

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ای مارکوف

عباس علی‌محمدی^{۱*}، علی‌جعفر موسیوند^۲، سیاوش شایان^۳

۱- استادیار گروه GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۲- دانش‌آموخته‌ی سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استادیار گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۸۷/۳/۴ پذیرش: ۸۸/۸/۳

چکیده

در دهه‌های اخیر، تغییرات سریع کاربری اراضی و پوشش زمین در حومه‌ی شهرهای بزرگ ایران، به‌ویژه شهر تهران به‌عنوان پایتخت، با پیامدهای مهمی چون تخریب منابع طبیعی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و رشد نامناسب شهرها همراه بوده است. متأسفانه بخش مهمی از این تغییرات، غیراصولی و خارج از برنامه‌ها و ضوابط بوده است. مطالعه‌ی میزان تغییرات و تخریب منابع در سال‌های گذشته و امکان‌سنجی و پیش‌بینی این تغییرات در سال‌های آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع و کنترل و مهار تغییرات غیراصولی در آینده گام مهمی باشد. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ی لندست مربوط به سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰م، اطلاعات جانبی و مدل زنجیره‌ای مارکوف، تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین طی این ۲۴ سال در حومه‌ی شهر تهران بررسی شده است. نتایج حاکی از گسترش بی‌رویه‌ی مناطق ساخته‌شده و تخریب شدید اراضی کشاورزی طی این دوره در منطقه‌ی مورد مطالعه است. برای آگاهی از میزان تغییراتی که در آینده رخ خواهد داد، مدل زنجیره‌ای مارکوف درجه‌ی اول به‌عنوان مدل پیش‌بینی‌کننده در نظر گرفته شده است. با کالیبره کردن مدل برای سال ۲۰۰۰م با استفاده از داده‌های نقشه‌ای موجود، نتایج به‌دست آمده برای پیش‌بینی تغییرات آینده در سال ۲۰۱۲م منطقه استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: مدل زنجیره‌ای مارکوف، تغییرات پوشش زمین، تهران، پیش‌بینی تغییرات، تصاویر ماهواره‌ای لندست.

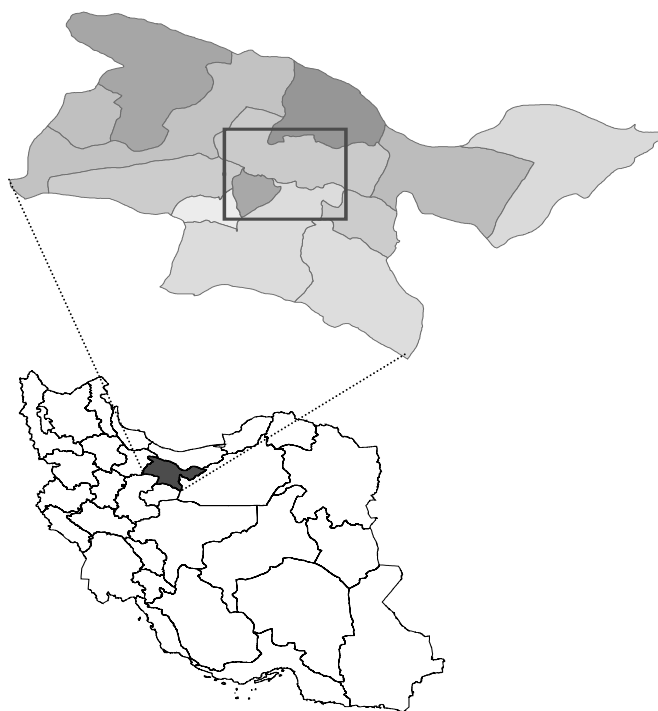


۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، رشد شهرنشینی در ایران و افزایش مهاجرت به شهرهای بزرگ کشور به‌ویژه تهران، باعث گسترش ناگهانی و غیرطبیعی این شهرها و تخریب زمین‌های حاصل‌خیز و منابع طبیعی شده و آسیب‌های جبران‌ناپذیری به طبیعت وارد کرده است؛ درحالی‌که این روند می‌توانست با کنترل و هدایت اصولی گسترش مناطق شهری، بدون تخریب زمین‌های حاصل‌خیز و منابع طبیعی صورت گیرد.

در دهه‌های اخیر، شهر تهران شاهد تغییرات زیادی در ساختار جمعیتی خود بوده است. تهران هنگام پایتخت‌شدن جمعیتی بین ۱۵ تا ۲۰ هزار نفر داشته است و هم‌اکنون جمعیتی بالغ بر ۸ میلیون نفر دارد. تا به امروز رشد جمعیت شهر تهران خیلی بیشتر از افزایش طبیعی آن بوده است (امانی، ۱۳۸۰). با افزایش جمعیت، رشد زیادی در اراضی ساخته‌شده در منطقه به‌وجود آمده است و باعث تغییرات زیاد کاربری‌ها در پیرامون شهر و تخریب زمین‌های حاصل‌خیز موجود در حومه شهر شده است؛ به‌گونه‌ای که ادامه این روند می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به منابع زیست‌محیطی منطقه وارد آورد.

با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (نشاط، ۱۳۸۱؛ Muller & Middleton, 1994). با پیش‌بینی تغییرات کاربری، می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص، و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد (Brown Et. Al, 2000; Hathout, 2002; Jenerette Et. al, 2001)



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه محدوده‌ای به وسعت ۲۱۳۸۹۱ هکتار واقع در استان تهران و دربرگیرنده بخش اعظم شهرستان‌های تهران، اسلامشهر، شهرری و قسمت‌هایی از شهرستان‌های پاکدشت، رباط‌کریم، شمیرانات و شهریار است. در شکل شماره یک محدوده مورد مطالعه و موقعیت آن در استان تهران و کشور نمایش داده شده است. علت انتخاب این منطقه، رشد زیاد منطقه شهری در این ناحیه در دهه‌های اخیر، تبدیل سریع کاربری‌ها در حومه شهر، اهمیت شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران و در دسترس بودن تصاویر و اطلاعات منطقه بوده است.



۲-۲- تصاویر ماهواره‌ای

در این تحقیق تعداد سه فریم تصویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال ۱۹۷۶م (سنجنده MSS)، چهار باند طیفی سال ۱۹۸۸م (سنجنده TM)، هفت باند طیفی سال ۲۰۰۰م (سنجنده ETM+)، هفت باند طیفی و یک باند Pan استفاده شده است.

۲-۳- روش‌ها

در این تحقیق از ماتریس تغییرات کاربری و مدل زنجیره‌ای مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین استفاده شده است.

۲-۳-۱- طبقه‌بندی تصاویر

تصاویر چندزمانه استفاده شده در تحقیق پس از تصحیح هندسی، برای تهیه نقشه پوشش زمین طبقه‌بندی شده است. تعداد کلاس‌ها نیز با توجه به تصاویر و نقشه‌های موجود، شرایط منطقه مورد مطالعه و کلاس‌های مورد نیاز برای نقشه پوشش زمین انتخاب شده و تفکیک شش کلاس به این شرح مورد توجه قرار گرفته است: ۱. اراضی ساخته شده؛ ۲. اراضی کشاورزی و باغ؛ ۳. پارک و جنگل؛ ۴. اراضی بایر با شیب کمتر از ۱۰ درصد؛ ۵. اراضی بایر با شیب بیشتر از ۱۰ درصد؛ ۶. پهنه‌های آبی.

هدف از جداسازی دو کلاس اراضی بایر با شیب‌های مختلف، متمایز کردن اراضی بایر با شیب‌های زیاد از اراضی با شیب کم بود که امکان گسترش اراضی ساخته شده در آن‌ها ناچیز، و امکان تبدیل این قبیل اراضی به اراضی ساخته شده بسیار اندک است.

برای روش طبقه‌بندی از الگوریتم بیشترین شباهت^۱ استفاده شده است. این روش با استفاده از میانگین و ماتریس کوواریانس داده‌های تمرینی^۲ از روش‌های دیگر طبقه‌بندی مانند طبقه‌بندی کمترین فاصله^۳ از داده‌های تصویر تحلیلی بهتر به دست می‌دهد (Richards &

1. Maximum Likelihood
2. Training Data
3. Minimum Distance

مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا _____ دوره چهاردهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۹

(Xiuping, 2006). چون از درصد احتمال توزیع عوارض مختلف در محدوده مورد مطالعه اطلاعات دقیقی وجود نداشت، احتمال اولیه برای همه کلاس‌ها برابر فرض شده است. هنگام طبقه‌بندی، دو کلاس بایر با شیب بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۱۰ درصد به دلیل شباهت طیفی بالا و عدم تفکیک‌پذیری مناسب، به‌عنوان یک کلاس به نام اراضی بایر در نظر گرفته شده و پس از طبقه‌بندی، براساس نقشه شیب تهیه‌شده از منطقه تفکیک شده است. دقت طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از نمونه‌گیری سیستماتیک تصادفی ارزیابی شده است. سیصد نمونه از تصاویر طبقه‌بندی‌شده جمع‌آوری شده است، سپس دقت آن‌ها با استفاده از عکس‌های هوایی، نقشه‌های کاربری و توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای برای هر کلاس و طبقه‌بندی مشخص شده و ماتریس خطای مربوط به هر طبقه‌بندی تشکیل شده است.

۲-۳-۲- آشکارسازی تغییرات^۱

برای درک اینکه طی دوره ۲۴ ساله، تغییرات منطقه چگونه بوده و کدام کلاس‌ها گسترش و کدام‌یک کاهش مساحت داشته‌اند، از نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده استفاده شده است. با مقایسه این نقشه‌ها و جدول تقاطعی به‌دست‌آمده، نقشه و درصد تغییرات هر کلاس مشخص و محاسبه شده است.

۲-۳-۳- محاسبات اولیه کلاس‌ها

با استفاده از نقشه پوشش تهیه‌شده برای هر دوره، درصد مساحت و محیط هر کلاس پوشش زمین در محدوده مطالعاتی محاسبه شده است. همچنین درصد هر کلاس نسبت به کل منطقه، برای آگاهی از میزان تغییرات به‌وقوع‌پیوسته در دوره‌های بعدی به‌دست آمده است.

۲-۳-۴- مدل زنجیره‌ای مارکوف

۲-۳-۴-۱- تحلیل زنجیره‌ای مارکوف

زنجیره‌های مارکوف کاربردهای گسترده‌ای در مدل کردن تغییرات کاربری و پوشش اراضی

1. Change Detection



برای مناطق شهری و غیرشهری داشته‌اند (Wu Et al, 2006). در بیشتر پژوهش‌ها درجه مارکوف برابر با یک و حالت ایستایی با زمان را برای مدل مارکوف قائل بوده‌اند (افقهی، ۱۳۷۶) و فقط تعداد بسیار محدودی از آن‌ها ایستایی یا درجه مارکوف را برای منطقه مطالعاتی آزمایش کرده‌اند (Bell, 1974). در تحلیل زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های^۱ زنجیر استفاده شده است. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری^۲ استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شود. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده^۳ هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالات شرطی^۴ برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (Gilks, 1996; Weng, 2002).

۲-۳-۴-۲- ورودی‌های اولیه مدل مارکوف

تصاویر طبقه‌بندی‌شده سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰م به‌عنوان نقشه‌های پوشش برای تهیه ماتریس تبدیل وضعیت به‌کار برده شده است. فاصله زمانی هر دو تصویر ۱۲ سال بود که همین بازه زمانی نیز برای پیش‌بینی تغییر کاربری استفاده شده است.

۲-۳-۴-۳- ماتریس تبدیل وضعیت

با استفاده از نقشه‌های پوشش زمین به‌دست‌آمده برای هر دوره، ماتریس تبدیل وضعیت کلاس‌های پوشش زمین بین هر دو دوره زمانی محاسبه شده است. از نقشه‌های پوشش سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۸م ماتریس تبدیل وضعیت اول، و از نقشه‌های پوشش سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰م ماتریس تبدیل وضعیت دوم و درنهایت بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰م نیز یک ماتریس تبدیل وضعیت کلی محاسبه شده است. این ماتریس‌ها حاوی اطلاعات درصد تبدیل هر کلاس به سایر کلاس‌ها هستند.

-
1. State
 2. Raster
 3. Transition Areas Matrix
 4. Conditional Probability Images

۳- نتایج

۳-۱- دقت طبقه‌بندی تصاویر

نتایج مربوط به برآورد دقت طبقه‌بندی‌ها در جدول شماره یک آمده است. دقت طبقه‌بندی‌ها به‌طور کلی بیش از ۸۵ درصد، و برای استفاده در مدل مارکوف مناسب است.

جدول ۱ دقت کلی و شاخص کاپا برای سه تصویر مورد استفاده

تصویر و سال	شاخص کاپا	دقت کلی
MSS1976-	۰/۸۵	۰/۸۸
TM1988-	۰/۸۹	۰/۹۱
ETM+2000-	۰/۸۹	۰/۹۲

۳-۲- آشکارسازی تغییرات

آمار مربوط به مساحت و میزان تغییرات به‌وقوع‌پیوسته در جدول شماره دو و شکل‌های شماره دو و سه نشان داده شده است. در سال ۱۹۷۶م، کلاس اراضی بایر با شیب کمتر از ۱۰ درصد و با در اختیار داشتن ۰/۳۹ کل مساحت منطقه مطالعاتی، گسترده‌ترین کلاس است؛ پس از آن نیز کلاس اراضی کشاورزی با ۰/۲۹ سطح منطقه قرار دارد. در این سال، کلاس اراضی ساخته‌شده با دارا بودن ۰/۱۷ مساحت کل منطقه در رده سوم قرار دارد.

جدول ۲ مساحت کلاس‌های مختلف کاربری در سه زمان مورد بررسی

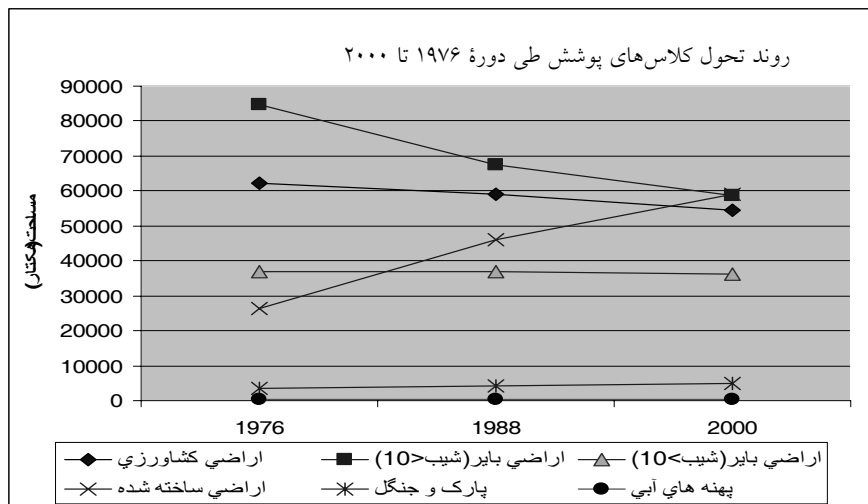
سال	۱۹۷۶		۱۹۸۸		۲۰۰۰	
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
نام کلاس	۶۲۳۱۴/۳۸	۰/۲۹۱	۵۹۰۶۱/۸۷	۰/۲۷۶	۵۴۶۰۶/۶	۰/۲۵۵
اراضی کشاورزی	۸۴۶۶۰/۶۶	۰/۳۹۶	۶۷۳۸۲/۶۴	۰/۳۱۵	۵۸۵۶۸/۹۴	۰/۲۷۹
اراضی بایر (شیب > ۱۰درجه)	۳۶۸۰۴/۲۴	۰/۱۷۲	۳۶۸۰۱/۵۴	۰/۱۷۲	۳۶۲۶۱/۰۹	۰/۱۷۰
اراضی بایر (شیب < ۱۰درجه)	۲۶۲۹۲/۷۸	۰/۱۲۳	۴۵۹۶۲/۹۱	۰/۲۱۵	۵۹۱۸۳/۵۵	۰/۲۷۷
اراضی ساخته‌شده	۲۴۳۰/۱۷	۰/۰۱۶	۴۳۰۶/۷۷	۰/۰۲۰	۴۷۸۸	۰/۰۲۲
پارک و جنگل	۳۸۸/۸۹	۰/۰۰۲	۳۷۵/۳۹	۰/۰۰۲	۴۸۲/۹۴	۰/۰۰۲
پهنه‌های آبی	۲۱۳۸۹۱/۱۲	۱	۲۱۳۸۹۱/۱۲	۱	۲۱۳۸۹۱/۱۲	۱
مجموع						



طی دوره ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۸م، بیشترین کاهش به ترتیب به کلاس اراضی بایر با شیب کمتر از ۱۰ درصد با ۰/۲۰ (۱۷۲۷۸ هکتار) کاهش و کلاس اراضی کشاورزی با ۰/۰۵ (۳۲۵۲ هکتار) کاهش مربوط بوده است. در مقابل، کلاس اراضی ساخته شده با افزایش ۰/۷۵ (۱۹۶۷۰ هکتار) بیشترین رشد را داشته است. در این دوره، نسبت سطح کلاس اراضی بایر با شیب کمتر از ۱۰ درصد و اراضی کشاورزی به ترتیب به ۰/۳۱ و ۰/۲۷ کاهش یافته است؛ در حالی که کلاس اراضی ساخته شده به ۰/۲۱ کل مساحت منطقه ارتقاء یافته است. در این دوره کلاس پهنه‌های آبی و کلاس اراضی بایر با شیب بیشتر از ۱۰ درصد تغییر محسوسی نداشته‌اند. بیشتر تبدیل‌های صورت گرفته ناشی از گسترش کلاس اراضی ساخته شده در محدوده اراضی بایر و کشاورزی بوده است. دلیل رقم بالای رشد اراضی ساخته شده در این دوره را می‌توان ناشی از عوامل متعدد به ویژه افزایش جمعیت دانست. رشد جمعیت در منطقه مورد مطالعه علاوه بر رشد طبیعی جمعیت ناشی از بالا بودن آمار مهاجرت در این دوره بوده است. براساس آمارهای موجود طی دهه ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۶م، تعداد واردشدگان به استان تهران ۷۴۱ هزار و ۹۴۰ نفر بوده است که بیشترین ترازنامه مثبت مهاجرتی طی این دوره در کشور به‌شمار می‌رود (امانی، ۱۳۸۰). در کنار این عوامل می‌توان به رشد افقی شهر تهران و گسترش شهرک‌های اطراف آن به دلیل قیمت زیاد زمین‌های داخل شهر اشاره کرد. عوامل دیگری مانند گسترش صنایع مختلف در اطراف شهر نیز در این روند تأثیر داشته است. دلیل تبدیل بیشتر کلاس اراضی بایر با شیب کمتر از ۱۰ درصد نسبت به سایر کلاس‌ها را می‌توان به نزدیکی این اراضی و در دسترس بودن آن‌ها برای گسترش نواحی ساخته شده در این دوره نسبت داد. گسترش اراضی پارک و جنگل نیز نشان‌دهنده توجه به جنگل‌کاری و گسترش فضای سبز در تهران طی این دوره است.

طی دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰م نیز وضعی مشابه دوره قبلی رخ داده است؛ به این صورت که کلاس اراضی بایر با شیب کمتر از ۱۰ درصد بیشترین کاهش را با ۰/۱۳ (۸۸۱۳ هکتار) داشته است و اراضی کشاورزی با ۰/۶ (۴۴۵۵ هکتار) کاهش در جایگاه بعد از آن قرار دارد. در این دوره افزایش سطح اراضی ساخته شده حدود ۰/۲۹ (۱۳۲۲۰ هکتار)، و نسبت به دوره قبلی کمتر بوده است. کلاس اراضی بایر با شیب بیشتر از ۱۰ درصد همانند دوره قبل تغییر

محسوسی (حدود ۰/۱) نداشته است. در این دوره نیز اراضی بایر با شیب کمتر از ۱۰ درصد بیشترین کاهش را با رقم ۰/۱۳ داشته که البته نسبت به دوره دوازده سال گذشته کمتر بوده است. دلایل این اختلاف شاید ناشی از کاهش رشد نواحی ساخته‌شده و کاهش دسترسی به اراضی بایر در دوره ۱۹۸۸-۲۰۰۰م نسبت به ۱۹۷۶-۱۹۸۸م باشد. متأسفانه کاهش سطح و تبدیل اراضی کشاورزی به ساخته‌شده در دوره ۱۹۷۶-۱۹۸۸م نسبت به دوره قبل حدود یک درصد رشد را نشان می‌دهد که نمودار استمرار تهدید و تخریب اراضی کشاورزی در هر دو دوره مورد بررسی است.

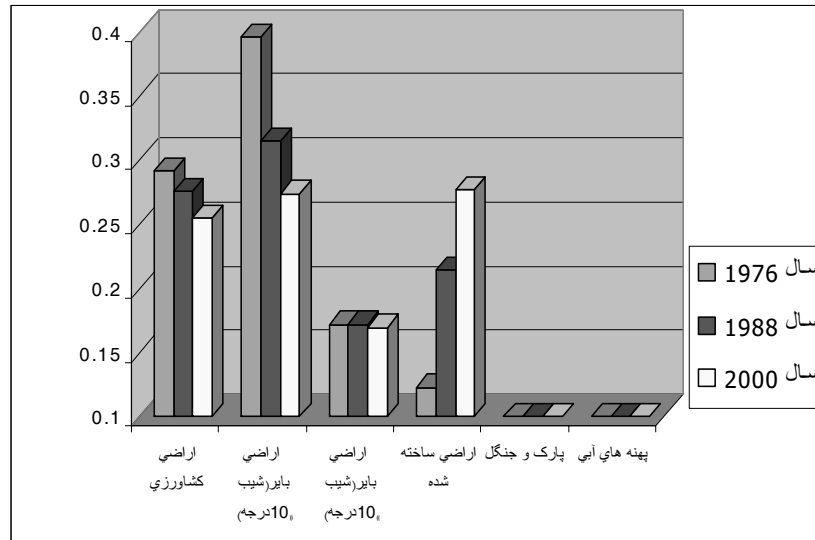


شکل ۲ روند تغییرات سطح کلاس‌ها در دوره ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰

اراضی ساخته‌شده در دوره ۱۹۸۸-۲۰۰۰م رشد بسیار کمتری نسبت به دوره قبل داشته است که از دلایل آن می‌توان به افزایش گسترش عمودی شهر تهران، بر اثر بلندمرتبه‌سازی و شهرک‌های اطراف، نسبت به رشد و گسترش افقی آن اشاره کرد. همچنین ایجاد کمربند سبز برای بسته شدن محدوده شهری و قوانین وضع‌شده درباره جلوگیری از تبدیل کاربری‌ها نیز در این مورد مؤثر بوده است. همچنین در این دوره علت افزایش سطح کلاس پهنه‌های آبی



افزایش سطح آب دریاچه سد لتیان بوده است. ضمن اینکه رشد ۰/۱۱ درصدی کلاس پارک و جنگل نیز مرهون افزایش این پوشش در محدوده‌های شهری، به‌ویژه کلان‌شهر تهران است.



شکل ۳ تغییرات سطح نسبی کلاس‌ها در سه زمان ۱۹۷۶، ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰

در مجموع در این دوره مطالعه (۱۹۷۶-۲۰۰۰م) اراضی کشاورزی با کاهش ۱۲ درصدی (۷۷۰۸ هکتار) روبه‌رو بوده است. کاهش ۱۲ درصدی آمار نگران‌کننده‌ای برای تبدیل این اراضی حاصل‌خیز و بارز به ساخته‌شده است. اراضی بایر با شیب کمتر از ۱۰ درصد، کاهش ۳۱ درصدی (۲۶۰۹۲ هکتار) داشته است که بیشتر بر اثر تبدیل به اراضی ساخته‌شده بوده است. اراضی بایر با شیب بیشتر از ۱۰ درصد، همان‌گونه که انتظار می‌رفت، تقریباً ثابت باقی مانده‌اند و تغییرات بسیار اندک حدود یک درصد (۵۴۳ هکتار) در این کلاس مشاهده می‌شود. میزان رشد در کلاس اراضی ساخته‌شده برابر با ۱۲۵ درصد (۳۲۸۹۱ هکتار) بوده که برای دوره ۲۴ ساله مورد بررسی رقم بالایی است؛ به‌ویژه که بیشتر توسعه این اراضی با هزینه نابودی زمین‌های حاصل‌خیز کشاورزی صورت گرفته است.

۳-۳- نتایج تحلیل زنجیره‌های مارکوف

نتایج پیش‌بینی تغییرات کاربری با استفاده از ماتریس تبدیل وضعیت دوره اول (۱۹۷۶ تا ۱۹۸۸م) برای سال ۲۰۰۰م که به‌منظور ارزیابی مدل مارکوف با استفاده از نقشه کاربری موجود برای این سال صورت گرفته، در جدول شماره سه نشان داده شده است. در این جدول مجموع هر ستون نشان‌دهنده مساحت هر کلاس در سال ۲۰۰۰م است. نتایج مربوط به ارزیابی دقت پیش‌بینی با مدل زنجیره‌ای مارکوف، به کمک نقشه کاربری موجود برای سال ۲۰۰۰م در جدول شماره چهار آمده است. ملاحظه می‌شود که اختلاف‌های کلاس‌های مختلف متفاوت است و بزرگی آن به‌طور کلی کمتر از ۸ درصد است؛ این رقم نشان‌دهنده مفید بودن و قابلیت استفاده از مدل مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری است (Baker, 1989).

۴- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که از نتایج آشکارسازی تغییرات پیداست، در دوره مطالعاتی ۲۴ساله، با گسترش اراضی ساخته‌شده بیشترین تخریب در اراضی کشاورزی حومه شهر و اراضی بایر با شیب کمتر از ۱۰ درصد صورت گرفته است. ادامه این روند می‌تواند به تشدید آسیب‌های زیست‌محیطی و کاهش هرچه بیشتر سطح زمین‌های کشاورزی در منطقه منجر شود. اگر چه نتایج پیش‌بینی با ماتریس تبدیل کاربری با داده‌های نقشه‌ای موجود اختلافاتی را نشان می‌دهد، به‌علت قابل توجه نبودن خطاها، مدل مارکوف برای پیش‌بینی تغییر کاربری قابلیت خوبی دارد. براساس انتظار ماتریس تبدیل کاربری با زمان عدم ایستایی دارد که ناشی از شبیه‌نبودن تغییرات و فرایندهای تبدیل کاربری در دوره‌های مختلف است. البته با توجه به اینکه اغلب هدف پیش‌بینی تغییر کاربری، ارزیابی پیامدهای سناریوهای مختلف به‌ویژه ادامه روند موجود است؛ نتایج این پیش‌بینی به‌رغم اختلاف نسبت به آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد، می‌تواند هشدار برای وضعیت کاربری‌ها در آینده باشد.



جدول ۳ مساحت (هکتار) پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۰۰ با استفاده از مدل مارکوف و ماتریس تبدیل ۱۹۷۶-۱۹۸۸

نام کلاس	اراضی کشاورزی	اراضی بایر (شیب > ۱۰ درجه)	اراضی بایر (شیب < ۱۰ درجه)	اراضی ساخته شده	پارک و جنگل	پهنه‌های آبی	مجموع
اراضی کشاورزی	۵۰۳۴۵٫۸۲	۴۱۵٫۳۵	۴۵۸٫۷۳	۷۳۶۸٫۳۹	۴۵۱٫۵۳	۲۲٫۰۵	۵۹۰۶۱٫۸۷
اراضی بایر (شیب > ۱۰ درجه)	۴۵۱۷٫۳۷	۵۳۱۶۳٫۸۱	۲٫۳۴	۸۷۲۷٫۸۴	۹۴۲٫۵۷	۲۸٫۷۱	۶۷۳۸۲٫۶۴
اراضی بایر (شیب < ۱۰ درجه)	۲۳۱٫۸۴	۰	۳۶۲۸۹٫۱۷	۲۰۵٫۶۵	۶۶٫۷۸	۸٫۱	۳۶۸۰۱٫۵۴
اراضی ساخته شده	۰	۰٫۹	۰	۴۵۶۰۵٫۴۳	۳۵۶٫۴۹	۰	۴۵۹۶۲٫۸۲
پارک و جنگل	۴۱٫۱۳	۱۳۷٫۶۲	۰	۱۱۵۴٫۰۷	۲۹۷۷٫۴۷	۶٫۵۷	۴۳۰۶٫۸۶
پهنه های آبی	۳٫۱۵	۴۴٫۸۲	۲۱٫۸۷	۹٫۴۵	۳٫۷۸	۲۹۲٫۲۳	۳۷۵٫۳
مجموع	۵۵۱۳۹٫۳۱	۵۳۷۵۲٫۵	۳۶۷۷۲٫۱۱	۶۳۰۷۰٫۸۳	۴۷۹۸٫۶۲	۳۵۷٫۶۶	۲۱۳۸۹۱

جدول ۴ مقایسه نتایج پیش‌بینی و مساحت‌های استخراج شده از نقشه کاربری (به هکتار) سال ۲۰۰۰

نام کلاس	اراضی کشاورزی	اراضی بایر (شیب > ۱۰ درجه)	اراضی بایر (شیب < ۱۰ درجه)	اراضی ساخته شده	پارک و جنگل	پهنه‌های آبی	مجموع
پیش‌بینی برای سال ۲۰۰۰	۵۵۱۳۹٫۳۱	۵۳۷۵۲٫۵	۳۶۷۷۲٫۱۱	۶۳۰۷۰٫۸۳	۴۷۹۸٫۶۲	۳۵۷٫۶۶	۲۱۳۸۹۰٫۹۴۱
مساحت در نقشه سال ۲۰۰۰	۵۴۶۰۶٫۶	۵۸۵۶۸٫۹۴	۳۶۲۶۱٫۰۹	۵۹۱۸۳٫۵۵	۴۷۸۸	۴۸۲٫۹۴	۲۱۳۸۹۱٫۱۲
اختلاف مساحت‌ها	۵۳۲٫۷۱	-۴۸۱۶٫۴۴	۵۱۱٫۰۲	۳۸۸۷٫۲۸	۱۰٫۶۲	-۱۲۵٫۲۸	-۰٫۱۷۹
درصد اختلاف	۰٫۰۰۹	-۰٫۰۸۲	۰٫۰۱۴	۰٫۰۶۵	۰٫۰۰۲	-۰٫۲۵۹	۰

۵- منابع

- امانی، سیدمهدی. (۱۳۸۰). *جمعیت‌شناسی عمومی ایران*. تهران: سمت.
- نشاط، عبدالمجید. (۱۳۸۱). *تجزیه و تحلیل و ارزیابی تغییرات کاربری و پوشش زمین با استفاده از داده های سنجنش از دور و سامانه های اطلاعات جغرافیایی در استان گلستان*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سنجنش از دور و GIS. دانشگاه تربیت مدرس.
- هوئل، پورث استون. (۱۳۶۷). *آشنایی با فرآیندهای تصادفی*. ترجمه محمدحسین افقهی. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- Gilks W. R. (1996). *Markov Chain Monte Carlo in Practice*. Chapman & Hall/CRC.

- Wu, Qiong, Li, Hong-qing, Wang, Ru-song., Paulussen, Juergen, He, Yong, Wang, Min, Wang, Bi-hui, Wang, zhen. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS, Landscape and urban planning, Article in press.
- Richards John A., Xiuping Jia. (2006). Remote Sensing Digital Image - Analysis: An Introduction, 4th Edition. Springer.
- Bell, E. J. (1974). Markov analysis of land use change: Application of stochastic processes to remotely sensed data. Socioeconomic Planning Sciences 8, pp. 311-316.
- Baker W. L. (1989). A review of models of landscape change. Landscape Ecology 2, pp. 111-133.
- Brown, D. G, B. C. Pijanowski, and J. D. Duh. (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. Journal of Environmental Management 59, 247-263.
- Muller, M. R. and J. Middleton. (1994). A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. Landscape Ecology 9, PP. 151-157.
- Hathout, S. (2002). The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. Journal of Environmental Management 66, PP. 229-238.



- Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling. *Journal of Environmental Management* 64, PP. 273-284.
- Jenerette, G. Darrel, Wu, Jianguo. (2001). Analysis and simulation of land use change in the central Arizona-Phonix region, USA. *Landscape ecology* 16: PP. 611-626.