علوم محیطی سال دهم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۱
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.10, No.2 , Winter 2013
۱۵۸-۱۴۳

بررسی قابلیت مدل رگرسیون لجستیک در شبیه‌سازی توسعه شهری با کاربرد رویکرد بوم‌شناسی سیمای‌سرزمین

(مطالعه موردی: شهر ساحلی هشتپر)

مهدی شیخ گودرزی[۱*]، بهمن جباریان امیری[۲]، افشین علیزاده شعبانی[۲] و جهانگیر فقهی[۳]

۱- دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
۲- استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
۳- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۲۶

چکیده

نرخ بالای رشد جمعیت شهرنشین در ایران و کمبود زیرساخت‌های شهری از یک سو و از بین رفتن اراضی با ارزش زیست‌محیطی در شهرها از سوی دیگر، لزوم بررسی روند تغییرات و پیش‌بینی گسترش شهرها را در سال‌های آتی بیش از پیش آشکار می‌نماید. این تحقیق با هدف بررسی قابلیت مدل رگرسیون لجستیک در شبیه‌سازی توسعه شهری با کاربرد نمایه‌های تحلیلی سیمای‌سرزمین انجام گرفت. بدین‌منظور از نقشه تغییرات شهری طی دوره ۱۳۷۹- ۱۳۶۸ جهت درک پویایی مکانی الگوهای توسعه و امکان مدل‌سازی گسترش شهر در سال ۱۳۸۶ تهیه شد. در ادامه پس از نرمال‌سازی و بررسی کوواریانس میان نمونه‌های تعلیمی، متغیرهای دارای میزان همبستگی بیش از ۵۰٪ حذف و مدل رگرسیونی اجرا شد. براساس نتایج متغیرهای فاصله از شهر، شبکه حمل و نقل، شبکه هیدروگرافی، جنگل‌ها، مراتع و شیب با احتمال توسعه سلول‌های شهری رابطه معکوس و متغیرهای فاصله از زمین‌های کشاورزی و اراضی بایر رابطه مستقیم دارند. تحلیل نتایج مدل‌سازی با نمایه‌های سیمای‌سرزمین نیز بطور کلی نشان از توافق نسبی گستره‌شبیه‌سازی شده با نقشه حاصل از طبقه‌بندی تصویر دارد. درنهایت براساس میزان حساسیت مدل به حذف متغیرهای مستقل و مقایسه آن با نتایج مدل کامل، میزان تاثیر ۷ متغیر مستقل انتخاب شده بر توسعه شهر هشتپر مشخص گردید. در میان متغیرهای مورد بررسی، کاربری‌های فعلی شهری (هسته مرکزی) و شیب موثرترین داده‌ها برای توسعه شهری هشتپر در مقایسه با متغیرهای دیگر بودند. این نتایج می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد مورد استفاده مدیران شهری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی توسعه شهری، رگرسیون لجستیک، نمایه‌های بوم‌شناختی سیمای‌سرزمین، هشتپر.

Investigation of the Applicability of a Logistic Regression Model to Urban Growth Simulation Using a Landscape Ecological Approach (Study Area: Hashtpar Coastal City)

Mehdi Sheikh Goodarzi,[1]* Bahman Jabbarian Amiri,[2] Afshin Alizadeh Shabani[2] and Jahangir Feghhi[3]

1-PhD. Student of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.
2-Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.
3-Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.

Abstract

Investigating the trend urban growth and its prediction is a critical task in the management of urban environments in Iran due to the high rate of the urban population growth, lack of urban infrastructure and loss of valuable land in the urban area. This study has been conducted with the aim of understanding the spatial dynamics and urban growth patterns in Hashtpar township using a combined approach which involved applying logistic regression model with landscape metrics during 1989-2000 and modeling urban sprawl in 2007. The spatial data set was normalized and based on the results of the covariance analysis, with variable whose correlation coefficients were higher than 50% excluded from further steps in the modeling process. Findings of the present study have indicated that distance from the urban area, transportation and hydrographical networks, forest, rangeland and slope variables are inversely associated with the suitability of the land for urban development. In contrast, vicinity to agricultural land and rangeland has revealed a positive relationship with urban land suitability. Moreover, analysis of the landscape metrics showed a relatively good performance through comparing the simulated and classified maps. Sensitivity analysis of the developed model has been carried out by the stepwise elimination of the independent variables and comparing the model's performance, reflecting the impact of 7 independent variables on Hashtpar's growth. Among these, the old core of the city and the slope provided the most effective data for urban development in Hashtpar city. These results can be used as an effective tool for urban managers.

Keywords: Urban growth simulation, Logistic regression, Landscape ecological metrics, Hashtpar.

* Corresponding author. *E-mail Address*: goodarzi.9091@gmail.com

مقدمه

شهرنشینی و نحوه گسترش شهرها از مهم‌ترین مسائل در سطح جهان امروزی است که توجه بسیاری را به خود معطوف کرده است. اگرچه مناطق شهری بخش اندکی از سطح زمین را پوشش می‌دهند، لیکن با این وجود چیزی حدود ۵۰٪ جمعیت جهان را در سال ۲۰۰۷ درخود جای داده‌اند (Haub, 2007). هم‌چنین توسعه این مناطق با گسترش نرخ شهرنشینی افزایش خواهد یافت به‌طوری که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰، ۶۰٪ جمعیت جهان در شهرها زندگی کنند (Haub, 2007). در کشور ما نیز این روند در سالیان گذشته سیر افزایشی به‌خود گرفته و در اکثر موارد این تغییرات سریع در کاربری سرزمین، در حاشیه و بدون درکی روشن از اثرات آن‌ها اتفاق افتاده است (Bagheri & Shataee, 2010). نمونه‌ای از این نوع توسعه در شهر هشتپر به‌وقوع پیوسته است. هشتپر یکی از شهرهای ساحلی استان گیلان است که طی سال‌های اخیر بویژه طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۵ (متوسط رشد جمعیت سالیانه ۲/۸۱ درصد) همگام با توسعه محور حمل‌ونقل جاده‌ای و افزایش مطلوبیت‌های اقتصادی با رشد چشمگیر نواحی شهری و افزایش میزان جمعیت در محدوده خود روبه‌رو است (SOI, 2006). نرخ بالای رشد جمعیت شهرنشین و کمبود زیرساخت‌های شهری از یک سو و سیر کاهش اراضی با ارزش زیست‌محیطی در شهرها از سوی دیگر، لزوم بررسی روند تغییرات و پیش‌بینی گسترش شهرها را در سال‌های آتی بیش از پیش آشکار می‌نماید.

بحث نظری پویایی شهری از اواسط دهه ۱۹۵۰ آغاز شده است (Batty & Densham, 1996). مدل‌ها ابزار مناسبی برای ترجمان پیچیدگی فرآیندهای خارجی در بیانی ساده هستند. مدل‌های توسعه شهری در واقع نمایشی ریاضی از سیستم‌های شهری می‌باشند. در این مدل‌ها سعی بر این است تا جنبه‌های گوناگون یک سیستم شهری را در قالبی ساده‌تر بیان کنند. مدلسازی شهری یک روند عملی است که در مرحله آغازین آن تلاش بر تشریح مکانیسم‌های غالب شکل‌گیری و ایجاد تغییر در شهرها صورت گرفته تا در مرحله دوم بتوان نتایج استراتژی‌های متفاوت اتخاذ شده را در آینده پیش‌بینی نمود (Pijanowski *et al.*, 2002).از طرفی با توجه به پیشرفت و توسعه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[1]) در عصر حاضر، مدل‌هایی از محبوبیت بالا برخوردار هستند که بیشترین سازگاری را با این سامانه داشته باشند (Candau, 2002).

به‌طور کلی رویه‌های مدل‌سازی تغییر کاربری سرزمین به دو دسته مدل‌های رگرسیون محور۲ و مدل‌های برپایه انتقال مکانی۳ تقسیم می‌شوند (Lambin, 1997; Theobald & Hobbs, 1998). تحلیل رگرسیون روشی آماری است که در آن از رابطه میان دو یا چند متغیر کمی کاربرد می‌شود تا یک متغیر بواسطه متغیرهای دیگر پیش‌بینی شود. از مطرح‌ترین مدل‌های نوع اول می‌توان به مدل رگرسیون لجستیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی اشاره نمود. این مدل‌ها تا به‌حال در زمینه‌های گوناگونی از آزمایش فرضیات تا تعیین نوع رابطه میان متغیرهای مکانی به‌کار رفته‌اند. قدرت اجرایی مدل‌سازی نیز به فاکتورهایی مانند درستی داده‌ها، نوع مدل به‌کار رفته و درک آماری کاربر بستگی دارد (Fotheringham *et al.*, 2000). از مهم‌ترین

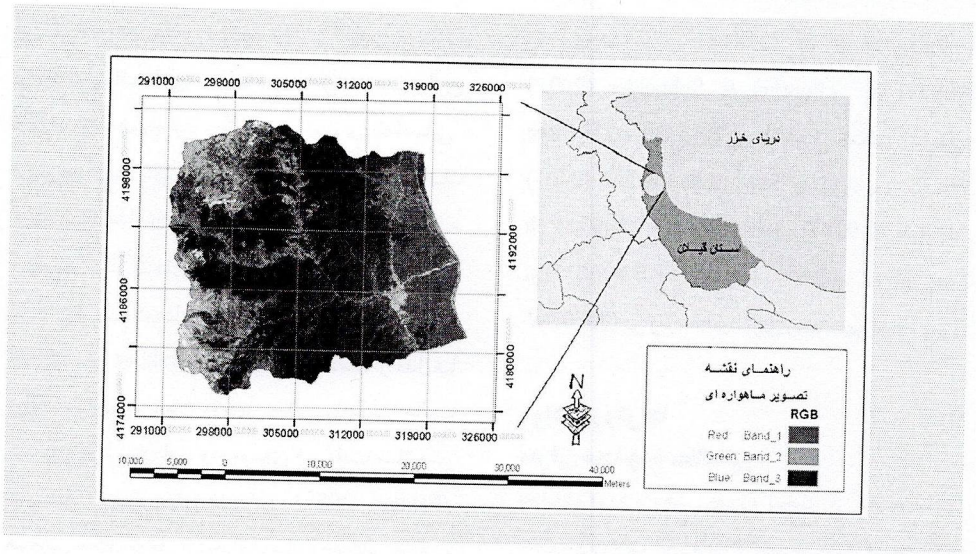
ویژگی این مدل‌ها می‌توان به توانایی کامل استفاده از داده‌های اقتصادی- اجتماعی در فرآیند مدل‌سازی اشاره نمود. هم‌چنین روش‌های آماری به‌آسانی می‌توانند تاثیر متغیرهای مستقل را تشخیص دهند. دسته دوم، مدل‌های مکانی برپایه انتقال می‌باشند که بسطی از تکنیک‌های تصادفی مانند مدل مارکوف و شکلی از شبکه‌های خودکار را شامل می‌شوند (Pijanowski *et al*., 2002). در این دسته از مدل‌ها حالت سیستم در زمان دوم می‌تواند براساس حالت سیستم در زمان اول و برمبنای ضرایب ماتریس احتمالات انتقال پیش‌بینی شود (Estman, 2006). هم‌چنین امکان تعامل داده‌های زمانی- مکانی در این گروه به‌خوبی وجود دارد، لیکن از لحاظ درک الگوهای مکانی و کنترل پویایی زمانی، توانمند هستند.

اگرچه مدل‌های گروه دوم برای شبیه‌سازی و درک فرآیندهای پویای زمانی- مکانی رشد شهر مفید هستند، اما دشواری و محدودیت وارد نمودن متغیرهای اقتصادی- اجتماعی کافی نیز در این دسته از مدل‌ها از مسائل اساسی است که می‌بایست در فرآیند مدل‌سازی لحاظ شود (Kamyab *et al*., 2010). در پژوهش حاضر با درنظر گرفتن مواردی چون توانایی مدل در تشخیص تاثیرگزاری متغیرهای مستقل، قابلیت کاربرد از دامنه وسیع متغیرهای بوم- شناختی و اقتصادی- اجتماعی به روز در منطقه و ارائه شاخص‌های معتبر آماری، رویکرد رگرسیون لجستیک به‌منظور مدلسازی و تحلیل توسعه آتی در محدوده شهر ساحلی هشتپر مورد استفاده قرار گرفت. ازجمله پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه مدل‌سازی توسعه و تغییرات کاربری سرزمین با رویکرد برآورد تجربی رگرسیون لجستیک، می‌توان به پژوهش‌های Geoghegan *et al* (2001); Pontius & Schneider (2001) و Bagheri & Shataee (2010) در زمینه تحلیل جنگل‌زدایی، Serneel & Lambin (2001) کشاورزی، و Wu & Yeh (1997); Landis & Zhang (1998)؛ Allen & Lu (2003)؛ Tayyebi *et al* (2009) و Kamyab *et al* (2010) در زمینه مدل‌سازی رشد شهر اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مطالعاتی

محدوده مورد پژوهش حوزه آبخیز کرگانرود (شهر هشتپر) با وسعتی حدود ۶۴۵ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی در استان گیلان قرار دارد (شکل ۱). حداقل ارتفاع این محدوده ۳۵-از سطح آب‌های آزاد و حداکثر آن در ارتفاعات، ۲۹۵۰ متر است. متوسط بارندگی و میانگین درجه حرارت سالانه منطقه نیز به ترتیب ۱۳۶۵میلی‌متر و ۱۶درجه سانتی‌گراد است. بررسی وضعیت کاربری و پوشش سرزمین در حوزه بیان‌کننده وجود مناطق شهری، جنگلی (گونه‌های درختی شمشاد، افرا، ممرز، بلوط، راش، توسکا، گردو و نمدار)، مراتع، کشاورزی (باغات، کشت آبی و دیم) و اراضی فاقد پوشش (بایر) است. جمعیت بخش شهرنشین براساس آمار سال ۱۳۸۵ برابر ۴۱۶۸۵ (۴۷٪ جمعیت حوزه) نفر است. گسترش راه‌های ارتباطی خصوصا توسعه محور انزلی، تالش- آستارا و رشد سریع جمعیت در این حوزه طی سال‌های اخیر، سبب گردیده تا شهر کوچک هشتپر اکنون به یکی از بزرگترین مراکز اقتصادی- اجتماعی در استان مبدل شود (Abdollahi, 2003).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

روش بررسی

معرفی مدل

رگرسیون لجستیک روشی آماری است که ارتباط بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و پیوسته و یک متغیر وابسته باینری را ارزیابی کرده و آن را به‌صورت مدل بیان می‌کند. این روش برخلاف روش‌های مدل‌سازی خطی (حداقل مربعات)، از برآوردکننده حداکثر احتمال۴ برای پیدا کردن بهترین مجموعه پارامترهایی که مدل را برازش می‌کنند، بهره می‌برد. Psedu R2 در مدل رگرسیونی معیاری برای برازش مدل به پارامترهای مورد استفاده است. مقادیر بزرگتر از ۰.۲ این نمایه، برازش مناسب پارامترها را در مدل نشان می‌دهد. رگرسیون لجستیک با این فرض به‌کار می‌رود که احتمال یک بودن متغیر وابسته از منحنی لگاریتمی پیروی می‌کند و مقدار آن توسط رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (Clark & Hosking, 1986; Aldrich & Nelson, 1986).

در این معادله P: احتمال توسعه شهری در هر سلول (متغیر وابسته)، β_0: پارامتر ثابت مدل، X_i: متغیرهای مستقل و β_i: ضرایب موثر بر هریک از پارامترهای مستقل که وارد مدل‌سازی می‌شوند.

رابطه (۱)
$$P = E(Y) = \frac{exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i)}{1 + exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i)}$$

تابع رگرسیون لجستیک را که یک تابع غیرخطی است، می‌توان با گرفتن لگاریتم به یک تابع خطی تبدیل نمود (رابطه۲) (Pontius & Schneider, 2001). این مدل را می‌توان با مشارکت متغیرهای بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی جهت تولید نقشه احتمال توسعه شهری بکار برد. بدین‌صورت که ابتدا الگوی گسترش برای هر سلول بین دو بازه زمانی تعیین و سپس با درنظر گرفتن متغیرهای پیش‌بینی، نقشه احتمال تغییر کاربری تهیه می‌شود (Tayyebi *et al.*, 2009). متغیرهای ورودی مدل لایه‌های اطلاعات سلولی هستند که مقادیر آن‌ها در بازه صفر

تا یک نرمالیزه[5] شده است. خروجی مدل نیز، نقشه احتمال است که مقادیر آن بیان‌کننده تمایل هر سلول برای توسعه شهری است، به‌طوری که در آن عدد یک نشان‌دهنده سلول‌های مناطق شهری و صفر نشان‌دهنده سلول‌های غیرشهری است. برآورد سطح مورد نیاز شهر در پایان دوره مدل‌سازی نیز به روش Allen & Lu (2003) و به‌صورت تابعی از مساحت، نرخ رشد شهر و جمعیت انجام گرفت.

رابطه (۲)

$$P' = log_e\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 X_i + \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i$$

تهیه نقشه‌های مورد نیاز و آماده‌سازی داده‌ها

مدل رگرسیون لجستیک به‌عنوان رویکرد برآورد تجربی، امکان انتخاب متغیرهای مستقل متعدد را فراهم می‌آورد. در پژوهش حاضر انتخاب متغیرهای اثرگزار بر رشد و توسعه نواحی شهری با کاربرد از بررسی منطقه مطالعاتی و مطالعات پیشین Wu & Yeh (1997)؛ Landis & Zhang (1998)؛ Allen & Lu (2003)؛ Clarke *et al* (1997)؛ Tayyebi *et al* (2009) و Kamyab *et al* (2010)؛ در دو دسته کلی از متغیرهای بیوفیزیکی و اقتصادی- اجتماعی صورت گرفت. مطالعات فوق نشان می‌دهد برخی از متغیرهای فاصله‌ای رابطه نزدیکی با توسعه شهرها دارند. لذا تابع تحلیلی فاصله از متغیرهای فوق تهیه و در مدل‌سازی مورد کاربرد قرار گرفت (جدول ۱).

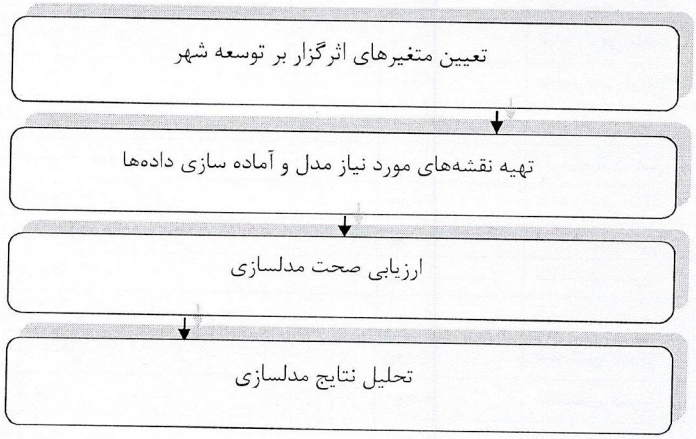
جدول ۱- متغیرهای ورودی و خروجی در مدل‌سازی توسعه شهری در مدل رگرسیون لجیستیک

متغیرها	تعریف	نوع متغیر	مبنای تهیه
X_1	فاصله از مراکز آموزشی	پیوسته	نقشه رقومی منطقه
X_2	فاصله از مراکز درمانی- امدادی	پیوسته	نقشه رقومی منطقه
X_3	فاصله از مراکز امنیتی	پیوسته	نقشه رقومی منطقه
X_4	فاصله از اماکن مذهبی	پیوسته	نقشه رقومی منطقه
X_5	فاصله از اماکن خدماتی- رفاهی	پیوسته	نقشه رقومی منطقه
X_6	فاصله از مراکز اداری	پیوسته	نقشه رقومی منطقه
X_7	شیب	پیوسته	مدل رقومی ارتفاع
X_8	ارتفاع	پیوسته	مدل رقومی ارتفاع
X_9	فاصله از شبکه حمل‌ونقل اصلی	پیوسته	رقومی‌سازی تصویر
X_{10}	فاصله از شبکه هیدروگرافی	پیوسته	نقشه رقومی منطقه
X_{11}	فاصله از ساحل و پیکره آبی	پیوسته	طبقه‌بندی تصویر
X_{12}	فاصله از شهر	پیوسته	طبقه‌بندی تصویر
X_{13}	فاصله از اراضی کشاورزی	پیوسته	طبقه‌بندی تصویر
X_{14}	فاصله از جنگل	پیوسته	طبقه‌بندی تصویر
X_{15}	فاصله از مراتع	پیوسته	طبقه‌بندی تصویر
X_{16}	فاصله از اراضی بایر	پیوسته	طبقه‌بندی تصویر
E(Y)	احتمال توسعه شهری هر سلول	گسسته	مدلسازی

نقشه‌های مورد نیاز به‌کمک رقومی‌سازی[6]، طبقه بندی تصویر[7] و تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای Landsat (ETM+ و TM) و IRS/P6 (LISS III) به ترتیب مربوط به تابستان سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۶، مدل رقومی ارتفاع و نقشه رقومی عوارض اقتصادی- اجتماعی در محدوده مطالعاتی تهیه شدند. در مرحله بعد، نقشه تغییرات مناطق شهری طی سال های ۱۳۷۹- ۱۳۶۸ (به‌عنوان مبنای تحلیل تغییر و توسعه نواحی شهری) به‌روش مقایسات پس از طبقه‌بندی[8] تهیه و به‌عنوان متغیر وابسته در مدل‌سازی توسعه شهر در سال ۱۳۸۶ مورد کاربرد قرار گرفت (شکل۳). هم‌چنین بخش‌هایی از سرزمین که در آن‌ها امکان توسعه شهر قابل تصور نیست، شامل شهرهای موجود در سال ۱۳۶۸ و پیکره آبی به‌عنوان محدوده نامناسب از مدل‌سازی فیلتر شدند. درادامه به منظور بررسی همبستگی میان متغیرهای مستقل جهت حذف داده‌های تکراری در مدل‌سازی، از شاخص کوواریانس کاربرد شد (Kamyab *et al.*, 2010). براین اساس زوج متغیرهای دارای ارزش کوواریانس بیش از ۵۰٪، به‌عنوان متغیرهای همبسته شناخته شده و یکی از آن‌ها از مدل حذف می‌گردد (Kok & Veldkamp, 2001). در انجام مراحل گوناگون این پژوهش، نرم‌افزارهای IDRISI 15.0 (Clarke Lab, 2006)، ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008)، ERDAS 9.1 (LGGI, 2006)، FRAGSTATS 3.0 (UMA, 2002) و SPSS (LEADTOOLS, 2006) به‌دلیل کاربرد آسان و سهولت در تبادل اطلاعات مورد کاربرد قرار گرفتند. شکل۲، فرآیند اجرای پژوهش را نشان می‌دهد.

برآورد صحت و تحلیل نتایج مدل‌سازی

در این پژوهش برآورد میزان صحت مکانی و حساسیت مدل به پارامترهای مورد کاربرد با کاربرد شاخص‌های توصیفی عامل نسبی (ROC[9]) و تحلیلی بوم‌شناختی سیمای‌سرزمین[10] پیشنهاد شده در پژوهشات He & Lo (2007) و Lausch & Herzog (2002) انجام گرفت.



شکل ۲- مراحل انجام پژوهش

نمایه عامل نسبی با ارائه توصیفی همزمان از تعداد و مکان پیکسل‌ها، یکی از مناسب‌ترین معیارهای اعتبارسنجی در نقشه‌های طبقه‌بندی شده است (He & Lo, 2007). این معیار به‌صورت عددی بین ۱-۰ بیان می‌شود. ارزش ۱ نشان‌دهنده توافق کامل مکانی و ارزش ۰/۵ نشان‌دهنده توافق کم و تصادفی بودن موقعیت‌ها بین نقشه توسعه شبیه‌سازی شده و میزان واقعی رشد شهری است (Liu *et al.*, 2009). نمایه‌های سیمای‌سرزمین نیز خصوصیت هندسی، ماهیت پراکنش و توزیع اجزای ساختاری موزائیک سیمای‌سرزمین را به‌صورت کمی بیان و امکان مقایسه سیماهای گوناگون با کاربرد از یک روش مشابه ارزیابی را فراهم می‌آورند (Lausch & Herzog, 2002). براین‌اساس، نمایه‌های انتخاب شده به‌منظور تحلیل ساختاری سیماهای ترسیم‌شده عبارتند از: مساحت کلاس (CA[11])، تعداد لکه (NP[12])، میانگین اندازه لکه (MPS[13])، شاخص پیوستگی (CONTIG[14])، فاصله اقلیدوسی نزدیک‌ترین همسایه (ENND)[15] و شاخص چین‌خوردگی (FDI)[16] (McGarical *et al.*, 2002).

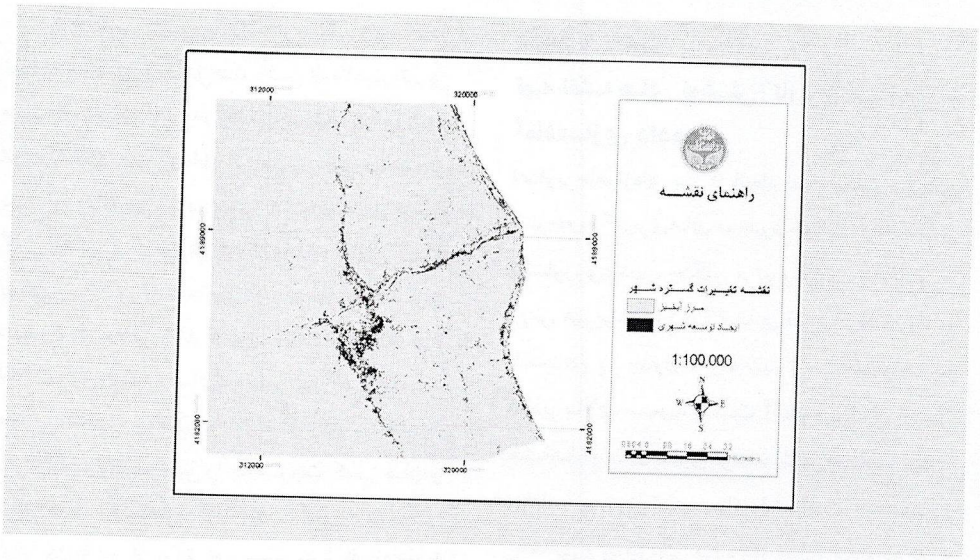
نتایج و بحث

تهیه نقشه‌های پوشش/کاربری سرزمین و آماده‌سازی داده‌ها

تصاویر ماهواره‌ای پس از انجام تصحیحات هندسی با توجه به کاربری‌های موجود منطقه در ۵ کلاس (کشاورزی، شهر، جنگل، مرتع و اراضی بایر)، و به روش هیبرید مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. نتایج طبقه‌بندی در جدول۲، ارائه شده است. با توجه به مقادیر بالای صحت بدست آمده می‌توان از این نقشه‌ها در مدل‌سازی توسعه شهر استفاده نمود. درادامه پس از تهیه سایر نقشه‌های اقتصادی-اجتماعی و بیوفیزیکی مورد نیاز مدل، اقدام به تهیه نقشه تغییرات شهری در محدوده مورد بررسی از طریق مقایسات پس از طبقه‌بندی گردید (شکل۳). بررسی نقشه تغییرات بدست آمده از گسترش شهر، نشان می‌دهد حدود ۱۰۷۶.۳۹ هکتار از سرزمین اطراف تبدیل به شهر و ۹۱.۵۹ هکتار از نواحی شهری کاسته شده است.

جدول ۲- نتایج طبقه‌بندی تصویر

طبقه پوشش	LISS III (۱۳۸۶)		ETM+ (۱۳۷۹)		TM(۱۳۶۸)	
	صحت تولید کننده	صحت کاربر	صحت تولید کننده	صحت کاربر	صحت تولید کننده	صحت کاربر
کشاورزی	۰.۸۶	۰.۸۹	۰.۹۰	۰.۹۲	۰.۸۸	۰.۸۶
شهر	۱	۱	۱	۰.۶۷	۱	۰.۷۱
جنگل	۰.۹۶	۰.۹۷	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۰	۰.۹۸
مرتع	۰.۹۰	۰.۹۰	۰.۸۰	۰.۷۲	۰.۸۶	۰.۷۴
اراضی بایر	۰.۸۶	۰.۷۰	۰.۷۷	۰.۷۱	۰.۷۹	۰.۷۶
صحت کلی ٪	۰.۹۲		۰.۸۹		۰.۸۷	
شاخص کاپا	۰.۸۵		۰.۸۳		۰.۸۲	



شکل ۳- نقشه تغییرات گستر شهر طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۶۸

تحلیل همبستگی داده‌ها و مدل آماری پیش‌بینی توسعه شهر

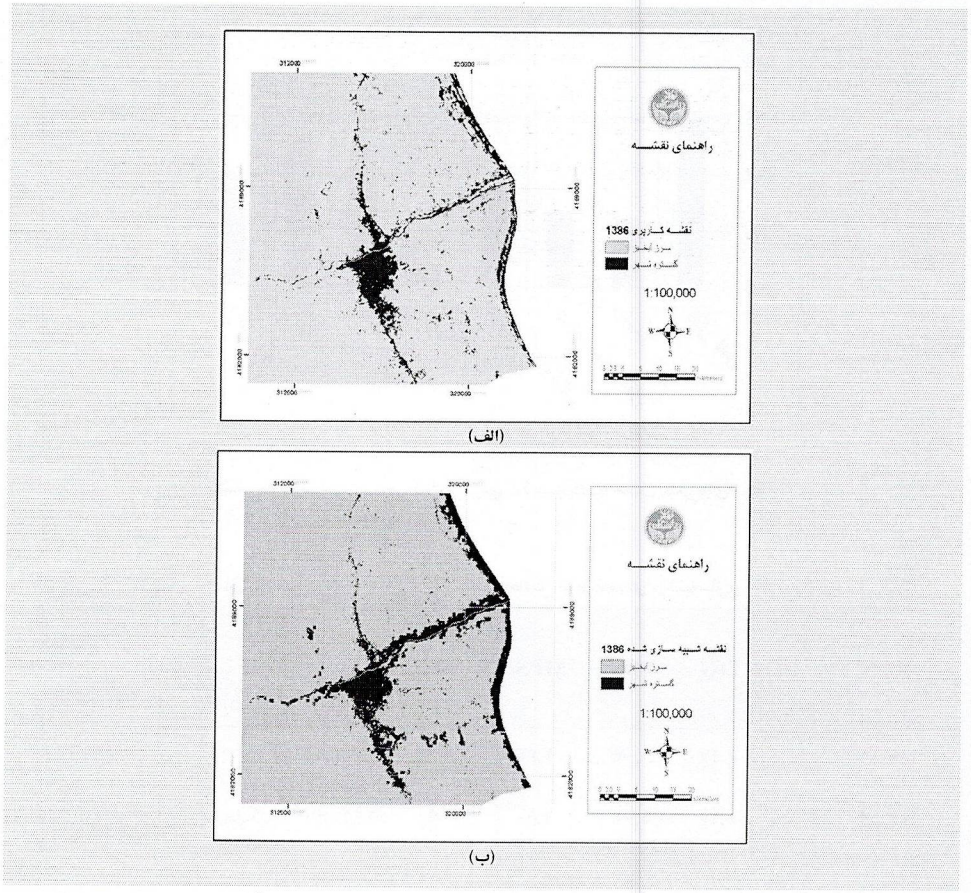
پس از تهیه و نرمال‌سازی داده‌ها، بررسی ارتباط میان آن‌ها به‌کمک شاخص کوواریانس محاسبه و متغیرهای با میزان همبستگی بیش از ۵۰٪ از روند مدل‌سازی حذف گردیدند. نتایج این بررسی نشان از همبستگی قوی میان گروه متغیرهای اقتصادی- اجتماعی با برخی از پارامترهای بیوفیزیکی دارد. به‌عنوان مثال می‌توان متغیر فاصله از شهر (به‌دلیل همبستگی بیش از ۹۰٪) را به‌جای کاربرد همزمان از اکثر پارامترهای اقتصادی- اجتماعی و ارتفاع به‌کار برد. از میان گروه متغیرهای اقتصادی- اجتماعی و بیوفیزیکی مورد بررسی پارامترهای فاصله از شهر، شبکه حمل‌ونقل اصلی، شبکه هیدروگرافی، کشاورزی، جنگل، مراتع، اراضی بایر و شیب به‌عنوان متغیرهای مستقل و مناسب در مدل‌سازی توسعه آتی شهر انتخاب شدند. رابطه (۳) مدل آماری پیش‌بینی احتمال توسعه شهر ساحلی هشتپر، بدست‌آمده از مدل رگرسیون لجستیک را نشان می‌دهد. Psedu R^2 برای این مدل برابر ۰.۴۰ بدست آمد. سطح مورد تقاضای شهر نیز به روش Allen & Lu (2003) برمبنای داده‌های جمعیت‌شناختی، ۲۲۵۰.۹۰ هکتار برآورد شد. نتایج طبقه‌بندی و شبیه‌سازی حاصل از این مدل نیز برای سال ۱۳۸۶ در شکل۴، ارائه شده است.

رابطه (۳)

$$Y = 4.536 - 6.721(\mathbf{Slope}) - 38.734(\mathbf{D2Road}) - 3.307(\mathbf{D2River}) - 212.452(\mathbf{D2City}) + 3.826(\mathbf{D2Agriculture}) - 0.539(\mathbf{D2Rangeland}) + 36.604(\mathbf{D2Barrenland})$$

برآورد صحت و تحلیل نتایج مدل‌سازی

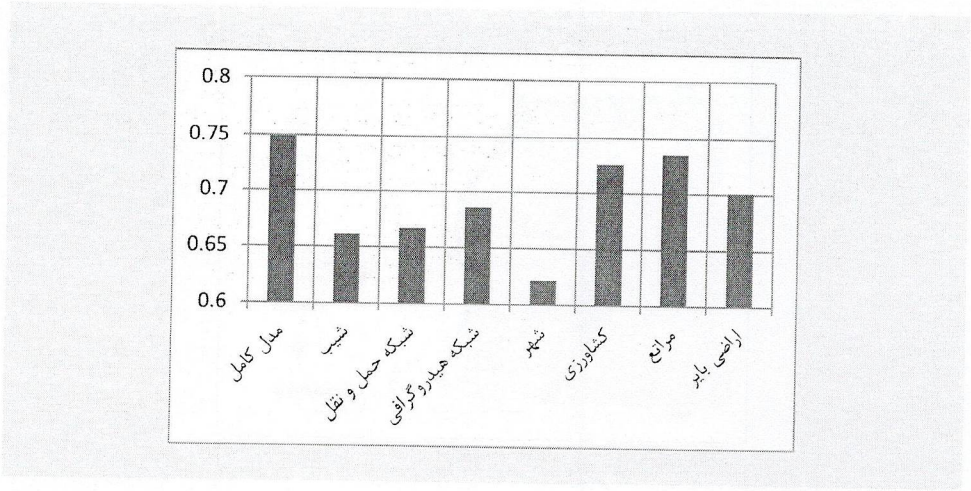
تعیین حساسیت مدل به پارامترهای مورد کاربرد، با حذف تدریجی متغیرهای مستقل و محاسبه میزان ROC متغیرهای باقیمانده انجام گرفت. بدین‌منظور



شکل ٤- (الف)نقشه گستره شهری تهیه‌شده به روش طبقه‌بندی و (ب) شبیه‌سازی رگرسیون در سال ۱۳۸۶

در پژوهش حاضر پس از هر بار اجرای رگرسیون لجستیک، میزان ROC مدل استخراج و براساس میزان تفاوت با مدل کامل، اثر متغیر مستقل محاسبه گردید (شکل۵). سطح زیر منحنی ROC با تعیین حدود آستانه با فواصل تجمعی ۰.۵٪ (Tayyebi *et al.*, 2009) محاسبه و بیشترین مقدار نمایه عامل نسبی برابر با ۰.۷۵ برای استفاده از مدل کامل بدست آمد. براین‌اساس تاثیرگذارترین پارامترهای مدل به ترتیب عبارتند از: فاصله از شهر (۰.۶۲)، شیب (۰.۶۶)، شبکه حمل‌ونقل (۰.۶۷)، شبکه هیدروگرافی (۰.۶۹)، اراضی بایر (۰.۷۰)، کشاورزی (۰.۷۲) و مراتع (۰.۷۳). برآورد میزان صحت مکانی نقشه حاصل از مدل‌سازی نیز با محاسبه نمایه‌های سیمای‌سرزمین انجام گرفت. نتایج تحلیلی این نمایه‌ها از سیماهای ترسیم‌شده در جدول۳، ارائه گردیده است.

نمایه‌های بوم‌شناسی سیمای‌سرزمین ابزاری مناسب جهت تشریح کمی ساختار و تغییرات سرزمین است (McGarical *et al.*, 2002). از این نمایه‌ها جهت بررسی صحت مکانی نقشه‌های تولید-شده استفاده شد.



شکل ۵- حساسیت‌سنجی مدل رگرسیون لجستیک به حذف متغیرهای مستقل

جدول ۳- نمایه‌های سیمای‌سرزمین محاسبه‌شده برای نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی و شبیه‌سازی رگرسیون در سال ۱۳۸۶

نمایه / روش تهیه	CA	NP	MPS	FDI	CONTIG	ENN
طبقه‌بندی تصویر	۲۲۳۶.۹۵	۱۶۴۸	۱.۳۶	۱.۰۴	۰.۱۷	۱۱۳.۸۱
مدلسازی رگرسیون لجستیک	۲۲۵۰.۹۰	۱۴۹۹	۱.۵۰	۱.۰۲	۰.۱۴	۱۰۳.۵۳

نمایه مساحت کلاس (CA): این نمایه مساحت کل لکه‌های شهری را در سیمای‌سرزمین نشان می‌دهد. این نمایه می‌تواند به‌عنوان شاخصی از غالبیت استفاده شود (McGarical *et al.*, 2002). براساس نتایج بدست آمده از جدول۳، این سطح در نقشه پیش‌بینی ۲۲۵۰.۴۴ هکتار برآورد شده که نسبت به طبقه‌بندی تصویر (۲۲۳۶.۹۵ هکتار)، اندکی بیش از مقدار واقعی سطح شهری است. با توجه اختلاف مساحت پیش‌بینی شده (کوچکتر از ۱٪)، می‌توان به قابلیت مدل در شبیه‌سازی سطح واقعی اشغال‌شده توسط سلول‌های شهری، اذعان نمود.

نمایه تعداد لکه (NP)

این نمایه تعداد کل لکه‌ها را در سطح کلاس شهری محاسبه می‌کند. از این نمایه می‌توان به‌عنوان شاخصی جهت سنجش میزان توانایی مدل در شبیه‌سازی لکه‌های جدا از هسته شهری استفاده نمود. برمبنای اصول‌اکولوژیکی سیمای‌سرزمین هرچه تعداد لکه‌های اکوسیستم کمتر باشد و یا هرچه کاربری موجود در آن یکنواخت‌تر باشد، آن اکوسیستم در معرض آسیب‌پذیری کمتری است (Gerger & Turner, 2002). مطابق نتایج جدول۳، تعداد لکه‌های شهری شبیه‌سازی شده توسط مدل

(۱۴۹۹) نسبت به تعداد واقعی (۱۶۴۸)، برآوردی ۹ درصدی کمتر از میزان واقعیت ارائه کرده است.

نمایه میانگین اندازه لکه (MPS)

این متریک میانگین اندازه لکه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. تغییرات این متریک بازخورد مستقیم تغییر در مساحت و تعداد لکه‌ها در سطح کلاس یا سیمای‌سرزمین است (Lausch & Herzog, 2002). مقایسه میانگین اندازه ۱.۵۰ هکتاری برآورد شده نسبت به میانگین اندازه واقعی پهنه‌های شهری (۱.۳۶)، نشان از افزایش ۱۰ درصدی برآورد مدل نسبت به واقعیت دارد که بیانگر توانایی متوسط مدل در این زمینه است.

نمایه پیوستگی (CONTIG)

این نمایه احتمال حضور لکه‌های از یک جنس در کنار یکدیگر را در سیمای‌سرزمین به‌صورت درصد محاسبه می‌کند (McGarical *et al.*, 2002). از این نمایه می‌توان به‌عنوان شاخصی جهت تعیین پیوستگی در لکه‌های شهری استفاده نمود. نتایج این نمایه بیانگر نسبت پیوستگی سیمای شبیه‌سازی شده (۰.۱۴) درمقایسه با میزان واقعی (۰.۱۷) است. ارائه برآوردی ۱۸ درصدی کمتر از پیوستگی حقیقی لکه های شهری نیز، بیانگر توانایی ضعیف مدل در این زمینه است.

فاصله اقلیدوسی نزدیک‌ترین همسایه (ENND)

این نمایه میانگین نزدیک‌ترین فواصل میان لکه‌های هم نوع را به متر محاسبه می‌کند (McGarical *et al.*, 2002). نتایج این نمایه می‌تواند معرف توانایی مدل در شبیه‌سازی مکانی هسته‌های جدید شهری باشد. مطابق نتایج جدول۳، مدل رگرسیون لکه‌هایی با فاصله کمتر از واقعیت زمینی شبیه‌سازی نموده است (۹٪). این فاصله در سیمای شبیه‌سازی شده ۱۰۳.۵۳ و سیمای حقیقی ۱۱۳.۸۱ متر می‌باشد که نزدیک به مقدار واقعی است.

شاخص چین‌خوردگی (FDI)

این نمایه پیچیدگی شکل لکه را در مقایسه با مساحت آن، در مقیاس لگاریتمی بیان می‌کند و با افزایش بی‌نظمی در شکل مقدار این نمایه افزایش پیدا می‌کند (McGarical *et al.*, 2002). این نمایه را می‌توان به‌عنوان شاخصی جهت سنجش توانایی مدل در تعیین بی‌نظمی پهنه‌های شهری در سیمای‌سرزمین بکار برد. بررسی نمایه چین‌خوردگی در نقشه شبیه‌سازی شده (۱.۰۲) و مقایسه نتایج آن با میزان واقعی (۱.۰۴)، بیانگر برازش خوب مدل در شبیه‌سازی پیچیدگی‌های لبه و شکل پهنه‌های شهری است (اختلاف کوچک‌تر از ۲٪).

نتایج و بحث

شبیه‌سازی توسعه و تغییرات گستره شهری در پژوهش حاضر جهت بهبود درک ما از متغیرهای اثرگزار بر رشد شهر با رویکرد تحلیلی رگرسیون لجستیک انجام گرفت. از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل می‌توان به توانایی کامل استفاده از داده‌های اقتصادی- اجتماعی و بهره‌گیری از برآوردکننده حداکثر احتمال در برازش پارامترهای موثر بر توسعه اشاره نمود (Pijanowski *et al.*, 2002; Clark & Hosking, 1986). بدین‌منظور از تجزیه و تحلیل نقشه تغییرات گستره شهری طی سال‌های

۱۳۷۹ - ۱۳۶۸ برای مدلسازی توسعه آتی در سال ۱۳۸۶ استفاده شد.

به‌منظور کاهش حجم محاسبات و سهولت در مدلسازی، متغیرهایی که دارای میزان همبستگی بیش از ۵۰٪ بودند از مدل حذف گردیدند (Kok & Veldkamp, 2001). در ادامه پس از تعیین متغیرهای اثرگزار بر توسعه شهر در مدل شبکه عصبی، نتایج حاصل از این مدل و روش طبقه بندی تصویر به‌کمک شاخص‌های توصیفی عامل نسبی و تحلیلی نمایه‌های سیمای‌سرزمین مورد مقایسه قرار گرفت. محاسبه شاخص عامل نسبی در تحقیق حاضر با تعیین حدود آستانه‌های مختلف با فواصل ۵٪ به‌صورت تجمعی و محاسبه سطح زیر منحنی ROC برمبنای مقادیر مثبت صحیح و مثبت اشتباه انجام گرفت. کمیت سطح زیر منحنی شاخص عامل نسبی برای مدل کامل (۰.۷۵) نشان‌دهنده توافق نسبی و قابلیت مدل در ارائه توصیفی مناسب از صحت عددی و مکانی توسعه شهر است (He & Lo, 2007; Liu *et al.*, 2009). در مورد کمیت بدست‌آمده از پارامترهای مدل آماری، ضریب منفی شیب در مدل نشان‌دهنده تغییرات کاربری و توسعه شهر در شیب‌های پایین است. هم‌چنین در مورد فاصله از شبکه حمل‌ونقل، هیدروگرافی، مراتع و شهر نیز وضعیت به‌همین صورت است. به‌طوری که با افزایش فاصله از جاده‌ها، رودخانه، مراتع و دوری از هسته مرکزی شهر به‌عنوان کانون فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی مطلوبیت لکه‌های سرزمین جهت تبدیل و توسعه به کاربری شهری کاهش می‌یابد. در مورد زمین‌های کشاورزی و اراضی بایر نیز با درنظر گرفتن شرایط توزیع این سرزمین در منطقه که تاحد زیادی پراکنده و عمدتا در ارتفاعات و شیب‌های تند حوزه قرار دارند، مطلوبیت سلول‌های شهری شبیه‌سازی شده با بیشتر شدن فاصله از این نواحی، افزایش می‌یابد. این موارد با نتایج پژوهشات Wu & Yeh (1997)؛ Landis & Zhang (1998)؛ Allen & Lu (2003)؛ Tayyebi *et al* (2009) مطابقت دارد.

در پژوهش حاضر با درنظر گرفتن نتایج شاخص‌های مورد بررسی از سیمای ترسیم‌شده به دو روش مدل‌سازی و طبقه‌بندی شده در سال ۱۳۸۶، می‌توان توانایی نسبی مدل رگرسیون لجستیک در شبیه‌سازی مکانی سلول‌های شهری را تایید نمود (جدول۳). رشد سریع شهرهای دنیا فشارهای سنگینی بر سرزمین و منابع اطراف آن‌ها وارد نموده و درنهایت منجر به ایجاد مشکلات جدی اجتماعی و محیط‌زیستی در این نواحی شده است (Acevedo *et al.*, 1996). در اکثر موارد این تغییرات سریع کاربری سرزمین بدون درکی روشن از اثرات آن‌ها اتفاق افتاده است (Bagheri & Shataee, 2010). از آن‌جا که توسعه فضاهای شهری در آینده امری اجتناب‌ناپذیر است، لزوم درک و شناخت صحیح از این روند به‌منظور اجرای مدیریتی کارآمد در زمینه حفاظت از محیط‌زیست شهری، ضروری است. لذا امید است بتوان با بهره‌گیری از رویکردهای مبتنی بر مدل‌سازی به پیش‌بینی توسعه آتی، یافتن مکان‌های مناسب شهری و ایجاد تعادل در محیط‌زیست براساس دیدگاه‌های آمایش سرزمین کمک نمود.

پیشنهادات

از آنجا که الگوهای توسعه شهری علاوه بر

مولفه‌های شناخته‌شده تابعی از شرایط خاص محلی نیز هست، به‌منظور شناسایی سایر مولفه‌ها و دستیابی به سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری در این زمینه، انجام مطالعات بیشتر و با درنظر گرفتن دامنه وسیع‌تری از متغیرها پیشنهاد می‌شود.

یادداشت‌ها

1 - Gegraphical Information System
2 - Regression Type Models
3 - Spatial Transition Based Models
4 - Maximum Likelihood Estimation
5 - Normalised
6 - On Screen Digitizing
7 - Image Classification
8 - Post Classification
9 - Relative Operating Caracteristic
10 - Landscape Ecological Metrics
11 - Class Area
12- Number of Patch
13- Mean Patch Size
14- Contiguity Index
15- Euclidean Nearest-Neighbor Distance
16 - Fractal Dimension Index

منابع

Abdollahi, I. (2003). Ascent and Descend of Korganroud City. Seasonal Journal of Talesh Research, 9: 10-17.

Acevedo, W., T.W. Foresman and J.T. Buchanan (1996). Origins and philosophy of building a temporal database to examine human transformation processes. Proceedings, ASPRS/ACSM Annual Convention and Exhibition, Baltimore, 24 (1):148-161.

Aldrich, J.H. and F.D. Nelson (1986). Linear Probability, Logit and Probit Models (3rd edition). Beverl Hills, CA. Sage Publication.

Allen, J. and K. Lu. (2003). Modeling and prediction of future urban growth in the Charleston region of South Carolina: a GIS-based integrated approach. Journal of Conservation Ecology. Vol, 8. No, 2. Available on www.consecol.org/vol8/iss2/art2.

Bagheri, R. and S.H. Shataee (2010). Modeling forest areas decreases, using logistic regression, case study: Chehl-Chay catchment, Golestan province. iranian Journal of Forest, 2 (3): 243-252.

Batty, M. and P.J. Densham (1996). Decision support, GIS and urban planning. Available at: http://www.geog.ucl.ac.uk/~pdensham/SDSS/s_t_paper.html.

Candau, J.T. (2002). Temporal Calibration Sensitivity of the SLEUTH Urban Growth Model. MSc Thesis. Santa Barbara University.

Clark Labs (2006). IDRISI Andes. Ver, 15.0. Copyright© Clarke University.

Clark, W.A. and P.L. Hosking (1986). Statistical Methods for Geographers (Chapter 13). New York: John Wiley & Sons.

Clarke, K.C., S. Hoppen and L. Gaydos (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the SanFrancisco Bay area. Environment and Planning B: Planning & Design, 24: 247-261.

Eastman, R.J. (2006). Guide to GIS and Image processing,(IDRISI Andes)., USA: Clark university.

ESRI (2008). ArcGIS®. Ver, 9.3. Copyright© ESRI Inc.

Fotheringham, A.S., C. Brunsdon and M. Charlton (2000). Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis. London, UK: SAGE Publications.

Geoghegan, J., S.C. Villar, P. Klepeis, P.M. Mendoza, Y.O. Himmelberger and R.R.

Technologies Inc.

Leica Geosystems Geospatial Imaging (LGGI) (2006). ERDAS IMAGINE ® Inc. Ver 9.1. Copy right© LGGI.

Liu, C., M. White and G. Newell (2009). Measuring the accuracy of species distribution models: a review. 18 th World IMACS/MODSIM Congress, Carins, Australia.

McGarigal, K., S.A. Cushman, M.C. Neel. and E. Ene (2002). Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts, Amherst, MA, USA. Accessible on www.umass.edi/landeco/fragstats/fragstats.html.

Pijanowski, B.C., D.G. Brown, B.A. Shellitoc and G.A. Manikd (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. Computers, Environment and Urban Systems, 26(6): 553-575.

Pontius, R.G. and L. Schneider (2001). Land-use change model validation by an ROC method. Agric. Ecosyst. Environ, 85: 239-248.

Serneels, S. and E.F. Lambin (2001). Proximate causes of land use change in Narok district Kenya: a spatial statistical model.Agric. Ecosyst. Environ, 85: 65-81.

SOI, Statistical Organization of Iran. (2006). Census Report of Population, Available on www.amar.org.ir/portal/faces/public/census85.html.

Tayyebi, A., M.R. Delavar, B.C. Pijanowski and M.J. Yazdanpanah (2009). A Spatial Logistic Regression Model for Simulating Land Use Patterns, A Case Sturdy of the Shiraz Metropolitan Area of Iran, Proc. Conf. EOGC on RS, Chengdu, China, Selected as best paper in EOGC

Chowdhury (2001). Modeling tropical deforestation in the southern Yucatan peninsula region: comparing survey and satellite data. Agriculture, Ecosystems and Environment, 85:25-46.

Gergel, S.E. and M.G. Turner (2002). Learning Landscape Ecology: A Practical Guide to Concepts and Techniques. New York: Springer.

Haub, C. (2007). World population data sheet. Population Reference Bureau, Washington. Available on www.prb.org/07/77/WPDS_Eng.pdf.

He, Z. and C. Lo (2007). Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. Computers, Environment and Urban Systems, 31(6): 667-688.

Kamyab, H.R., Salman Mahiny, A., S.M. Hossini and M. Gholamalifard (2010). Aknowledge-based Approach to urban growth modelling in gorgan city using logistic regression. Journal of Environmental Studies, 36 (54):89-96.

Kok, K. and A. Veldkamp (2001). Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in Central America. Agriculture, Ecosystem and Environment, 85: 205-221.

Lambin, E. (1997). Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. Progress in Physical Geography, 21 (5): 375-393.

Landis, J. and M. Zhang (1998). The second generation of the California urban futures model. Environment and Planning B: Planning and Design, 25: 795-824.

Lausch, A. and F. Herzog (2002). Applicability of Landscape Metrics for the Monitoring of Landscape Change: Issues of Scale, Resolution and Interpretability. Journal of Ecological Indicators, 2 (2): 3-15.

LEADTOOLS (2006). SPSS for Windowse. Ver 15.0. Copy right© LEAD

conference, published in Springer as chapter book.

Theobald, D.M. and N.T. Hobbs (1998). Forecasting rural land-use change: a comparison of a regression and spatial transition-based models. Geographic and Environmental Modelling, 2(1): 65-82.

University of Massachusetts, Amherst (UMA) (2002). FRAGSTATS®. Ver, 3.3. Copy right© UMA.

Wu, F.L. and A.G. O. Yeh (1997). Changing spatial distribution and determinants of land development in Chinese cities in the transition from a centrally planned economy to a socialist market economy: a case study of Guangzhou, Urban Studies, 34 (11): 1851-1879.