فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

۱۲۱-۱۳۸

مقاله پژوهشی

بررسی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی کلانشهر تهران با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور

عادل خزایی[۱]، مجید عباسپور*[۲]، ساسان بابایی کفاکی[۱]، لعبت تقوی[۱] و یوسف رشیدی[۳]

[۱] گروه علوم محیط زیست و جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۲] گروه مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک و پژوهشکده علوم و فناوری‌های آب، انرژی و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

[۳] گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۸

خزایی، ع.، م. عباسپور، س. بابایی کفاکی، ل. تقوی و ی. رشیدی. ۱۴۰۲. بررسی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی کلانشهر تهران با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور. فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۲): ۱۲۱-۱۳۸.

سابقه و هدف: کلان شهر تهران به عنوان بزرگترین پایتخت خاورمیانه با پدیده هایی چون آلودگی های زیست محیطی، تغییرات کاربری ها، تمرکز بیش از اندازه فعالیتهای اقتصادی و صنعتی روبرو است. شناخت تغییرات کاربری اراضی در گذشته و پیش بینی وضعیت آینده آن به منظور یک برنامه ریزی اصولی، پویا و آینده نگرانه ضروری است. در این مطالعه پویایی فضایی- زمانی تغییرات کاربری اراضی کلانشهر تهران در یک دوره زمانی ۲۰ ساله و پیش بینی تغییرات آینده این کاربری ها در یک افق ۴۰ ساله به عنوان اهداف کلی این مطالعه انتخاب شدند.

مواد و روش‌ها: پس از تشکیل یک پایگاه داده از تصاویر ماهواره های لندست ۵ و ۸ برای سه دوره زمانی ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰، نقشه کاربری اراضی سال های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ تهیه شد. برای اعتبارسنجی نقشه ها از تصاویر گوگل ارث، نقاط واقعیت زمینی و ضرایب صحت و کاپا استفاده شد. دوره زمانی ۱۴۰۰ تا ۱۴۴۰ برای پیش بینی تغییرات آینده مدنظر قرار گرفت. به منظور پهنه بندی و پیش بینی وضعیت آینده تغییرات کاربری اراضی از ۶ زیر مدل انتقال تغییرات کاربری با شبکه عصبی مصنوعی، زنجیره مارکوف، و مدل LCM استفاده شد. ارزیابی صحت مدل از مقایسه نقشه واقعیت زمینی سال ۱۴۰۰ و نقشه پیش بینی ۱۴۴۰، و مقادیر موفقیت خنثی، موفقیت، خطا و هشدار خطا بدست آمد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که دوره ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰، با گسترش مناطق مسکونی، رشد مناطق شهری و کاهش فضاهای سبز شامل باغات،

* Corresponding Author: *Email Address*. abbpor@sharif.edu
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1226
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.2.5.3

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

درختزارها و پارک ها همراه بوده است. گسترش مناطق مسکونی در درجه اول در خاک های کم توان و بایر و سپس در باغات و فضای سبز بوده است. این رشد شهری به وضوح در مناطق ۵، ۲۱ و ۲۲ بوده و روند توسعه فیزیکی آن به صورت خطی بوده است. کاهش سطح باغات و فضای سبز بسیار فاجعه بار بوده و این کاهش بویژه در مناطق مرکزی شهر به دلیل تراکم بالای ساختمانها و انبوه سازی بسیار مشهود می باشد. پارک های شهری به وضوح در مناطق شرق تهران وضعیت بغرنجی را دارند. مساحت کشاورزی دیم افزایش داشته و از مساحت عرصه های بایر و اراضی کم توان کاسته شده است. بیشترین تغییرات کاربری مربوط به اراضی کم توان و اراضی زراعی اتفاق افتاده است. بررسی نقشه های وضعیت آینده پوشش اراضی ادامه همان روند ۲۰ سال گذشته را نشان داد. هر چند رشد مناطق مسکونی با آهنگ کمتری نسبت به دوره قبل خواهد بود ولی همچنان بر ظرفیت و ابعاد شهر بویژه در مناطق غربی، جنوبی و جنوب غربی افزوده خواهد شد. روند کاهنده باغات، درختزارها، پارک ها و فضای سبز شهری نیز همچنان مشاهده می شود. این روند در مورد پارک ها شدت بیشتری دارد و با سرعت بیشتری تخریب خواهند شد. دلیل این مورد علاوه بر خشکسالی و پژمردگی درختان بر اثر تغییر اقلیم، آلودگی ها، تبدیل این کاربری های سبز به کشاورزی دیم، پارک ها، مراتع و مناطق شهری نیز می باشد. در مورد فضای سبز شهری، منطقه ۱۶ و ۴ بدترین وضعیت را داشته، مناطق ۱۷ و ۱۹، ۲، ۵ و ۲۲ نیز از این آسیب در امان نخواهند بود. کاهش در مساحت مراتع و کشانده شده شهرها به مناطق جدید بیشتر شده،چرخه نابودی پوشش گیاهی از حاشیه تهران بیشتر خواهد شد.

نتیجه‌گیری: ساخت و ساز در مناطق جنوب تهران دارای تمایل بیشتر بوده و روند کاهنده باغات و فضای سبز شهری نیز همچنان مشاهده خواهد شد. مناطق مرکزی تهران بدلیل غلبه بافت شهری کلاً از درختان عاری خواهد شد و نکته قابل تأمل نابودی کمربند سبز شمال تهران در آینده می باشد.

واژه‌های کلیدی: لندست، توسعه فیزیکی شهری، پیش بینی تغییرات کاربری، سنجش از دور، تهران.

مقدمه

روند توسعه طی ۵۰ سال گذشته بویژه در کشورهای جهان سوم، با افزایش جمعیت و توسعه صنایع نمود بیشتری پیدا کرده و اثرات مثبت و منفی زیاد و پیامدهای زیست محیطی و اقتصادی اجتماعی متعددی به دنبال داشته است. (Fathollahi Roudbary *et al.* 2018; Yaghoubkhani 2012; Mishra *et al.* 2014; Mohammad Youssefi *et al.* 2020; Saeifar and Mohammadnia 2015; Sharma *et al.* 2018; Azizi and Dehghani 2014). عموماً این توسعه فیزیکی به سمت مناطق حاشیه ای شهرها بوده و باعث تغییرات در کاربری های پیرمونی شده است (Najafzadeh *et al.* 2021; Bokaeain *et al.* 2020). در میانه این تغییرات، اراضی گوناگون مانند کشاورزی، مراتع و اراضی بایر به اراضی ساخته شده اعم از مسکونی، تجاری، صنعتی یا شبکه راهها تبدیل شده و در برخی موارد بصورت اراضی بایر رها شده اند. تغییر کاربری اراضی شامل هر گونه تغییر در نوع کاربری زمین ها و تغییر در الگوی پراکنش مکانی، ابعاد و مساحت آنها را شامل می شود (Heydarian *et al.* 2014). کاربری اراضی فرآیندی پویا و پیچیده و نتیجه روابط متقابل پارامترهای اجتماعی- فرهنگی، اقتصادی و توان بالقوه سرزمین است (Gholamalifard *et al.* 2012). رشد شهرها سبب عدم تعادل در استفاده از زمین و بروز مشکلات عدیده ای مانند تخریب عرصه های طبیعی، نابودی اراضی کشاورزی، آلودگی و از بین رفتن کیفیت آب، خاک و هوا، فرسایش خاک و ایجاد سیلاب ها و ... شده است (Heydarian *et al.* 2014; Fathollahi Roudbary *et al.* 2018; Dadashpour *et al.* 2019; Tavakoli Nia *et al.* 2009; Karimzadeh Motlagh *et al.* 2020). از این رو در مدیریت اراضی بویژه شناخت تغییرات کاربری اراضی و روند تغییرات آنها در جهت مدیریت بهتر مناطق شهری، حفاظت از اراضی طبیعی و اتخاذ تدابیر و سیاست های درازمدت و توسعه پایدار، از اهمیت ویژه ای برای برنامه‌ریزان و مدیران، برخوردار است (Rajabzadeh 2016; Vahedian Beicky *et al.* 2011). بـرای یـک چنین برنامه‌ریزی قطعاً اطلاعاتی از چگونگی ایـن تغییـرات و مدل توسعه مکانی کاربری های شهر در اثر گذشت زمان نقش حیـاتی دارد

Mohammad Youssefi *et al.* 2020; Esmaeili *et al.* 2018). انتخاب یک روش مناسب برای کشف این تغییرات اقدامی مهم و پایه ای است. مطالعات نشان داده است که ادغام فنآوری سنجش از دور با سیستم های اطلاعات جغرافیایی به صورت یکپارچه ابزار توانمندی برای ارزیابی پویایی زمانی-مکانی تغییرات کاربری اراضی فراهم آورده و قابلیت توسعه انواع مدل ها در توسعه شهری و ارائه راهکارهای جدیدتر، ساده تر و سریع تر و برزوتر را فراهم ساخته است (Dadashpour *et al.* 2019; Bokaeain *et al.* 2020; Najafzadeh *et al.* 2021). با استفاده از داده های ماهواره ای چند زمانه می توان با کمترین زمان و هزینه نسبت به استخراج نقشه های کاربری اراضی اقدام نموده و با مقایسه آنها در دوره های زمانی می توان نسبت تغییرات را ارزیابی و برای سال های آتی رشد شهری، شبیه سازی و پیش بینی نمود (Rajabzadeh 2016; Mohammad Youssefi *et al.* 2020; Nadizadeh Shorabeh *et al.* 2020; Najafzadeh *et al.* 2021; Vahedian Beicky *et al.* 2011; Falahatkar *et al.* 2016). در این میان مدل های فضایی، ابزارهای کارایی برای درک فرآیند توسعه شهری فراهم آورده و می توان بر اساس این مدلسازی و شبیه سازی ها، در مورد تغییرات فرآیند توسعه شهری سیاستگذاری و برنامه ریزی ریزی نمود (Heydarian *et al.* 2014; Dadashpour *et al.* 2019; Gholamalifard *et al.* 2012). از جمله این مدل ها، مدلساز تغییر زمین LCM (Land Change Modeler) است که نسبت کاربری های مختلف و امکان پیش بینی آنها در آینده را فراهم می آورد (Falahatkar *et al.* 2016). مدل‌ساز تغییرات زمین، ابزاری را در اختیار قرار می‌دهد که به کمک آن می‌توان به ارزیابی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری اراضی پرداخت. در این روش مدل‌سازی در ۴ مرحله انجام می‌شود: ۱- بررسی تغییرات کاربری؛ ۲- مدل‌سازی نیروی انتقال؛ ۳- مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و ۴- ارزیابی صحت مدل‌سازی (Mohammad Youssefi *et al.* 2020; Gholamalifard *et al.* 2012). مدل LCM به دو نقشه پوشش سرزمین متعلق به زمان‌های گوناگون به‌عنوان ورودی نیاز دارد (Gholamalifard *et al.* 2012; Fathollahi Roudbary *et al.* 2018; Mohammadyari *et al.* 2019). در خارج از ایران، Amany and Ebraheem (2020) برای پیش بینی کاربری‌های آینده زمین در نجف عراق برای سال ۲۰۳۶، Azari *et al.* (2022) برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در سلانگور مالزی تا سال ۲۰۳۰، Mishra *et al.* (2014) در پیش‌بینی تغییرات مکانی و زمانی کاربری زمین در بیهار هند تا سال ۲۰۳۵، Sharma *et al.* (2018)، برای توسعه سه سناریوی آینده LULC تا ۲۰۳۰ در ناحیه Pulang Pisau در کالیمانتان اندونزی، و در ایران(2016) Falahatkar *et al.* در پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه دیلمان استان گیلان تا سال ۲۰۵۰، Mohammadyari *et al.* (2019) در پیش بینی روند تغییرات کاربری اراضی بهبهان تا ۱۴۰۶، Fathollahi Roudbary *et al.* (2018) برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی شهرستان نکا تا ۲۰۳۰، تا کنون کارایی این روش را تایید نموده اند.

تهران به عنوان بزرگترین مرکز شهری خاورمیانه، با سپری نمودن دوره پرشتاب شهر نشینی و الحاق شهرها و روستاهای پیرامون به کلان شهری بزرگ تبدیل گردیده و البته بـه معضـلات کـارکردی کالبدی و اجتماعی اقتصادی کلان شهرهای کشورهای توسعه نیافته نیز دچار گردیده است. متاسفانه وضعیت امروز تهران نتیجه گسترش بدون طرح جامع می باشد (Yaghoubkhani 2012; Heydarian *et al.* 2014). بررسی و شناخت تغییرات کاربری اراضی این کلانشهر و پیرامون آن برای برنامه ریزی اصولی و آینده نگرانه کاربری زمین شهری ضروری می باشد. مطالعاتی چندی در این زمینه در تهران تاکنون انجام شده است. مطالعه Esmaeili *et al.* (2018) در باب تغییرات کاربری اراضی منطقه ۱۵ تهران برای دوره زمانی ۱۹۸۵تا ۲۰۱۵ و در جدیدترین مطالعه Bokaeain *et al.* (2020) برای دوره

زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ نشان دادند که روند رشد اراضی شهری و اراضی بایر افزایشی و اراضی مرتعی در یک دهه گذشته کاهشی بوده است. همچنین Rajabzadeh (2016) تغییرات کاربری اراضی جنوب غرب تهران با زنجیره مارکوف تا سال ۲۰۲۴ پیش بینی نمودند. Dadashpour *et al.* (2019) نیز تغییرات کاربری اراضی تهران را برای سال های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ با روش رگرسیون لجستیک و ترکیب روش های مارکوف و خودکار سلولی مورد بررسی قرار داده اند. آنچه مسلم است کالبد شهر شدیداً دچار تغییرات مختلفی در مناطق ۲۲ گانه آن شده است. مناطق شهری بدون ضابطه و صرفاً به منظور توسعه شهری ساخته شده و منشا تخریب اراضی کشاورزی، آلودگی های زیست محیطی، تهدیدهای اکولوژی منطقه شده است. در این راستا هدف از این مطالعه بررسی تغییرات کاربری اراضی بویژه اراضی شهری و فضای سبز تهران بزرگ در دوره ۲۰ ساله ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ و پیش بینی وضعیت کاربری اراضی درآن تا افق ۱۴۴۰ می باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی کلانشهر تهران

تهران دارای اقلیم نیمه‌خشک است. متوسط درجه حرارت سالانه شهر تهران ۱۷/۱ درجه سانتیگراد، متوسط بارندگی ۲۳۱ میلیمتر و میانگین روزهای یخبندان در طول سال ۴۹ روز می باشد. سرعت متوسط باد ۸ کیلومتر بر ساعت و رطوبت ۳۹٪ می باشد. مسیر اصلی و جهت باد غالب شهر تهران، شمال غرب به جنوب شرق است (Azizi and Dehghani 2014; Bokaeain *et al.* 2020). از دید ناهمواری‌های طبیعی، تهران به دو ناحیه دشتی و کوهپایه‌ای البرز تقسیم می‌شود و دامنه ارتفاعی آن از ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته‌است. از نظر اداری، تهران به ۲۲ منطقه و ۱۲۲ ناحیه شهری تقسیم شده است (Dadashpour *et al.* 2019).

روش انجام تحقیق

طراحی و تشکیل پایگاه داده مناسب

در گام اول، داده های ماهواره ای تصاویر چند زمانه لندست سنجنده های TM و OLI (لندست ۵ و ۸ OLI) برای یه مقطع زمانی۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ از پایگاه اطلاعاتی USGS اخذ گردید (Saeifar and Mohammadnia 2015; Esmaeili *et al.* 2018). سپس در همین مرحله پیش پردازش ها، انجام تصحیحات هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری بر روی تصاویر خام، ایجاد ترکیب باندی کاذب جهت تشخیص بهتر عوارض و پدیده های سطح زمین به منظور طبقه بندی تصاویر، پی گیری شد. تا پایه های مدل سازی در قسمت بعدی پی ریزی گردد (Mohammad Youssefi *et al.* 2020; Heydarian *et al.* 2014).

تهیه نقشه کاربری/ پوشش اراضی

طبقه‌بندی تصویر یک فرآیند پیچیده است و نیاز به در نظر گرفتن عوامل زیادی دارد. مراحل کلی طبقه‌بندی تصویر شامل؛ تعیین یک سیستم طبقه‌بندی مناسب، پردازش، انتخاب نمونه‌های آموزشی، و پردازش پس از طبقه‌بندی و ارزیابی دقت و صحت است (Heydarian *et al.*, 2014; Heidari Mozaffar and Saleh Joneghani 2021). برای این مرحله با تفسیر بصری تصویر ترکیب رنگی کاذب و با استفاده از نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور، نمونه های تعلیمی برای هر کلاس تعریف شد (Gholamalifard *et al.*, 2012; Rajabzadeh, 2016). در نهایت نقشه طبقات کاربری اراضی سال های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰، و ۱۴۰۰ با روش طبقه بندی کننده حداکثر احتمال همسایگی شامل فضای سبز و پارک ها، پهنه های آبی، اراضی مرتعی، مناطق مسکونی-شهری، اراضی کشاورزی دیم و آبی، باغات و درختزارها و اراضی بایر برای حوضه مورد مطالعه تهیه شد (Mohammad Youssefi *et al.*, 2020). پس از طبقه بندی تصاویر در این مرحله با استفاده تفسیر بصری و نقاط کنترل زمینی که در طول زمان تغییر نکرده

اند، همچنین استفاده از محیط گوگل ارث صحت نقشه های کاربری/پوشش اراضی برآورد شد. این نقاط واقعیت زمینی با تصویر طبقه بندی شده مقایسه شده و ضرایب کاپا و صحت کلی بدست آمد (Gholamalifard *et al.*, 2012; Falahatkar *et al.*, 2016).

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از LCM

مدل LCM برای تحقیق حاضر مناسب تشخیص داده شد. زیرا فرآیند تغییر کاربری اراضی بویژه گسترش مناطق مسکونی و تبدیل اراضی طبیعی به کشاورزی، صنعتی یا مسکونی آن هم در شهری مانند تهران بسیار پیچیده و نیازمند متغیرهای متعدد است. این مدل با تلفیق توانایی های مدل زنجیره مارکوف، روش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون (MLP) با آموزش پس انتشار خطا، رگرسیون لجستیک و MOLA از کارایی خوبی در شبیه سازی فرآیندهای پیچیده برخوردار است و به صورت برنامه درون سامانهٔ نرم افزاری IDRISI و ArcGIS در دسترس است (Azizi and Dehghani 2014; Falahatkar *et al.*, 2016; Mohammadyari *et al.*, 2019). مدل LCM به دو نقشه کاربری اراضی متعلق به زمان های گوناگون به عنوان ورودی نیاز دارد (Karimzadeh Motlagh *et al.*, 2020; Azizi Qalati *et al.*, 2014; Mohammad Youssefi *et al.*, 2020; Gholamalifard *et al.*, 2012).

در این تحقیق، نقشه های کاربری اراضی تولید شده سال های ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ به عنوان ورودی مدل LCM برای تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات منطقه در ۱۴۰۰ و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی سال ۱۴۴۰ انتخاب شدند. کاهش ها و افزایش ها در هر کاربری، تغییر خالص، مناطق بدون تغییر از هر کاربری به کاربری دیگر در طبقات گوناگون پوشش اراضی به صورت نقشه با قسمت آنالیز بدست آمد. مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از LCM به طور کلی ۴ مرحله دارد: بررسی و آشکار سازی تغییرات؛ مدلسازی نیروی انتقال؛ مدلسازی تغییرات کاربری اراضی و اعتبارسنجی نقشه مدلسازی شده (Gholamalifard *et al.*, 2012; Nadizadeh Shorabeh *et al.*, 2020).

مدلسازی نیروی انتقال

در این بخش از مدل سازی نیروی انتقال از یک کاربری (مثل جنگل)، به کاربری دیگر (نظیر کشاورزی) با توجه به متغیرهای توضیحی کمکی (مثل شیب، ارتفاع، نزدیکی به جاده و ...)، مدل می شود. به این مفهوم که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر، چقدر پتانسیل دارد (Falahatkar *et al.*, 2016; Fathollahi Roudbary *et al.*, 2018; Karimzadeh Motlagh *et al.*, 2020).

در این مطالعه ۶ زیر مدل انتقال تغییر کاربری اراضی برای مدل سازی نیروی انتقال با استفاده از پرسپترون چند لایهٔ شبکهٔ عصبی مصنوعی مشخص شد. متغیرهای توصیفی بکاررفته در این قسمت عبارتند از شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از مناطق مسکونی (شهری)، فاصله از مرز اراضی کشاورزی دیم و آبی، فاصله از مرز باغات و درختزارها، فاصله از مرز اراضی مرتعی، فاصله از پارک ها و فضای سبز و فاصله از پهنه های آبی می باشند. این متغیرها در اغلب مطالعات مدل سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده شده اند. بعد از انتخاب زیرمدل ها و طبق متغیرهای مستقل انتخاب شده، مدلسازی پتانسیل تبدیل هر کاربری با روش شبکهٔ عصبی مصنوعی انجام شد. به این مفهوم که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر چقدر پتانسیل دارد (Azizi Qalati *et al.*, 2014; Tavakoli Nia *et al.*, 2009).

مدلسازی تغییرات کاربری اراضی

خروجی های مرحله مدل سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی های مرحله پیش بینی تغییرات بکار می روند. مقدار تخصیص تغییر به هر کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف پیش بینی شده و نقشه کل تغییرات

کاربری اراضی در مدل LCM تهیه گردید. زنجیره مارکف یک ابزار مناسب برای مدل سازی تغییرات کاربری زمین در جایی است که توصیف تغییرات و فرآیندهای سیمای سرزمین مشکل باشد. هر فرآیند مارکوف در جایی استفاده می شود که وضعیت آینده یک سیستم را بتوان به صورت کلی براساس وضعیت پیش از آن سیستم مدل سازی کرد. (Azizi Qalati *et al.*, 2014; Gholamalifard *et al.*, 2012). در مدل مارکوف حالت سیستم در زمان ۲ می تواند بر اساس حالت سیستم در زمان ۱ پیش بینی شود و در نتیجه ماتریس احتمالات انتقال به عنوان پایه ایی برای مدل سازی تغییرات کاربری اراضی ارائه گردد (Fathollahi Roudbary *et al.*, 2018; Karimzadeh Motlagh *et al.*, 2020). مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری در آینده از طریق تحلیل زنجیره مارکوف و با استفاده از نقشه های کاربری اراضی دوره اول (۱۳۸۰- ۱۳۹۰) و دوم (۱۳۹۰-۱۴۰۰) به صورت یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات محاسبه و از آن به عنوان پایه ای برای نقشه سازی دوره زمانی آینده تا سال۱۴۴۰ استفاده گردید (Mohammad Youssefi *et al.*, 2020).

اعتبارسنجی نقشه مدلسازی شده

برای اعتبارسنجی توان مدل LCM جهت تولید نقشه کاربری اراضی از نقشه های دوره زمانی ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ برای پیش بینی نقشه سال ۱۴۰۰ استفاده شده و از مقایسه نقشه واقعیت زمینی سال ۱۴۰۰ به عنوان واقعیت و مرجع و نقشه پیش بینی ۱۴۴۰، برای ارزیابی صحت مدل استفاده شد. مقادیر موفقیت خنثی (Null Success)، موفقیت (Hit)، خطا (Miss) و هشدار خطا (False Alarm) بدست آمدند. همچنین خطای کل پیش بینی مدل با استفاده از مجموع خطا و هشدار خطا محاسبه گردید (رابطه ۱) (Gholamalifard *et al.*, 2012; Chen and Pontius 2010).

(۱) هشدار خطا+ خطا= خطای کل

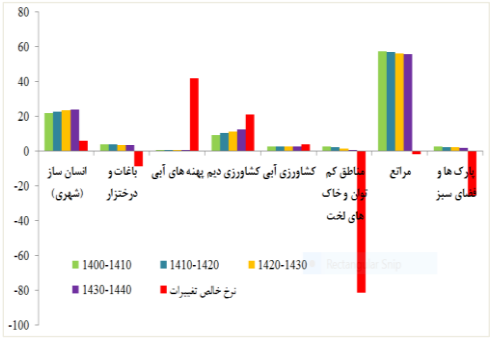
نتایج و بحث

بررسی تغییرات کاربری اراضی در دوره مطالعه

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در سال ۱۳۸۰، ۱۴.۲ درصد کل کاربری ها مربوط به کاربری مسکونی و انسان ساز (شهری) بوده که در طی دوره مطالعه تا سال ۱۳۹۰ به مساحت ناخالص ۳۹.۸ هزار هکتار رسیده است. این کاربری با توجه به نیاز مسکن و سرانه رشد جمعیت در طی دهه آخر مطالعه به رشد خود با سرعت کمتری ادامه داده است و با ۱۴.۶۲ درصد نرخ رشد در سال ۱۴۰۰ تشکیل دهنده ۲۱.۲ درصد از کل سیمای شهر تهران می باشد. در کل نرخ رشد کاربری مسکونی و انسان ساز ۱۹.۸ درصد برای ۲۰ سال به ثبت رسیده است (شکل ۱، راست). مطالعه روند تغییرات نشان می دهد توسعه مناطق مذکور بیشتر در خاک ها یا مناطق کم توان بوده است (شکل ۲). سپس در فضای سبز و پارک ها و در مرحله بعد در باغات. رشد شهر بیشتر در مناطق ۵، ۲۱ و ۲۲ بوده است (شکل ۳). نتایج آنالیز در سالهای مختلف دوره مطالعه روند نگران کننده ای از تقلیل مساحت اراضی باغی و فضای سبز در سطح تهران دارد. مساحت اولیه پوشش درخت زار ۶.۳ درصد مساحت کل منطقه بوده است، با نرخ تخریب ٪۵.۷۴ی به سمت نابودی رفته است. این بحث به اینجا خاتمه نیافته و در دهه دوم ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ بزرگترین فاجعه اتفاق افتاده است، جایی که از ۵.۶ درصد تنها ۴.۰ درصد باقی مانده است، ۱۷.۰۶ درصد تخریب نگران کننده و فاجعه محسوب می گردد. موضوع اخیر سبب شده باغات و درختزارها از پس زمینه سیمای شهر تهران حذف گردد و تنها ۴ درصد استان تهران در ۱۴۰۰ به این پوشش اختصاص داده شود (شکل ۱، راست). بیشترین تبدیل این کاربری مهم به مراتع و پس از آن کشاورزی دیم بوده است (شکل ۲). متأسفانه نرخ کاهش ۲۲.۵ درصدی این کاربری در طول دوره مطالعه وجود دارد (شکل ۱، راست و شکل ۳). بررسی سرانه فضای سبز در طی دوران مختلف نشان می دهد که در سال ۱۳۸۰ سهم ۴.۵ درصدی از کل سیمای

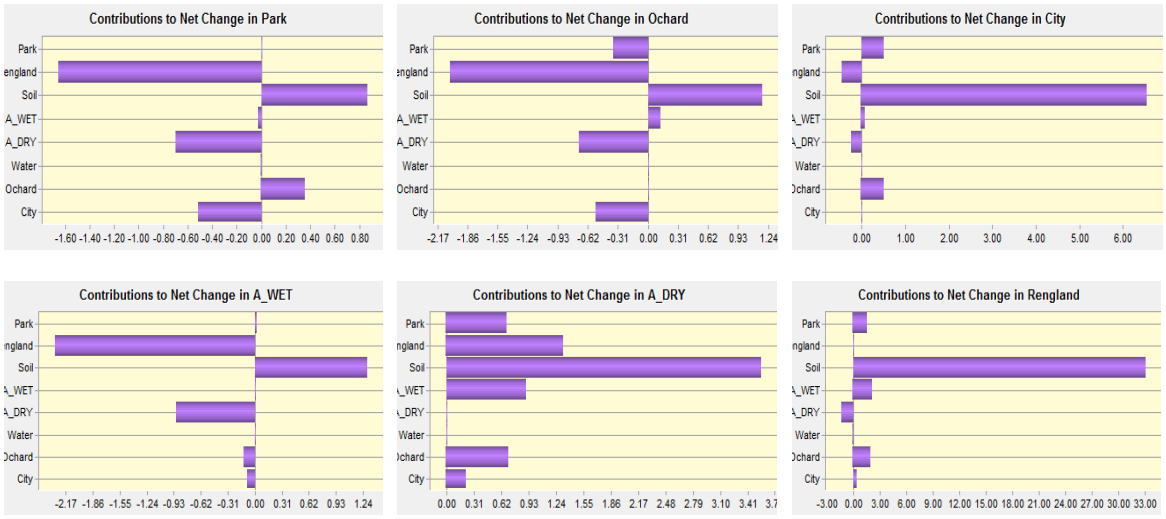
اکولوژیک را داشته، در دهه منتهی به ۱۳۹۰ و بی توجهی و عدم توجه به این لکه های سبز و کوریدورها، تخریب شدید و تبدیل بالایی داشته اند؛ به نحوی که ۵۰.۷ درصد آن در فاصله ده سال نابود شده است. پس از این سال ها با تغییر الگوی تخریب در تهران، توجه به فضای سبز متمرکز سبب شده کوریدورها ولکه های آن از ۱.۵٪ مساحت کل منطقه در سال ۱۳۹۰ به ۲.۸ درصد در سال ۱۴۰۰ ارتقاء داشته باشد. در کل دوران مطالعه ۲۲.۹۱ درصد نرخ تخریب بیست ساله ارزیابی شده که نگران کننده می باشد (شکل ۱، راست). کلاس شبه مرتع (پوشش گیاهی بسیار تنک) بیشترین جایگزین این مناطق هستند (شکل ۲). مناطق ۸، ۱۲، ۱۴ و ۱۳ در مجاورت پارک سرخه حسار بیشتر دچار تهدید تخریب هستند، شرق تهران دچار تخریب و نیازمند باز بینی فضای سبز هست، در مقابل مناطق کوهپایه ای در حال توسعه فضای سبز خود هستند (شکل ۳).

پوشش مراتع، ۱۹.۶ درصد از منطقه مطالعه را در سال ۱۳۸۰ تشکیل داده است که با گذشت یک دهه با نرخ افزایش ۶ درصدی به سطح ۲۲.۴ درصد رسید ولو با توجه به تغییرات آب و هوایی این پوشش به شدت متغیر بوده از ۲۲ درصد سطح در سال ۱۳۹۰ به ۵۹.۷ درصد کل سطح سیمای شهر در ۱۴۰۰ افزایش یافته است (شکل ۱، راست). همانطور که انتظار می رفت خاک های لخت و اراضی کم توان بهترین بستر برای جایگزینی مراتع به شمار می آیند (شکل ۲ و ۳). کشاورزی دیم در طی سال ۱۳۸۰ درصد ناچیزی از سیمای اکولوژیک منطقه را داشته است (۰.۶٪) و با گذشت دوران در طی دوره اول رشد فوق العاده ۷۵.۴۲ درصدی کرده است، در همین فاصله، کشاورزی آبی که ۴.۶ درصد سیما را تشکیل داده است، یک باره دچار تغییر سیاست شده و در دهه ۱۳۹۰ با ۲۰.۳۱ درصد تبدیل و تخریب مواجه شده است. دهه منتهی به سال ۱۴۰۰ دهه حمایت و بازگشت کشاورزی به سیمای حاشیه تهران محسوب می گردد. در این دهه کشاورزی دیم با ۲۷.۳۸ درصد نرخ رشد مساحت خود را به ۸.۱ درصد کل سیمای سرزمین رسانده و جزء اولین کاربری های حاشیه جنوب تهران محسوب می گردد. کشاورزی آبی نرخ کاهش ۳۰.۰۳ درصدی در مقابل افزایش ۸۵.۲۰ درصدی کشاورزی دیم در دوره مطالعه را داشته است (شکل ۱، راست). بیشترین سهم تبدیل اراضی آبی به خاک های لخت بوده است (شکل ۲). بررسی پراکنش فضایی دو کاربری نامبرده نشان می دهد که بخش مرکزی شهر به کلی از کشاورزی پاک شده است. در مورد کشاورزی دیم بخش جنوبی شهر تهران در اطراف ورامین رشد چشم گیر و قابل توجه است، این درحالی است در مناطق جنوب غربی رشد کشاورزی آبی دیده می شود (شکل ۳). سایر پوشش ها همچون پهنه های آبی و مناطق کم توان و خاک های لخت جزء پوشش های حساس به شمار نمی آیند؛ چرا که مناطق آبی درصد ناچیزی از منطقه را دارد و مناطق کم توان و خاک لخت جزء پس زمینه اصلی منطقه بشمار می آید. بنابراین جهت تحلیل از توضیح آن خودداری می شود. شیوه پراکندگی این پوشش ها در دوره ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ در شکل ۴ ارائه شده است.



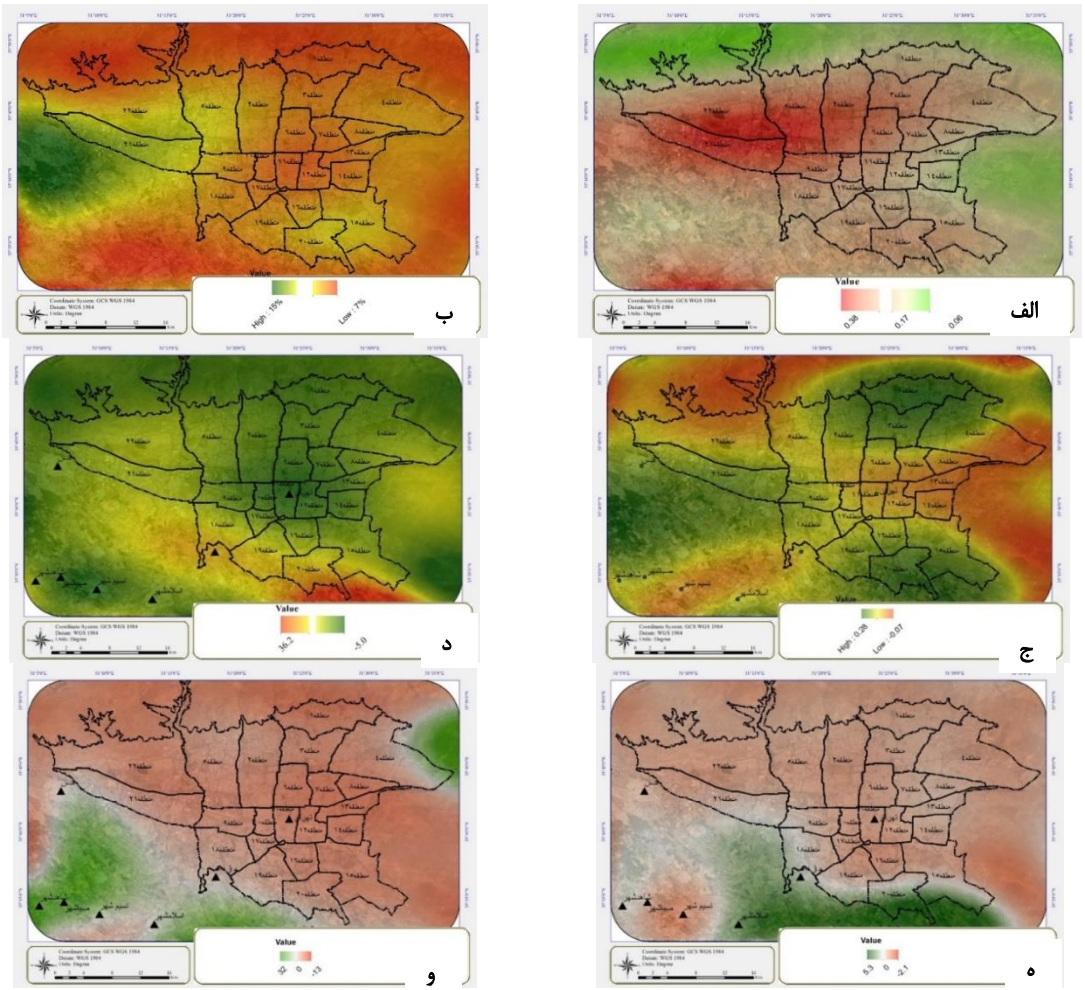
شکل ۱- راست: آمار تغییرات کاربری اراضی و نرخ تغییرات آنها در طول دوره ۱۳۸۰-۱۴۰۰؛ چپ: آمار پیش بینی تغییرات کاربری اراضی برای دوره ۱۴۰۰ تا ۱۴۴۰ در شهر تهران

Fig. 1- Right: Statistics of land use changes and their rate of change during the period 2001-2021; Left: Statistics of Land land use changes for the periodduring 2021- 2061 in Tehran



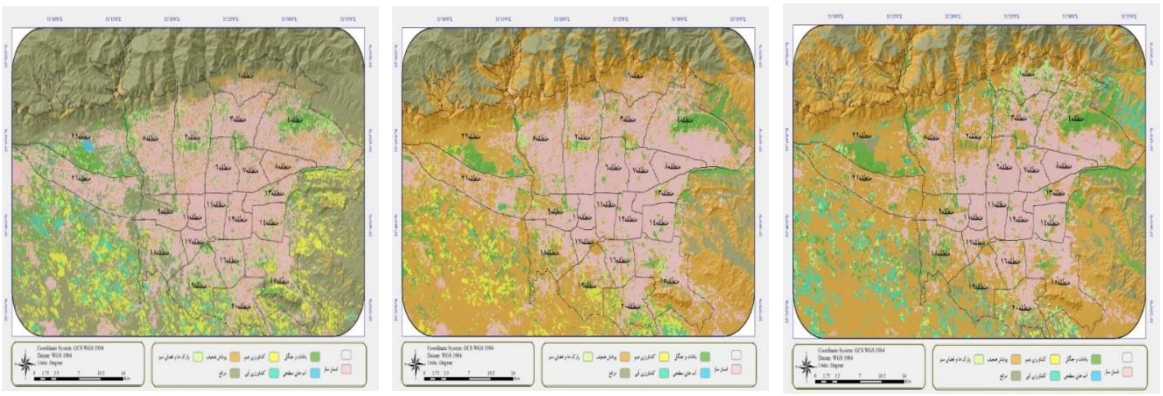
شکل ۲- روند تبدیل و جابجایی کاربری های مختلف به یکدیگر در دوره ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰

Fig. 2- The process of conversion and transfer of different uses to each other in the period 2001-2021



شکل ۳- الف: نمایی از روند تغییر کاربری مسکونی و توسعه شهری، ب: روند تغییرات درختزارها و باغات در دوره مطالعه، ج: روند تغییرات فضای سبز و پارک ها، د: روند تغییرات مراتع، ه: روند تغییرات کاربری کشاورزی دیم، و: روند تغییرات کاربری کشاورزی آبی در دوره ۱۳۸۰-۱۴۰۰

Fig. 3- A: View of the trend of residential land use change and urban development, B: trend of changes in trees and gardens in the study period, C: trend of changes in green space and parks, D: trend of rangeland changes, E: trend of changes in the use of rain-fed agriculture, and F: trend of changes in the use of irrigated agriculture in the period 2001-2021



شکل ۴- به ترتیب از راست به چپ: نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۰، سال ۱۳۹۰، سال ۱۴۰۰

From right to left: Land use map of 2001, 2011, 2021

بررسی نقشه کاربری های تهران در سال های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ رشد فزاینده کاربری شهری و مناطق انسان ساز (۱۹.۸۱٪) و کاهش فزاینده پوشش گیاهی عمدتاً درختی شامل باغات، درختزارها (۲۲.۵۷-٪) و پارک ها (۲۲.۹۱-٪) را نشان می دهد. در همین دوره مساحت کشاورزی دیم افزایش بسیار زیاد داشته و از مساحت عرصه های بایر و اراضی کم توان نیز کاسته شده است. بصورت کلی بیشترین تغییرات کاربری مربوط به اراضی کم توان و اراضی زراعی اتفاق افتاده است. گسترش مناطق مسکونی در درجه اول در خاک های کم توان و بایر و سپس در باغات و فضای سبز بوده است. همچنین رشد مناطق شهری با کاهش فضاهای سبز همراه بوده؛ این رشد به وضوح در مناطق ۵، ۲۱ و ۲۲ (شمال و بویژه غرب تهران) وجود داشته است. اراضی شهری از شرق و جنوب شرق، پیشروی محدودی داشته اند. شواهد حاکی از آن است که شهر تهران رشد و پراکنش افقی سریعی داشته، زمین های کشاورزی و باغی و بایر زیادی در هر دوره از رشد شهر از بین رفته و به زیرساخت‌های شهری تبدیل شده است. مطالعه Esmaeili *et al.* (2018) نیز این نتایج را تایید نموده است. کاهش سطح باغات سبز بسیار فاجعه بار بوده و بغیر از تغییرات این کاربری به کاربری مسکونی، پارک ها و کشاورزی، خشکسالی و آفات و امراض نیز در از بین رفتن آنها موثر بوده است. این کاهش بویژه در منطقه ۱۱ و ۱۲ (مرکز شهر) به دلیل تراکم بالای ساختمانها و انبوه سازی بسیار مشهود می باشد. پارک های شهری نیز همانند باغات از خشکسالی و آفت و امراض رنج می برند. به وضوح مناطق مجاور پارک سرخه حصار (منطقه ۱۳)، مناطق ۸، ۱۱، ۱۲، و ۱۴ (شرق تهران) وضعیت بغرنجی را دارند. در کل مناطق ۲۲ گانه تهران، نرخ رشد درختکاری رضایت بخش نبوده است. در تایید نتایج این پژوهش، مطالعه Vahedian Beicky *et al.* (2011) در منطقه ۵ تهران از اثر گذاری عامل توسعه شهر بر تغییر کاربری های سبز و تبدیل آن ها به کاربری شهری حکایت دارد. پایش تغییرات کاربری اراضی تهران (۱۳۸۵-۱۳۷۴) در بررسی Heydarian *et al.* (2014) نشان داده که مانند پژوهش حاضر، مناطق ساخته شده، پارک ها و سطوح آبی با افزایش سطح و در مقابل زمین های بایر و پوشش گیاهی با کاهش سطح مواجه بوده که بیشترین آن توسط مناطق ساخته شده، تصرف شده است. همچنین نتایج جدیدترین مطالعه یعنی Bokaeain *et al.* (2020) نتایج مشابهی با تحقیق حاضر در دوره زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۰ نشان داده است. این روند کاسته شدن از فضای سبز و افزوده شدن به مساحت کاربری های انسان ساخت در مطالعات Saeifar and Mohammadnia (2015) در تهران، Naserikia *et al.* (2019)، در مشهد از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶، Heidari Mozaffar and Saleh Joneghani, (2021) در مدلسازی رشد و توسعه شهری اصفهان از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ و سایر

کشورهای جهان سوم نیز دیده شده است.

روند افزایشی مراتع به دلیل تبدیل سایر کاربری ها به آن روی داده است که البته از نوع فقیر و کم توان می باشند. مراتع از سمت جنوب عقب نشینی داشته اند. مراتع غنی تر به خصوص در جنوب تهران در حال جایگزینی با کاربری های مسکونی و کشاورزی می باشند. زمین ها در مناطق کشاورزی دیم پس از رها سازی به حدی کم توان می شوند که پایداری متناسبی برای رشد هیچ پوشش گیاهی مفیدی ندارند. در نتیجه تغییر کاربری آنها سبب خواهد گردید پراکنش ریزگردها به صورت چشمگیری افزایش یابد. تنها در مناطق جنوبی تهران (۱۵ و ۲۰) روند فزاینده زمین های کشاورزی دیم دیده می شود. با این وجود مساحت بالایی در مناطق کشاورزی دیم امروزه نابود و قلع و قمع شده اند. نمودار درصد تغییرات مساحت نشان می دهد کشاورزی دیم در مناطق مرتعی امروز رها شده اند و کلاً این بخش یعنی هیچ گونه تولیدی حتی به صورت دیم ندارند. عدم توسعه پایدار و برنامه ریزی دقیق، ورشکستگی این فعالیت مهم در حاشیه پایتخت را برجسته می کند.

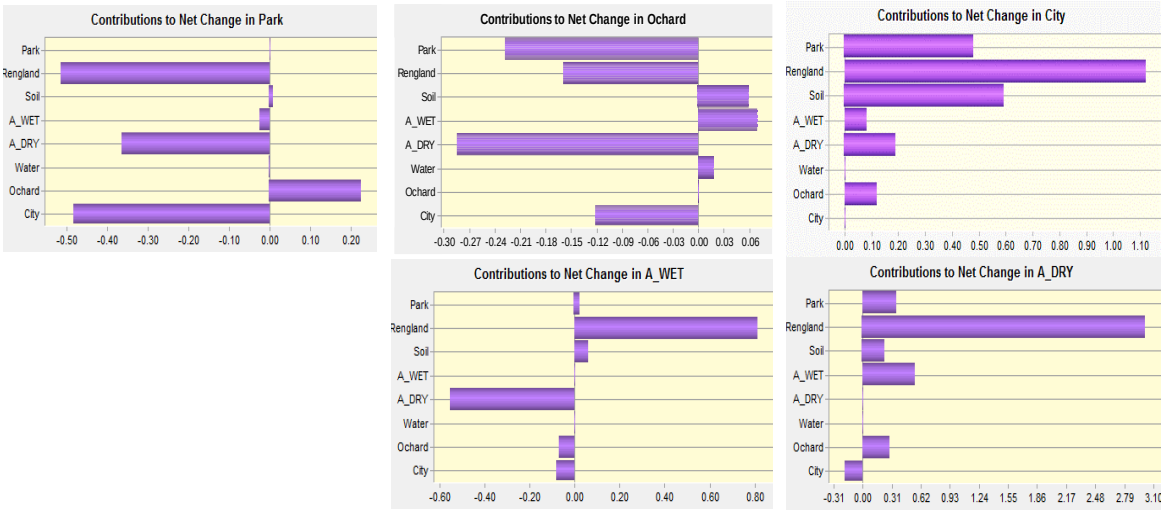
پیش از انجام هرگونه پیش بینی، مدلی برای بررسی تغییرات کاربری اراضی تهیه و تدوین شد؛ این مدل ابتدا برای سال های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ پایه گذاری و برای ۱۴۰۰ پیش بینی انجام داد تا درک شود نتایج پیش بینی ۱۴۰۰ با توجه به متغیر های بکار رفته دارای چه درجه صحت و همخوانی است. باتوجه به انتخاب ۴۰ نقطه برای ارزیابی صحت نقشه های کاربری اراضی، سال ۱۳۸۰، با صحت ۷۴.۴ درصدی و ضریب کاپای ۰.۶۹۷ سال ۱۳۹۰، با صحت ۸۹.۷ درصدی و ضریب کاپای ۰.۸۶ و سال ۱۴۰۰، با صحت ۹۲.۳ درصدی و دقت کاپای ۰.۹۰۵ در کل، دقت مناسبی داشته و قابلیت ارجاع را دارند.

پیش بینی وضعیت آینده تغییرات کاربری اراضی

نتایج نشان داد که کاربری انسان ساز (شهری) در طی ده سال آینده، نرخ رشد ۱.۴۳ درصدی را نشان داده در کل طی ۴۰ سال آینده تقاضا برای بزرگ تر شدن شهر تهران ادامه داشته و در کل در انتهای سال ۱۴۴۰، ۵.۷۷ درصد نرخ رشد خالص سبب خواهد گردید که ۲۳.۷۹ درصد سیمای منظر را تشکیل دهد (شکل ۱، چپ).

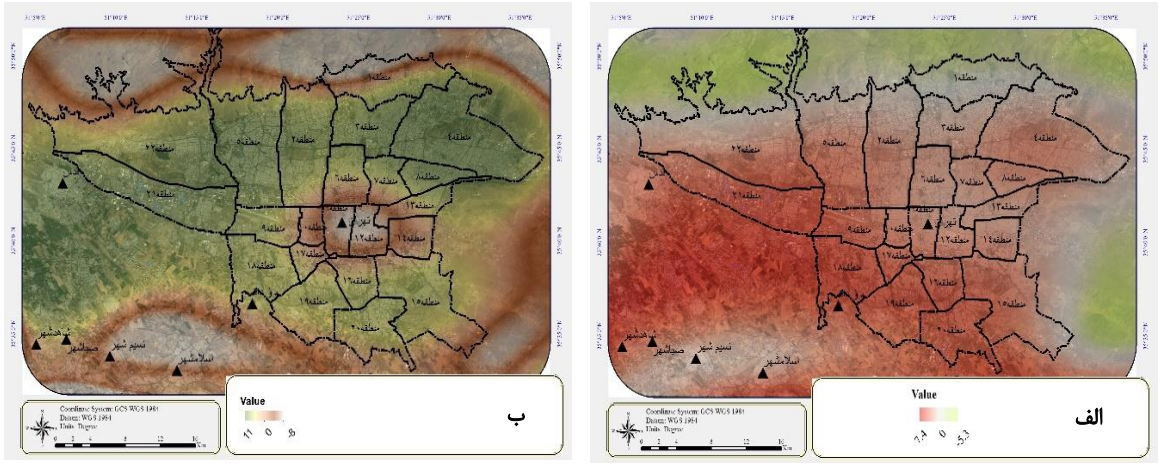
بر اساس شکل ۱، چپ تغییرات مراتع و واگذاری مناطق ملی برای ساخت و ساز همچنان اولویت اول توسعه خواهد بود، خاک های لخت و مناطق کم توان و سپس پارک ها و فضای سبز دارای اولویت های بعدی توسعه به شمار می آیند. نقشه تمایل تغییرات کاربری انسان ساز به توسعه نشان می دهد که ساخت و ساز در در مناطق غربی، جنوبی و جنوب غربی (مناطق ۹، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱ و ۲۱) و بویژه جنوب تهران دارای تمایل بیشتر خواهد بود (شکل ۶). درختزارها و باغات در طی ۴۰ سال آینده با نرخ تخریب ۸.۸۱ درصدی مواجه خواهند شد. پیش بینی می شود ۲۴ درصد مناطق خشک شده باغات و درختان شهر تهران به پارک ها، ۱۵ درصد به مراتع و ۲۹ درصد به کشاورزی دیم تبدیل شده و نابودی باغات محصول ده را در پی داشته باشد، شهرها و مناطق سیمان و آسفالت خیابان و کوریدورها، ۱۲ درصد سهم در تخریب و تبدیل باغات را خواهند داشت (شکل ۵). متاسفانه نرخ تخریب با افزایش سیستماتیک در دو دهه دوم و سوم افزایشی خواهد بود (شکل ۱، چپ). در ادامه نتیجه مطالعه نشان داد نرخ تخریب و نابودی فضای سبز و پارکها ۲۵.۷ درصد خواهد بود که همانند باغات این روند در طی ۴۰ سال آینده افزایشی نیز خواهد بود (شکل ۱، چپ). بیشترین تبدیل مساحت آن به ترتیب به مراتع، کاربری مسکونی و کشاورزی دیم خواهد بود (شکل ۵). پراکنش مکانی احتمال تخریب پارک ها نشان می دهد در مناطق مرکزی تهران، منطقه ۱۶ و منطقه ۴ تخریب بالایی وجود دارد (شکل ۶). بررسی روند تغییرات نشان می دهد در طی دوره آینده نرخ رشد کشاورزی دیم و آبی به ترتیب ۲۰.۹۰ و ۳.۸۰ درصد تا سال ۱۴۴۰ تخمین زده شده است. مساحت کشاورزی دیم در سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۴۰ از ۹.۱۶ درصد به

۱۲.۳۷ درصد مساحت منطقه خواهد رسید. اما در مورد کشاورزی آبی این نرخ کاهنده می باشد (شکل ۱، چپ). انتظار هست که مساحت این پوشش تنها حدود ۲.۶۴ درصد مساحت تا سال ۱۴۴۰ باشد. بیشترین تبدیل مساحت اراضی دیم به مراتع و کشت آبی خواهد بود. در مورد کشت آبی این تبدیل کاربری به مراتع و خاک لخت بیشترین مقدار می باشد (شکل ۵). کاهش ۱.۳۹ درصدی رشد در مراتع در ۴۰ سال آینده رخ خواهد داد. در مقابل شهرها نیز به مناطق جدید کشانده خواهند شد (شکل ۱، چپ). با توجه به نقشه های احتمال تغییر دو پوشش کشاورزی آبی و دیم نتایج نشان می دهد در جنوب غربی تهران بالاترین احتمال تخریب در ۴۰ سال آتی وجود دارد. در منطقه شرق تهران بالاترین نرخ تبدیل اراضی کشاورزی دیم در ۴۰ سال آینده با توجه به طرح های توسعه وجود دارد (شکل ۶). نقشه های کاربری اراضی سال های ۱۴۱۰، ۱۴۲۰، ۱۴۳۰ و ۱۴۴۰ در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج ارزیابی مدل بر پایه نقشه های کاربری اراضی ۱۳۸۰، ۱۳۹۰، ۱۴۰۰ و نقشه پیش بینی ۱۴۴۰ نشان داد که مقادیر موفقیت خنثی، موفقیت، خطا و هشدار خطا به ترتیب ۷۹.۸۶، ۰.۲، ۷.۷۶ و ۱.۲۵ درصد بوده است.



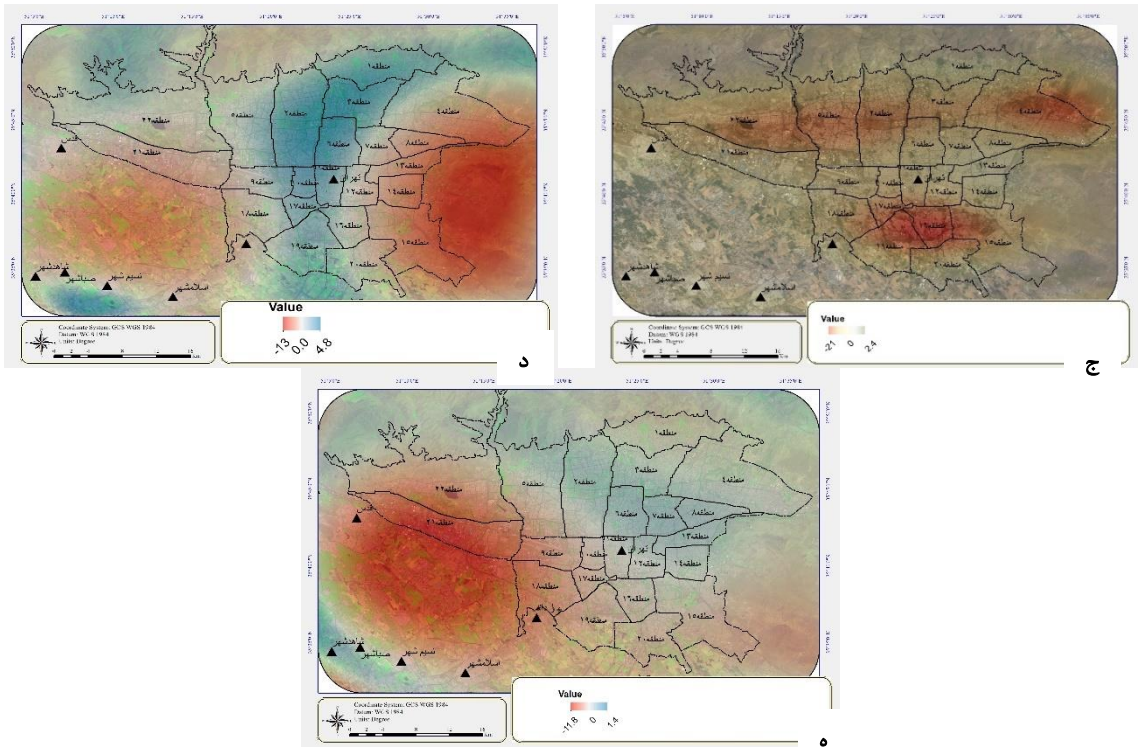
شکل ۵- نمودار روند تبدیل و تغییرات خالص کاربری ها به یکدیگر در دوره ۱۴۰۰-۱۴۴۰

Fig. 5- Charts of the conversion trend of net changes of land use to each other in the period 2021-2061



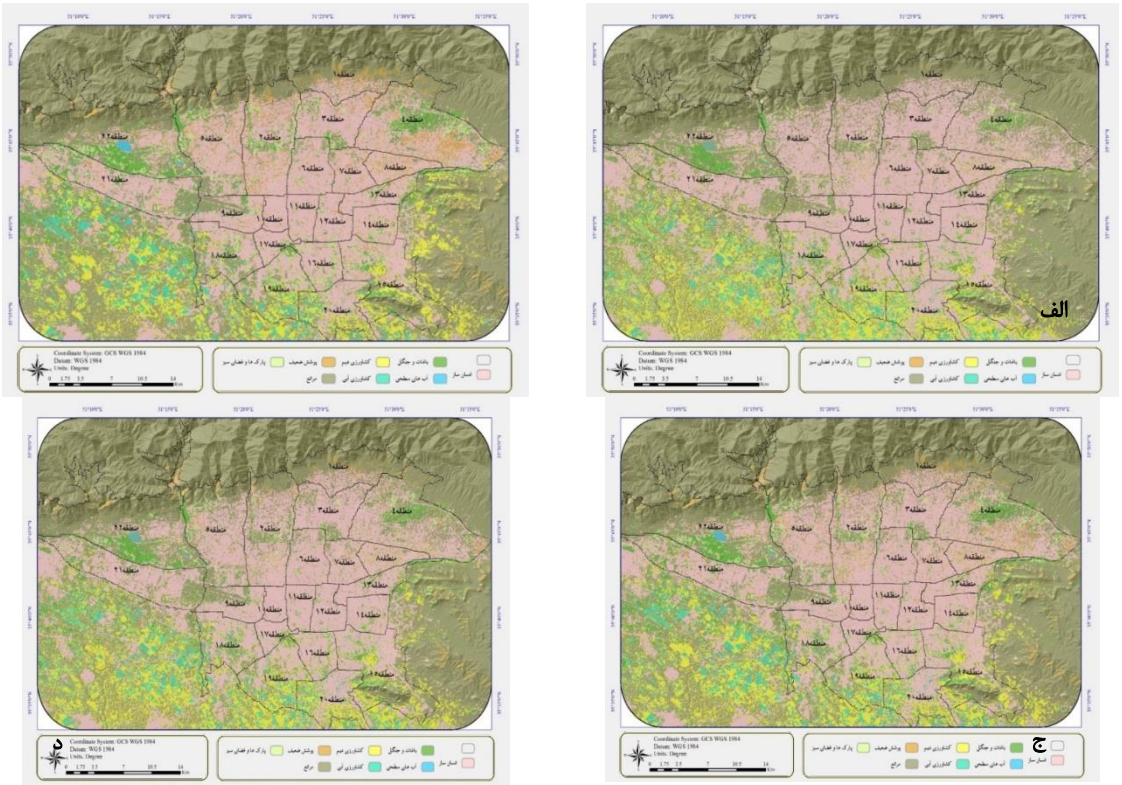
شکل ۶- الف: نقشه تمایل تغییرات توسعه کاربری شهری، ب: تمایل تغییرات پوشش درختزارها و باغات، ج: تمایل تغییرات پوشش پارک ها و فضای سبز، د: تمایل تغییرات پوشش کشاورزی دیم، ه: تمایل تغییرات پوشش کشاورزی آبی در دوره ۱۴۰۰-۱۴۴۰

Fig. 6. A: Tendency map of urban land use development changes, B: tendency of changes in tree and garden cover, C: tendency of changes in the park and green space cover, D: tendency of rain-fed agricultural cover changes, and E: trend of irrigated agriculture cover change changes in the period 2021-2061



ادامه شکل ۶- الف: نقشه تمایل تغییرات توسعه کاربری شهری، ب: تمایل تغییرات پوشش درختزارها و باغات، ج: تمایل تغییرات پوشش پارک ها و فضای سبز، د: تمایل تغییرات پوشش کشاورزی دیم، ه: تمایل تغییرات پوشش کشاورزی آبی در دوره ۱۴۰۰-۱۴۴۰

Fig. 6. A: Tendency map of urban land use development changes, B: Tendency tendency of changes in tree and garden cover, C: Tendency tendency of changes in the park and green space cover, D: Tendency tendency of rain-fed agricultural cover changes, and E: Trend trend of irrigated agriculture cover change changes in the period 2021-2061



شکل ۷- الف: نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۱۰، ب: ۱۴۲۰، ج: ۱۴۳۰، د: ۱۴۴۰

Fig. 7- Land use map of A:2031, B: 2041, C: 2051 and D: 2061

بررسی نقشه های وضعیت آینده پوشش اراضی ادامه همان روند ۲۰ سال گذشته را نشان می دهد. مطالعه Dadashpour *et al.* (2019) نیز برای سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ همانند پیش بینی مطالعه حاضر، ادامه روند گذشته را گزارش نموده است. رشد مناطق مسکونی با آهنگ کمتری نسبت به دوره ۲۰ ساله (۱۳۸۰-۱۴۰۰) همراه خواهد بود (۵.۷۷٪). این تحلیل ها حاکی از افزوده شدن بر ظرفیت و ابعاد شهر دارد. همچنین دلیل دیگر این رونده فزاینده رشد شهری واگذاری مراتع برای ساخت و ساز، تبدیل بیشتر مناطق دارای خاک های لخت (بایر) و مناطق کم توان و سپس باغات به فضاهای مسکونی می باشد. این روند بویژه در مناطق غربی، جنوبی و جنوب غربی (مناطق ۹، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱ و ۲۱) مشاهده می شود. ساخت و ساز در مناطق جنوب تهران دارای تمایل بیشتر بوده و این گرایش با توجه به عدم محدودیت ارتفاعی به این سمت همچنان کشیده می شود، احتمال می رود در سال ۱۴۴۰ اندازه مناطق مسکونی جدید خارج از مناطق ۲۲ گانه تهران اضافه شود. روند کاهنده باغات (۸.۸۱-٪) و فضای سبز شهری (۲۵.۷-٪) نیز همچنان مشاهده می شود. منتهی این روند در مورد پارک ها شدت بیشتری دارد و با سرعت بیشتری تخریب خواهند شد. در این مورد نیز خشکسالی و پژمردگی و پیری زودرس باغات و درختان شهر تهران بر اثر تغییر اقلیم، آلودگی ها و فشارهای مختلف یکی از دلایل این روند کاهشی بوده و دلیل دیگر تبدیل کاربری باغات به کشاورزی دیم، پارک ها، مراتع و مناطق شهری بوده و در مورد پارک ها تبدیل به مراتع، مناطق مسکونی و کشاورزی دیم می باشد. مناطق مرکزی تهران (۱۰،۱۱، ۱۲ و۱۴) بدلیل غلبه بافت شهری کلاً از درختان عاری خواهند شد. در مورد فضای سبز شهری، منطقه ۱۶ و ۴ بدترین وضعیت را داشته، مناطق ۱۷ و ۱۹ در جنوب و مناطق ۲، ۵ و ۲۲ در محدوده شمال شرق تا غرب تهران نیز از این آسیب در امان نخواهند بود. نکته قابل تأمل مدلسازی مکانی ما، نابودی کمربند سبز شمال تهران با توجه به برنامه ریزی های بلندی است که برای آن انجام شده است را نشان می دهد، قطعاً تغییرات اقلیمی و آلاینده ها از کیفیت این پوشش خواهند کاست و ایجاد چنین کمربندی پاسخگو نخواهد بود، در مجموع افزایش رشد جمعیت و نرخ سریع مهاجرت به شهر دو دلیل اصلی برای گسترش مناطق ساخته شده و کاهش سطح فضای سبز و پوشش گیاهی می باشد. در طی دوران ۴۰ ساله پیش بینی، مشخصاً کشاورزی به سمت مراتع گسترش خواهد یافت. تغییر کاربری طبیعی به انسانی و دستکاری در طبیعت بیشتر خواهد شد. کاهش در مساحت مراتع دیده شده و در مقابل مناطق شهری نیز به مناطق جدید کشانده خواهند شد و چرخه نابودی پوشش گیاهی و پراکنش نامتعادل و حذف حلقه های طبیعی از حاشیه تهران بیشتر خواهد شد.

نتیجه‌گیری

مجموعه این نتایج حاکی از رشد و توسعه فیزیکی شهری تهران و نوسانات سایر کاربری ها دارد. مطالعه حاضر با توجه به جدیدترین داده ها تهیه شده و به روز می باشد. همچنین کارایی داده ها و تکنیک های سنجش از دور و مدل بکاررفته در این مطالعه نیز تایید شده است. با توجه به نتایج این مطالعه توجه به اهمیت فضای سبز و باغات، حفظ و نگهداری این کوریدورهای سبز با توزیع و پراکنش مناسب به عنوان ریه های تنفسی شهر و پالاینده های هوا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. علاوه بر آن این مناطق در ایجاد جاذبه های گردشگری و تفریحی نیز نقش دارند. سیاست مدنظر در این زمینه در درجه اول حفاظت و در درجه دوم بهسازی و تقویت می باشد. از سوی دیگر تبعیت از نقشه های جامع مبتنی بر آمایش سرزمین و توجه به توان اراضی برای جلوگیری از تجمیع جمعیت در مکان های خاص و بروز تمهیدات لازم به منظور برنامه ریزی ممانعت از تخریب و تغییر کاربری اراضی بویژه

باغات و اراضی کشاورزی ضروری می باشد. این کاهش سطح اراضی کشاورزی و تبدیل و کاسته شده از سطح مراتع با توان بالا بدلیل ارتباط آن با نیازهای تغذیه ای مردم بویژه بسیار حائز اهمیت می باشد که وابستگی هر چه بیشتر این کلانشهر پرجمعیت به لحاظ واردات محصولات کشاورزی را موجب می گردد. در نهایت لازم است مدیران شهری به منظور جلوگیری از نابودی زیست محیطی و گسترش فزاینده مناطق ساخته در منطقه کلانشهری راهبردها و سیاستهای جامع و یکپارچه ای را اجرایی کنند.

سپاسگزاری

از کلیه کسانی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند تشکر می نماییم.

منابع

Amany, A.K. and Ebraheem, M.A., 2020. Comparative Analysis of land use and urban growth modeling using geomatics technology (city of Najaf-Iraq). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 881(1), 12-23.

Azari, M., Billa, L. and Chan, A., 2022. Multi-temporal analysis of past and future land cover change in the highly urbanized state of Selangor, Malaysia. Ecological Processes. 11(1), 1-15.

Azizi Qalati, S., Rangzan, K., Taghizadeh, A. and Ahmadi, Sh., 2014. Modeling land use changes using logistic regression method in LCM model (Case study: Koohmareh Sorkhi Region of Fars Province). Iranian Forest and Poplar Research. 22(4), 585- 596. (In Persian with English abstract).

Azizi, M. and Dehghani, M., 2014. Assessment of influencing factors on land use changes in urbanExpansion of metropolis, case study: District 22 of municipality of Tehran. Armanshahr Architecture and Urban Development Journal. 7(13), 343-359. (In Persian with English abstract).

Bokaeain, F., Shamsipour, A. and Alikhah Asl, M., 2020. Monitoring land use change emphasizing physical urban development of Tehran, using remote sensing and GIS. Journal of Environmental Science and Technology (JEST). 22(1), 61-78. (In Persian with English abstract).

Chen, H. and Pontius J. R.G., 2010. Diagnostic tools to evaluate a spatial land change projection along a gradient of an explanatory variable. Landscape Ecology. 25 (9), 1319-1331.

Dadashpour, H., Panahi, H. and Shams Al-Dini, A., 2019. Analysis of motivating factors and predicting land use change in the metropolitan area of Tehran with emphasis on an integrated regional model. Journal of Regional Planning. 9 (35 consecutive), 39-56. (In Persian with English abstract).

Esmaeili, F., Khodadad, M. and Roudgar Saffari, V., 2018. Investigation of urban land use changes using GIS and RS in Tehran (Case study: 15 metropolitan area of Tehran). Journal of RS and GIS for Natural Resources. 8(4), 49-62. (In Persian with English abstract).

Falahatkar, S., Hosseini, S.M., Salman Mahiy, A. and Ayoubi, Sh., 2016. Prediction of Land Use/ Cover Change by Using LCM Model. Environmental Research. 7(13), 163-174. (In Persian with English abstract).

Fathollahi Roudbary, S., Nasirahmadi, K. and khanmohamadi, M., 2018. Land use change modeling using LCM module (Case study: NEKA region). Natural Ecosystems of Iran. 9(1), 53-69. (In Persian with English abstract).

Gholamalifard, M., Joorabian Shooshtari, S., Hosseini Kahnuj, H. and Mirzaei, M., 2012. Land

cover change modeling of coastal areas of Mazandaran province using LCM in a GIS environment. Journal of Environmental Studies (JES). 38(4), 109-124. (In Persian with English abstract).

Heidari Mozaffar, M. and Saleh Joneghani, E., 2021. Modeling Urban Expansion and Development of Isfahan City by Using Remote Sensing Data in LCM Model. JGST. 10(4), 179-190

Heydarian, H., Rangzan, K., Maleki, S. and Taghizadeh, A., 2014. Land use change detection using post classification comparison LandSat satellite images (Case study: land of Tehran). Journal of RS and GIS for Natural Resources. 4(4), 1-10. (In Persian with English abstract).

Karimzadeh Motlagh, Z.K., Lotfi, A., Pourmanafi, S., Ahmadizadeh, S. and Soffianian, A., 2020. Spatial modeling of land-use change in a rapidly urbanizing landscape in central Iran: Integration of remote sensing, CA-Markov, and landscape metrics. Environmental Monitoring and Assessment. 192(11), 1-19.

Mishra, V.N., Rai, P.K. and Mohan, K., 2014. Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: A case study of Muzaffarpur (Bihar), India. Journal of the Geographical Institute" Jovan Cvijic", SASA. 64(1), 111-127.

Mohammad Youssefi, M., Pajouhesh, M. and Honarbakhsh, A., 2020. Modeling Trends Land Use Changes Local by Using LCM Model Based on Artificial Neural Networks and Markov Chain Analysis (Case Study: BeheshtAbad Watershed). Jwmr. 11(21), 129-142. (In Persian with English abstract).

Mohammadyari, F., Pourkhabbaz, H., Aghdar, H. and Tavakoly, M., 2019. Modeling land use pattern, city Behbahan city in the period 2000 - 2028 using remote sensing and GIS. 9(18), 223-238. (In Persian with English abstract).

Nadizadeh Shorabeh, S., Hamzeh, S., Zanganeh Shahraki, S., Firozjaei, M.K. and Jokar Arsanjani, J., 2020. Modelling the intensity of surface urban heat island and predicting the emerging patterns: Landsat multi-temporal images and Tehran as case study. International Journal of Remote Sensing. 41(19), 7400-7426.

Najafzadeh, F., Mohammadzadeh, A., Ghorbanian, A. and Jamali, S., 2021. Spatial and Temporal Analysis of Surface Urban Heat Island and Thermal Comfort Using Landsat Satellite Images between 1989 and 2019: A Case Study in Tehran. Remote Sensing. 13(21), p. 4469.

Naserikia, M., Asadi Shamsabadi, E., Rafieian, M. and Leal Filho, W., 2019. The urban heat island in an urban context: A case study of Mashhad, Iran. International journal of environmental research and public health. 16(3), p. 313.

Rajabzadeh, F., 2016. Land use changes in southwest of Tehran using remote sensing technique and Markov chain. Protection of water and soil resources. 6(2), 59-71.

Saeifar, M.H. and Mohammadnia, M., 2015. Land use/land cover change detection in Tehran city using Landsat satellite images. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences. 5(12), 199-207.

Sharma, R., Nehren, U., Rahman, S.A., Meyer, M., Rimal, B., Aria Seta, G. and Baral, H., 2018. Modeling land use and land cover changes and their effects on biodiversity in Central Kalimantan, Indonesia. Land. 7(2), p.57.

Tavakoli Nia, J., Azizpour, F. and Ansari, T., 2009. Changes in agricultural land use and relative

increase in temperature in Yazd due to its rapid growth. Geography and regional development. 7(12), 37- 54. (In Persian).

Vahedian Beicky, L., Poorahmad, A. and Saif al-Dini, F., 2011. The effect of physical development of Tehran on land use change in region 5. New Attitudes in Human Geography (Human Geography). 4(1), 29-46. (In Persian with English abstract).

Yaghoubkhani, M., 2012. The study of land use changes in the Tehran metropolitan area by using MOLAND model. In 48th International Society of City and Regional Planning (ISOCARP) Congress: Perm, Russia. p. 1-9.

Environmental Sciences Vol.21 / No.2 / Summer 2023

121-138

Original Article

Investigating and predicting land use changes in Tehran metropolis using remote sensing technology

Adel Khazaei,[1] Majid Abaspour,[2*] Sasan Babaei Kafaky,[1] Lobat Taghavi[1] and Yousef Rashidi[3]

[1] Department of Environment and Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2] Department of Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering and Research Institute of Water, Energy and Environmental Sciences and Technologies, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
[3] Department of Environmental Technologies, Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2022.08.09 Accepted: 2022.10.30

Khazaei, A., Abaspour, M., Babaei Kafaky, S., Taghavi, L. and Rashidi, Y., 2023. Investigating and predicting land use changes in Tehran metropolis using remote sensing technology. Environmental Sciences. 21(2): 121-138.

Introduction: The metropolis of Tehran as the largest capital of the Middle East is faced with phenomena such as environmental degradation, land use change and a high concentration of agricultural and industrial disasters. Knowing the changes in land use in the past and predicting its future is necessary in order to carry out principled and dynamic planning. In this study, the spatio-temporal dynamics of land use changes in Tehran in 20 years and the prediction of future changes in these land uses in the next 40 years were selected as the general objectives of this study.

Material and methods: After forming a database of Landsat 5 and 8 satellite images three times in 2001, 2011 and 2021, the land use maps of these times were prepared. For the validation of the maps, Google Earth images, ground points, and accuracy and Kappa coefficients were used. The period from 2021 to 2061 was considered to predict future changes. In order to zone and predict the future of land use changes, 6 land use change transfer sub-models with artificial neural network, Markov chain, and LCM model were used. Evaluation of the

[*] Corresponding Author: *Email Address*. abbpor@sharif.edu
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1226
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.2.5.3

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

accuracy of the model was obtained from the comparison of the ground map of 2021, the future map of 2061, and the values of neutral success, success, error and warning error were obtained.

Results and discussion: The results showed that the period from 2001 to 2021 was associated with the expansion of residential areas, the growth of urban areas and the reduction of green spaces including gardens and parks. The expansion of residential areas has been primarily in poor and barren soils and then in gardens and green spaces. This urban growth was clearly in regions 5, 21, 22 and its physical development process was linear. The decrease in the level of gardens and green space is very catastrophic and this decrease is especially evident in the central areas of the city due to the high density of buildings. The area of rain-fed agriculture has increased and the area of barren soils and poor lands has decreased. Most of the changes in land use were related to low-capacity lands and agricultural lands. Although the growth of residential areas will be slower than in the previous period, but the capacity and dimensions of the city will continue to increase, especially in the western, southern and southwestern regions. The decreasing trend of gardens, parks and urban green space is still observed. The reason for this besides drought and withering of trees is due to climate change, pollution, and conversion of these green land uses to rain-fed agriculture, parks, poor rangelands and urban areas. As for the urban green spaces, the 16 and 4 regions have the worst positions, and the 17, 19. 2, 5 and 22 regions will not be safe from this damage either. The decrease in the area of rangelands and cities moving to new areas will increase; the cycle of destruction of vegetation will increase from the outskirts of Tehran.

Conclusion: Construction was more in the south of Tehran and the decreasing trend of urban green space will continue to be observed. The central areas of Tehran will be completely devoid of trees due to the predominance of the urban areas, and the point to consider is the destruction of the green belt in the north of Tehran in the future.

Keywords: Landsat, Urban physical development, Predicting land use change, Remote sensing, Tehran.