماره ۳ در پارامترهایی مانند امنیت و پارکینگ وضعیت خوبی دارد، اما مساحت کمتر و کمبود امکانات دیگر، ارزش کلی آن را محدود می‌کند. آپارتمان شماره ۵ با قدمت بالا و کمبود امکانات رفاهی، در بسیاری از پارامترها عملکرد ضعیفی دارد، اما ممکن است به دلیل هزینه کمتر برای خریدارانی که به دنبال گزینه‌های مقرون به صرفه هستند مناسب باشد. بنابراین هر واحد آپارتمانی، در پارامترهای مورد بررسی نقاط قوت و ضعفی دارد که کاربر متناسب با نیازها و علایق خود یک واحد را انتخاب می‌کند. تمامی واحدهای آپارتمانی مورد بررسی از نظر شاخص‌های آلودگی هوا در سطح بسیار نزدیک و مشابهی قرار داشتند. این مسئله ناشی از متغیرهایی نظیر محل جغرافیایی نزدیک، اقلیم یکنواخت یا داده‌های با رزولوشن مکانی پایین می‌باشد. با این حال، آپارتمان شماره ۲ با کمترین مقدار SO_2 و NO_2 نسبتاً وضعیت مطلوب‌تری دارد. واحدهای مورد بررسی از نظر پارامترهای محیطی نظیر وضعیت نورگیری، باز بودن چشم‌انداز، چشم‌انداز طبیعی، نویز ناشی از ترافیک، دسترسی به امکانات تفریحی و آموزشی و همچنین بهره‌وری انرژی تفاوت قابل توجهی با یکدیگر دارند. بسته به نیازها، شرایط و علایق هر متقاضی خرید یا اجاره

یکی از آپارتمان‌ها می‌تواند برای ایشان مناسب باشد. برای مثال ممکن است برای یک فرد معیارهایی نظیر مساحت، وضعیت نورگیری و چشم‌انداز طبیعی و سیستم امنیتی حائز اهمیت باشد. پارامترهای مذکور در آپارتمان‌های شماره ۱ و ۳ ضعیف‌تر ارزیابی شده‌اند، در حالی که این پارامترها در آپارتمان شماره ۲ به‌طور قابل توجهی بهتر ارزیابی شده‌اند. بنابراین آپارتمان شماره ۲ برای این فرد می‌تواند گزینه مناسبی باشد.



شکل ۶- مقایسه مقادیر پارامترهای وضعیت نورگیری، باز بودن چشم‌انداز، چشم‌انداز طبیعی، نویز ناشی از ترافیک، دسترسی به امکانات تفریحی و آموزشی و بهره‌وری انرژی در ۵ واحد آپارتمانی مورد بررسی

شکل ۷، تعداد دفعات قرارگیری هر یک از آپارتمان‌ها را در رتبه‌های اول تا پنجم از لحاظ پارامترهای مورد بررسی نشان می‌دهد.



شکل ۷- تعداد دفعات قرارگیری هر واحد آپارتمانی در رتبه‌های اول تا پنجم در ۲۲ پارامتر مورد بررسی

مطابق شکل ۷ آپارتمان شماره ۲ با ۱۰ بار قرار گرفتن در جایگاه اول از لحاظ ۲۲ پارامتر مورد بررسی، می‌تواند جذابیت بیشتری داشته است. این آپارتمان در معیارهایی نظیر مساحت، سن، سیستم امنیتی، تعداد اتاق، وضعیت نورگیری، نویز ناشی از ترافیک، چشم‌انداز طبیعی و سه شاخص کیفیت هوا آیروسل، NO_2 و SO_2 (همگی رتبه ۱) بسیار قوی عمل کرده است. برتری این آپارتمان در پارامترهایی که با کیفیت زندگی مرتبط هستند، نقش کلیدی در انتخاب آن توسط متقاضیان خرید و اجاره ایفا خواهد کرد. آپارتمان شماره ۳ نیز با ۹ بار قرارگیری در جایگاه پنجم از لحاظ ۲۲ پارامتر مورد بررسی، بطور کلی نامطلوب‌ترین گزینه محسوب می‌شود. با وجود برخی نقاط قوت مانند دسترسی مناسبی به حمل و نقل عمومی و امکانات تفریحی (رتبه ۱)، ضعف‌های شدید در معیارهایی نظیر مساحت، سیستم سرمایش و گرمایش، وضعیت نورگیری، باز بودن چشم‌انداز، چشم‌انداز طبیعی، نویز ناشی از ترافیک و سه شاخص کیفیت هوا آیروسل، NO_2 و SO_2 (همگی رتبه ۵) باعث شد که این آپارتمان نتواند جایگاهی بهتر کسب کند. آپارتمان شماره ۴ نیز ۱ بار در رتبه یک و ۷ بار در رتبه پنجم، از لحاظ ۲۲ پارامتر مورد بررسی قرار گرفت. این آپارتمان در معیارهایی مانند چشم‌انداز کلی ساختمان (رتبه ۱) و نویز ناشی از ترافیک، چشم‌انداز طبیعی، وضعیت نورگیری (رتبه ۲) وضعیت مطلوبی داشته است. با این حال، عملکرد نامطلوب آن در برخی پارامترها مانند سیستم سرمایش و گرمایش، تراس و بالکن، بهره‌وری انرژی، دسترسی به خدمات درمانی و سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی (رتبه ۵) باعث شد که گزینه خیلی مطلوبی محسوب نشود. آپارتمان شماره ۱ نیز ۴ بار در رتبه یک و ۶ بار در رتبه پنجم از لحاظ ۲۲ پارامتر مورد بررسی قرار گرفت. این آپارتمان بطور کلی نسبت به سایر آپارتمان‌ها دسترسی مناسبی به حمل و نقل عمومی، تسهیلات تفریحی، مراکز آموزشی، مراکز خرید و رستوران‌ها و خدمات درمانی دارد که این موضوع اهمیت استراتژیک این آپارتمان را برای متقاضیانی که موضوع دسترسی برای آنها اولویت باشد نشان می‌دهد. اما در معیارهای نویز ناشی از ترافیک، چشم‌انداز طبیعی، وضعیت نورگیری و پارکینگ عملکرد ضعیفی داشته است. آپارتمان شماره ۵ از لحاظ ۲۲ پارامتر مورد بررسی هیچ‌گاه در جایگاه نخست قرار نگرفته و در بیشتر پارامترها (۱۴ بار) در جایگاه چهارم و پنجم قرار گرفت. این آپارتمان

در معیارهایی مانند سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و تعداد اتاق (رتبه ۲) عملکرد خوبی داشت، اما در معیارهایی مانند سن، پارکینگ و سیستم امنیتی و تراس و بالکن (رتبه ۵) و دسترسی به حمل و نقل عمومی، امکانات تفریحی، مراکز آموزشی و مراکز خرید و رستوران‌ها و بهره‌وری انرژی (رتبه ۴) عملکرد ضعیفی داشته است.

همانطور که نتایج تحقیقات پیشین تایید می‌کند پارامترهای مکانی سه‌بعدی مانند وضعیت نورگیری، نویز ناشی از ترافیک و چشم‌انداز تأثیر زیادی را در جلب نظر متقاضیان خرید و اجاره آپارتمان‌ها داشته و بر ارزش واحدهای املاک تأثیر می‌گذارد [۱-۴، ۹، ۲۳، ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۵۳، ۵۴]

پارامترهای مرتبط با بعد سوم و ویژگی‌های مکانی برای کاربران از اهمیت بالایی برخوردار است و ضعف در این ویژگی‌ها که بر رفاه عمومی و آسایش کاربران تأثیر می‌گذارد، منجر به کاهش جذابیت آپارتمان‌ها می‌شود. بنابراین، تخمین صحیح این پارامترها می‌تواند به متقاضیان خرید و اجاره آپارتمان‌ها کمک شایانی بنماید.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه از تحلیل‌های مکانی مبتنی بر BIM به منظور محاسبه و ارزیابی پارامترهای مؤثر در انتخاب بهینه‌ترین آپارتمان، از میان پنج گزینه واقع در ساختمان‌هایی با موقعیت‌های مختلف در سطح شهر استفاده شده است. پنج واحد آپارتمانی بر اساس ۲۲ پارامتر مختلف شامل سن ساختمان، مساحت هر واحد آپارتمانی، پارکینگ، سیستم امنیتی، سیستم سرمایش و گرمایش، تراس و بالکن، تعداد اتاق‌ها، بهره‌وری انرژی، وضعیت نورگیری، باز بودن چشم‌انداز، چشم‌انداز طبیعی، نویز ناشی از ترافیک، دسترسی به حمل و نقل عمومی، دسترسی به تسهیلات تفریحی، دسترسی به مراکز آموزشی، دسترسی به مراکز خرید و رستوران‌ها، دسترسی به خدمات درمانی و کیفیت هوا (شامل پنج شاخص شاخص دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)، ازن (O_3)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، مونوکسیدکربن (CO) و آئروسول‌ها) با استفاده از داده‌های BIM و تحلیل‌های مکانی GIS دو و سه بعدی محاسبه و استخراج شدند. سپس نتایج بدست آمده از تحلیل‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفت و

نقاط ضعف و قوت هر یک از آپارتمان‌ها از لحاظ پارامترهای مورد بررسی مشخص شد.

اگرچه این مطالعه رویکردی یکپارچه برای ارزیابی و انتخاب ملک ارائه می‌دهد، اما محدودیت‌های خاصی در داده‌ها و پارامترها ممکن است بر نتایج تأثیر بگذارد. داده‌های مورد استفاده از نظر دقت و صحت متفاوت هستند که می‌توانند بر تحلیل‌های مکانی و سه‌بعدی تأثیر بگذارند. علاوه بر این، چالش‌هایی مانند عدم ادغام کامل بین داده‌های BIM و GIS، مسائل مربوط به استانداردسازی داده‌ها، تبدیل فرمت و هماهنگ‌سازی ساختارهای مختلف موجودیت، موانع قابل توجهی را ایجاد می‌کنند. ایجاد روش‌های تبدیل استاندارد و پلتفرم‌های تخصصی برای چنین تحلیل‌هایی می‌تواند قابلیت اطمینان را بهبود بخشد. در این مطالعه، تحلیل‌ها تنها بر روی پنج آپارتمان انجام شد که این امر ناشی از محدودیت دسترسی به داده‌ها بود؛ با این حال، بررسی تعداد بیشتری از املاک در مناطق مختلف شهری می‌تواند امکان تعمیم‌پذیری نتایج را تقویت کرده و دقت تحلیل‌ها را افزایش دهد. علاوه بر این، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به فرآیند وزندهی معیارها

و رتبه‌بندی آپارتمان‌ها دقت بیشتری ببخشد و علاوه بر معیارهای کمی، ابعاد کیفی انتخاب ملک را نیز در نظر گیرد. از سوی دیگر، تقویت جنبه نوآوری روش‌شناختی پژوهش از طریق طراحی مدل‌های ترکیبی یا الگوریتم‌های اختصاصی برای محاسبه شاخص‌هایی همچون تابش نور خورشید، میزان نویز محیطی و کیفیت چشم‌انداز، می‌تواند سهم بیشتری در مرز دانش ایجاد نماید. همچنین لازم است در مطالعات آینده، نتایج حاصل از این چارچوب با داده‌های واقعی بازار مسکن نظیر سطح تقاضا، قیمت و میزان رضایتمندی ساکنان مقایسه و اعتبارسنجی شوند تا صحت و کارایی مدل پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گیرد. در نهایت، هرچند تمرکز این پژوهش بر انتخاب آپارتمان‌های مسکونی بوده است، اما چارچوب توسعه‌یافته می‌تواند در حوزه‌های گسترده‌تری همچون مکان‌یابی ساختمان‌های عمومی، برنامه‌ریزی شهری، بازآفرینی بافت‌های فرسوده و مدیریت دارایی‌های شهری نیز به کار گرفته شود. بدین ترتیب، پژوهش‌های آینده قادر خواهند بود ضمن تقویت دقت و جامعیت نتایج، زمینه‌های نوینی برای کاربردهای BIM و GIS در تحلیل‌های مکانی و ارزیابی املاک فراهم آورند.

مراجع

- [۱] J. Zhang, "Developing a comprehensive framework for property valuation using 3D and remote sensing techniques in China," University of Twente, 2019 .
- [۲] E. D. Benson, J. L. Hansen, A. L. Schwartz, and G. T. Smersh, "Pricing residential amenities: the value of a view," The Journal of Real Estate Finance and Economics, vol. 16, pp. 55-73, 1998.
- [۳] M. Rodriguez and C. Sirmans, "Quantifying the value of a view in single-family housing markets," Appraisal Journal, vol. 62, pp. 600-600, 1994.
- [۴] J. Huang, "A 3D GIS-based valuation system for assessing the scenic view in residential property valuations," 2019.
- [۵] A. Kara, P. Van Oosterom, V. Çağdaş, Ü. Işıkdag, and C. Lemmen, "3 Dimensional data research for property valuation in the context of the LADM Valuation Information Model," Land use policy, vol. 98, p. 104179, 2020.
- [۶] S. C. Bourassa, M. Hoesli, and J. Sun, "What's in a view?," Environment and Planning A, vol. 36, no. 8, pp. 1427-1450, 2004.
- [۷] G. Yilmaz and Y. Hocali, "Mapping of noise by using GIS in Şanlıurfa," Environmental monitoring and assessment, vol. 121, pp. 103-108, 2006.
- [۸] Y. Deng, J. C. Cheng, and C. Anumba, "A framework for 3D traffic noise mapping using data from BIM and GIS integration," Structure and Infrastructure Engineering, vol. 12, no. 10, pp. 1267-1280, 2016.
- [۹] H. Wen, Z. Gui, L. Zhang, and E. C. Hui, "An empirical study of the impact of vehicular traffic and floor level on property price," Habitat International, vol. 97, p. 102132, 2020.
- [۱۰] J. KOMPALA and A. Lipowczan, "Noise hazard to the population of areas connected with functioning of roadway frontier crossings," Archives of Acoustics, vol. 32, no. 2, pp. 279-286, 2007.

- [۱۱] W. Passchier-Vermeer and W. F. Passchier, "Noise exposure and public health," *Environmental health perspectives*, vol. 108, no. suppl 1, pp. 123-131, 2000.
- [۱۲] D. I. Popescu and I. F. Moholea, "Monitoring the reaction and response of people to urban noise," *Archives of Acoustics*, vol. 35, no. 2, pp. 237-244, 2010.
- [۱۳] C. Guarnaccia, A. Mascolo, P. Aumond, A. Can, and D. Rossi, "From Early to Recent Models: A Review of the Evolution of Road Traffic and Single Vehicles Noise Emission Modelling," *Current Pollution Reports*, vol. 10, no. 4, pp. 662-683, 2024.
- [۱۴] G. Cannelli, K. Glück, and S. Santoboni, "A mathematical model for evaluation and prediction of the mean energy level of traffic noise in Italian towns," *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 53, no. 1, pp. 31-36, 1983.
- [۱۵] J. Quartieri et al., "A review of traffic noise predictive models," in *Recent advances in applied and theoretical mechanics*, 5th WSEAS international conference on applied and theoretical mechanics (MECHANICS'09) Puerto De La Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain December, 2009, pp. 14-16 .
- [۱۶] L. Edwards and P. Torcellini, "Literature review of the effects of natural light on building occupants," 2002.
- [۱۷] D. Adrang, "The effect of natural light on improving the quality of life," presented at the *International Congress of Sustainability in Contemporary Middle East Architecture and Urbanism*, 2015. [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/505647>.
- [۱۸] F. Harb, M. P. Hidalgo, and B. Martau, "Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms ", *Chronobiology international*, vol. 32, no. 3, pp. 368-375, 2015.
- [۱۹] P. Littlefair, "Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment," *Solar Energy*, vol. 70, no. 3, pp. 177-185, 2001.
- [۲۰] I. Turan, A. Chegut, D. Fink, and C. Reinhart, "The value of daylight in office spaces," *Building and Environment*, vol. 168, p. 106503, 2020.
- [۲۱] G. W. Evans, "The built environment and mental health," *Journal of urban health*, vol. 80, pp. 536-555, 2003.
- [۲۲] N. Taleghani, "Dwelling on Courtyards. Exploring the energy efficiency and comfort potential of courtyards for dwellings in the Netherlands. *Architecture and the Built Environment* no. 18," ed: Delft: Delft University of Technology, 2014.
- [۲۳] M. Helbich, A. Jochem, W. Mücke, and B. Höfle, "Boosting the predictive accuracy of urban hedonic house price models through airborne laser scanning," *Computers, environment and urban systems*, vol. 39, pp. 81-92, 2013.
- [۲۴] S. El Yamani, R. Hajji, and R. Billen, "IFC-CityGML Data Integration for 3D Property Valuation," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 12, no. 9, p. 351, 2023.
- [۲۵] L. Li, Y. Lei, L. Tang, F. Yan, F. Luo, and H. Zhu, "A 3D spatial data model of the solar rights associated with individual residential properties," *Computers, environment and urban systems*, vol. 74, pp. 88-99, 2019.
- [۲۶] F. J. Montiel-Santiago, M. J. Hermoso-Orzáez, and J. Terrados-Cepeda, "Sustainability and energy efficiency: BIM 6D. Study of the BIM methodology applied to hospital buildings. Value of interior lighting and daylight in energy simulation," *Sustainability*, vol. 12, no. 14, p. 5731, 2020.
- [۲۷] Y. Ying, "Assessment of 2D and 3D methods for property valuation using remote sensing data at the neighbourhood scale in Xi'an, China," *University of Twente*, 20 .^{۱۹}
- [۲۸] H. Chen et al., "Exposure to ambient air pollution and the incidence of dementia: a population-based cohort study," *Environment international*, vol. 108, pp. 271-277, 2017.
- [۲۹] M.-A. Kioumourtzoglou et al., "The association between air pollution and onset of depression among middle-aged and older women," *American journal of epidemiology*, vol. 185, no. 9, pp. 801-809, 2017.
- [۳۰] A. Oudin et al., "Traffic-related air pollution and dementia incidence in northern Sweden: a longitudinal study," *Environmental health perspectives*, vol. 124, no. 3, pp. 306-312, 2016.

- [۳۱] M. C. Power, M. G. Weisskopf, S. E. Alexeeff, B. A. Coull, A. Spiro III, and J. Schwartz, "Traffic-related air pollution and cognitive function in a cohort of older men," *Environmental health perspectives*, vol. 119, no. 5, pp. 682-687, 2011.
- [۳۲] K. Y. Chay and M. Greenstone, "Does air quality matter? Evidence from the housing market," *Journal of political Economy*, vol. 113, no. 2, pp. 376-424, 2005.
- [۳۳] P. Bayer, N. Keohane, and C. Timmins, "Migration and hedonic valuation: The case of air quality," *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 58, no. 1, pp. 1-14, 2009.
- [۳۴] L. W. Davis, "The effect of power plants on local housing values and rents," *Review of Economics and Statistics*, vol. 93, no. 4, pp. 1391-1402, 2011.
- [۳۵] G. Pivo and J. D. Fisher, "The walkability premium in commercial real estate investments," *Real estate economics*, vol. 39, no. 2, pp. 185-219, 2011.
- [۳۶] F. Des Rosiers, M. Thériault, and P. Y. Villeneuve, "Sorting out access and neighbourhood factors in hedonic price modelling," *Journal of Property Investment & Finance*, vol. 18, no. 3, pp. 291-315, 2000.
- [۳۷] G. Debrezion, E. Pels, and P. Rietveld, "The impact of railway stations on residential and commercial property value: A meta-analysis," *The journal of real estate finance and economics*, vol. 35, pp. 161-180, 2007.
- [۳۸] P. Shankar, L. Young, P. Haas, and P. Esling, "The Real Estate Mantra-Locate Near Public Transportation," 2019.
- [۳۹] A. C. Nelson, R. Hibberd, K. M. Currans, and N. Iroz-Elardo, "Transit Impacts on Jobs, People and Real Estate," 2021.
- [۴۰] T. C. Haab and K. E. McConnell, *Valuing environmental and natural resources: the econometrics of non-market valuation*. Edward Elgar Publishing, ۲۰۰۲,
- [۴۱] Z. Aladwan and M. S. S. Ahamad, "Hedonic pricing model for real property valuation via GIS-A review," *Civil and Environmental Engineering Reports*, vol. 29, no. 3, pp. 34-47, 2019.
- [۴۲] N. García, M. Gámez, and E. Alfaro, "ANN+ GIS: An automated system for property valuation," *Neurocomputing*, vol. 71, no. 4-6, pp. 733-742, 2008.
- [۴۳] S. Belniak and D. Wiczorek, "Property valuation using hedonic price method-procedure and its application," *Technical Transactions*, vol. 114, no. 6, pp. 59-70, 20۱۷.
- [۴۴] C. Watkins, "Property valuation and the structure of urban housing markets," *Journal of Property Investment & Finance*, vol. 17, no. 2, pp. 157-175, 1999.
- [۴۵] I. Arribas, F. García, F. Guijarro, J. Oliver, and R. Tamošiūnienė, "Mass appraisal of residential real estate using multilevel modelling," *International Journal of Strategic Property Management*, vol. 20, no. 1, pp. 77-87, 2016.
- [۴۶] P. J. Wyatt, "The development of a GIS-based property information system for real estate valuation," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 11, no. 5, pp. 435-450, 1997.
- [۴۷] S. Yalpir and G. Ozkan, "Knowledge-based FIS and ANFIS models development and comparison for residential real estate valuation," *International journal of strategic property management*, vol. 22, no. 2, pp. 110-118, 2018.
- [۴۸] Z. Liu et al., "A Bayesian approach to residential property valuation based on built environment and house characteristics," in *2018 IEEE international conference on big data (big data)*, 2018. IEEE, pp. 1455-1464.
- [۴۹] R. B. Abidoye and A. P. Chan, "Achieving property valuation accuracy in developing countries: the implication of data source," *International Journal of Housing Markets and Analysis*, vol. 11, no. 3, pp. 573-585, 2018.
- [۵۰] M. K. Francke and G. A. Vos, "The hierarchical trend model for property valuation and local price indices," *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, vol. 28, pp. 179-208, 2004.
- [۵۱] P. Jafari, D. Shojaei, A. Rajabifard, and T. Ngo, "BIM and real estate valuation: challenges, potentials and lessons for future directions," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2022.

- [۵۲] S. Sirmans, D. Macpherson, and E. Zietz, "The composition of hedonic pricing models," *Journal of real estate literature*, vol. 13, no. 1, pp. 1-44, 2005.
- [۵۳] S. El Yamani and R. Hajji, "BIM potential for an enhanced real estate valuation approach based on the hedonic method," 2019.
- [۵۴] X. Li, W. Y. Chen, F. H. T. Cho, and R. Laforzezza, "Bringing the vertical dimension into a planar multilevel autoregressive model: A city-level hedonic analysis of homebuyers' utilities and urban river attributes," *Science of the Total Environment*, vol. 772, p. 145547, 2021.