

بررسی تغییرات کاربری اراضی شهری با استفاده از GIS و RS در تهران (مطالعه موردی: منطقه ۱۵ کلانشهر تهران)

دکتر فضل اله اسمعیلی - استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
مهدی خداداد* - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
وحید رودگر صفاری - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آب و هواشناسی ماهواره‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۲۶

چکیده

یک گام اساسی برای مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه شهری بررسی و شبیه‌سازی توسعه‌فیزیکی شهر می‌باشد. در دنیای امروز، از فناوری‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای مدیریت شهری استفاده‌های فراوانی می‌شود. این دو فن، ابزار موثری را برای جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات زمانی- مکانی فراهم می‌سازد. در همین راستا، پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست، روند توسعه‌کالبدی منطقه ۱۵ شهر تهران از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۱۵ مورد ارزیابی و مقایسه قرار داده است. تصاویر استفاده شده در این تحقیق، تصاویر TM 1985، ETM+ 2002 و OLI 2015 از ماهواره لندست می‌باشند. نتایج بیانگر این است که، منطقه مورد مطالعه در فاصله‌زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ با حدود ۱۰.۷۵ درصد رشد شهری مواجه بوده است و تغییر کاربری در این بازه زمانی در افزایش دو کلاس اراضی مسکونی و کاربری‌های تجاری و کاهش دو کاربری صنعتی و اراضی‌بایر بوده است. با توجه به نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، منطقه ۱۵ گسترش فضایی- کالبدی قابل توجهی داشته است.

واژه‌گان کلیدی: توسعه شهری، سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، منطقه ۱۵ شهر تهران.

مقدمه

توسعه شهری در دهه‌های قبل چنان بوده که منجر به ایجاد عدم تعادل در چگونگی استفاده از اراضی شده و تبدیل کاربری‌های بکر اولیه به کاربری‌های شهری را در پی داشته است. تغییرات ناشی از فعالیت انسانی عامل تبدیل رویشگاه-های طبیعی به دیگر کاربری‌ها، از دست رفتن و تخریب و چندتکه شدن زیستگاه می‌شود (Kelarestaghi A, 2011: 401-411). رشد و توسعه بی‌اندازه شهرها و تراکم‌های خارج از اندازه آن، از جمله مشکلات و مسائل شهرهای امروز است که نابودی اراضی کشاورزی و آسیب‌های زیست‌محیطی از مهم‌ترین عوارض توسعه فیزیکی توسعه شتابان نواحی شهری هستند از سوی دیگر، محیط‌های طبیعی جایگاه و محل استقرار پروژه‌های شهری است. اگرچه عناصر و یا مولفه‌های طبیعی درجهت‌یابی و معنی‌دادن به محیط بسیار بارزتر است و کیفیت سیمای محیط را بالا می‌برند، لیکن بررسی‌ها نشان می‌دهند که در شهرهایی که از توسعه فیزیکی شتابان برخوردارند، بسیاری از مظاهر و مناظر طبیعی از بین رفته است (محمدزاده، ۱۳۸۶: ۱۰۵). گستردگی زمانی اتفاق می‌افتد که نرخ استفاده از زمین‌های غیرکشاورزی یا غیرطبیعی از نرخ رشد جمعیت تجاوز کند (Bhatta, 2010: 30). علاوه بر عامل جمعیتی نیروهای بازاری و واکنش دولت در برابر بازار نیز از عوامل مؤثر در گسترش فیزیکی شهرها است (Street, 2007: 133). توسعه فیزیکی شهر فرآیندی پویا و مداوم است که طی آن محدوده‌های فیزیکی شهر و فضاهای کالبدی آن در جهات عمودی و افقی از حیث کمی و کیفی افزایش می‌یابند (قاسمی، ۱۳۸۰: ۸۰). رشد هوشمند، ضد رشد یا توسعه نیست بلکه نوعی استراتژی توسعه است که رویکردی به رشد اجتناب‌ناپذیر مناطق شهری به منظور ایجاد رفاه، سلامتی و فضاهای کارکردی برای سکونت بشر دارد (Spooner, 2012: 150).

مدل‌های پیش‌بینی کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده پایدار از زمین یک نیاز ضروری است (Mas, 2014: 1). روش‌های متفاوت مدل‌سازی، می‌توانند باهم استفاده شوند تا مدل‌های پیچیده فرآیندهای مکانی به وجود آید. در سال‌های اخیر روشن شده است که روش‌های بهره‌گیری از سیستم‌های GIS در کنار کاربرد مؤثر داده‌های رقومی جدید قادر به بخشیدن حیات تازه‌ای در نظریه‌های مدل‌سازی توسعه شهری در خط‌مشی‌های برنامه‌ریزی به‌شمار می‌آید (Wolk- Musial & Zagajewski, 1999). با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS، می‌توان تا حدود زیادی دینامیک-های شهری را به تصویر کشید و توسعه آنها را مورد ارزیابی قرار داد (Sietchiping et al, 2004: 2). همچنین RS، ابزاری مؤثر برای مراقبت و مدیریت بهتر و تصمیم‌گیری‌های صحیح‌تر در ارزیابی رفتارهای تغییرات شهری به‌شمار می‌آید (Nieuwenhuis, 1999). لذا کاربرد یکپارچه روش‌های GIS و RS به‌همراه به کارگیری مؤثر داده‌های جدید رقومی، می‌تواند در ارائه راه‌های جدید در استفاده از مدل‌های شهری بسیار مؤثر باشد (Clayton, 1990). پیش از ارائه مدل‌های توسعه شهری قابل کاربرد در سامانه‌های اطلاعات مکانی، نتایج حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌ای در مورد تغییرات کاربری‌های مهم در شهر، مانند فضاهای طبیعی و انسان‌ساخت، با هدف مطالعه گذشته و روند تغییرات در زمین با تلفیق داده‌های رقومی از وضعیت موجود، قابل شناسایی است (Hestings, 2000). کاربری زمین عموماً سه بخش دارند: نقشه-های کاربری زمین چندزمانه به‌دست آمده از داده‌های سنجنش از دور، تابع چندمتغیره استخراج شده از برآوردهای نشان-دهنده تغییرات و ایجاد نقشه‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین (Strahlers & Lambin, 1994). با استفاده از داده-های چندزمانه سنجنش از دور با کمترین زمان و هزینه می‌توان نسبت به استخراج کاربری‌های اراضی اقدام نموده و سپس با مقایسه آنها در دوره‌های زمانی مختلف نسبت تغییرات را ارزیابی و برای سال‌های آتی رشدشهر را شبیه‌سازی و پیش‌بینی نمود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷). آشکارسازی تغییرات و همچنین پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، در دادن دید کلی برای مدیریت بهتر منابع طبیعی و حفاظت اراضی کشاورزی اطراف مناطق شهری و اتخاذ تدابیر سیاست-

های درازمدت موثر است. با استفاده از مدل زنجیره‌های مارکوف^۱، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آنها در آینده فراهم می‌شود (Muller, 1994) و با پیش‌بینی تغییرات کاربری، می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت نمود (Hathout, 2002). از اینرو از مدل‌های فضایی که ابزارهایی مفید برای درک فرآیند توسعه شهری و ابزاری کمکی برای سیاست‌گذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و فراهم‌کننده اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات شهری بر محیط‌زیست هستند، می‌توان برای مدل‌سازی فرآیند توسعه شهری استفاده نمود (He et al, 2008). تغییرات کاربری زمین شهری سالهای زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است؛ اما، ظهور تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های زمین‌مکانی، بُعد جدیدی برای بازبینی و ارزیابی تغییرات پوشش کاربری زمین باز کرده است (Tewolde and Cabral, 2011: 2149). در همین راستا به‌طور خلاصه به پژوهش‌های صورت گرفته در ایران و خارج اشاره می‌گردد:

احدنژاد و همکاران (۱۳۹۰)، به ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهر تبریز با استفاده از تصاویر چندزمانه و GIS در مقطع زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۹ پرداختند. براساس نتایج مشخص شد که گسترش کالبدی - فضایی شهر تبریز در امتداد شرقی و غربی است. یوسفی و همکاران (۱۳۹۰)، تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر مریوان را با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره لندست بین سالهای ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۴ بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین تغییرات مربوط به اراضی کشاورزی و جنگلی بوده است. قربانی و همکاران (۱۳۹۲)، در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست پنج و هفت و تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای شی‌گرا، تغییرات کاربری اراضی در مقطع زمانی ۱۹۸۴-۲۰۱۱ با تأکید بر گسترش فضایی کلانشهر تبریز، مورد ارزیابی قرار داده‌اند و نتایج حاکی از آن بود که، مساحت قابل توجهی از توسعه اخیر بر بستر سیلابی و پهنه‌های آسیب‌پذیر از زلزله صورت گرفته که لزوم مدیریت توسعه آبی شهرهای محدوده را می‌طلبد. حاجی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی به‌پایش تغییرات کاربری اراضی با سه روش حداکثر احتمال (MLC)، شبکه‌عصبی (NNC) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) در طی بازه - زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۸ با استفاده از داده‌های رقومی لندست در شهرستان شهریار پرداخته و نتایج تحقیق نشان داد که توسعه شهری منطقه طی دوره ۲۲ ساله، روندی افزایشی ولی اراضی کشاورزی روندی کاهشی داشته است. غلامعلی فرد و همکاران (۱۳۹۳)، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره‌مارکف در محیط اکستنشن مدل‌ساز تغییرات اراضی (LCM)، در یک دوره ۲۳ ساله ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰ به پایش و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل میانی استان بوشهر اقدام کرده‌اند. نتایج نشان داد که در طول دوره مطالعه، تغییرات شدید از اراضی باز به اراضی کشاورزی و رهاسازی زمین - های کشاورزی بوجود آمده است. روستایی و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی به سنجش فضایی گستردگی شهری با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی شهر ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره ای چندزمانه در یک دوره ۲۷ ساله (بازه زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰) پرداخته و در نهایت با استفاده از روش ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار گستردگی شهری برای سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی شده است. رحیمی (۱۳۹۳)، به مدل‌سازی توسعه تبریز در سال ۱۴۱۰ با استفاده LTM، پرداخته و به - طوری که نتایج حاصل از مدل‌سازی توسعه شهر تبریز برای سال ۱۴۱۰ در این پژوهش نشانگر این است که بیش از ۹۰ درصد از محدوده شهر در افق پیش‌بینی به اراضی ساخته‌شده اختصاص خواهد یافت و تنها ۱۰ درصد از محدوده شهر به کاربری فضای سبز اختصاص می‌یابد. عابدینی و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی به پهنه‌بندی ژئومورفولوژیکی تناسب‌زمین در راستای توسعه آبی شهر اراک با استفاده از منطق فازی و GIS پرداخته و نتایج حاکی از آن بود که دو هسته در غرب و شرق شهرستان جهت توسعه آبی شهر اراک مناسب می‌باشد. رجب‌زاده (۱۳۹۵)، در پژوهشی به بررسی تغییرات کاربری اراضی جنوب غرب تهران با استفاده از تصاویر مربوط به ماهواره لندست دو سنجنده MSS ژوئن سال ۱۹۷۵، ماهواره لندست هفت سنجنده ETM+ سال ۲۰۰۲ و ماهواره لندست هشت سنجنده OLI ژوئن سال ۲۰۱۳ نسبت به تهیه

^۱. CA-Markov

نقشه‌های کاربری اراضی و بررسی تغییرات کاربری در طی دوره ۳۸ ساله در محیط نرم افزار ENVI پرداخته و نتایج حاکی از آن بود که تغییرات کاربری در ۳۸ ساله گذشته حاکی از کاهش ۱۲ درصدی (۷۰۶۰/۹ هکتار) باغات منطقه و افزایش هفت و پنج درصدی سطوح مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی می‌باشد.

ژا^۱ و همکاران (۲۰۰۳)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست TM اقدام به تهیه نقشه شهر نانژینگ در چین شرقی نمودند. در این مطالعه سعی شد تا شاخص جدیدی به نام NDBI برای جداسازی مناطق مسکونی معرفی شود. مالانسون و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده از مدل CA-Markov و ارزیابی چندمعیاره و به کار بردن داده‌های سه زمان مختلف که از نقشه‌های کاربری زمین موجود به دست آمده و به صورت رستری تبدیل شده‌اند، به پیش‌بینی تغییرات در ماساچوست- مرکزی آمریکا پرداخته‌است. زاین^۲ و همکاران (۲۰۰۵)، در پژوهشی با عنوان ارزیابی از رشد شهری در حوضه خلیج تمپا با استفاده از داده‌های سنجنش از دور با اشاره به تبدیل چشم‌اندازهای طبیعی به اراضی شهری در اثر رشد جمعیت، اقدام به تهیه نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی منطقه اشاره شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست نموده و رشد اراضی شهری در طی دوره مورد مطالعه را سه برابر برآورد کرده و با استفاده از مدل SLEUTH روند توسعه شهری را تا سال ۲۰۲۵ پیش‌بینی نموده‌اند. کایا و همکاران (۲۰۰۶)، به پایش رشد شهر در قسمت‌های اروپایی استانبول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۲، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۱ پرداختند. تغییرات پوشش اراضی در طی این دوره برای تعیین سرعت تغییرات استفاده گردید. گوان^۳ و همکاران (۲۰۱۱)، تغییرات کاربری اراضی ساگا در ژاپن را برای سال‌های ۲۰۲۴-۲۰۱۵ با استفاده از مدل زنجیره‌های CA مارکوف مدلسازی کردند. نتایج این مطالعه، افزایش اراضی شهری و کاهش اراضی طبیعی و کشاورزی را نشان داد. مونالیزا میشرا^۴ (۲۰۱۲)، به بررسی گستردگی و تغییرات کاربری اراضی شهر بوبنسوار^۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵، و کاربرد GIS و RS پرداخته‌است (هادوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۷). واکود^۶ و همکاران (۲۰۱۳)، به ارزیابی گسترش شهری حیدرآباد هند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و GIS اقدام کرده‌اند.

با توجه به مباحث ذکر شده، پژوهش حاضر به ارزیابی تغییرات فیزیکی ناشی از توسعه منطقه ۱۵ کلانشهر تهران با استفاده تلفیقی روش‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجنش از دور (RS) انجام گرفته است. لذا اطلاع از نسبت کاربری‌ها در یک محیط شهری و نحوه تغییرات آن در گذر زمان یکی از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی‌ها می‌باشد. با اطلاع از نسبت تغییرات کاربری‌ها در گذر زمان می‌توان تغییرات آتی را پیش‌بینی نمود و اقدامات مقتضی را انجام داد.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر نوع هدف، کاربردی است و از نظر روش‌شناسی، توصیفی - تحلیلی بر پایه مطالعات اسنادی- کتابخانه‌ای و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. یکی از روش‌ها برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین، روش زنجیره- ای مارکوف است. بنیان‌گذار این روش آندره آندرویچ مارکوف، ریاضی‌دان روسی در سال ۱۹۰۷ می‌باشد. روش زنجیره- های مارکوف، براساس یک روش احتمالاتی و با در نظر گرفتن گذشت زمان بر تغییرات ایجاد شده را نشان می‌دهد و براساس این تحلیل نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آنها در آینده فراهم می‌شود. با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت نمود

1. Zha
2. Xian
3. Guan
4. Monalisha Mishra
5. Bhubaneswar
6. Wakode

(Brown, 2000). مدل مارکوف، شامل زنجیره متوالی از متغیرهای تصادفی X_1, X_2, X_3, \dots می باشد، به عبارت دیگر اگر مجموعه ای از حالات را به صورت $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_r\}$ داشته باشیم، P_{ij} از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^r P_{ik} P_{kj}$$

در این رابطه: P_{ij} احتمال رفتن از حالت i به حالت j را پس از n گام نشان می دهد.

در این مدل دو نقشه مربوط به دو دوره زمانی به صورت ماتریسی با یکدیگر مقایسه می شوند. به طوری که براساس حداکثر احتمال، پیش بینی می شود که هر پیکسل در هر کلاس با چه احتمالی در همان کلاس مانده یا به کلاسی دیگر تبدیل می شود (Eastman, 2006). آنالیز مارکوف بر روی مطالعه انواع پوشش گیاهی و تغییر پوشش شهری و غیر شهری متمرکز شده است (خوش گفتار و همکاران، ۱۳۸۹). با استفاده از مدل سلول خودکار مارکوف، وضعیت پیکسل ها برای پیش بینی تغییرات وضعیت آنها در آینده از قوانین خاصی پیروی می کنند. به طور مثال پیکسل C_{ij} (پیکسل قرار گرفته در سطر I و ستون J) در زمان $t+1$ به چهار عامل، وضعیت سلول در زمان t ، پنجره همسایگی $(S_t C_{ij})$ ، وضعیت همسایگان سلول در زمان t $(\Omega_t C_{ij})$ و قوانین تبدیل (وضعیت هریک از سلول ها در گذر زمان براساس قوانین تبدیل، به طور خودکار به روز می شوند) بستگی دارد. به گام های به روزرسانی از زمان t_0 (مبدا زمانی) تا t_n (زمان پایان عملیات) در اصطلاح تکرار نامیده می شود (Eastman, 2006). مدل CA-Markov، روشی مناسب در مدل سازی دینامیک زمانی و مکانی تغییرات پوشش کاربری زمین است و داده های GIS و RS می توانند به طور موثری مشارکت داده شوند (Li & Reynolds, 1997). در مدل CA-Markov، پروسه زنجیره مارکوف تغییرات زمانی را میان کلاس کاربری زمین براساس احتمالات تبدیل کنترل می کند، درحالی که تغییرات مکانی بوسیله قوانین محلی تعیین شده از طریق فیلتر مکانی CA یا نقشه های شایستگی کنترل می گردند (Eastman et al, 2005).

داده ها

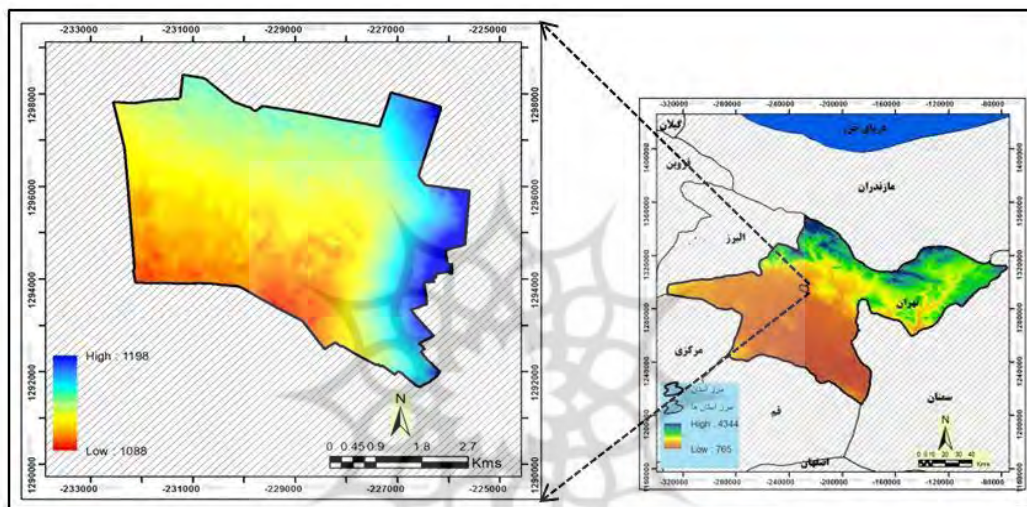
داده های استفاده شده در این تحقیق، تصاویر TM 1985، ETM+ 2002 و OLI 2015 از ماهواره لندست می باشند و از نرم افزارهای IDRISI SELVA، ARC GIS 9.3 و GOOGLE EARTH برای نشان دادن نقشه های مراحل رشد و توسعه فضایی شهر، پردازش داده ها، مدل سازی، شبیه سازی و خروجی گرفتن و از روش ها و مدل های MAXILIKE برای طبقه بندی کاربری ها و Markov و CA-Markov برای محاسبه تغییرات، پیش بینی و شبیه سازی تغییرات در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ استفاده شده است. در جدول ۱. مشخصات زمانی و نوع سنجنده های دریافتی این تصاویر آمده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره ای

ردیف	تاریخ تصویر	ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک به متر	تعداد باند
۱	۱۹۸۵ / ۰۸ / ۰۲	Landsat5	TM	۳۰	۷
۲	۲۰۰۲ / ۰۸ / ۰۹	Landsat7	ETM ⁺	۲۸/۵	۸
۳	۲۰۱۶ / ۰۸ / ۰۵	Landsat8	OLI	۳۰	۱۱

محدوده مورد مطالعه

منطقه ۱۵ از شمال به به پادگان قصر فیروز، ۴۵ متری آهنگ، خیابان خاوران و شوش شرقی و از غرب به خیابان فدائیان اسلام و از جنوب به خیابان دولت‌آباد، کوه بی بی شهر بانو و کارخانه سیمان و از شرق به کوه‌های شرقی تهران و حد شرقی اراضی افسریه منتهی می‌شود. بخشی از محدوده منطقه نیز در حریم شهر واقع است. در واقع از هشت ناحیه موجود، شش ناحیه در محدوده قانونی ۲۵ ساله منطقه ۲۸/۵ کیلومترمربع است که بر اساس آخرین مطالعات مشاور شهرسازی منطقه و تغییرات در نظر گرفته در محدوده قانونی منطقه، مساحت محدوده قانونی منطقه بیش از ۳۵ کیلومتر مربع خواهد بود. بر اساس این تغییرات با احتساب محدوده قصر فیروزه ۲، مساحت منطقه بالغ بر ۳۵۴۳/۶ هکتار می‌شود. شکل (۱) موقعیت نسبی منطقه ۱۵ در شهر و استان تهران را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

یافته‌ها و بحث

طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی دقت

تصاویر چندزمانه استفاده شده در این تحقیق پس از تصحیح هندسی و رادیومتریک برای تهیه نقشه پوشش زمین مورد بررسی قرار گرفته است، تعداد کاربری‌ها با توجه به تصاویر و نقشه‌های کاربری موجود و شرایط منطقه مورد مطالعه و بازدید میدانی برای تهیه نقشه پوشش زمین به پنج کلاس تقسیم شده است که عبارتند از: مناطق مسکونی، تجاری، فضای سبز، مناطق صنعتی و اراضی بایر. سپس به طبقه‌بندی تصاویر پرداخته شد، به جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی طبقاتی آنها که دارای رفتار طیفی یکسانی باشند، طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای گفته می‌شود و برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال^۱ استفاده شده است. در این طبقه‌بندی توزیع ارزش بازتابی در هر نمونه تعلیمی توسط یک تابع تراکم احتمال، که براساس تئوری احتمال بیس مینا شده، نشان داده خواهد شد. این طبقه‌بندی، احتمال اینکه هر سلول متعلق به یک کاربری باشد را بررسی نموده و سلول را به کاربری با بالاترین احتمال عضویت اختصاص می‌دهد. در نهایت با استفاده از این روش به تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی از محدوده مورد مطالعه پرداخته شده (شکل‌های ۳، ۴، و ۵) و برای ارزیابی تغییرات، مساحت هر یک از کاربری‌ها در هر دوره در

^۱. Maximum Likelihood

جدول ۳. نشان داده شده است. پس از طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی، به ارزیابی دقت پرداخته شد. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، انتخاب یک سری پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آنها با نتایج طبقه‌بندی لازم می‌باشد. بدین جهت تصاویر طبقه‌بندی شده با نمونه‌های زمینی تهیه‌شده به نرم‌افزار IDRISI انتقال یافته و میزان دقت برای هر نقشه به شرح جدول ۲. به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت در سه سال مورد مطالعه میزان تطابق نمونه‌ها با واقعیت زمینی بسیار بالاست.

جدول ۲. ضریب کاپا و دقت ارزیابی داده‌های تحقیق

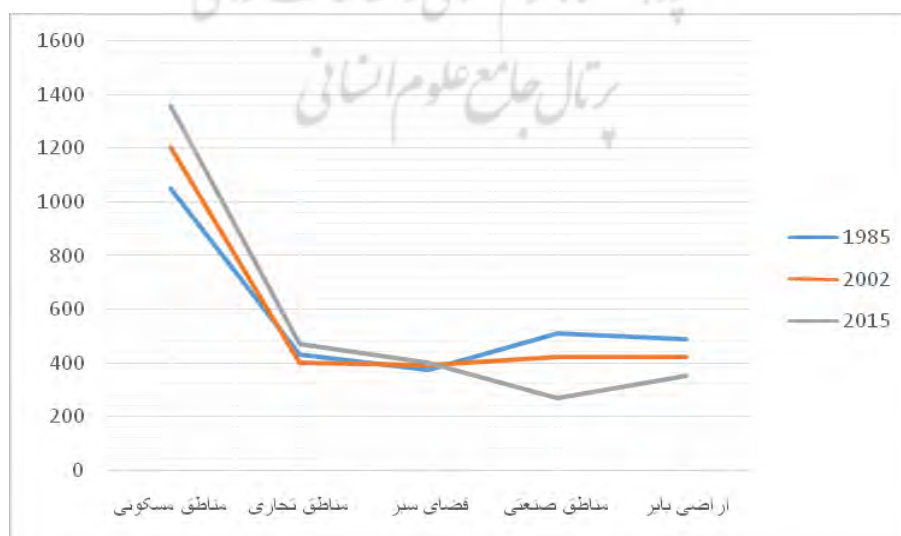
ارزیابی دقت	۱۹۸۵	۲۰۰۲	۲۰۱۵
ضریب کاپا	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۵
دقت ارزیابی بر حسب درصد	۹۱/۰۸ %	۹۳/۶۷ %	۹۵/۴۵ %

فرآیند تغییر کاربری اراضی و میزان گسترش فضایی-کالبدی منطقه ۱۵

با مطالعه و بررسی تصاویر و جدول مساحت کاربری‌های سه دوره از منطقه ۱۵ (شکل‌های ۳، ۴، ۵ و جدول ۳) و با توجه به رشد دو برابری جمعیت، ایجاد ساخت و سازها و رشد و توسعه روزافزون کالبدی شهر کاملاً مشهود می‌باشد. بررسی این تصاویر نشان می‌دهد که منطقه ۱۵ اراضی بایر را به شدت تحت تاثیر قرار داده است و به اراضی مسکونی تبدیل نموده است. در مجموع سیر رشد مناطق مسکونی در این بازه زمانی جهت شرقی-غربی را به همراه دارد.

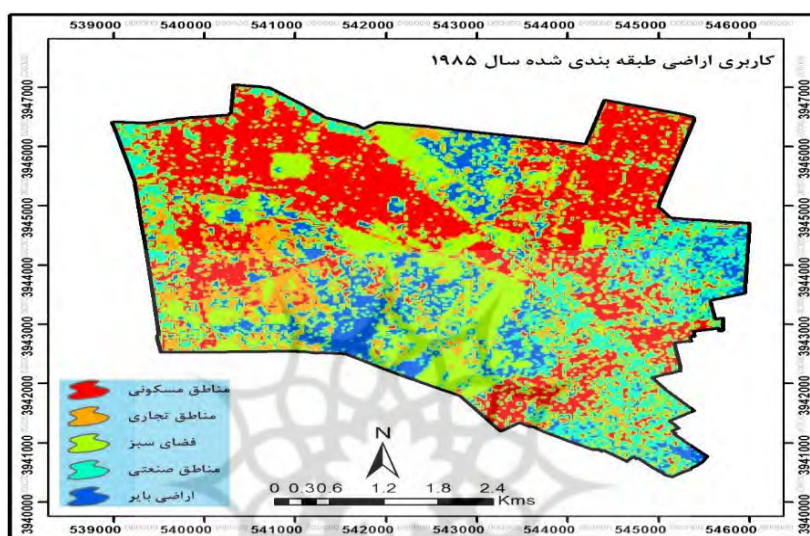
جدول ۳. مساحت کاربری‌های اراضی منطقه ۱۵ در طی سالهای مورد مطالعه

کاربری	۱۹۸۵	۲۰۰۲	۲۰۱۵
مناطق مسکونی	۱۰۵۲.۴۶	۱۲۰۵.۳۷	۱۳۵۸.۹۱
مناطق تجاری	۴۲۹.۹۳	۴۰۳.۷۴	۴۷۰.۷۹
فضای سبز	۳۷۲.۶۹	۳۹۳.۴۸	۳۹۹.۳۴
مناطق صنعتی	۵۱۱.۲۰	۴۳۳.۷۲	۲۶۹.۰۱
اراضی بایر	۴۸۵.۵۵	۴۲۵.۵۲	۳۵۳.۸۸
مجموع	۲۸۵۱.۸۳	۲۸۵۱.۸۳	۲۸۵۱.۸۳

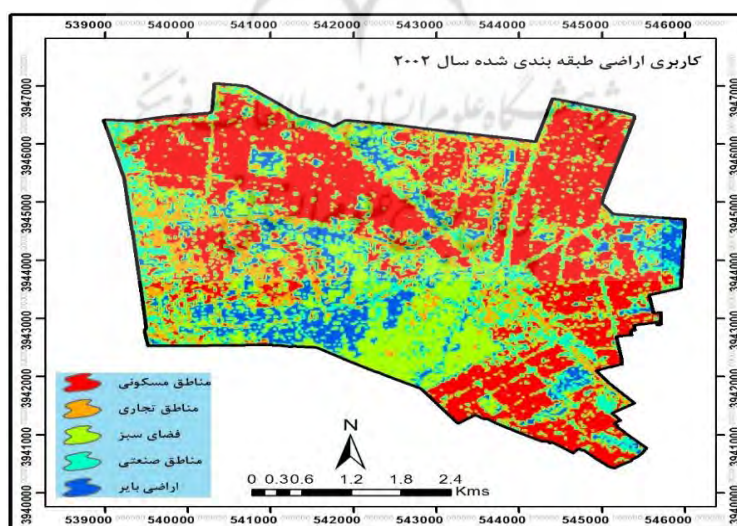


شکل ۲. نمودار تغییرات کاربری اراضی منطقه ۱۵ در طی سالهای مورد مطالعه

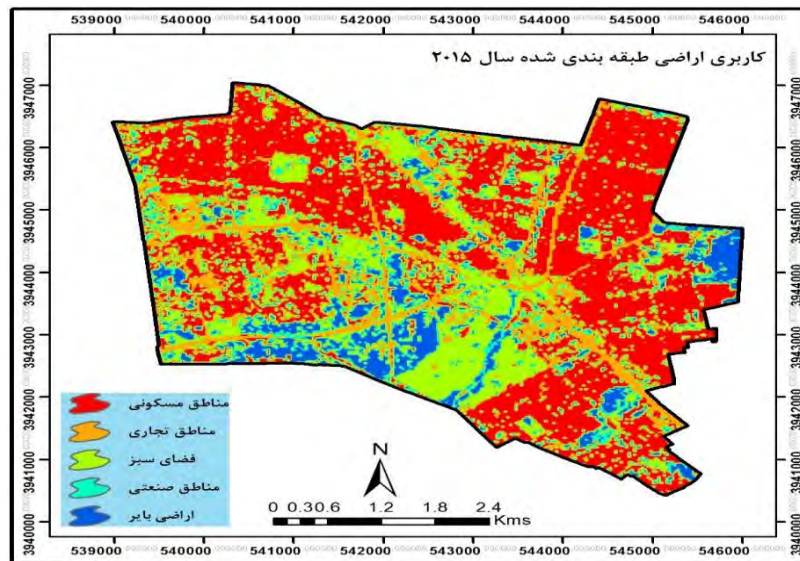
براساس نتایج به دست آمده از جدول ۳. بیشترین افزایش سطوح کاربری در منطقه ۱۵ مربوط به اراضی مسکونی می باشد که طی این دوره ۳۰۶.۴۵ هکتار افزایش را نشان می دهد که این افزایش سطح با توجه به تصاویر شکل های ۳، ۴ و ۵ و ماتریس حاصله از تغییرات کاربری ها مربوط به کاهش اراضی بایر (۱۳۱.۶۷ هکتار) می باشد. سپس افزایش مناطق تجاری با مساحت ۴۰.۸۶ هکتار و همچنین کاربری فضای سبز ۲۶.۵۵ هکتار می باشد و کاربری صنعتی نیز با کاهش ۲۴۲.۱۹ هکتاری رخ داده است. بنابراین دو کلاس اراضی بایر و مناطق صنعتی به ترتیب به نفع دو کلاس اراضی مسکونی و مناطق تجاری و فضای سبز کاهش یافته اند که بیشترین افزایش مربوط به کاربری اراضی مسکونی می باشد. با توجه به نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره ای منطقه ۱۵ گسترش فضایی- کالبدی قابل توجهی داشته است.



شکل ۳. نقشه ی کاربری اراضی طبقه بندی شده سال ۱۹۸۵



شکل ۴. نقشه ی کاربری اراضی طبقه بندی شده سال ۲۰۰۲



شکل ۵. نقشه‌ی کاربری اراضی طبقه‌بندی شده سال ۲۰۱۵

نتیجه‌گیری

با مدلسازی سیستم پیچیده شهری، الگوهای فضایی و روندهای رشد شهری را می‌توان شبیه‌سازی و پیش‌بینی کرد و درک بهتری از سیستم شهر به‌عنوان یک کل به‌دست آورد. از اینرو از مدل‌های فضایی ابزارهایی مفید برای درک فرآیند توسعه شهری و ابزاری کمکی برای سیاست‌گذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری می‌باشد. در همین راستا، پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست، روند توسعه کالبدی منطقه ۱۵ شهر تهران از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۱۵ مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. تصاویر استفاده شده در این تحقیق، تصاویر TM 1985، ETM+ 2002 و OLI از ماهواره لندست می‌باشند. طبق نتایج پژوهش حاضر، بیشترین افزایش سطوح کاربری در منطقه ۱۵ مربوط به اراضی مسکونی می‌باشد که طی این دوره ۳۰۶.۴۵ هکتار افزایش را نشان می‌دهد و ماتریس حاصله از تغییرات کاربری-ها مربوط به کاهش اراضی باير (۱۳۱.۶۷ هکتار) می‌باشد. سپس افزایش مناطق تجاری با مساحت ۴۰.۸۶ هکتار و همچنین کاربری فضای سبز ۲۶.۵۵ هکتار می‌باشد و کاربری صنعتی نیز با کاهش ۲۴۲.۱۹ هکتاری رخ داده است. بنابراین دو کلاس اراضی باير و مناطق صنعتی به ترتیب به نفع دو کلاس اراضی مسکونی و مناطق تجاری و فضای سبز کاهش یافته‌اند که بیشترین افزایش مربوط به کاربری اراضی مسکونی می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه ۱۵ گسترش فضایی - کالبدی قابل توجهی داشته است.

منابع

۱. احدنژادروشتی، محسن و حسینی، سیداحمد. (۱۳۹۰). ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه‌موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۸۹-۱۳۶۳). پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۴، ۲۰-۱.
۲. حاجی‌نژاد، علی، داودی‌منظم، زهره، عباس‌نیا، محسن و پوره‌اشمی، سیما. (۱۳۹۳). پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک سنجش از دور (مطالعه‌موردی: شهرستان شهریار). کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۱، بهار، ۲-۱۳.

۳. خوش‌گفتار، مهدی و طالعی، محمد. (۱۳۸۹). شبیه‌سازی رشد شهری در تهران، با استفاده از مدل CA-Markov. *سنجش از دور و GIS ایران*، شماره ۲.
۴. رجب‌زاده، فائزه. (۱۳۹۵). تغییرات کاربری اراضی جنوب‌غربی تهران با استفاده از تکنیک سنجش از دور و زنجیره مارکوف. *حفاظت منابع آب و خاک*، ۲، ۷۲-۵۹.
۵. رحیمی، اکبر. (۱۳۹۳). مدل‌سازی توسعه‌تبریز در سال ۱۴۱۰ با استفاده از LTM. *پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری (جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای سابق)*. ۵ (۱۰).
۶. روستایی، شهرپور، احدنژادروشتی، محسن و فرخی‌صومعه، مینا. (۱۳۹۳). سنجش فضایی گسترده‌ی شهری با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه (مطالعه‌موردی: ارومیه). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۵۰، ۱۸۹-۲۰۶.
۷. عابدینی، موسی، میرزاخانی، بهاره و عسکری، آتنا. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی ژئومورفولوژیکی تناسب‌زمین در شهرستان اراک با استفاده از مدل منطق‌فازی (با رویکرد توسعه آتی شهر اراک). *برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۸، ۷۲-۵۹.
۸. فیضی‌زاده، بختیار، حاجی میررحیمی، سیدمحمود. (۱۳۸۷). *آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا (مطالعه‌موردی: شهرک اندیشه)*. همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور. تهران.
۹. قاسمی، علی. (۱۳۸۰). *بررسی روند و شناخت الگوی توسعه‌فیزیکی شهر بهشهر*. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران.
۱۰. قربانی، رسول، پورمحمدی، محمدرضا و محمودزاده، حسن. (۱۳۹۲). رویکرد زیست‌محیطی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی محدوده کلانشهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای، ارزیابی چند معیاری و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف (۱۹۸۴-۲۰۱۱). *مطالعات شهری*، ۱، ۲۹-۱۳.
۱۱. محمدزاده، رحمت. (۱۳۸۶). بررسی اثرات زیست‌محیطی توسعه‌فیزیکی شتابان شهرها با تأکید بر تهران و تبریز. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۹، ۹۴-۱۱۰.
۱۲. هادوی، فرامز، تیموری، اصغر، ربیعی‌فر، ولی‌الله و هادوی، محمدرضا. (۱۳۹۲). ارزیابی و پیش‌بینی گسترش افقی شهر قزوین با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی، طی دوره (۱۹۸۶-۲۰۱۱). *اقتصاد و مدیریت شهری*، ۵، ۱۵-۲۷.
۱۳. یوسفی، صالح، حمیدرضا، مرادی، حسینی، سیدحمزه و میرزایی سمیه. (۱۳۹۰). پایش تغییرات کاربری اراضی مرپوان با استفاده از سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره لندست. *کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، ۲، ۹۷-۱۰۵.
14. Bhatta, B. (2010). *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing*. DataSpringer; London; p 191.
15. Brown, D. G, B. C. Pijanowski, and J. D. Duh. (2000). Modelig the relationships between landuse and landcover on private lands in the Upper Midwst, USA. *Journal of Environment* 59,. 247-263.
16. Clayton, K. (1990). *The Land From Space, Environmental Science for Environmental Management*. Longman, London, 198-202.
17. Eastman, J.R. (2006). *Instruction to remote sensing*. the Guilford press.
18. Eastman, J.R., Solorzano, L.A., & Van Fossen, M.E. (2005). *Transition Potential Modeling for Landcover Change, In D. J. Maguire, M. Batty, & M. F. Goodchild (Eds), GIS. spatial analysis and modeling*. PP. 357-385. California: ESRI Press.
19. George Xian, Mike Crane. (2005). Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data. *Journal of Remote Sensing of Environment*. 97, 203-215.
20. Guan, DongJie, Li, HaiFeng, Inohae, Takuro, Su Weici, Nagaie, Tadashi, and Hokao, Kazunori. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*. 222 (20-22), 3761-3772.
21. Hathout, S. (2002). The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Maintoba. Canada. *Journal of Environmental Management* 66, 229-238.

22. He C., Okada N., Zhang Q., Shi P. and Li J. (2008). Modeling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. *Landscape and urban planning*, 86, 79-91.
23. Hastings, A. D. (2000). *Topographic Data, Global Environmental Databases*. ISPRS Publication, 43-55.
24. Kaya, S., Curran, P.J. (2006). Monitoring urban growth on the European side of the Tstanbul merropolitan area. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8, 18-25.
25. Kelarestaghi A, Jeloudar ZJ. (2011). Land use/cover change and driving force analyses in parts of northern Iran using RS and GIS techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(3-4): 401-411.
26. Li, H., & Rennolds, J.F. (1997). Modeling Effects of Spatial Pattern, Drought, and Grazing on Rates of Rangeland Degradation: A Combined Markov and Cellular Automatan Approach. In D. A. Quattrochi, & M. F. Goodchild (Eds.), *Scale in remote sensing and GIS*. PP, 211-230, Boca Raton, Florida: Lewis Publishers.
27. Mas, Jean-François, Melanie, Kolb, Martin, Paegelow, María Teresa, Camacho Olmedo, and Thoma, Houet. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*, 51 (0), 94-111.
28. Muller, M. R. and J. Middleton. (1994). A Markov model of landuse change dynamics in the Niagara Region, Ontario. *Canada. Landscape Ecology* 9, 151-157.
29. Myint, S. W., & Wang, L. (2006). Multi-criteria Decision Approach for Land Cover Change Using Markov Chain Analysis and a Cellular Automata Approach. *Canadian Journal of Remote Sensing* 32(6), 390-404.
30. Nieuwenhuis, O. A. (1999). *Operational Remote Sensing For Sustainable Development*. ITC, P87-90.
31. Ponitus, R. G., Jr., & Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two Land Change Modeles. *International Journal of Geographical Information Science*, 19 (2), 243-265.
32. Sietchiping, R., Wyatt, R. and Hossain, H. (2004). *Urban Informal Settlements within Less Developed Countries - A Simulation*. Planning Institute Australia, Hobart, 22-26.
33. Spooner, A. (2012). *Environmental science for Dummies*, john willey sons. Inc., Hoboken, New Jerseys.
34. Street, Peoria. (2007). *Land market forces and governments role in sprawl, college of urban planning and public Affairs*. University of Illinois at Chicago.pp:123-135.
35. Tewolde, M.G., and P. Cabral. (2011). *Urban Sprawl Analysis and Modeling in Asmara*. Eritrea, Remote Sensing 3: 2148-2165.
36. Wakode, Hemant Balwant, Klaus, Baier, Ramakar, Jha. & Raffig, Azzam. (2013). Analysis of urban growth using Lands at TM/ETM data and GIS- a case study of Hyderabad. *India. Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 109-121.
37. Wolk -Musial, E. & Zagajewski, B. (1999). *Environmental Remote Sensing, Remote Sensing of Environment Laboratory*. Faculty of Geography and Regional Studies, University of Warsaw, Poland.