



## مدل سازی تغییرات پوشش \_ کاربری اراضی و تأثیرات آن بر ذخیره سازی کربن در کلان شهر تهران

### نیکی آقاپور

دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران  
رایانامه نویسنده: [niki\\_aghapour@modares.ac.ir](mailto:niki_aghapour@modares.ac.ir)

### چکیده

رشد سریع جمعیت در کلان شهر تهران منجر به تغییرات گسترده‌ای در کاربری اراضی، از جمله گسترش مناطق شهری، زمین‌های کشاورزی و اراضی صنعتی شده است. این تغییرات تأثیرات مهمی بر فرآیندهای محیط‌زیستی مانند ذخیره‌سازی کربن داشته‌اند. این مطالعه با هدف بررسی تغییرات کاربری / پوشش زمین و تحلیل اثرات آن بر ظرفیت ذخیره‌سازی کربن تهران در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ انجام شد. برای این منظور، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ استفاده شده و نقشه‌های کاربری اراضی با بهره‌گیری از تصاویر گوگل ارث و شاخص‌های صحت و کاپا اعتبارسنجی شدند. بررسی تغییرات آینده با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، زنجیره مارکوف و مدل تغییرات کاربری اراضی (LCM) انجام گرفت. نتایج نشان داد که از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳، گسترش مناطق مسکونی و شهری همراه با کاهش فضاهای سبز و اراضی کشاورزی رخ داده است. این تغییرات منجر به کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی کربن در بخش‌هایی از کلان‌شهر مذکور شده‌اند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که روند گسترش مناطق مسکونی، به‌ویژه در بخش‌های غربی، جنوبی و جنوب غربی، هرچند با سرعت کمتری نسبت به دوره قبلی، در سال‌های آینده ادامه خواهد داشت. یافته‌های این پژوهش بر اهمیت برنامه‌ریزی کاربری زمین برای بهبود ذخیره‌سازی کربن در مناطق شهری تأکید دارد.

**کلیدواژه‌ها:** تغییرات کاربری، مدل LCM، شبکه عصبی مصنوعی، تهران

## مقدمه

مدل‌سازی نیروی انتقال؛ ۳- مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و ۴- ارزیابی صحت (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۹).

سوال اصلی تحقیق این است که چگونه تغییرات کاربری اراضی در تهران طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ بر ذخیره و ترسیب کربن تأثیر گذاشته است و چه پیش‌بینی‌هایی می‌تواند برای آینده انجام داد؟ نتایج این مطالعه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای تدوین سیاست‌های محیط‌زیستی و برنامه‌ریزی‌های پایدار در کلان‌شهر تهران ارائه دهد. در این راستا، هدف از این مطالعه بررسی تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه اراضی شهری، کشاورزی و مراتع کلان‌شهر تهران در دوره ۶ ساله ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ و پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در سال ۲۰۲۵ بود.

## روش کار

### منطقه مورد مطالعه

تهران دارای اقلیم نیمه‌خشک است. متوسط درجه حرارت سالانه شهر تهران ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی ۲۳۱ میلی‌متر، سرعت متوسط باد ۸ کیلومتر بر ساعت و رطوبت ۳۹٪ است. مسیر اصلی و جهت باد غالب شهر تهران، شمال غرب به جنوب شرق است (بوکائیان و همکاران، ۱۳۹۹).

### داده‌های مورد استفاده

داده‌ها از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ برای سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۳ به‌دست آمد. پس از واردسازی این تصاویر به نرم‌افزار Terrset 2020، تغییرات کاربری/پوشش اراضی در یک دوره شش‌ساله مورد پایش قرار گرفت. تصاویر از منابع معتبر ماهواره‌ای به‌دست آمده‌اند و پیش‌پردازش‌های مورد نیاز جهت ارتقاء کیفیت و وضوح تصویر انجام شده است.

روند تغییرات طی سال‌های گذشته، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، با افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های صنعتی شدت یافته و اثرات مثبت و منفی متعددی به‌همراه داشته است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۹). این تغییرات عمدتاً منجر به گسترش فیزیکی شهرها به‌سمت مناطق حاشیه‌ای شده و باعث تغییر در کاربری اراضی پیرامونی گردیده است (Najafzadeh et al., 2021). اراضی گوناگون از جمله کشاورزی، مراتع و اراضی لخت و بدون پوشش، اغلب به مناطق ساخته‌شده (مانند مسکونی، تجاری یا صنعتی) تبدیل شده‌اند که این فرآیند می‌تواند پیامدهای محیط‌زیستی جدی به‌دنبال داشته باشد (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۲).

یکی از پیامدهای مهم این تغییرات، تأثیر مستقیم بر چرخه کربن است. تخریب اراضی طبیعی و تبدیل آن‌ها به کاربری‌های انسانی، باعث کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی و ترسیب کربن در خاک و زیست‌توده می‌شود و در نتیجه، انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات تغییرات اقلیمی تشدید می‌گردد. مطالعات نشان داده‌اند که اراضی کشاورزی و مراتع نقش کلیدی در کاهش دی‌اکسید کربن جو از طریق ترسیب کربن دارند (Leta et al., 2021). این موضوع به‌ویژه برای کلان‌شهرهایی مانند تهران، که با تخریب اراضی کشاورزی و مراتع و افزایش آلودگی‌های محیط‌زیستی روبه‌رو هستند، اهمیت دوچندان می‌یابد.

در این پژوهش، علاوه‌بر بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل (LCM<sup>1</sup>) و ابزارهای پیش‌بینی در نرم‌افزار TerrSet، به ارزیابی اثرات این تغییرات بر ذخیره‌سازی و ترسیب کربن نیز پرداخته شده است. روش مدل‌سازی در ۴ مرحله انجام می‌شود: ۱- بررسی تغییرات کاربری؛ ۲-

<sup>1</sup> Land cover change model

دقیق روندهای آینده، نتایج ارزشمندی برای مدیریت پایدار منابع زمین و پیشگیری از تغییرات غیرقابل کنترل ارائه می‌دهد.

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از LCM، دارای ۴ مرحله است: بررسی و آشکارسازی تغییرات؛ مدل‌سازی نیروی انتقال؛ مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اعتبارسنجی نقشه مدل‌سازی شده (غلامعلی فرد و همکاران، ۱۳۹۱).

### ۱- بررسی و آشکارسازی تغییرات

برای بررسی و آشکارسازی تغییرات از مدل‌های مختلف ارزیابی تأثیرات استفاده می‌شود که در ادامه به چند مدل اشاره خواهد شد.

#### مدل‌های ارزیابی تأثیرات

برای ارزیابی دقیق‌تر تأثیرات کاهش زمین‌های کشاورزی در تهران، می‌توان از مدل‌های مختلف مانند مدل‌های اکولوژیک و مدل‌های اقتصادسنجی استفاده کرد. برخی مدل‌ها به ما کمک می‌کند که روابط پیچیده میان تغییرات کاربری زمین، منابع طبیعی و اثرات آن‌ها بر سلامت انسان و اکوسیستم‌ها شبیه‌سازی شود. در ادامه به دو مدل از آن‌ها اشاره می‌شود:

♦ مدل‌های تغییرات کاربری زمین (LCM): از مدل‌های LCM برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی نحوه تغییرات کاربری زمین استفاده می‌شود که در پژوهش حاضر نیز با به‌کارگیری این روش به پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین و بررسی تأثیرات این تغییرات بر کاهش زمین‌های کشاورزی شهر تهران پرداخته شد.

برای به‌دست آوردن داده‌های مربوط به پوشش گیاهی از اطلاعات مربوط به نوع گیاهان و کاربری اراضی کشاورزی در تهران و برای داده‌های ذخیره و جذب کربن از ضرایب ذخیره کربن برای هر نوع پوشش گیاهی یا خاک منطقه استفاده شد.

### محاسبه ذخیره و جذب کربن

از ابزار InVEST Carbon Storage and Sequestration Model برای محاسبه ذخیره و جذب کربن استفاده شد.

♦ ذخیره کربن: محاسبه کربن ذخیره‌شده در زیست‌توده بالایی (درختان، گیاهان) و زیست‌توده زیرزمینی (ریشه‌ها).

♦ جذب کربن: میزان کربن جذب‌شده توسط گیاهان و خاک در سال.

♦ ضرایب ذخیره کربن برای زمین‌های کشاورزی، مراتع یا جنگل، در منطقه لحاظ شد.

### پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM

در این پژوهش، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM جهت آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات در آینده در نرم‌افزار Terrset 2020 انجام شد. این مدل با تلفیق توانایی‌های مدل زنجیره مارکوف، روش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون<sup>۱</sup> (MLP) با آموزش پس‌انتشار خطا، رگرسیون لجستیک و MOLA از کارایی خوبی در شبیه‌سازی فرآیندهای پیچیده برخوردار است (غلامعلی فرد و همکاران، ۱۳۹۱). مدل LCM در این مطالعه برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در تهران به‌ویژه تغییرات اراضی کشاورزی، مسکونی و صنعتی استفاده شد. توانایی مدل در پیش‌بینی

<sup>1</sup> Multi-Layer Perceptron

مدل‌های پویایی سیستم<sup>۱</sup>: برای مدل‌سازی اثرات بلندمدت و پیچیده‌تر مانند تأثیرات کاهش زمین‌های کشاورزی بر امنیت غذایی و افزایش آلودگی می‌توان از این نوع مدل‌ها استفاده کرد. این مدل‌ها به‌ویژه در ارزیابی تغییرات بلندمدت و اثرات آن‌ها بر جوامع انسانی و محیط‌زیستی مفید هستند ( Karimzadeh Motlagh et al., 2020).

## ۲- مدل‌سازی نیروی انتقال

در این بخش از مدل‌سازی نیروی انتقال از یک کاربری (مثل کشاورزی)، به کاربری دیگر (نظیر توسعه مسکونی) با توجه به متغیرهای توضیحی کمکی (مثل شیب، ارتفاع، نزدیکی به جاده و...)، مدل می‌شود ( Karimzadeh Motlagh et al., 2020).

در این مطالعه چند زیرمدل انتقال تغییر کاربری اراضی برای مدل‌سازی نیروی انتقال با استفاده از پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی مشخص شد. متغیرهای توصیفی به کار رفته در این قسمت شامل، فاصله از مناطق مسکونی شهری، فاصله از مرز اراضی کشاورزی، فاصله از مرز جاده‌ها، فاصله از مرز اراضی مرتعی و فاصله از پهنه‌های آبی (رودخانه‌ها و دریاچه) بود.

## ۳- مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

خروجی‌های مرحله مدل‌سازی پتانسیل انتقال به‌عنوان ورودی‌های مرحله پیش‌بینی تغییرات به کار می‌روند. مقدار تخصیص تغییر به هر کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف پیش‌بینی شد و نقشه کل تغییرات کاربری اراضی در مدل LCM تهیه گردید.

## ۴- اعتبارسنجی نقشه مدل‌سازی شده

شاخص کاپا، یکی از معروف‌ترین پارامترهای آماری برای بیان صحت نقشه‌های تولیدی است. شاخص کاپای توافق<sup>۲</sup> (KIA) با عنوان کاپای استاندارد شناخته می‌شود و نشان‌دهنده صحت کلی بین دو نقشه مرجع و مقایسه است.

## نتایج و بحث

بررسی نقشه‌های کاربری اراضی تهران در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه در الگوهای کاربری اراضی است. رشد فزاینده کاربری‌های شهری و مناطق انسان‌ساخت در کنار کاهش قابل توجه پوشش گیاهی، به‌ویژه درختزارها، باغ‌ها و پارک‌ها، نشان‌دهنده تغییرات عمده در روند توسعه شهری و اثرات آن بر محیط‌زیست است. این روند به‌ویژه در دوره‌ای که تهران با رشد سریع جمعیت و مهاجرت‌های درون‌شهری مواجه است، قابل تأمل است. در این میان، مساحت اراضی کشاورزی دیم افزایش یافته و در مقابل، عرصه‌های لخت و اراضی کم‌توان کاهش یافته‌اند. به‌طور کلی، بیشترین تغییرات کاربری مربوط به اراضی کم‌توان، اراضی زراعی و مراتع بوده است. گسترش مناطق مسکونی عمدتاً در خاک‌های کم‌توان و لخت و بدون پوشش صورت گرفته است، که این تغییرات می‌تواند تأثیرات بلندمدتی بر اکوسیستم‌ها و محیط‌زیست شهری و پیرامونی داشته باشد.

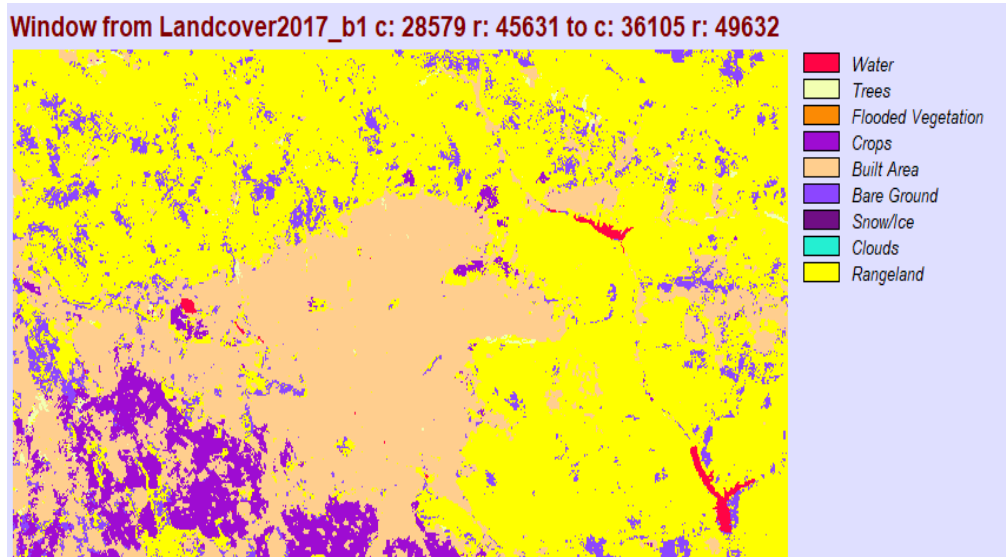
در تحلیل این تغییرات، می‌توان گفت که روند افزایشی مراتع در این دوره به دلیل تبدیل سایر کاربری‌ها به آن‌ها بوده است، اما این مراتع به‌ویژه در مناطق جنوبی تهران از نوع فقیر و کم‌توان هستند. به‌طور خاص، مناطق غنی‌تر، به‌ویژه در جنوب تهران، تحت تأثیر گسترش کاربری‌های مسکونی و کشاورزی قرار گرفته‌اند. این امر نشان‌دهنده دستکاری‌های عمده در استفاده از منابع طبیعی و در برخی

<sup>2</sup> Kappa Index of Agreement

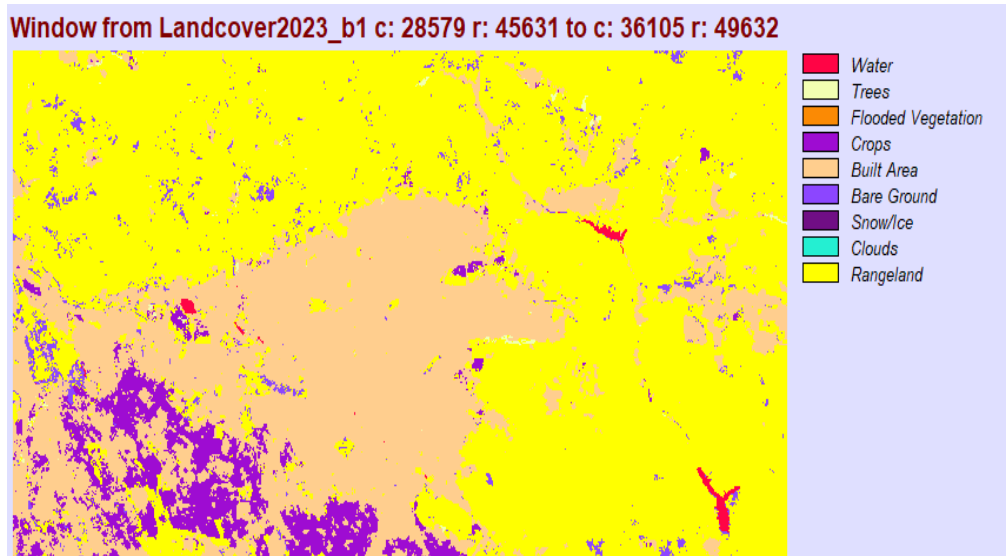
<sup>1</sup> System Dynamics

افزایش ریزگردها منجر شود. به‌ویژه در مناطق جنوبی تهران، روند افزایش زمین‌های کشاورزی دیم همچنان مشاهده می‌شود، که نشان‌دهنده چالش‌های محیط‌زیستی این نواحی است (شکل‌های ۱ تا ۱۱).

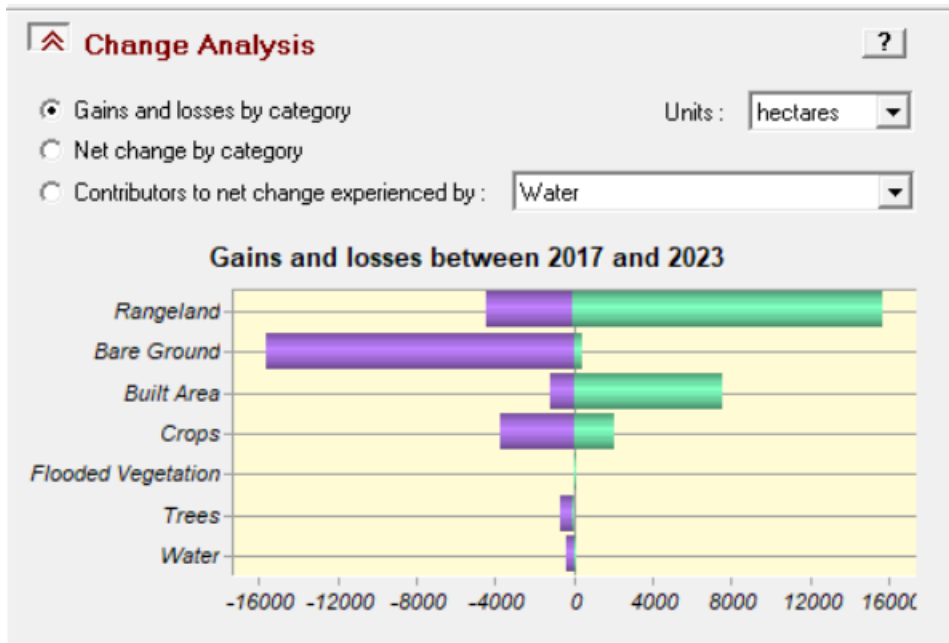
موارد کاهش پایداری اکولوژیکی در مناطق اطراف تهران است. زمین‌ها در مناطق کشاورزی دیم پس از رهاسازی، به‌حدی کم‌توان می‌شوند که دیگر برای رشد پوشش گیاهی مفید مناسب نیستند، که این موضوع می‌تواند به



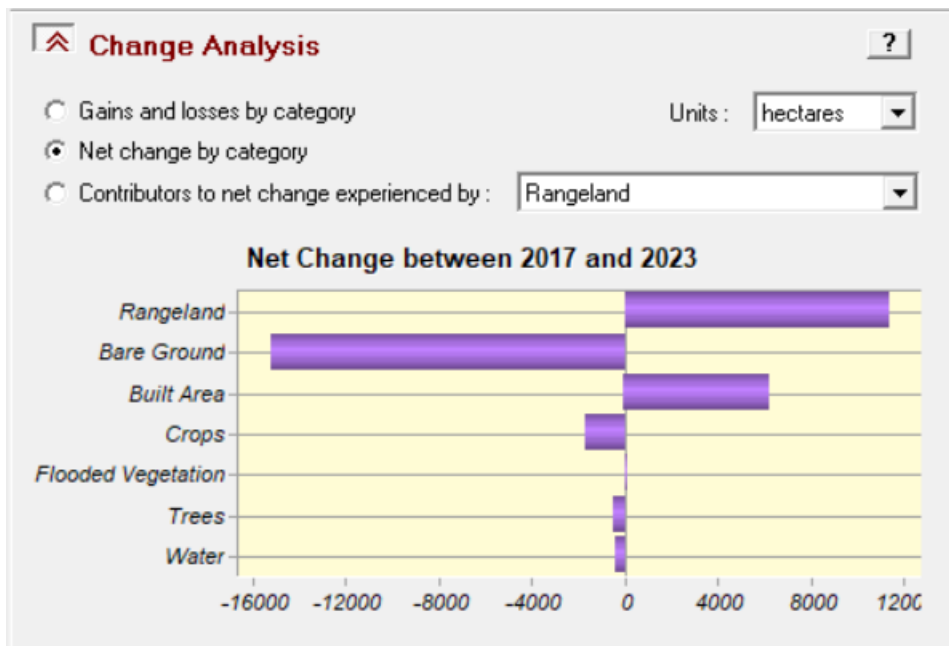
شکل ۱- نقشه پوشش و کاربری اراضی ۲۰۱۷ تهران



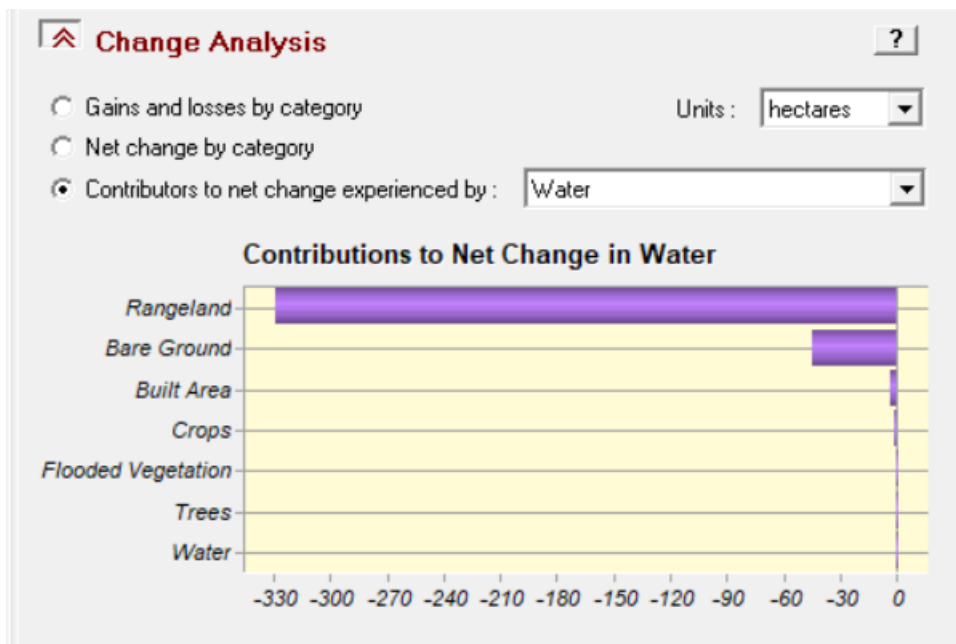
شکل ۲- نقشه پوشش و کاربری اراضی ۲۰۲۳ تهران



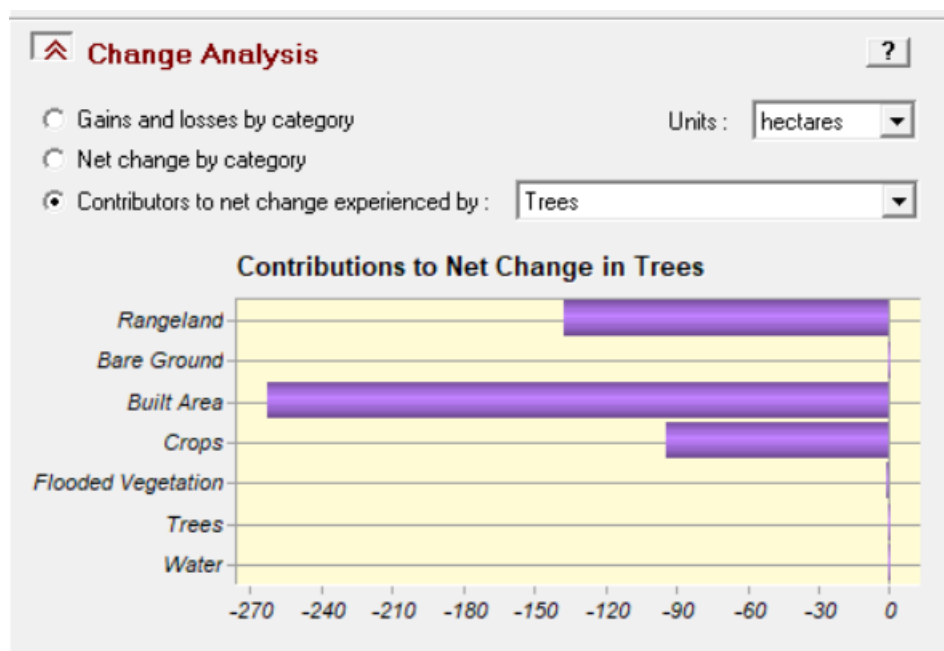
شکل ۳- روند تبدیل و جابه‌جایی کاربری‌های مختلف به یکدیگر در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳



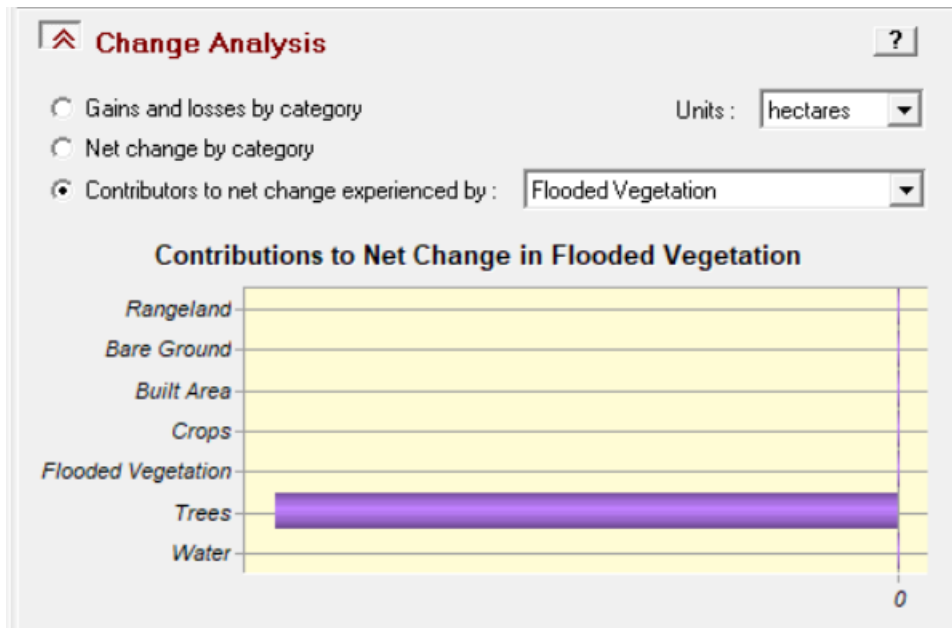
شکل ۴- روند تبدیل و جابه‌جایی کاربری‌های مختلف به یکدیگر در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳



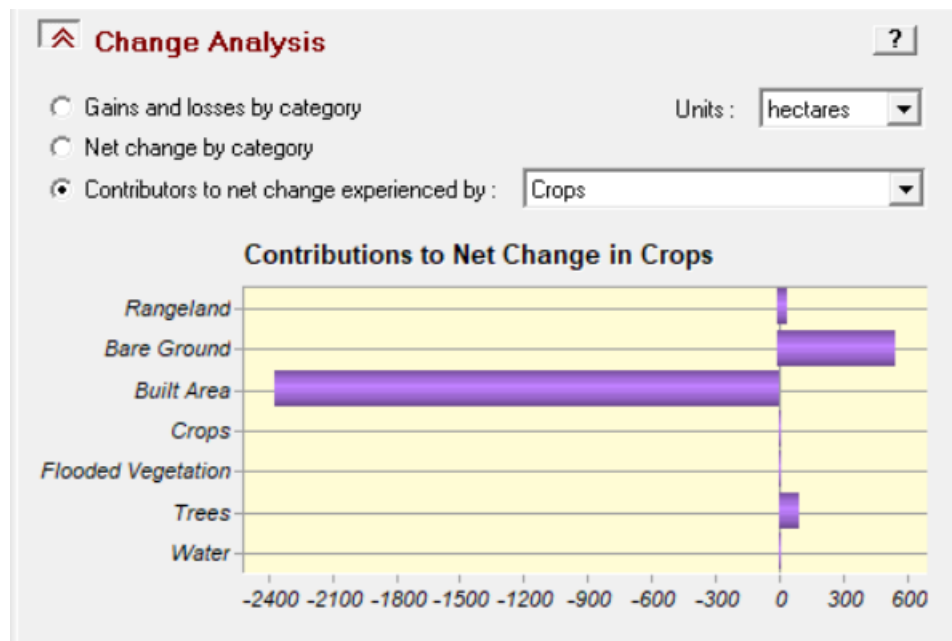
شکل ۵- روند تبدیل و جابه‌جایی کاربری‌های مختلف به یکدیگر در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳



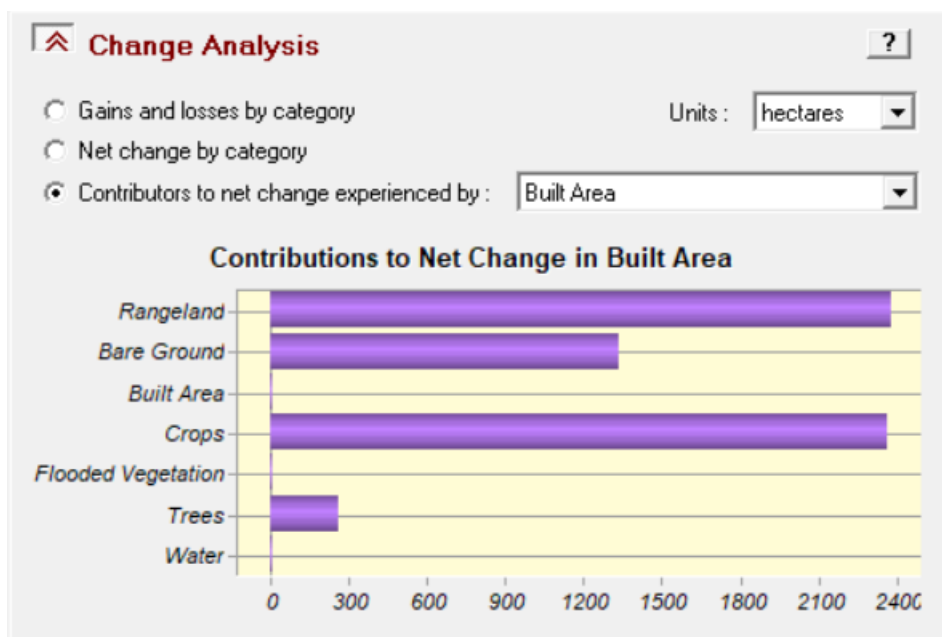
شکل ۶- روند تبدیل و جابه‌جایی کاربری‌های مختلف به یکدیگر در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳



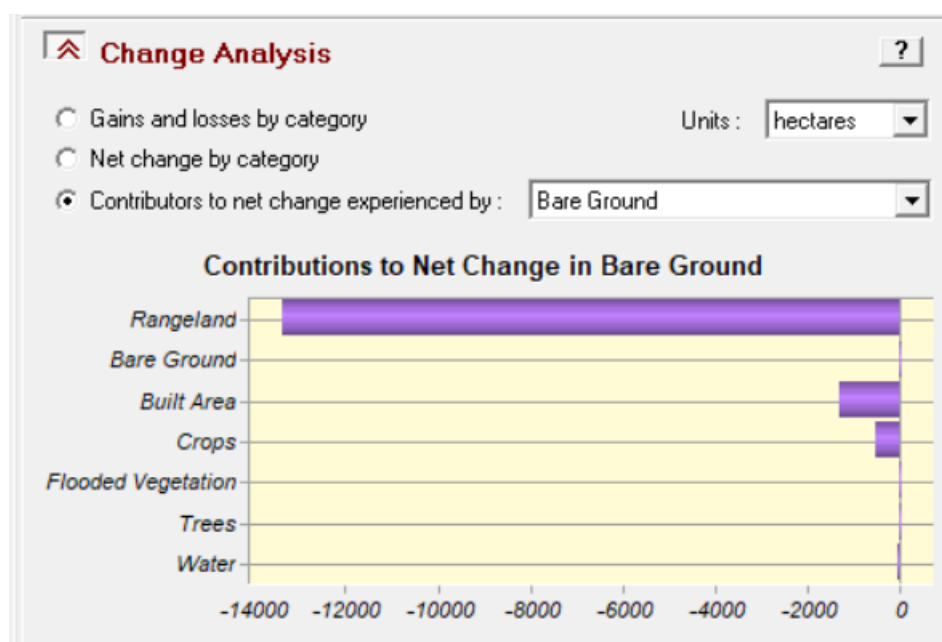
شکل ۷- روند تبدیل و جابه‌جایی کاربری‌های مختلف به یکدیگر در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳



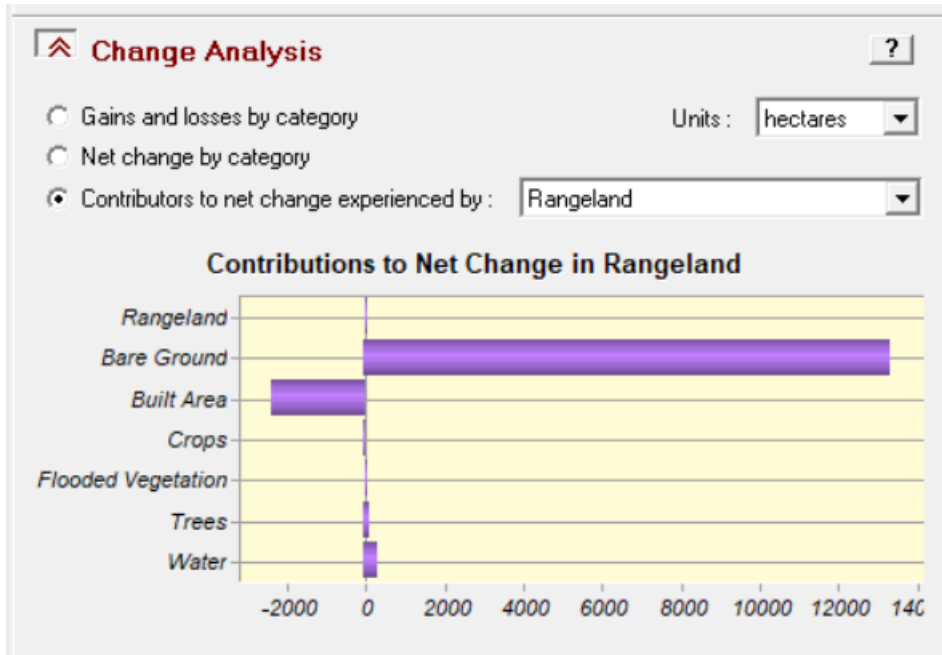
شکل ۸- روند تبدیل و جابه‌جایی کاربری‌های مختلف به یکدیگر در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳



شکل ۹- روند تبدیل و جابه‌جایی کاربری‌های مختلف به یکدیگر در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳



شکل ۱۰- روند تبدیل و جابه‌جایی کاربری‌های مختلف به یکدیگر در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳



شکل ۱۱- روند تبدیل و جابه‌جایی کاربری‌های مختلف به یکدیگر در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳

این تغییرات می‌تواند نشان‌دهنده فرایندهای طبیعی و انسانی پیچیده‌تری باشد که به‌طور هم‌زمان در حال وقوع هستند. به‌ویژه، روند کاهش پوشش گیاهی و گسترش اراضی شهری به مناطقی که قبلاً به‌عنوان منابع طبیعی و کشاورزی شناخته می‌شدند، نیاز به تحلیل دقیق‌تری دارد. از سوی دیگر، این تغییرات ممکن است به افزایش مخاطرات محیط‌زیستی مانند ریزگردها و آلودگی هوا دامن بزنند که در آینده نزدیک تأثیرات منفی بیشتری بر کیفیت زندگی شهری خواهند داشت. در این پژوهش شاخص کاپا و ROC<sup>۱</sup> به ترتیب، ۰/۹۹ و ۰/۸۶ درصد به‌دست آمد. این مقادیر نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و توانایی آن در پیش‌بینی صحیح تغییرات آینده است.

این تغییرات می‌تواند نشان‌دهنده فرایندهای طبیعی و انسانی پیچیده‌تری باشد که به‌طور هم‌زمان در حال وقوع هستند. به‌ویژه، روند کاهش پوشش گیاهی و گسترش اراضی شهری به مناطقی که قبلاً به‌عنوان منابع طبیعی و کشاورزی شناخته می‌شدند، نیاز به تحلیل دقیق‌تری دارد. از سوی دیگر، این تغییرات ممکن است به افزایش مخاطرات محیط‌زیستی مانند ریزگردها و آلودگی هوا دامن بزنند که در آینده نزدیک تأثیرات منفی بیشتری بر کیفیت زندگی شهری خواهند داشت. در این پژوهش شاخص کاپا و ROC<sup>۱</sup> به ترتیب، ۰/۹۹ و ۰/۸۶ درصد به‌دست آمد. این مقادیر نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و توانایی آن در پیش‌بینی صحیح تغییرات آینده است.

مطالعات مشابه در دیگر شهرهای در حال توسعه نیز نشان داده‌اند که رشد سریع جمعیت و توسعه بی‌رویه مناطق مسکونی به کاهش چشمگیر فضای سبز و گسترش آلودگی‌های محیط‌زیستی منجر شده است ( Jiang et al., )

بررسی نقشه‌های وضعیت آینده پوشش اراضی ادامه همان روند ۲۰ سال گذشته را نشان می‌دهد. مطالعه داداش‌پور و همکاران (۱۳۹۸) نیز برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ همانند پیش‌بینی مطالعه حاضر، ادامه روند گذشته را گزارش نموده است. رشد مناطق مسکونی با آهنگ کمتری، (۵/۷۷٪) نسبت به دوره ۲۰ ساله (۱۳۸۰-۱۴۰۰) همراه خواهد بود. این تحلیل‌ها حاکی از افزوده شدن بر ظرفیت و ابعاد شهر دارد. همچنین دلیل دیگر این روند فزاینده رشد شهری واگذاری مراتع برای ساخت‌وساز، تبدیل بیشتر مناطق

مطالعات مشابه در دیگر شهرهای در حال توسعه نیز نشان داده‌اند که رشد سریع جمعیت و توسعه بی‌رویه مناطق مسکونی به کاهش چشمگیر فضای سبز و گسترش آلودگی‌های محیط‌زیستی منجر شده است ( Jiang et al., )

<sup>1</sup> Receiver Operating Characteristic

ذخیره کربن شامل چهار بخش اصلی است:

۱. زیست‌توده بالایی<sup>۱</sup>: شامل گیاهان، درختان و سایر پوشش‌های گیاهی.
۲. زیست‌توده زیرزمینی<sup>۲</sup>: ریشه‌های گیاهان.
۳. خاک: کربن آلی ذخیره‌شده در خاک<sup>۳</sup>
۴. چوب‌های مرده و بستر برگ‌ها<sup>۴</sup>: بقایای گیاهی و چوب‌های مرده.

ب) ضرایب ذخیره کربن برای زمین‌های کشاورزی ضرایب زیر براساس پژوهش‌های جهانی و ملی است (سوری و همکاران، ۱۳۹۸):

۱. زیست‌توده بالایی: ۵-۱۰ تن کربن در هکتار بسته به نوع گیاه زراعی.
۲. زیست‌توده زیرزمینی: ۱-۲ تن کربن در هکتار.
۳. کربن آلی خاک: ۲۰-۴۰ تن در هکتار در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک.

### جذب کربن سالانه

زمین‌های کشاورزی معمولاً سالانه حدود ۱-۲ تن کربن در هر هکتار جذب می‌کنند (Baasansuren et al., 2019).

نتایج این تحقیق، بر ضرورت مدیریت پایدار اراضی کشاورزی و حفظ منابع طبیعی در تهران تأکید دارد. استفاده از مدل‌های تحلیلی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و بررسی اثرات آن‌ها می‌تواند در فرآیند تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی و شهری به‌طور مؤثری کمک کند. بنابراین، اجرای برنامه‌های مناسب برای کنترل

دارای اراضی لخت و بدون پوشش، مناطق کم‌توان و سپس باغ‌ها به فضاهای مسکونی است.

این تحقیق به‌ویژه بر تأثیرات منفی افزایش کشاورزی دیم در اراضی کم‌توان تأکید دارد. این یافته جدید، به‌ویژه در زمینه افزایش ریزگردها و کاهش کیفیت محیط‌زیست شهری، نوآورانه است و می‌تواند به مدیریت بهتر تغییرات کاربری اراضی و حفظ منابع طبیعی در حاشیه شهر تهران کمک کند. به‌ویژه اینکه تغییرات کاربری از نوع کشاورزی به مناطق مسکونی و صنعتی، باعث تغییرات عمده در پایداری اکولوژیکی و تنوع‌زیستی این مناطق خواهد شد. این تغییرات می‌توانند در درازمدت به تهدیدات جدی‌تری برای سلامت محیط‌زیست و انسان‌ها منجر شوند.

با توجه به روند افزایشی تغییرات مشاهده‌شده، پیش‌بینی می‌شود که در بیست سال آینده، کشاورزی دیم به‌طور بیشتری به سمت مراتع فقیر گسترش یابد. این روند، همراه با گسترش بی‌رویه مناطق شهری، می‌تواند تهدیدات بیشتری برای منابع طبیعی و محیط‌زیست شهری به همراه داشته باشد. تغییرات پوشش طبیعی به انسان‌ساخت و تخریب پوشش گیاهی می‌تواند سبب از دست رفتن حلقه‌های طبیعی مهم در اکوسیستم‌های پیرامونی تهران شود. به‌ویژه در مناطق جنوبی و حاشیه‌ای تهران، این روند احتمالاً با افزایش مشکلات محیط‌زیستی مانند ریزگردها، کاهش تنوع‌زیستی و آلودگی هوا همراه خواهد شد.

روند کاهش زمین‌های کشاورزی معمولاً باعث کاهش ذخیره کربن به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از توسعه شهری می‌شود (Baasansuren et al., 2019). در تهران، کاهش زمین‌های کشاورزی به‌دلیل گسترش مناطق شهری، اثر زیادی بر کاهش ذخیره کربن دارد.

### محاسبه ذخیره و جذب کربن

الف) منابع ذخیره کربن

<sup>1</sup> Above-ground biomass

<sup>2</sup> Below-ground biomass

<sup>3</sup> Soil organic carbon

<sup>4</sup> Litter and dead wood

رشد بی‌رویه مناطق مسکونی و حفظ فضای سبز، به‌ویژه در نواحی جنوبی و حاشیه‌ای، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

## نتیجه‌گیری

کاهش زمین‌های کشاورزی در شهر تهران می‌تواند تأثیرات عمده‌ای بر محیط‌زیست، اقتصاد و کیفیت زندگی شهروندان داشته باشد. این تغییرات، که عمدتاً ناشی از گسترش مناطق شهری و افزایش جمعیت است، اثرات بلندمدت و چشم‌گیری به دنبال خواهد داشت. همچنین کاهش زمین‌های کشاورزی معمولاً باعث کاهش ذخیره کربن به دلیل کاهش پوشش گیاهی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از توسعه شهری می‌شود. در تهران، کاهش زمین‌های کشاورزی به دلیل گسترش مناطق شهری، اثر زیادی بر کاهش ذخیره کربن دارد.

در این تحقیق، چندین جنبه کلیدی از این تأثیرات مورد بررسی قرار گرفته است:

### ۱. تأثیرات محیط‌زیستی:

- کاهش تنوع‌زیستی: تبدیل زمین‌های کشاورزی به اراضی شهری و صنعتی منجر به تخریب زیستگاه‌های طبیعی و کاهش تنوع‌زیستی در مناطق مختلف تهران می‌شود. این تغییرات باعث از بین رفتن زیستگاه‌های بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری بومی خواهد شد.

- افزایش آلودگی هوا: زمین‌های کشاورزی نقش مهمی در جذب دی‌اکسید کربن و کاهش آلودگی هوا دارند. تبدیل این زمین‌ها به ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها می‌تواند به

افزایش گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا منجر شود که بر سلامت عمومی شهروندان تأثیر خواهد گذاشت.

- تغییرات در چرخه آب: زمین‌های کشاورزی به‌ویژه در جذب و ذخیره‌سازی آب باران نقش دارند. تبدیل این اراضی به مناطق شهری می‌تواند منجر به کاهش نفوذ آب به خاک و افزایش رواناب‌ها شود که این تغییرات در نهایت می‌تواند به کمبود منابع آب و خطرات ناشی از سیلاب‌های شهری منتهی گردد.

- افزایش دمای شهری (اثر جزیره حرارتی شهری): تبدیل زمین‌های کشاورزی به سازه‌های شهری باعث تغییرات قابل‌توجهی در دمای شهر خواهد شد. زمین‌های کشاورزی به‌طور طبیعی دمای هوا را تعدیل می‌کنند، درحالی که حذف این اراضی منجر به افزایش دما و ایجاد جزایر حرارتی در تهران می‌شود.

- کاهش جذب کربن: کاهش زمین‌های کشاورزی باعث کاهش جذب کربن خواهد شد، درحالی که زمین‌های کشاورزی معمولاً سالانه حدود ۱-۲ تن کربن در هر هکتار جذب می‌کنند.

- کاهش خدمات اکوسیستمی: کاهش زمین‌های کشاورزی موجب کاهش تنظیم آب‌وهوا، افزایش فرسایش خاک و کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش

زمین‌های کشاورزی حاشیه‌ای مؤثر باشد.

- حفظ زمین‌های کشاورزی در حومه شهر: تدوین سیاست‌های مؤثر برای حفاظت از زمین‌های کشاورزی و محدود کردن تبدیل آن‌ها به اراضی مسکونی می‌تواند از کاهش بی‌رویه این زمین‌ها جلوگیری کند.
- تقویت کشاورزی پایدار: استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار و کم‌مصرف آب می‌تواند به حفظ منابع کشاورزی و کاهش فشار بر منابع طبیعی در تهران کمک کند.

نتایج این تحقیق نشان‌دهنده اهمیت ویژه‌ای است که باید به حفظ فضای سبز، باغ‌ها و ریه‌های تنفسی شهری داده شود. این اراضی نه تنها در کاهش آلودگی هوا و حفظ تنوع زیستی نقش دارند، بلکه در ایجاد جاذبه‌های گردشگری و تفریحی نیز تأثیرگذارند. بنابراین، سیاست‌ها و راهبردهای توسعه باید بر حفاظت و بهسازی این اراضی تمرکز کنند. علاوه بر این، نیاز است تا نقشه‌های جامع مبتنی بر آمایش سرزمین به‌طور دقیق‌تر اجرا شوند تا از تجمع جمعیت در مناطق خاص جلوگیری شده و تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی مدیریت شود.

در نهایت، برای جلوگیری از تخریب محیط زیست و گسترش فزاینده مناطق ساخته شده، لازم است که مدیران شهری در راستای برنامه‌ریزی و اجرایی کردن راهبردهای جامع و یکپارچه، اقدامات مؤثری برای مدیریت تغییرات کاربری اراضی و حفاظت از منابع طبیعی انجام دهند.

انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات محیط‌زیستی می‌شود.

## ۲. تأثیرات اجتماعی و اقتصادی:

- رشد جمعیت و نیاز به مسکن: کاهش زمین‌های کشاورزی، عمدتاً به دلیل توسعه شهری و افزایش جمعیت، فشار بیشتری بر منابع مسکن، خدمات عمومی و زیرساخت‌ها وارد می‌کند. این تغییرات به‌ویژه در مناطق حاشیه‌ای شهر مشهود است.
- افزایش هزینه‌های معیشتی: تبدیل زمین‌های کشاورزی به اراضی شهری می‌تواند منجر به کاهش تولیدات کشاورزی محلی شود که در نهایت افزایش قیمت مواد غذایی و افزایش هزینه‌های معیشتی برای مردم را به همراه خواهد داشت.
- کاهش امنیت غذایی: از آنجایی که زمین‌های کشاورزی منبع اصلی تولید محصولات غذایی هستند، کاهش این زمین‌ها می‌تواند باعث کاهش امنیت غذایی در شهر شود.

## راهکارهای پیشنهادی:

- توسعه کشاورزی شهری: ایجاد فضاهای کشاورزی در داخل شهر، مانند کشاورزی عمودی و استفاده از فضاهای بلااستفاده شهری، می‌تواند بخشی از نیازهای غذایی شهر را تأمین کرده و در کاهش وابستگی به

## منابع

- Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., & Federici, S. (2019). 2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Jiang, B., Liu, J., & Li, X. (2019). The effect of rapid urbanization on green spaces and environmental pollution in developing cities. *Urban Ecology Journal*, 15(4), 345-358.
- Karimzadeh Motlagh, Z.K., Lotfi, A., Pourmanafi, S., Ahmadzadeh, S. & 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.
- Leta, M. K., Demissie, T. A., & Tränckner, J. (2021). Modeling and prediction of land use land cover change dynamics based on land change modeler (Lcm) in nashe watershed, upper blue Nile basin, Ethiopia. *Sustain.*, 13(7), 3740.
- Najafzadeh, F., Mohammadzadeh, A., Ghorbanian, A., & 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), 4469.
- Zhang, Y., Zhang, Q., & Chen, X. (2020). Urban sprawl and environmental impact: A case study of the rapid growth of residential areas in developing regions. *Environmental Science and Technology*, 48(7), 1213-1225.
- بوکائیان، ف.، شمسی‌پور، ع. و علی‌خواه اصل، م. (۱۳۹۹). پایش تغییرات پوشش- کاربری اراضی با تأکید بر توسعه کالبدی شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی. *مجله علوم و فناوری محیط زیست*، ۲۲(۹۲)، ۶۱-۷۸.
- حیدریان، پ.، رنگزن، ک.، ملکی، س. و تقی‌زاده، ا. (۱۳۹۲). پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: اراضی شهر تهران). *نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۴(۴)، ۱.
- داداش‌پور، ه.، پناهی، ح. و شمس‌الدینی، ع. (۱۳۹۸). تحلیل عوامل محرک و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در منطقه کلان شهری تهران با تأکید بر یک مدل منطقه‌ای یکپارچه. *برنامه ریزی منطقه‌ای*، ۹(۳۵)، ۳۹-۵۶.
- سوری، م.، فیاض، م.، کمالی، ن.، عشوری، پ. و ناطقی، س. (۱۳۹۸). توان ذخیره کربن گونه *Artemisia sieberi* تحت تأثیر قرق (کلات سادات آباد شهرستان سبزوار). *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*(علمی)، ۳۲(۴)، ۷۸۸-۷۹۷.
- غلامعلی فرد، م.، جورابیان شوشتری، ش.، حسینی کهنوج، س. و میرزایی، م. (۱۳۹۱). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS. *محیط‌شناسی*، ۶۴، ۱۰۹-۱۲۴.
- یوسفی، م.، پژوهش، م. و هنربخش، ا. (۱۳۹۹). مدل‌سازی روند تغییرات پوشش- کاربری اراضی محلی با استفاده از مدل LCM مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بهشت‌آباد). *پژوهش‌های مدیریت حوضه آبخیز*، ۱۱(۲۱)، ۱۴۲-۱۲۹.



## Modeling Land Use/ Land Cover Changes and Their Impacts on Carbon Storage in Tehran Metropolitan Area

### Niki Aghapour

Ph.D. student, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Nour, Mazandaran, Iran

Author's E-mail: [niki\\_aghapour@modares.ac.ir](mailto:niki_aghapour@modares.ac.ir)

### Abstract

Rapid population growth in Tehran metropolis has led to extensive changes in land use, including the expansion of urban areas, agricultural lands, and industrial lands. These changes have had important impacts on environmental processes such as carbon storage. This study aimed to investigate land use/land cover changes and analyze their effects on Tehran's carbon storage capacity from 2017 to 2023. For this purpose, Sentinel-2 satellite images were used and land use maps were validated using Google Earth images and accuracy and kappa indices. Future changes were predicted using artificial neural network, Markov chain, and land use change models. The results showed that from 2017 to 2023, residential and urban areas expanded along with the reduction of green spaces and agricultural lands. These changes have led to a decrease in carbon storage capacity in parts of this metropolis. Predictions indicate that the trend of residential expansion, particularly in the western, southern and southwestern parts, will continue in the coming years, although at a slower pace than in the previous period. The findings of this study emphasize the importance of land-use planning to improve carbon storage in urban areas.

**Keywords:** Land use change, LCM model, Artificial Neural Network, Tehran

Aghapour, N. (2025). Modeling Land Use/ Land Cover Changes and Their Impacts on Carbon Storage in Tehran Metropolitan Area. *Zist Sepehr Student Magazine*, 18(3), 73-87.