

Monitoring land use changes based on decision tree algorithm using Landsat satellite images, case study: West Tehran area

Maryam Soleimani Parapari Azad¹, Mir Masoud Kheirkhah Zarkash^{*2} and Alireza Majidi³

¹ MSc, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran

² Associate Professor, Water and Soil Conservation Engineering Department, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 23 November 2023

Accepted: 01 May 2024

Extended abstract

Introduction

The rapid growth of cities and the process of industrialization have created numerous environmental problems across many parts of the world. It is essential for planners and managers to be aware of changes in land cover and land use over extended periods to evaluate and predict the impacts caused by these changes. Remote sensing is an effective tool for monitoring land use changes in urban areas and their surroundings. Tehran has expanded significantly over the last few decades due to population growth and migration, leaving substantial effects on the surrounding environment. Consequently, this study presents a model based on the decision tree algorithm to classify and monitor land use changes using images from TM and MSS sensors in the western region of Tehran between 1975 and 2011.

Materials and methods

In this study, one MSS sensor image and three TM sensor images from the Landsat satellite, all taken in June, were used along with ancillary data, specifically a digital elevation model extracted from the 1:25000 topographic map of the Mapping Organization. After pre-processing, land cover indices, including vegetation index, DT method, and its combination with the maximum likelihood classification method, were used to extract land use classes. The accuracy of the classified images obtained from the DT was evaluated using the kappa coefficient and overall accuracy, and finally, the changes in different land use classes over time were calculated using the image comparison method.

Results and discussion

According to this study's findings, the overall classification accuracy for 2011 is 82%. The results of change monitoring indicate a positive and increasing trend in the density of built-up land over the 36-year period, while other land types have decreased. The density of the built-up land class in 1975, with an area of 2166 hectares (equivalent to 8%), increased to 8125 hectares (29%) by 2011. In total, the percentage of relative change is 21%, equivalent to 5959 hectares. By examining the land use changes in the west of Tehran from 1975 to 2011, shown in the maps, it is evident that urban development and increased demand for various services, coupled with a lack of adequate space, have led to the destruction of green spaces in the western part of Tehran, replaced by other land uses.

Conclusion

This research aimed to monitor land use/cover in the west of Tehran with high classification accuracy using a model based on the DT algorithm combined with the maximum likelihood classification method. Multi-temporal satellite images from the Landsat satellite's TM and MSS sensors, along with ancillary data, were used to conduct the research. After preparing a land use map for each period, a map depicting land cover and land use changes was extracted. The results of this research indicate that remote sensing data combined with classification techniques have a high capability to extract various types of land use maps and evaluate land use changes. Moreover, Landsat's MSS and TM sensor data prove to be suitable

* Corresponding author: kheirkhahzarkesh96@gmail.com

and cost-effective tools for depicting and analyzing land use/cover changes over time. Additionally, the findings highlight that using a branching or multi-stage method for classifying satellite images offers advantages such as reduced processing time, improved accuracy in small classes, and the ability to use different data sources, feature sets, and algorithms at each decision-making stage.

Keywords: Maximum likelihood classification, MSS sensor, Remote sensing, TM sensor, Vegetation index

Cite this article: Soleimani Parapari Azad, M., Kheirkhah Zarkash, M.M., 2024. Monitoring land use changes based on decision tree algorithm using Landsat satellite images, case study: West Tehran area. *Watershed Engineering and Management* 16(3), 415-431.

© 2024, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



پایش تغییرات کاربری اراضی مبتنی بر الگوریتم Decision Tree با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، مطالعه موردی: محدوده غرب تهران

مریم سلیمانی پراپری آزاد^۱، میرمسعود خیرخواه زرکش^{۲*} و علیرضا مجیدی^۳

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست دانشکده محیط زیست و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۳ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۲

چکیده مبسوط

مقدمه

رشد سریع شهرها و روند صنعتی شدن، مشکلات محیط‌زیستی زیادی را در بسیاری از مناطق جهان ایجاد کرده است. آگاهی از روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی طی دوره‌های زمانی طولانی برای برنامه‌ریزان و مدیران به‌منظور ارزیابی و پیش‌بینی مشکلات ناشی از این تغییرات بسیار با اهمیت است. سنجش‌ازدور، ابزار مؤثری برای پایش تغییرات پوشش اراضی در مناطق شهری و حوالی آن است. شهر تهران در چند دهه اخیر به واسطه رشد و به دنبال مهاجرت افراد، گسترش زیادی پیدا نموده و اثرات فراوانی بر محیط‌زیست پیرامون خود بر جای گذاشته است. از این‌رو، پژوهش حاضر به ارائه مدلی مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم (Decision Tree) جهت طبقه‌بندی و پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده TM و MSS در محدوده غرب شهر تهران در فاصله سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۱ پرداخته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ابتدا یک تصویر سنجنده MSS و سه تصویر سنجنده TM ماهواره لندست است که در ماه خرداد اخذ شده و سپس داده‌های کمکی یعنی مدل رقومی ارتفاع مستخرج از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری است مورد استفاده قرار گرفته است. بعد از انجام پیش‌پردازش‌ها، با استفاده از شاخص‌های پوشش اراضی از جمله شاخص پوشش گیاهی، روش DT و ترکیب آن با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال طبقه‌های کاربری اراضی استخراج شد. سپس، دقت تصاویر طبقه شده حاصل از DT با کمک ضریب کاپا و دقت کلی ارزیابی صحت شد و در پایان با استفاده از روش مقایسه تصاویر در زمان‌های مورد مطالعه تغییرات طبقه‌های مختلف کاربری اراضی محاسبه شد.

نتایج و بحث

بر اساس یافته‌های این پژوهش، صحت کلی طبقه‌بندی برای سال ۲۰۱۱، ۸۲ درصد است. همچنین، نتایج پایش تغییرات نشان داد که تراکم فضاهای ساخت‌وساز شده طی دوره زمانی ۳۶ ساله دارای روندی مثبت و رو به افزایش است و در پی آن سایر اراضی در حال کاهش بوده‌اند. تراکم فضاهای ساخت‌وساز شده در سال ۱۹۷۵ با مساحت ۲۱۶۶

هکتار که معادل ۸ درصد بوده به ۸۱۲۵ هکتار یعنی ۲۹ درصد در سال ۲۰۱۱ رسیده است. در مجموع درصد تغییرات نسبی آن ۲۱ درصد معادل ۵۹۵۹ هکتار است. با بررسی تغییرات کاربری اراضی در غرب شهر تهران از سال ۱۹۷۵ تا سال ۲۰۱۱ که در نقشه‌ها نمایش داده شده است، می‌توان گفت که با توسعه شهرنشینی و افزایش نیاز افراد به خدمات مختلف و نبود فضای کافی برای جوابگویی به این نیازها فضاهای باز و سبز غرب شهر تهران تخریب شده و جایگزین کاربری‌های مختلف شده است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف پایش پوشش و کاربری اراضی محدوده غرب تهران با دقت بالای طبقه‌بندی از طریق مدل مبتنی بر الگوریتم DT و تلفیق نتایج طبقه‌بندی حداکثر احتمال با آن به انجام رسید. برای انجام پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه سنجنده TM و MSS ماهواره لندست و داده‌های کمکی استفاده شده و پس از تهیه نقشه کاربری اراضی هر دوره زمانی، نقشه تغییرات پوشش و کاربری اراضی استخراج شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که داده‌های سنجش‌ازدور همراه با فن‌های طبقه‌بندی ترکیبی از توانایی بالایی در استخراج انواع نقشه‌های کاربری اراضی و همچنین ارزیابی تغییرات کاربری برخوردارند و همچنین پتانسیل داده‌های سنجنده MSS و TM ماهواره لندست را به‌عنوان یک ابزار مناسب و اقتصادی برای تصویر نمودن و تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی در طی زمان نشان می‌دهد. همچنین نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که استفاده از روش شاخه‌ای یا چندمرحله‌ای برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، دارای مزایایی از جمله کاستن زمان پردازش، بهبود صحت طبقه‌های تعلیم کوچک، به‌کارگیری منابع متفاوتی از داده‌ها، مجموعه‌های مختلف از خصوصیات و حتی الگوریتم‌های متفاوت در هر مرحله از تصمیم‌گیری است.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، سنجنده MSS، سنجنده TM، شاخص پوشش گیاهی، طبقه‌بندی حداکثر احتمال

مقدمه

امروزه ابزار سنجش‌ازدور، امکانی را فراهم می‌آورد که از طریق آن می‌توان در مقیاس‌های زمانی موردنیاز، تغییرات کاربری اراضی را بازیابی و سرعت و وسعت آنها را نیز مشخص نمود. از سوی دیگر، تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی در مقیاس متوسط از این مناطق به‌دلیل وسعت زیاد از طریق روش‌های میدانی و تفسیر عکس‌های هوایی با صرف زمان و هزینه زیاد همراه است (El-Kawy et al, 2011; Bhatta et al, Rozenstein and Karnieli, 2011; Rasul et al, 2004; Pelorosso et al, 2009; 2010).

توسعه کالبدی-فضایی شهر تهران، با توجه به تحولات جمعیتی، نشان می‌دهد که این شهر به‌ویژه طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰ رو به گسترش بوده است. کلانشهر فعلی تهران زمانی که به پایتختی انتخاب شد (سال ۱۱۶۴) تنها ۱۵۰۰۰ نفر جمعیت داشت. جمعیت این شهر در سال ۱۲۷۹ معادل ۲۰۰ هزار نفر و در سال ۱۳۰۲ حدود ۲۱۰ هزار نفر بوده است (Mashhadizadeh Dehaghani, 2003).

تغییرات کاربری اراضی، از جمله مهم‌ترین تغییرات در اراضی سطح زمین هستند (Pelorosso et al, 2009). در سطح شهرها، تغییر پوششی و کاربری زمین ناشی از فرایندهای شهرنشینی یکی از مؤثرترین عوامل تغییر در وضعیت محیط‌زیست است (Díaz-Caravantes and Sánchez-Flores, 2011) که در صورت کنترل نشدن، به تخریب و اختلال در عملکرد کلی محیط‌زیست شهر منجر خواهد شد.

در واقع افزایش سریع جمعیت و محدودیت منابع غذایی و معدنی، چنان مشکلاتی را برای انسان به وجود آورده است که امر برنامه‌ریزی به‌عنوان یک ضرورت برای شهرها تلقی می‌شود. این مشکلات در تغییر کاربری‌ها در شهرها و حومه آن نمود بیشتری پیدا کرده است. چراکه تغییر در کاربری اراضی موجب افزایش آلودگی‌های محیط زیستی و افزایش تغییرات غیراصولی در پوشش گیاهی و کاربری زمین که این خود باعث فشار فزاینده بر محیط پیرامون شهری می‌شود (Pelorosso et al, 2009).

است. لازم به ذکر است که بیشترین میزان تغییر و تبدیل اراضی شهری در دوره دوم یعنی بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۶ (از ۸۰۵۸۹/۸ هکتار به ۱۰۱۷۰۹/۹ هکتار) رخ داده است. این در حالی است که کاربری های جنگل، باغبانی، کشاورزی و اراضی بایر در طول کل دوره مورد بررسی، دارای رشد منفی بوده اند.

Sesnie et al., (2008). با تلفیق تصاویر TM لندست و مدل رقومی ارتفاع (DEM) و استفاده از الگوریتم درخت تصمیم پوشش اراضی و تغییرات آن را در محیط پیچیده جنگل‌های گرمسیری آمریکا بررسی کردند. نتایج حاکی از دقت مطلوب طبقه‌بندی به‌دست آمده از روش درخت تصمیم است.

Mahmoodzadeh (2006). در پژوهشی به بررسی توسعه فیزیکی شهر تبریز با استفاده از تصاویر سنجنده های TM و ETM+ مربوط به سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۱ و به‌کارگیری نقشه‌های رقومی مدلسازی نمود که نتایج این پژوهش حاکی از کاهش ۴۹/۳۷ درصدی (۱۲۸۰/۹ هکتار) فضای سبز سطح شهر تبریز به‌دلیل توسعه شهری و صنعتی بوده است.

همچنین، با به‌کارگیری شاخص NDVI و رده‌بندی تراکمی این شاخص در دوره ۱۲ ساله مورد بررسی، نقش تخریبی ساخت و سازهای غیراصولی در کاهش سطح فضای سبز شهری تعیین شد.

Gharagozlou et al., (2009). به منظور برنامه‌ریزی شهری و ارزیابی ظرفیت‌های توسعه شهری و مشکلات زیست محیطی و ارائه راهکارها با تکیه بر تکنولوژی روز دنیا، به ارزیابی تغییرات کالبدی و تحلیل توسعه شهری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا و سامانه‌های GIS/RS در منطقه ۵ شهر تهران پرداخته‌اند.

در این پژوهش، با هدف ارتقاء دقت طبقه‌بندی تصویر و بهبود کیفیت پردازش آنها یک مدل مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم از طریق ترکیب با نتایج حاصل از الگوریتم حداکثر احتمال و داده‌های کمکی به‌منظور پایش پوشش و کاربری اراضی غرب تهران با دقت بالا توسعه داده شد.

در این روش، غنا بخشیدن به مطالعات موجود در زمینه سیاست‌گذاری و مدیریت مناطق تهران و

تا این زمان جمعیت شهر رشد کمی داشته است. از همین سال‌هاست که رشد جمعیت این شهر کم شدت می‌گیرد، به‌طوری‌که از سال ۱۳۳۵ به بعد افزایش سرسام‌آور رشد جمعیت و مساحت آن شروع شد. به‌طور کلی، وسعت شهر تهران در طول دویست و بیست و پنج سال (۱۳۸۹-۱۱۶۴) از حدود ۴/۴ کیلومترمربع به ۷۵۰ کیلومترمربع رسیده است. منطقه غرب تهران از جمله مناطقی است که در طول چند دهه گذشته تغییرات شدید کاربری اراضی و گسترش بی‌رویه زیادی را تجربه کرده است، از این‌رو، با آگاهی از این تغییرات کاربری، می‌توان به تدوین راهکارهای مناسب برای هدایت و مدیریت این تغییرات و تعیین مناطق مستعد گسترش شهری جهت توسعه آتی اقدام نمود. به‌طور کلی مهم‌ترین ضرورت‌های پژوهش حاضر شامل بررسی تغییرات کاربری منطقه شهری غرب تهران در راستای هدایت و بهبود الگوی گسترش شهری، ضرورت کاهش آثار منفی محیط‌زیستی پراکنش و گسترش این منطقه، مانند آلودگی هوا، آب، خاک و صوت و ضرورت تهیه و اجرای برنامه‌های کاربری زمین برای استفاده صحیح از زمین در منطقه است.

Goetz et al., (2004). Alberti et al., (2004). Yang (2002). نشان دادند که سنجنش‌ازدور ماهواره‌ای برای تولید اطلاعات مکانی دقیق و به‌هنگام در مورد تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهری پتانسیل کافی را دارد. اگرچه تغییرات کاربری و پوشش اراضی به وسیله برخی روش‌های سنتی نیز می‌تواند تعیین شود ولی سنجنش‌ازدور ماهواره‌ای اطلاعات مفیدی را در مورد توزیع مکانی کاربری و پوشش اراضی و تغییرات آنها همراه با مزایایی مثل صرفه‌جویی در هزینه و زمان مهیا می‌نماید.

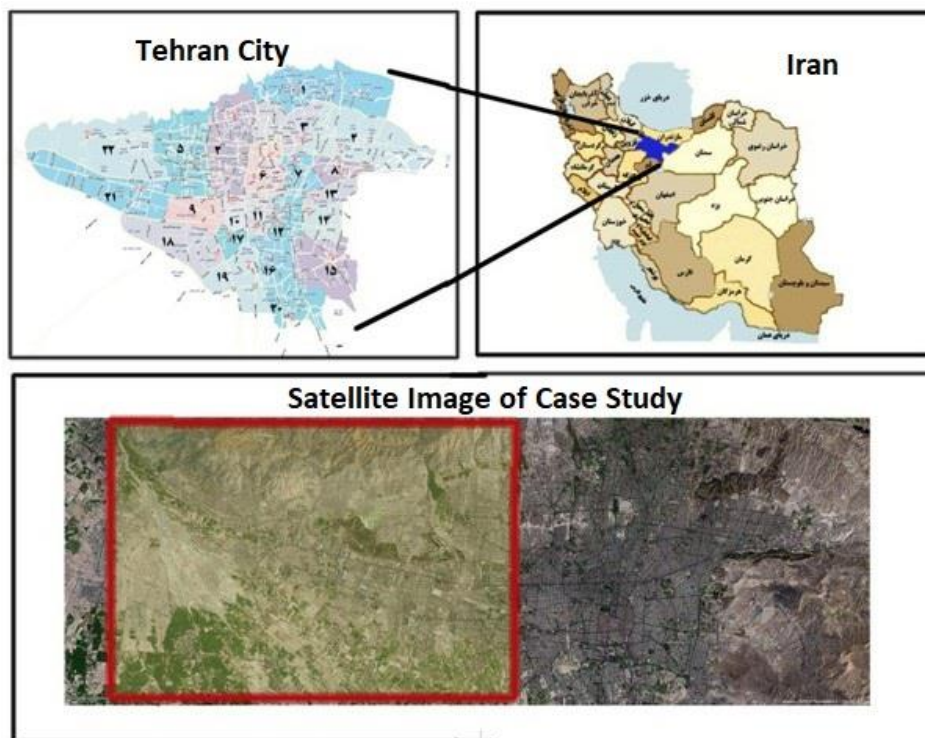
Wu et al., (2006). در مطالعه خود برای شهر پکن در کشور چین با استفاده از تصاویر سنجنده TM ماهواره‌های لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۱، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۱ میزان تغییرات در کاربری‌های مختلف مشخص کردند. نتایج بیانگر این واقعیت بود که بیشترین میزان تغییر در کاربری شهری رخ داده است. یعنی از ۷۷۹۹۹/۷ هکتار در سال ۱۹۸۶ به ۱۱۶۴۴۱/۶ هکتار در سال ۲۰۰۱ افزایش یافته

نقاط به ۱۰۵۰ متر از سطح دریا می‌رسد. تهران از شمال به نواحی کوهستانی، و از جنوب به نواحی کویری منتهی شده، در نتیجه در جنوب و شمال دارای آب‌وهوایی متفاوت است. نواحی شمالی از آب‌وهوای سرد و خشک و نواحی جنوبی از آب‌وهوای گرم و خشک برخوردارند. شهر در حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع مساحت دارد و شهرداری تهران برای تأمین نیازمندی‌ها و اداره بهتر سطح شهر را به ۲۲ منطقه شهرداری و ۱۲۳ ناحیه تقسیم کرده که شهر ری و تجریش را نیز شامل شده است.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر مورد توجه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی: تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر کشور دارای جمعیتی حدود هشت هزار نفر است و هجدهمین شهر پرجمعیت جهان به شمار می‌آید. تهران در کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی، به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی به عرض تقریبی ۳۰ کیلومتر گسترده شده است. ارتفاع شهر در بلندترین نقاط شمال به ۲۰۰۰ متر و در جنوبی‌ترین



شکل ۱- تهران در مقیاس کلان و مطالعاتی
Fig. 1. Tehran in macro and case study scale

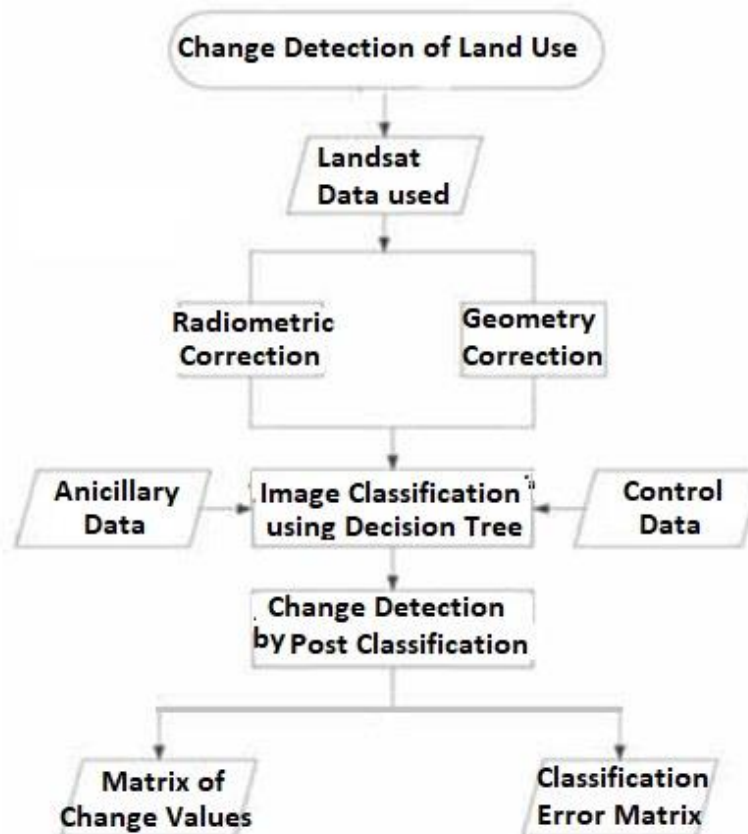
رقومی ارتفاع مستخرج از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری است. جدول ۱، داده‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهند.
روش‌شناسی: برای آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی عملیات پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای در

داده‌های مورد استفاده و آماده‌سازی آنها: در مجموع چهار سری داده در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. اول یک تصویر سنجنده MSS و سه تصویر سنجنده TM ماهواره لندست است که در فصل بهار اخذ شده و دوم داده‌های کمکی یعنی مدل

سه مرحله پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش انجام شد. به‌طور کلی، فرایند انجام این پژوهش مبتنی بر مراحل اصلی زیر است که به‌صورت شماتیک در شکل ۲، نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده
Table 1. Characteristics of the data used

Spatial Resolution	Radiometric Resolution	Row Number	Path Number	Band Number	Image Time	Sensor Type
70 M	6 bit	39	163	1-4	1975/03/06	MSS
30 M	8 bit	39	163	1-7	1985/04/12	TM
30 M	8 bit	39	163	1-7	2000/04/25	TM
30 M	8 bit	39	163	1-7	2011/04/17	TM
10 M	-	-	-	-	-	DEM



شکل ۲- نمودار فرایند آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری اراضی
Fig. 2. Process diagram of change detection of land use/cover

اراضی، عملکرد موفقیت آمیزی از خود نشان داده است (Lawrence, Vogelmann et al, 2001)؛ (Wrigh, 2001).

در اغلب روش‌های طبقه‌بندی تک‌مرحله‌ای تصاویر ماهواره‌ای، مانند روش حداکثر احتمال یا حداقل فاصله (MD)^۲ در مورد هر پیکسل فقط یک تصمیم

طبقه‌بندی تصویر با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم^۱: استفاده از درخت تصمیم در سنجش‌ازدور به‌وسیله متخصصین این رشته در دهه ۱۹۷۰ مورد ارزیابی قرار گرفت (Swain and Hauska, 1997). در سال‌های اخیر کاربرد این روش به‌صورت تدریجی به سمت علوم طبیعی وارد شده و در طبقه‌بندی پوشش

² Minimum Distance

¹ Decision Tree (DT)

کلی در روش DT، دانش تحلیل گر در ساختار بندی شاخه‌ها نقش مؤثری دارد. همچنین، می‌توان با دخالت داده‌های مرتبط با توپوگرافی مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب و حتی داده‌های اقلیمی مانند دما در روش DT دقت آن را ارتقاء داد.

مدل مفهومی مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم:

از آنجایی که هدف این پژوهش، شناسایی انواع پوشش اراضی با دقت بالا است، با توسعه یک مدل استخراج مؤثر و دقیق اطلاعات بر مبنای آن صورت گرفت. شکل ۳، ساختار کلی این مدل را نشان می‌دهد. همان گونه که در این شکل دیده می‌شود، با مینا قرار دادن نتایج حاصل از طبقه بندی با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال به صورت شاخه‌ای در هر قسمت، یک پوشش خاص از اطلاعات موجود در تصویر را استخراج و جدا می‌کند. در هر نقطه انشعابی یا گره مربوط به DT با استفاده از قواعد یا شاخص‌های تعریف شده، پوشش خاصی از اطلاعات تصویر شناسایی و مجزا می‌شود. در ادامه، در مورد شاخص‌های مورد استفاده و روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم توضیحاتی ارائه می‌شود.

شاخص‌های پوشش گیاهی: شاخص‌های پوشش گیاهی به طور گسترده به عنوان معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی و شاخص‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Morawitz et al., 2006, Koh et al., 2006). در این پژوهش، از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)^۱ برای استخراج پوشش گیاهی استفاده شد، تا بدین وسیله پوشش‌های گیاهی به راحتی از سایر پوشش‌ها جدا شده و کار نمونه‌گیری بادقت بیشتری انجام شود و همچنین با اعمال تغییرات در طبقات آن بتوان اراضی کشاورزی و مرتعی را از هم جدا نمود.

لازم به ذکر است که NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است (Binh et al., 2005). NDVI از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود که در آن NIR انعکاس اشعه تابیده شده در طول موج مادون قرمز نزدیک و RED انعکاس اشعه تابیده شده در طول موج قرمز مرئی است. ارزش

اتخاذ می‌شود، در نتیجه این تصمیم، پیکسل به یکی از طبقه‌های موجود تعلق می‌گیرد. در کنار این روش‌ها، روش‌های طبقه بندی چندمرحله‌ای هم امکان پذیرند، بدین ترتیب که مجموعه‌ای از تصمیمات اتخاذ می‌شوند تا پیکسل به درستی طبقه بندی شود. از معمول ترین روش‌های طبقه بندی چندمرحله‌ای، Decision Tree یا همان درخت تصمیم است. این دسته از طبقه بندی کننده‌های مرتبط با هم تشکیل می‌شوند که هیچ کدام به تنهایی نمی‌توانند امر طبقه بندی تصویر را به طور کامل انجام دهند؛ بلکه هر مؤلفه طبقه بندی کننده، تنها قسمتی از کار را انجام می‌دهد. یک DT، نمایشی از شاخه‌ها و گره‌هاست که هر گره به مجموعه‌ای از پاسخ‌های ممکن منتهی می‌شود.

در بسیاری از زمان‌ها روش‌های DT می‌توانند به صورت غیر خودکار طراحی شوند، به خصوص وقتی که برای انجام یک طبقه بندی خیلی خاص به کار گرفته می‌شوند، ولی این روش‌ها می‌توانند به صورت خودکار نیز طراحی شوند (Richards and Swain, 1997). سه امر مهم در طراحی روش DT باید در نظر گرفته شوند: (۱) یافتن ساختار بهینه برای شاخه، (۲) انتخاب زیرمجموعه مطلوب ویژگی‌های در هر گره و (۳) انتخاب قاعده تصمیم برای استفاده در هر گره (Richards and Jia, 2006).

در روش درخت تصمیم، یک ساختار شاخه‌ای بهینه با کمترین میزان نرخ خطا می‌تواند با حداقل تعداد گره‌ها فرض شود. همچنین، باید به اشتراک طبقه‌ها و اینکه چه تعداد شاخه و لایه مورد استفاده قرار می‌گیرند به قدر کافی توجه کرد. از آنجایی که تعداد ساختارهای شاخه‌ای ممکن، حتی برای تعداد نسبتاً کمی از طبقه‌ها می‌تواند زیاد باشد، طراحی یک طبقه بندی کننده مطلوب بسیار دشوار خواهد بود (Mui and Fu, 1980). در این روش، کارایی و صحت طبقه بندی شدیداً به انتخاب شاخه‌ها بستگی دارد. برای آسان تر نمودن کار طراحی شاخه‌های تصمیم گیری غالباً از روش دودویی استفاده می‌شود. توانایی جداسازی طبقه‌ها ضرورتاً با به کارگیری روش دودویی تضعیف نمی‌شود، زیرا یک DT کلی می‌تواند به شکل مناسبی به شاخه‌های دودویی معادل با آن تبدیل شود، بدون اینکه کاهش دقتی صورت پذیرد. به صورت

¹ Normalized Difference Vegetation Index

۳. مشاهده می‌شود برای جداسازی برخی پوشش‌ها، از شیب و ارتفاع مستخرج از مدل رقومی ارتفاع نیز استفاده شده است.

NDVI Index (۱)

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

SAVI Index (۲)

$$SAVI = [(NIR - RED) (1 + L)] / (NIR + RED + L)$$

NDBI Index (۳)

$$NDBI = (MIR - NIR) / (MIR + NIR)$$

همان‌طور که اشاره شد، نحوه کارکرد مدل به‌صورت شاخه‌ای است که از چهار سطح تصمیم‌گیری تشکیل شده است که در نهایت به تعیین چهار طبقه پوشش اراضی کشاورزی، فضای سبز، مناطق ساخت‌وساز شده و سایر کاربری‌ها (اراضی صخره‌ای-کشت نشده) می‌انجامد. در اجرای مدل پس از اعمال پیش‌پردازش‌ها بر روی تصاویر، ابتدا با استفاده از شاخص‌های NDVI و SAVI و تعیین یک حد آستانه برای آن، پوشش گیاهی از سایر اطلاعات جدا می‌شود. در شاخه صحیح گره تصمیم‌گیری، اول اطلاعات پوشش گیاهی نتیجه کار است که با استفاده از اشتراک آستانه‌های مشخص شده برای شاخص‌های NDVI و SAVI از سایر طبقات جدا شدند. در شاخه درست گره تصمیم‌گیری دوم، فضای سبز بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شاخص‌های پوشش گیاهی مشخص و سایر پوشش‌های گیاهی باقی‌مانده اراضی کشاورزی معرفی شدند (در این سطح تصمیم‌گیری با استفاده از اشتراک نتایج حاصل از شاخص‌های NDVI و SAVI، شیب و ارتفاع منطقه، طبقه‌های فضای سبز و اراضی کشاورزی از هم جدا شدند).

در شاخه نادرست (غلط) گره تصمیم‌گیری اول، اطلاعات بدون پوشش گیاهی موجود است که با به‌کارگیری اشتراک دو حد آستانه تعیین شده برای شاخص NDBI و نتایج حاصل از طبقه‌بندی حداکثر احتمال مناطق ساخت‌وساز شده نیز از اطلاعات موجود در روی تصویر جدا می‌شود. حاصل شاخه نادرست سطح تصمیم‌گیری سوم، اطلاعاتی است که فاقد ساخت‌وساز شده و پوشش گیاهی است. در واقع سطح تصمیم‌گیری چهارم (سطح نهایی)، سایر کاربری‌ها (اراضی صخره‌ای-بایر و یا کشت نشده) نیز از سایر شاخه‌ها هم جدا شدند.

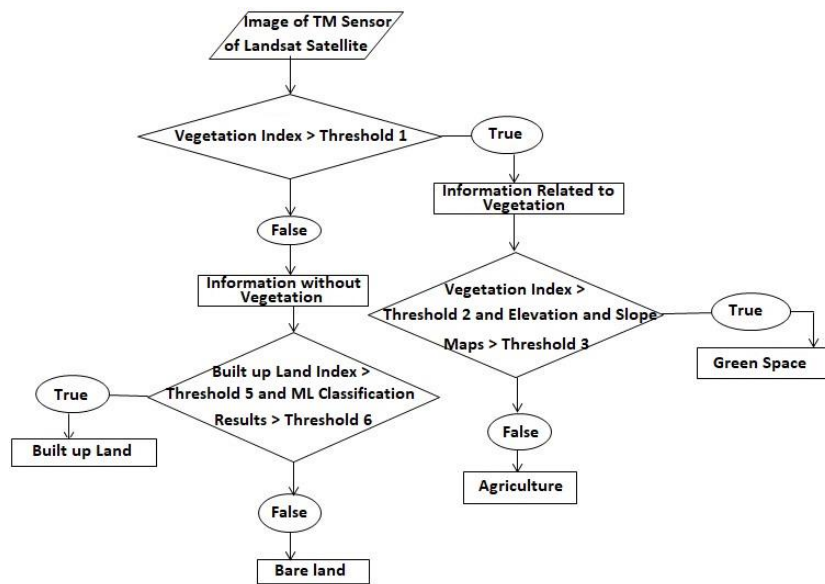
NDVI بالاتر نشانگر پوشش گیاهی متراکم‌تر و شاداب‌تر است (Koh et al., 2006). در این شاخص، فرض بر این است که ناحیه تحت بررسی دارای نوع خاک یکسانی است، بنابراین اگر این فرض صادق نباشد، ناهمسانی انواع خاک بر روی نتایج حاصل از NDVI تأثیر خواهد گذاشت و نتایج نادرستی حاصل خواهد شد. Huete (1988) شاخص گیاهی تنظیم شده با خاک (SAVI) را برای استخراج اطلاعات پوشش گیاهی پیشنهاد کرد که رابطه (۲) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد. در این رابطه، L شاخص تعدیل خاک با مقادیری از صفر تا یک است. در این پژوهش، با توجه به مقدار پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی مقدار ۰/۵ برای حذف اثر زمینه‌های متفاوت مورد استفاده قرار گرفته است.

شاخص ساخت‌وساز انسانی (NDBI^۲): برای جداسازی خاک از عوارض ساخته دست بشر مانند مناطق مسکونی، زمانی که سایر عوارض مشکل‌زا (مانند عوارض مربوط به کشاورزی) از تصویر حذف شده‌اند، می‌توان از بافت تصویر استفاده کرد. اما این روش فقط برای تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالا مانند SPOT می‌تواند مفید باشد. نتایج کار سایر محققین حاکی از دقت کم روش استفاده از بافت برای جداسازی خاک از سایر عوارض با استفاده از تصاویر سنجنده TM است. تصاویری با قدرت تفکیک مکانی پایین معمولاً اطلاعات طیفی بیشتری دارند.

به همین دلیل در این پژوهش، سعی شده برای حل این مشکل راه‌حلی از جنبه طیفی یافت شود. (Yong (2003) شاخص NDBI را بر اساس این اصل که مناطق دارای ساخت‌وساز انسانی دارای انعکاس بالاتری در محدوده مادون‌قرمز میانی نسبت به مادون‌قرمز نزدیک هستند، ارائه کرد. در رابطه (۳)، MIR مقادیر باند مادون‌قرمز میانی است. این شاخص می‌تواند بخشی از اطلاعات مربوط به مناطقی با ساخت‌وساز انسانی را استخراج نماید ولی باید در نظر داشت که این شاخص به‌صورت نسبی دقت کمتری نسبت به شاخص‌های پوشش گیاهی (مانند NDVI) دارد. علاوه بر شاخص‌های فوق همان‌گونه که در شکل

¹ Soil Adjusted Vegetation Index

² Normalized Difference Built-up Index



شکل ۳- نمودار مدل مفهومی مبتنی بر الگوریتم Decision Tree
 Fig. 3. Diagram of conceptual model of DT method

ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده: ارزیابی نتایج طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم پس از طبقه بندی است. ارائه نتایج طبقه‌بندی بدون هیچ‌گونه عاملی که کیفیت و صحت این نتایج را بیان کند از ارزش آنها می‌کاهد

(Fatemi and Rezaii, 2007). برای ارزیابی صحت

تصویر طبقه‌بندی شده از نقاط کنترل زمینی که به‌وسیله GPS از سطح منطقه در اواخر تیرماه ۱۳۸۹ برداشت شده بودند، استفاده شد. در جدول ۲، تعداد نقاط کنترل زمینی برای هر یک از طبقات پوششی منطقه ارائه شده است. تعداد کل نقاط برداشت شده ۲۳۵ نقطه است. ماتریس خطا به‌صورت جدول‌بندی متقاطعی از طبقه‌های دسته‌بندی شده در برابر داده های مرجع برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی به‌کار گرفته شد (Congalton and Green, 1999).

صحت کلی، صحت‌های کاربر و تولیدکننده و آماره کاپا از ماتریس خطا استخراج شدند. نتایج ماتریس خطا میزان اختلاط نمونه‌ها در یکدیگر و در نهایت صحت‌های تولیدکننده و کاربر حاصل از این طبقه بندی ارائه شد. مقدار آماره کاپا نیز صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می نماید (Jia and Richrds, 2006).

نتایج و بحث

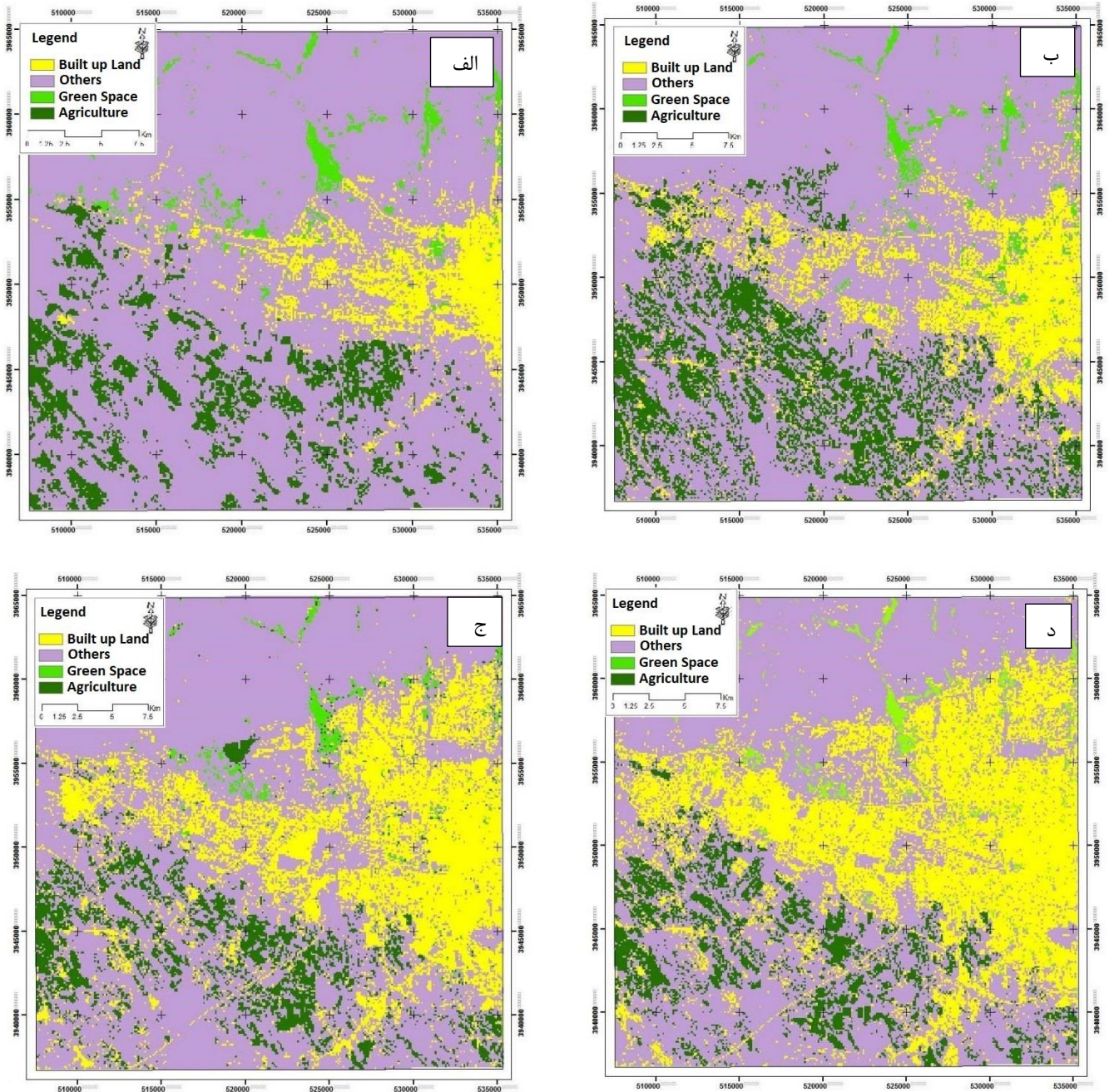
ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده: نتایج این ماتریس در جدول ۲ نشان داده شده است. در این جدول همچنین میزان اختلاط نمونه‌ها در یکدیگر و در نهایت صحت‌های تولیدکننده و کاربر حاصل از این طبقه‌بندی ارائه شده است.

جدول ۲- ارزیابی صحت طبقه بندی تصویر TM لندست برای سال ۲۰۱۱
 Table 2. Evaluation of accuracy of TM Landsat image classification for 2011

User Accuracy	Total	Agriculture Class	Green Space Class	Others	Built up Land Class	Classes
84/38	64	.	2	8	54	Built up Land Class
80/33	61	2	2	49	8	Others
79/03	62	5	49	1	7	Green Space Class
81/25	48	39	8	1	0	Agriculture Class
-	235	46	61	59	69	Total
-	-	84/78	80/33	83/05	78/26	Producers Accuracy

نتایج طبقه‌بندی تصویر و نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری با استفاده از RS: همان‌طور که پیش‌تر عنوان شد، برای شناخت تغییرات کاربری اراضی به‌صورت کمی از سنجش‌ازدور استفاده شد. برای این منظور، روند تغییرات کاربری اراضی در بازه‌های زمانی ۱۹۷۵، ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ مطالعه شد.

مقدار آماره کاپا نیز صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌نماید (Jia and Richrds, 2006). همان‌گونه که در جدول نیز مشاهده می‌شود، صحت‌های کاربر و تولیدکننده طبقه بندی بالا بوده و بین حدود ۷۹ تا ۸۵ درصد قرار دارد. دقت کلی طبقه‌بندی ۸۲ درصد و مقدار آماره کاپا نیز در حدود ۰/۷۵ به‌دست آمد.



شکل ۴- نقشه توزیع کاربری اراضی غرب شهر تهران در سال ۱۹۷۵ (الف)، ۱۹۸۵ (ب)، ۲۰۰۰ (ج) و ۲۰۱۱ (د)
 Fig. 4. Map of land use distribution in the west of Tehran city in 1975 (a), 1985 (b), 2000 (c) and 2011(d)

جدول ۳- مساحت‌های طبقه‌ها و درصد مساحت آنها از سال ۱۹۷۵ تا سال ۲۰۱۱

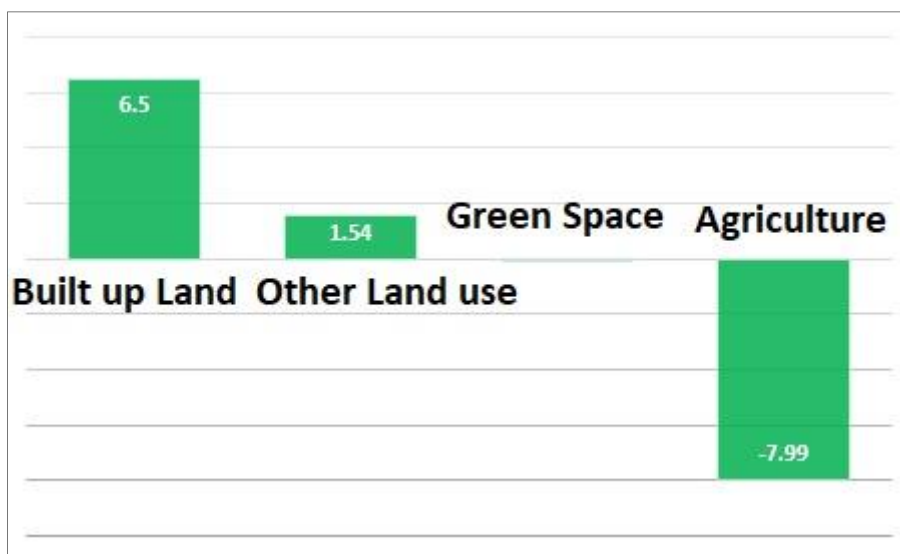
Table 3. Class Area and their area percentage from 1975 to 2011

Land use Class	1975		1985		2000		2011	
	Area (Hectare)	Area (Percent)	Area (Hectare)	Area (Percent)	Area (Hectare)	Area (Percent)	Area (Hectare)	Area (Percent)
Built up Land Class	2166.48	7.71	3477.24	14.21	6498.36	23.06	8125.56	28.93
Others	22493.8	80.1	19975.3	81.64	18757.32	66.66	16866.72	60.06
Green Space Class	703.08	2.5	603.72	2.47	416.16	1.48	673.92	2.4
Agriculture Class	2718.72	9.68	412.7	1.69	2481.84	8.81	2415.96	8.6
Total	28082.1	100	28082.1	100	28082.1	100	28082.1	100

جدول ۴- روند تغییرات از ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۵

Table 4. Changes Trend from 1975 to 1985

Land use Class	Changes from 1975 to 1985	
	Change Area (Hectare)	Percentage of relative changes
Built up Land Class	1310.76	6.50
Others	2518.56	1.54
Green Space Class	-99.36	-0.04
Agriculture Class	-2306.02	-7.99



شکل ۸- نمودار روند تغییرات از ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۵

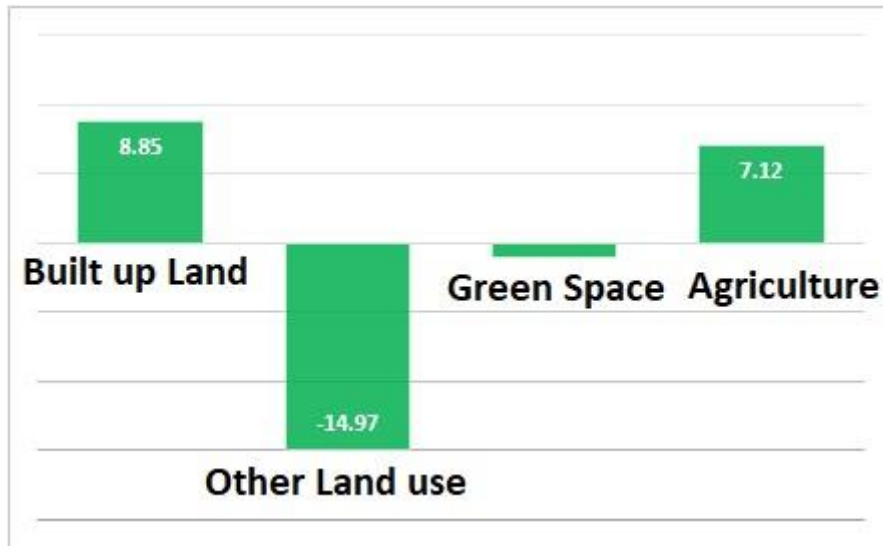
Fig. 8. Changes Chart from 1975 to 1985

رسیده است که در کل درصد تغییرات نسبی آن ۶/۵ درصد چیزی معادل با ۱۳۱۰ هکتار است. در حالی که تراکم اراضی کشاورزی در سال ۱۹۷۵ با مساحت ۲۷۱۹ هکتار معادل ۱۰ درصد به مساحت ۴۱۳ هکتار معادل ۱/۶۹ درصد در سال ۱۹۸۵ رسیده است که در کل درصد تغییرات نسبی آن با شیب تغییرات منفی هشت درصد تقریباً معادل با ۲۳۰۶ هکتار است.

همان‌طور که در جدول ۴ و نمودار ۸، مشاهده می‌شود تراکم فضاهای ساخت‌وساز شده طی دوره زمانی ۱۰ ساله دارای روندی مثبت و رو به افزایش است و در پی آن اراضی کشاورزی در حال کاهش هستند که تراکم فضاهای ساخته شده در سال ۱۹۷۵ با مساحت ۲۱۶۶ هکتار معادل ۷/۷۱ درصد به مساحت ۳۴۷۷ هکتار معادل ۱۴ درصد در سال ۱۹۸۵

جدول ۵- تغییرات از ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰
Table 5. Changes Trend from 1985 to 2000

Land use Class	Changes from 1985 to 2000	
	Change Area (Hectare)	Percentage of relative changes
Built up Land Class	3021.12	8.85
Others	-1188.00	-14.97
Green Space Class	-187.56	-0.99
Agriculture Class	2069.14	7.12



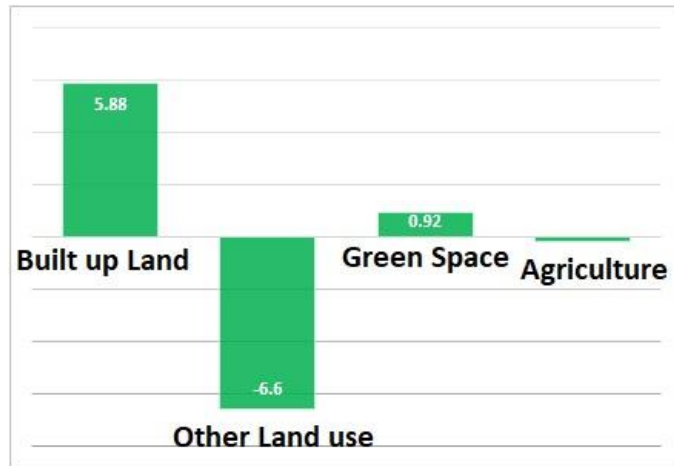
شکل ۹- نمودار روند تغییرات از ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰
Fig. 9. Changes Chart from 1985 to 2000

درصد تغییرات نسبی آن حدود نه درصد چیزی معادل با ۳۰۲۱ هکتار است. درحالی که تراکم سایر کاربری‌ها (شامل اراضی صخره‌ای، زمین‌های تحت آیش و اراضی ساخته نشده شهری) در سال ۱۹۸۵ با مساحت ۱۸۷۸۷ هکتار معادل ۸۱ درصد به مساحت ۱۹۹۷۵ هکتار معادل ۶۷ درصد در سال ۲۰۰۰ رسیده است که در کل درصد تغییرات نسبی آن با شیب تغییرات منفی ۱۵ درصد معادل با ۱۱۸۸ هکتار است.

همان‌طور که در جدول ۵ و نمودار ۹ مشاهده می‌شود در طی دوره زمانی ۱۵ ساله بین ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰، فضاهای ساخته شده و اراضی کشاورزی دارای روندی مثبت و رو به افزایش (به دلیل افزایش بارش‌ها و بالتبع افزایش سطح زیر کشت دیم) است و در پی آن اراضی بایر در حال کاهش هستند که تراکم فضاهای ساخته شده در سال ۱۹۸۵ با مساحت ۳۴۷۷ هکتار معادل ۱۴ درصد به مساحت ۶۴۹۸ هکتار معادل ۲۳ درصد در سال ۲۰۰۰ رسیده است که در کل

جدول ۶- روند تغییرات از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱
Table 6. Changes Trend from 2000 to 2011

Land use Class	Changes from 2000 to 2011	
	Change Area (Hectare)	Percentage of relative changes
Built up Land Class	1627.20	5.88
Others	-1920.60	-6.60
Green Space Class	257.76	0.92
Agriculture Class	-65.88	-0.20



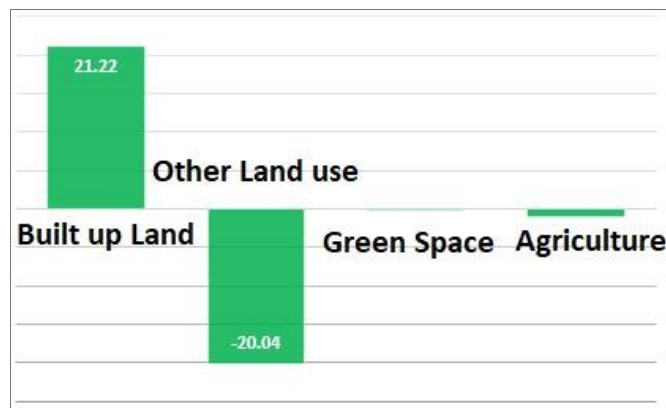
شکل ۱۰- نمودار روند تغییرات از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱
Fig. 10. Changes Chart from 2000 to 2011

چیزی معادل با ۱۶۲۷ هکتار است. در حالی که تراکم سایر کاربری‌ها در سال ۲۰۰۰ با مساحت ۱۸۷۸۷ هکتار معادل ۶۷ درصد به مساحت ۱۶۸۶۶ هکتار معادل ۶۰ درصد در سال ۲۰۱۱ رسیده است که در کل درصد تغییرات نسبی آن با شیب تغییرات منفی هفت درصد چیزی معادل با ۱۹۲۰ هکتار است.

همان‌طور که در جدول ۶ و نمودار ۱۰ مشاهده می‌شود در طی دوره زمانی ۱۱ ساله بین ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱، فضاهای ساخته شده دارای روندی مثبت و رو به افزایش است و در پی آن اراضی بایر در حال کاهش هستند که تراکم فضاهای ساخته شده در سال ۲۰۰۰ با مساحت ۶۴۹۸ هکتار معادل ۲۳ درصد به مساحت ۸۱۲۵ هکتار معادل ۲۹ درصد در سال ۲۰۱۱ رسیده است که در کل درصد تغییرات نسبی آن شش درصد

جدول ۷- روند تغییرات از ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۱
Table 7. Changes Trend from 1975 to 2011

Land use Class	Changes from 1975 to 2011	
	Change Area (Hectare)	Percentage of relative changes
Built up Land Class	5959.08	21.22
Others	-5627.16	-20.04
Green Space Class	-29.16	-0.10
Agriculture Class	-302.76	-1.08



شکل ۱۱- نمودار روند تغییرات از ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۱
Fig. 11. Changes Chart from 1975 to 2011

نتیجه‌گیری

از آنجاکه در اغلب مطالعات برای پایش کاربری اراضی از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های متفاوت استفاده می‌شود، پژوهش حاضر نیز با هدف پایش پوشش و کاربری اراضی محدوده غرب تهران با دقت بالای طبقه‌بندی از طریق مدل مبتنی بر الگوریتم DT و تلفیق نتایج طبقه‌بندی حداکثر احتمال با آن به انجام رسید. برای انجام تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه سنجنده TM و MSS ماهواره لندست و داده‌های کمکی استفاده شده و پس از تهیه نقشه کاربری اراضی هر دوره زمانی، نقشه تغییرات پوشش و کاربری اراضی استخراج شد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که داده‌های سنجنش‌زدور همراه با فن‌های طبقه‌بندی ترکیبی از توانایی بالایی در استخراج انواع نقشه‌های کاربری اراضی و همچنین ارزیابی تغییرات کاربری برخوردارند و همچنین پتانسیل داده‌های سنجنده MSS و TM ماهواره لندست را به‌عنوان یک ابزار مناسب و اقتصادی برای تصویر نمودن و تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی در طی زمان نشان می‌دهد که از این داده‌ها یا داده‌های جانشین آن یعنی ETM+ و Advanced Land Imager یا ALI می‌توان به‌عنوان ورودی‌هایی برای مدیریت سرزمین و سیاست‌گذاری‌ها استفاده کرد.

همچنین نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که استفاده از روش شاخه‌ای یا چندمرحله‌ای برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، دارای مزایایی از جمله کاستن زمان پردازش، بهبود صحت طبقه‌های تعلیم کوچک، به‌کارگیری منابع متفاوتی از داده‌ها، مجموعه‌های مختلف از ویژگی‌ها و حتی الگوریتم‌های متفاوت در هر مرحله از تصمیم‌گیری است. همچنین، نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که شاخص‌های پوشش گیاهی با در نظر گرفتن حد آستانه، با دقت بالایی پوشش گیاهی را از پوشش غیر گیاهی و اراضی کشاورزی را از فضای سبز مجزا می‌نمایند. در مرحله پایانی، اراضی ساخت‌وساز شده از بایر با به‌کارگیری مشترک شاخص ساخت‌وساز، نتایج طبقه‌بندی حداکثر احتمال و مقادیر شیب و ارتفاع به‌خوبی جدا شدند که

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، تراکم فضاهای ساخت‌وساز شده طی دوره زمانی ۳۶ ساله دارای روندی مثبت و رو به افزایش است و در پی آن سایر اراضی در حال کاهش هستند که تراکم فضاهای ساخت‌وساز شده در سال ۱۹۷۵ با مساحت ۲۱۶۶ هکتار معادل هشت درصد به مساحت ۸۱۲۵ هکتار معادل ۲۹ درصد در سال ۲۰۱۱ رسیده است که در کل درصد تغییرات نسبی آن ۲۲ درصد چیزی معادل با ۵۹۵۹ هکتار است.

با بررسی تغییرات کاربری اراضی در غرب شهر تهران از سال ۱۹۷۵ تا سال ۲۰۱۱ که در نقشه‌های بالا نمایش داده شده است، می‌توان گفت که با توسعه شهرنشینی و افزایش نیاز افراد به خدمات مختلف و نبود فضای کافی برای جوابگویی به این نیازها فضاهای باز و سبز غرب شهر تهران تخریب شده و جایگزین کاربری‌های مختلف شده است. کاربری‌های جایگزین شامل کاربری‌های اداری، درمانی، اداری، آموزشی، فرهنگی، عمومی و تفریحی و مسکونی است. حال با توجه به کاهش فضای‌های سبز در طی سالیان اخیر و رشد جمعیت تهران در غرب همزمان با آن، مشکلات زیست محیطی فراوانی به‌وجود آمده است که از آن جمله می‌توان به افزایش آلودگی هوا، آلودگی صوتی، جزایر گرمایی و غیره اشاره کرد که موجب کاهش کیفیت زیست محیطی شده است. در واقع شهرنشینی و تشدید روند ساخت و ساز در غرب شهر تهران، انبوهی از جمعیت‌های انسانی را در محیط‌های محدود، متراکم و ساکن کرده است، از طرفی از میان رفتن منابع و فضای طبیعی در غرب کلان‌شهر تهران به منظور احداث فضاهای مسکونی علاوه بر کاهش کیفیت محیط زیست شهری، موجب افزایش سطح زیر پوشش محله‌های مسکونی و کمبود زمین برای ایجاد فضاهای افقی شده است. لذا، با توجه به نتایج حاصل از پردازش داده‌های سنجنش از دور طی بازه ۳۶ ساله از ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۱، کاملاً آشکار است که روند توسعه بسیار شتاب داشته و به تخریب منابع طبیعی منطقه منجر شده است و باید نتایج این تحلیل در برنامه ریزی‌های آینده استفاده شود.

حاکمی از انعطاف‌پذیری بالای مدل طراحی شده مبتنی بر الگوریتم DT در استفاده از منابع متفاوت داده‌ها و الگوریتم‌های مختلف است.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از کلیه افرادی که در ارتقای کیفیت مقاله نقش مؤثری ایفا کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع مورداستفاده

- Ahmadi Nadoushan, M., Soffianian, A., Khajeddin, S.J., 2010. Land cover mapping of Arak city using artificial neural network and maximum likelihood classifiers. *Physi. Geogra. Res.* 69, 83-98 (in Persian).
- Alavipanah, S.K., Masoudi, M., 2000. Land use mapping using landsat TM and Geographic Information System (GIS), a case study: Mouk region of Fars Province. *J. Agri. Sci. Nat. Resour.* 8(1), 65-76 (in Persian).
- Alavipanah, S.K., Matinfar, H.R., Sarmadian, F., 2005. Application of satellite data assessment of time saving. *Waste Prevention Methods of National Resources Conference, IRI Academy of Sciences*, 425-430 (in Persian).
- Alberti, M., Botsford, E., Cohen, A., 2001. Quantifying the urban gradient: linking urban planning and ecology. In *Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World*, 89-115, Springer US.
- Alberti, M., Weeks, R., Coe, S., 2004. Urban land-cover change analysis in central Puget Sound. *Photogra. Engin. Remote Sens.* 70(9), 1043-1052.
- Ayala-Silva, T., Brown, J.S., Schnell, R.J., Moore, J.M., Tondo, C.L., Winterstein, M.C., 2009. Broad-sense heritability estimates for fruit color and morphological traits from open-pollinated half-sib mango families. *HortScience* 44(6), 1552-1556.
- Berberoglu, S., Akin, A., 2009. Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the Eastern Mediterranean. *Int. J. Applied Earth Observ. Geo Inform.* 11, 46-53.
- Binh, T.N.K.D., Vromant, N., Hung, N.T., Hens, L., Boon, E.K., 2005. Land cover changes between 1968 and 2003 in Cai Nuoc, Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Environ. Develop. Sustain.* 7, 519-536.
- Congalton, R.G., Green, K., 1999. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices*, Boca Rotan, Florida' Lewis Publishers.
- Darvish sefat, A.A., Shetaii, Sh., 1997. Forest mapping using landsat TM data by digital methods. *J. Iran Nat. Resour.* 50, 39-45 (in Persian).
- Díaz-Caravantes, R.E., Sánchez-Flores, E., 2011. Water transfer effects on peri-urban land use/land cover: a case study in a semi-arid region of Mexico. *Applied Geogr.* 31(2), 413-425.
- Dupouey, J.L., Dambrine, E., Laffite, J.D., Moares, C., 2002. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology* 83(11), 2978-2984.
- El-Kawy, A., Abd, O.R., Rød, J.K., Ismail, H.A., Suliman, A.S., 2011. Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. *Applied Geogr.* 31(2), 483-494.
- Fatemi, S.B., Rezaii, Y., 2007. *Fundamentals of remote sensing*. Azadeh Publication, Tehran (in Persian).
- Gharagozlu, A., Noori Kermani, A., Keshmiri, Z., 2009. Assessment of physical changes and analyzing of urban development by using GIS/RS and high resolution satellite images, a case study: Tehran, District 5. *J. Environ. Sci. Techno.* 11(1) (in Persian).
- Goetz, S.J., Jantz, C.A., Prince, S.D., Smith, A.J., Varlyguin, D., Wright, R.K., 2004. Integrated analysis of ecosystem interactions with land use change: the Chesapeake Bay Watershed. *Ecosyst. Land Use Change* 263-275.
- Huete, A.R., 1988. A soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* 25, 295-309.
- Kandrika, S., Roy, P.S., 2008. Land use land cover classification of Orissa using multi-temporal IRS-P6 awifs data: a decision tree approach. *Int. J. Applied Earth Observ. Geo Inform.* 10, 186-193.
- Kaya, S., Curran, P.J., 2006. Monitoring urban growth on the European side of the Istanbul metropolitan area: a case study. *Int. J. Applied Earth Observ. Geoinform.* 8(1), 18-25.

- Koh, C.N., Lee, P.F., Lin, R.S., 2006. Bird species richness patterns of northern Taiwan: primary productivity, human population density, and habitat heterogeneity. *Divers. Distrib.* 12(5), 546-554.
- Lawrence, R.L., Wright, A., 2001. Rule-based classification systems using classification and regression tree (Cart) analysis. *Photogram. Engin. Remote Sens.* 67, 1137-1142.
- Mahmoodzadeh, H., 2006. Assessment and zoning degree of physical fitness in Tabriz using GIS. Geometrics Conference, Tehran, National Cartographic Center (in Persian).
- Mashhadizadeh Dehaghani, N., 2003. Analysis of the characteristics of urban planning in Iran. Tehran, University of Science and Technology, Third Edition.
- Mather, P.M., 1999. Computer processing of remotely sensed images. 2nd Edition, John Willey and Sons.
- Mojtahedzadeh, Gh.H., 1999. Sustainable urban management-strategies for sustainable urban management. Proceedings of the Seminar on Sustainable Urban Management, Tabriz (in Persian).
- Mui, J.K., Fu, K.S., 1980. Automated classification of nucleated blood cells using a binary tree classifier. *PAMI.* 2, 429-443.
- Nagendra, H., Rocchini, D., 2006. High-resolution satellite imagery for tropical biodiversity studies: the devil is in the detail. *Biodivers. Conserv.* 17(14), 3431-3442.
- Parivar, P., 2009. Analysis of ecological structure of Tehran landscape to develop restoration and enhanced environmental quality strategies. *J. Environ. Studies*, 35(51), 45-56 (in Persian).
- Pelorusso, R., Leone, A., Boccia, L., 2009. Land cover and land use change in the Italian central Apennines: a comparison of assessment methods. *Applied Geogra.* 29(1), 35-48.
- Rasul, I., Wilson, S.R., MacRae, H., Irwin, S., Greenberg, G.R., 2004. Clinical and radiological responses after infliximab treatment for perianal fistulizing Crohn's disease. *The American J. Gastroentero.* 99(1), 82-88.
- Richards, J.A., Jia, X., 2006. Remote sensing digital image analysis: an introduction. Springer-Verlag, Berlin.
- Rozenstein, O., Karnieli, A., 2011. Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. *Applied Geogra.* 31(2), 533-544.
- Schowengerdt, R.A., 1997. Remote sensing: models and methods for image processing. Academic press.
- Schulz, K.F., Altman, D.G., Moher, D., 2010. Consort 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMC medicine*, 8(1), 18.
- Sesnie, S.E., Paul, E., Gessler, B., Finegan, S., 2008. Integrating landsat TM and SRTM-DEM derived variables with decision trees for habitat classification and change detection in complex neotropical environments. *Remote Sens. Environ.* 112, 2145-2159.
- Swain P.H., Hauska, H., 1977. The decision tree classifier: design and potential. *Geosci. Electro.* GE-15, 142-147.
- Tehran Municipality. 2014. Municipality Information Website (in Persian).
- Vogelmann, J.E., 2001. Completion of the 1990s national land cover data set for the conterminous United States from landsat thematic mapper and ancillary data sources. *Photogram. Engin. Remote Sens.* 67, 650-662.
- Wu, Q., Li, H.Q., Wang, R.S., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, Z., 2006. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape Urban plan.* 78(4), 322-333.
- Wyman, M., Stein, T., 2010. Examining the linkages between community benefits, place-based meanings, and conservation program involvement: a study within the Community Baboon Sanctuary, Belize. *Soci. Nat. Resour.* 23(6), 542-556.
- Yang, X., Lo, C.P., 2002. Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *Int. J. Remote Sens.* 23(9), 1775-1798.
- Yong, Z., Shao-xiang, Y., 2003. An effective approach to automatically extract urban land-use from TM imagery. *J. Remote Sens.* 7(1), 37-40.