

بررسی الگوهای توسعه در شهر ساری با استفاده از رهیافت اکولوژی سیمای سرزمین

علی عسگریان^۱، بهمن جباریان امیری^{۲*}، افشین علیزاده شعبانی^۳، جهانگیر فقهی^۴

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع طبیعی - محیط زیست، دانشگاه تهران

۲. استادیار گروه منابع طبیعی - محیط زیست، دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه منابع طبیعی - محیط زیست، دانشگاه تهران

۴. دانشیار گروه منابع طبیعی - جنگلداری، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۶/۱۷)

چکیده

توسعه شهرها یکی از پدیده‌های مهم اقتصادی و اجتماعی است که تأثیرات بسیار زیادی بر عملکرد سامانه‌های اکولوژیکی به جا می‌گذارد. از این رو بررسی و تحلیل الگوهای رشد و توسعه شهرها با استفاده از فنون سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌های سیمای سرزمین نقش مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی شهرها و کاهش تخریب محیط زیست به عهده دارند. پژوهش حاضر نیز در این راستا به بررسی الگوهای رشد و توسعه شهر ساری و بخش‌هایی از پیرامون آن پرداخته است. بدین منظور با پردازش تصاویر چندزمانه لندست در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۷۷، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۹، نقشه‌های کاربری/پوشش زمین در منطقه مطالعه شده تهیه شد. سپس با استفاده از روش پس از طبقه‌بندی (روی هم‌گذاری نقشه‌ها)، کاربرد مجموعه‌ای از سنجش‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس (شامل سنجش‌های ED، MPS، PD، LPI، ENN و توسعه سنجش R در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3) در سطح لکه، به بررسی تغییرات کاربری سکونتگاهی و الگوهای توسعه آن پرداخته شد. نتایج حاصل از این پژوهش نمایانگر توسعه کاربری سکونتگاهی در منطقه مطالعه شده در سال‌های اخیر است که با رشد لکه‌های قدیمی توسعه یافته (افزایش مقادیر ED، MPS، LPI و کاهش P و ENN)، کاهش الگوی رشد درونی کاهش و در پی آن افزایش الگوی رشد بیرونی همراه بوده است.

کلیدواژگان: آشکارسازی تغییرات، اکولوژی سیمای سرزمین، ساری، سنجش از دور.

۱. مقدمه

روش‌های پس از طبقه‌بندی قرار دارند (Tang *et al.*, 2008). روش‌های بر پایه تابش بیشتر در سیمای طبیعی سرزمین کاربرد دارند و در آن‌ها از جبر نقشه‌های^۲ چندزمانه مانند آنالیز رگرسیون و تفریق نقشه‌ها استفاده می‌شود. خروجی روش‌های بر پایه تابش به صورت باینری (دودویی) است و تنها تغییرات را از غیرتغییرات مشخص می‌کند و توجهی به ماهیت تغییرات ندارد. روش‌های پس از طبقه‌بندی نیز بر این اصل استوارند که با هم‌پوشانی نقشه‌های طبقه‌بندی شده در زمان‌های مختلف می‌توان نحوه بروز تغییرات را تعیین و محاسبه کرد. در روش‌های پس از طبقه‌بندی علاوه بر بزرگی تغییرات، ماهیت تغییرات نیز مشخص می‌شود (Tang *et al.*, 2008; Jensen, 1996).

از سوی دیگر استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین ابزاری مفید در تحلیل و بررسی خصوصیات مکانی پوشش سرزمین به حساب می‌آید (Farina, 2006). سنج‌های سیمای سرزمین در اواخر دهه ۱۹۸۰ براساس نظریه تئوری اطلاعات ارائه شدند (Herold *et al.*, 2005) و تا کنون در زمینه‌های متعددی از جمله مدیریت و ارزیابی منابع آب (Amiri & Nakane, 2009)، ارزیابی تغییرات کاربری و پوشش زمین (TalebiAmiri *et al.*, 2009; Fitchera *et al.*, 2012)، مدیریت سرزمین (Mitsova *et al.*, 2009)، ارزیابی و مدیریت زیستگاه‌های حیات وحش (Jackson *et al.*, 2005)، تعیین مناطق حفاظتی (Sheikh Goodarzi *et al.*, 2012) استفاده شده‌اند. همچنین سنج‌های سیمای سرزمین ابزاری قدرتمند در توصیف و تحلیل تغییرات کاربری/پوشش شهری محسوب می‌شوند و می‌توانند برخی جنبه‌های پنهان تغییر سیمای شهرها را آشکار کنند. این جنبه‌ها در مطالعات گوناگونی برای تحلیل رشد شهرها بررسی شده‌اند و در برخی موارد ارتباط آن‌ها با فرایندهای

محیط زیست اجزا و سامانه‌های به هم پیوسته زیادی دارد و تغییرات کاربری/پوشش سرزمین یکی از عوامل مهم مؤثر بر این سامانه‌های اکولوژیکی است (Mondal & Southworth, 2010). در بین تغییرات کاربری/پوشش سرزمین، توسعه شهرها و تأثیرات متعاقب آن در سیمای سرزمین تحت تأثیر فعل و انفعالات پیچیده فاکتورهای ساختاری و عملکردی مرتبط با رشد جمعیت، سیاست و توسعه اقتصادی از عوامل مهم تغییردهنده پوشش زمین به‌شمار می‌آیند (Tang *et al.*, 2006; Matsushita *et al.*, 2008) و تأثیرات بسیار زیادی بر روی عملکرد اکوسیستم‌ها به جا می‌گذارند (Costanza *et al.*, 1997; Dosskey 2001; Randolph, 2004). در ایران رشد جمعیت و افزایش تمایل به شهرنشینی به دلیل تمرکز بیش از حد فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی در شهرها موجب شد تا در ۴۰ سال گذشته، جمعیت ایران بیش از ۴۰ میلیون نفر و میزان شهرنشینی حدود ۴۰ درصد افزایش یابد (Iranian Bureau of Statistics, 2011). با این حال رشد شهرها در ایران از سویی به دلیل نرخ بالای رشد جمعیت و از سوی دیگر به دلیل تناسب‌نداشتن توسعه آن‌ها با گسترش زیرساخت‌ها و توان تجهیز فضاهای شهری اهمیتی دوچندان پیدا کرده است (Mozaffari & Ola, 2007; zadeh, 2007).

امروزه سنجش از دور منبع بالارزشی از اطلاعات برای نقشه‌سازی کاربری/پوشش زمین شهری و پایش محیط زیستی آن‌ها و نیز فاکتوری کلیدی در مدیریت و برنامه‌ریزی شهری محسوب می‌شود و بر این اساس روش‌های زیادی برای آشکارسازی و پایش آن‌ها توسعه داده شده است (Zhang *et al.*, 2002). روش‌های آشکارسازی تغییرات در دو گروه روش‌های بر پایه تابش^۱ و

2. Map algebra

1. Spectrum based

شهرستان ساری جمعیتی بیش از ۲۷۰ هزار نفر و نرخ رشد سالانه برابر با ۲/۸۸ درصد دارد. دمای متوسط سالانه شهر ساری ۱۸/۹ درجه سانتی‌گراد و مجموع بارندگی سالانه آن بیش از ۵۰۰ میلی‌متر است (Iranian Bureau of Statistics, 2010). وجود شهرک‌های صنعتی، خطوط راه‌آهن و نیز تمرکز مراکز اداری در این شهر موجب شده است تا در طول چهار دوره سرشماری مرکز آمار ایران به عنوان شهر برتر جایگاه خود را تثبیت کند (Toolaei & Khazaei, 2006).

از آنجاکه محدوده سیاسی شهر ساری به‌خوبی گویای تغییرات توسعه در شهر ساری و پیرامون آن نیست، از طریق پیمایش‌های میدانی و بررسی تغییرات کاربری/ پوشش زمین به‌خصوص تغییرات کاربری سکونتگاهی در منطقه مطالعه‌شده، محدوده به شکل دایره با مساحت ۲۵۰ هزار هکتار (شعاع ۹ کیلومتر) با نقطه کانونی واقع بر مرکز شهر ساری (طول ۵۳/۰۵ شرقی و عرض ۳۶/۵۵ شمالی) از تصاویر جدا شد تا الگوهای رشد شهر در منطقه مطالعه‌شده به‌خوبی بررسی شود. شکل ۱ نشان‌دهنده منطقه مطالعه‌شده است.

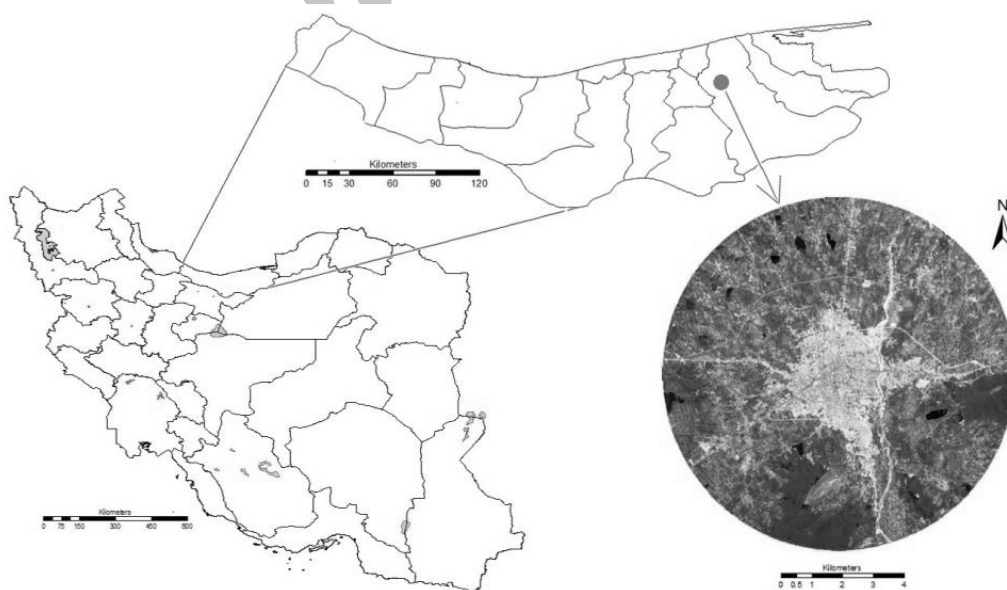
اکولوژیکی (Miller *et al.*, 1998; Yang & Lo, 2002) و معیارهای اقتصادی-اجتماعی (Tang *et al.*, 2007; Kong *et al.*, 2005) تحلیل و بررسی شده است.

درک پویایی سیستم‌های پیچیده شهری و ارزیابی آثار توسعه شهری بر محیط زیست از جمله مسائل پیش روی پژوهشگران در زمینه مدیریت و حفاظت از محیط زیست است (Turner *et al.*, 1993). از این‌رو در این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات شهر ساری از تصاویر چندزمانه ماهواره لندست در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۷۷، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۹ استفاده شد تا با تهیه نقشه کاربری/ پوشش سرزمین در منطقه مطالعه‌شده، به تحلیل و بررسی میزان تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین در شهر ساری (با استفاده از مجموعه‌ای از سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس) و تعیین میزان توسعه پراکنده آن (با استفاده از سنجه R در سطح لکه) پرداخته شود.

۲. موارد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مطالعه‌شده

شهر ساری به‌منزله مرکز استان مازندران و نیز مرکز



شکل ۱. منطقه مطالعه‌شده: استان مازندران، شهر ساری

۲.۲. داده‌های استفاده‌شده

در این پژوهش براساس کیفیت تصاویر در دسترس از ماهواره لندست، وجودنداشتن پوشش ابر بر روی منطقه مطالعه‌شده و منابع موجود برای ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل از پردازش تصاویر، تعداد ۴ تصویر در خردادماه سال‌های ۱۳۷۱،

۱۳۷۷، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۹ انتخاب شد (جدول ۱). همچنین از عکس‌های هوایی سال ۱۳۷۳، تصویر ماهواره‌ای اسپات ۴ در بهمن ۱۳۷۷ و نقاط برداشت‌شده توسط دستگاه GPS در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ برای ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل از پردازش تصاویر استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده

ماهواره	سنجنده	ردیف و گذر	منبع	تاریخ	
				خورشیدی	میلادی
لندست (۴)	TM	۱۶۳/۳۵	USGS ^۱	۲۹ خرداد ۱۳۷۱	۱۹ ژوئن ۱۹۹۲
لندست (۵)	TM	۱۶۳/۳۵	USGS	۲۲ خرداد ۱۳۷۷	۱۲ ژوئن ۱۹۹۸
لندست (۷)	ETM+	۱۶۳/۳۵	USGS	۹ خرداد ۱۳۸۱	۳۰ می ۲۰۰۲
لندست (۵)	TM	۱۶۳/۳۵	USGS	۷ خرداد ۱۳۸۹	۲۸ می ۲۰۱۰

۳.۲. روش کار

پس از جداسازی منطقه مطالعه‌شده از تصاویر، برای جبران انحراف‌ها و خطاهای به‌وجودآمده از حرکت ماهواره و زمین هنگام تصویربرداری (Alavipanah, 2003)، عمل تصحیح هندسی تصاویر به‌منظور انطباق آن‌ها با واقعیت زمینی انجام شد. بدین منظور از معادله چندجمله‌ای درجه اول و عمل بازنمونه‌گیری تصاویر با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. تصحیحات رادیومتریک نیز با استفاده از معادلات ارائه‌شده توسط Chandler و همکاران (۲۰۰۹) و اطلاعات موجود در فایل هیدر تصاویر لندست صورت گرفت. پس از اعمال پیش‌پردازش‌ها، براساس روش طبقه‌بندی Anderson و همکاران (۱۹۷۳)، تعداد ۵ طبقه کاربری/پوشش سرزمین شامل کاربری سکونتگاهی، کشاورزی، پوشش آب، جنگل و بایر شناسایی و از روش طبقه‌بندی هیبرید برای پردازش تصاویر به این طبقات استفاده شد. بدین‌منظور برای جداسازی پوشش جنگل و کاربری کشاورزی از شاخص تفاوت

نرمال‌شده گیاهی (NDVI)^۲ و تعیین حدود آستانه برای هر طبقه استفاده شد. شاخص (NDVI) یکی از شاخص‌های متداول مربوط به پوشش گیاهی است که با استفاده از باندهای قرمز (Xred) و مادون قرمز نزدیک (Xnir) و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Arnoff, 2011).

$$NDVI = \frac{X_{nir} - X_{red}}{X_{nir} + X_{red}} \quad (1)$$

برای جداسازی پوشش آب از شاخص تفاضل نرمال‌شده آب (NDWI)^۳ استفاده شد. این شاخص با استفاده از باندهای سبز (Xgreen) و مادون قرمز نزدیک (Xnir) و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Jafari et al., 2010).

$$NDWI = \frac{X_{green} - X_{nir}}{X_{green} + X_{nir}} \quad (2)$$

از روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال نیز برای جداسازی کاربری سکونتگاهی و پوشش بایر از یکدیگر استفاده شد تا نقشه‌های کاربری/پوشش زمین در سال‌های مورد پژوهش تهیه شود. نمونه‌های آموزشی برای کلاس کاربری سکونتگاهی

1. The U.S. Geological Survey and Science (EROS) Center, <http://glervis.usgs.gov>.

2. Normalized difference vegetation index
3. Normalized difference water index

متوسط لکه (MPS)^۴ و شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)^۵ استفاده شد تا ۴ خصوصیت اصلی سیمای کاربری سکونتگاهی شامل اندازه، تراکم، حاشیه و جداافتادگی محاسبه شود. این سنج‌ها تا کنون در مطالعات بسیاری به‌منظور بررسی خصوصیات و ویژگی رشد شهر و اثرات متعاقب آن در سیمای سرزمین استفاده شده است (Sun *et al.*, 2013; Aguilera *et al.*, 2011; DiBari, 2007, Herold *et al.*, 2005). جدول ۲ نمایانگر توصیف سنج‌های استفاده‌شده در این پژوهش است.

همچنین علاوه بر کاربرد روش پس از طبقه‌بندی و استفاده سنج‌های یادشده، از سنج R (Sun *et al.*, 2013) نیز برای بررسی الگوهای رشد شهری در منطقه مطالعه‌شده استفاده شد. الگوهای رشد شهر برای اولین بار توسط فورمن در سال ۱۹۹۵ برای توصیف رشد شهر ارائه شد که شامل سه نوع رشد شهر است (Shi *et al.*, 2012). اولین الگو، الگوی رشد درونی^۶ است (شکل ۲ - الف). رشد درونی به الگویی از تغییرات در ساختار سیمای سرزمین اشاره دارد که براساس آن یک فضای خالی^۷ در درون یک لکه قدیمی شهری، توسط لکه‌های توسعه‌یافته اشغال می‌شود. دومین الگوی رشد شهر، رشد حاشیه‌ای^۸ است (شکل ۲ - ب). در این نوع الگوی رشد شهر، لکه‌های جدید به‌وجودآمده در حاشیه لکه‌های قدیم شهری به وجود می‌آید و سومین الگو، الگوی رشد بیرونی^۹ است (شکل ۲ - ج) که در آن لکه‌های توسعه‌یافته به‌صورت مجزا از لکه‌های قدیمی توسعه می‌یابند (Shi *et al.*, 2012; Xu *et al.*, 2007). شکل ۲ الگوهای سه‌گانه توسعه شهر را نشان می‌دهد.

از طریق باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴) لندست و برای کلاس بایر از طریق آشنایی قبلی با مناطق بایر (مسیر رودخانه تجن) و رنگ سفید روشن این کلاس در ترکیب رنگی حقیقی تهیه شد. درنهایت با مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده در سال‌های ۱۳۸۹ با واقعیت‌های زمینی، نقشه سال ۱۳۸۱ با استفاده از نقاط برداشت‌شده توسط دستگاه GPS در سال ۱۳۸۳، نقشه سال ۱۳۷۷ با استفاده از نقاط برداشت‌شده از تصویر ماهواره اسپات ۴ در سال ۱۳۷۷ (فوریه ۱۹۹۹) و نقشه کاربری/ پوشش سال ۱۳۷۱ با نقشه توپوگرافی سال ۱۳۷۳ با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (تهیه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور)، ماتریس خطا برای محاسبه صحت کلی و ضریب کاپا تشکیل شد.

مقایسه پس از طبقه‌بندی یکی از روش‌های معمول برای آشکارسازی تغییرات حاصل از پردازش تصاویر چندزمانه است (Tang *et al.*, 2005) که در آن با مقایسه دو نقشه مستقل طبقه‌بندی‌شده کاربری/ پوشش زمین در دو زمان متفاوت، میزان تغییر هر کلاس کاربری/ پوشش زمین به کلاس دیگر محاسبه می‌شود (Yang & Lo, 2002). بنابراین، پس از تهیه نقشه‌های کاربری/ پوشش زمین با عمل روی هم‌گذاری این نقشه‌ها، میزان تغییرات هر طبقه کاربری/ پوشش زمین به طبقه‌های دیگر محاسبه شد.

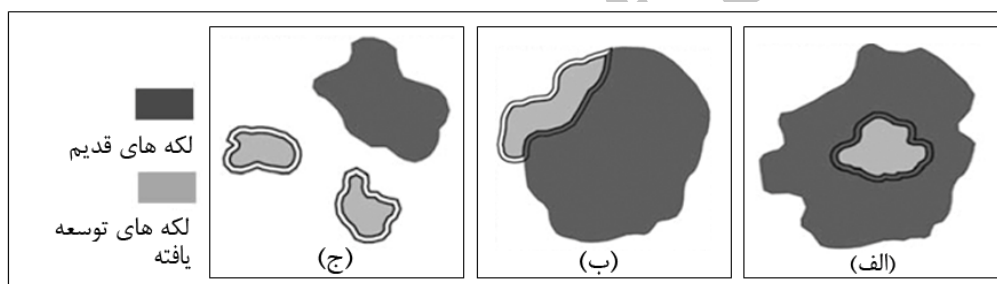
استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین، بهترین راه برای مقایسه وضعیت سیمای سرزمین طی زمان و ابزار مناسبی برای یافتن ارتباط دقیق بین ساختار و عملکرد کاربری‌های مختلف سیمای سرزمین است (Karami & Fegghi, 2010). از این‌رو علاوه بر کاربرد روش پس از طبقه‌بندی و عمل روی هم‌گذاری نقشه‌ها، از تعداد ۵ سنج سیمای سرزمین شامل سنج تراکم لکه (PD)^۱، تراکم حاشیه (ED)^۲، فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN)^۳، اندازه

4. Mean Patch Size (AREA-MN)
5. Largest patch index
6. Infilling
7. Gap/ Hole
8. Edge-expansion
9. Outlying

1. Patch Density
2. Edge Dendity
3. Euclidean Nearest-Neighbor distance

جدول ۲. توصیف سنجه‌های استفاده‌شده، منبع (UMASS, 2012)

خصوصیت سیما	نوع سنجه	رابطه	واحد	متغیر
اندازه	شاخص بزرگ‌ترین لکه	$\frac{\max_i \max_j (a_{ij})}{A} (1,0,0)$	درصد	a_{ij} = مساحت لکه ij (m^2) A = کل گستره سیمای سرزمین (m^2)
	متوسط اندازه لکه	$\frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$	هکتار	a_i = مساحت لکه‌های سکونتگاهی (m^2)، n = تعداد لکه‌های سکونتگاهی
تراکم	تراکم لکه	$\frac{n_i}{A} (1,0,0,0)$	تعداد در ۱۰۰ هکتار	n_i = تعداد لکه‌های کاربری سکونتگاهی، A = کل گستره سیمای سرزمین (m^2)
حاشیه	تراکم حاشیه	$\frac{E}{A} (1,0,0,0)$	بدون واحد	E = طول حاشیه کاربری سکونتگاهی (m) A = کل گستره سیمای سرزمین (m^2)
جدافتادگی	فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه	h_{ij}	متر	h_{ij} = فاصله لکه‌های کاربری سکونتگاهی از یکدیگر (m)



شکل ۲. الگوهای رشد: (الف) درونی؛ (ب) حاشیه‌ای و (ج) بیرونی

در این پژوهش برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای از نرم‌افزار ENVI 4.8، به منظور محاسبه سنجه‌ها از نرم‌افزار Fragstats 4.1 و برای توسعه سنجه R از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد.

۳. نتایج

۱.۳. پردازش تصویر

با جداسازی منطقه مطالعه شده از تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مورد پژوهش، پیش‌پردازش‌های اولیه شامل تصحیح هندسی و تصحیح رادیومتریک بر روی تصاویر انجام شد. با انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریک، کلیه تصاویر با میانگین مربع خطا^۱ کمتر از ۰/۴ به سیستم مختصات UTM، زون ۳۹

به منظور محاسبه الگوهای رشد شهر، سنجه R در محیط نرم‌افزار ArcGIS توسعه یافت. این سنجه نسبت محیط (حاشیه) لکه‌هایی که به تازگی توسعه یافته‌اند و محیط مشترک این لکه‌ها با لکه‌های قدیمی را محاسبه می‌کند (رابطه ۳).

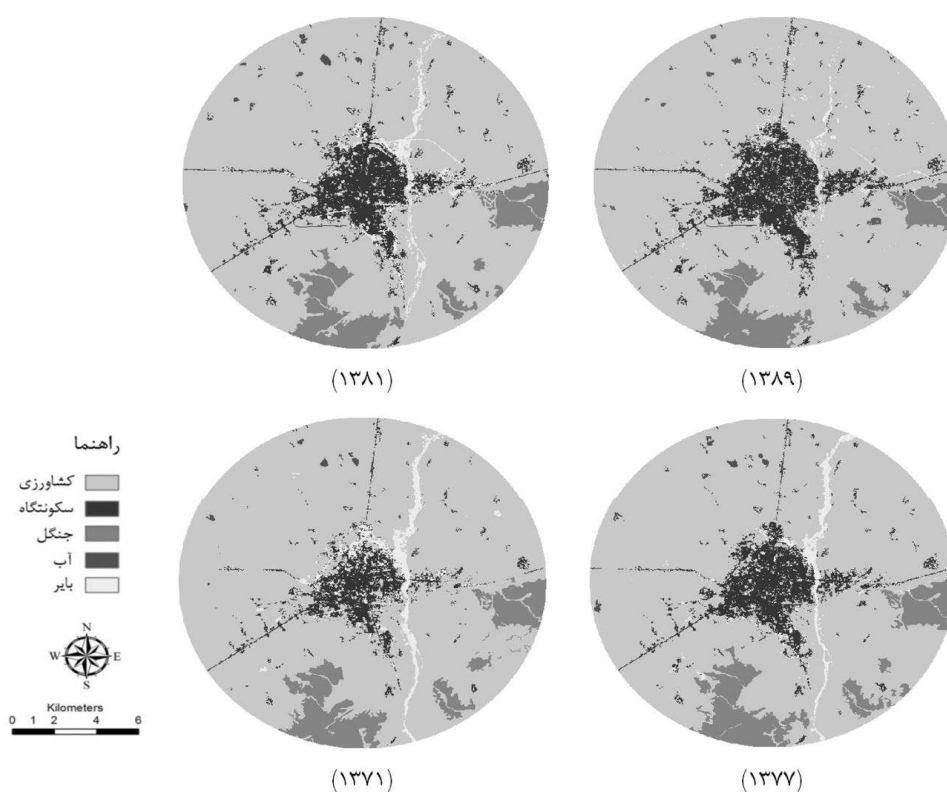
$$R = \frac{l_c}{l} \quad (3)$$

در این رابطه، l محیط لکه توسعه یافته و l_c محیط مشترک لکه‌های توسعه یافته و لکه‌های قدیمی است که مقادیر آن از صفر تا یک متغیر است. بر این اساس چنانچه مقادیر این سنجه برای لکه‌های توسعه یافته صفر شود، الگوی رشد شهر، درونی است. مقادیر صفر تا ۰/۵ رشد حاشیه‌ای و مقادیر ۰/۵ تا ۱ رشد بیرونی را نشان می‌دهد (Sun et al., 2013).

1. RMSE

ارزیابی صحت آن‌ها را نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده نقشه کاربری/ پوشش زمین سال ۱۳۸۹ و ۱۳۷۷ با ضریب کاپا و صحت کلی برابر با ۹۰ و ۹۴ درصد و ۸۵ و ۸۹ درصد به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین صحت طبقه‌بندی را نشان دادند.

شمالی و سیستم بیضوی WGS 1984 زمین مرجع و ارزش سلول‌ها به مقادیر بازتاب شدند. سپس با استفاده از روش هیبرید و اعمال فیلتر حداکثر ۳*۳ بر روی تصاویر نهایی پردازش شده، نقشه‌های کاربری/ پوشش زمین تهیه شدند. شکل ۳ و جدول ۳ نقشه‌های کاربری/ پوشش زمین و نتایج



شکل ۳. نقشه‌های کاربری/ پوشش زمین در شهر ساری

کشاورزی به کاربری سکونتگاهی و حدود ۴۸۰۰ هکتار حاصل تغییر پوشش بایر به کاربری سکونتگاهی بوده است. بیشترین میزان رشد کاربری سکونتگاهی در مقطع زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۷ (رشد سالیانه برابر با ۵۲۶ هکتار در سال) و کمترین آن در مقطع زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹ (رشد سالیانه برابر با ۳۲۵ هکتار در سال) به‌وقوع پیوسته است. جدول‌های ۴، ۵ و ۶ نتایج حاصل از تبدیل هر یک از طبقات کاربری/ پوشش زمین به طبقات دیگر در را به ترتیب در مقاطع زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۹، ۱۳۷۷-۱۳۸۱ و ۱۳۷۱-۱۳۷۷ را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقادیر ارزیابی صحت پردازش تصاویر ماهواره‌ای

سال	ضریب کاپا (%)	صحت کلی (%)
۱۳۸۹	۹۰	۹۴
۱۳۸۱	۸۷	۹۲
۱۳۷۷	۸۵	۸۹
۱۳۷۱	۸۹	۹۲

۲.۳. آشکارسازی تغییرات

وسعت کاربری سکونتگاهی از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۹ بیش از ۷۵۰۰ هکتار افزایش یافته است که از این مقدار، حدود ۲۷۰۰ هکتار حاصل از تغییر کاربری

جدول ۴. ماتریس تغییر کاربری / پوشش زمین (هکتار) در مقطع زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۹

۱۳۸۹					۱۳۸۱
کشاورزی	سکونتگاه	جنگل	آب	بایر	
۱۹۶۳۶۵	۹۶۰	۲۰۴۱	۴۰۹	۳۱۱۶	کشاورزی
۸۴	۲۰۶۲۷	۰	۰	۱۱۲	سکونتگاه
۲۲۵۰	۰	۱۴۹۳۲	۰	۰	جنگل
۵۹۱	۰	۰	۳۱۳	۱۶	آب
۴۱۴۸	۱۸۳۶	۰	۰	۲۲۰۰	بایر

جدول ۵. ماتریس تغییر کاربری / پوشش زمین (هکتار) در مقطع زمانی ۱۳۷۷-۱۳۸۱

۱۳۸۱					۱۳۷۷
کشاورزی	سکونتگاه	جنگل	آب	بایر	
۱۹۶۷۷۱	۷۵۹	۱۶۲۹	۴۸۱	۲۹۸۱	کشاورزی
۳۰	۱۹۱۲۹	۰	۰	۷۱	سکونتگاه
۳۰۴۰	۰	۱۵۵۵۳	۰	۰	جنگل
۳۶۴	۰	۰	۴۳۹	۰	آب
۲۶۸۶	۹۳۵	۰	۰	۵۱۳۲	بایر

جدول ۶. ماتریس تغییر کاربری / پوشش زمین (هکتار) در مقطع زمانی ۱۳۷۱-۱۳۷۷

۱۳۷۷					۱۳۷۱
کشاورزی	سکونتگاه	جنگل	آب	بایر	
۱۹۷۵۴۹	۱۲۵۸	۳۶۰۹	۴۱۲	۲۴۷۹	کشاورزی
۷۸	۱۵۶۷۱	۰	۰	۱۲۳	سکونتگاه
۲۷۸۳	۰	۱۴۹۸۴	۰	۰	جنگل
۲۳۴	۰	۰	۳۶۴	۰	آب
۱۹۷۷	۲۳۰۱	۰	۲۷	۶۱۵۱	بایر

۳.۳. تحلیل سیمای کاربری سکونتگاهی در سطح کلاس

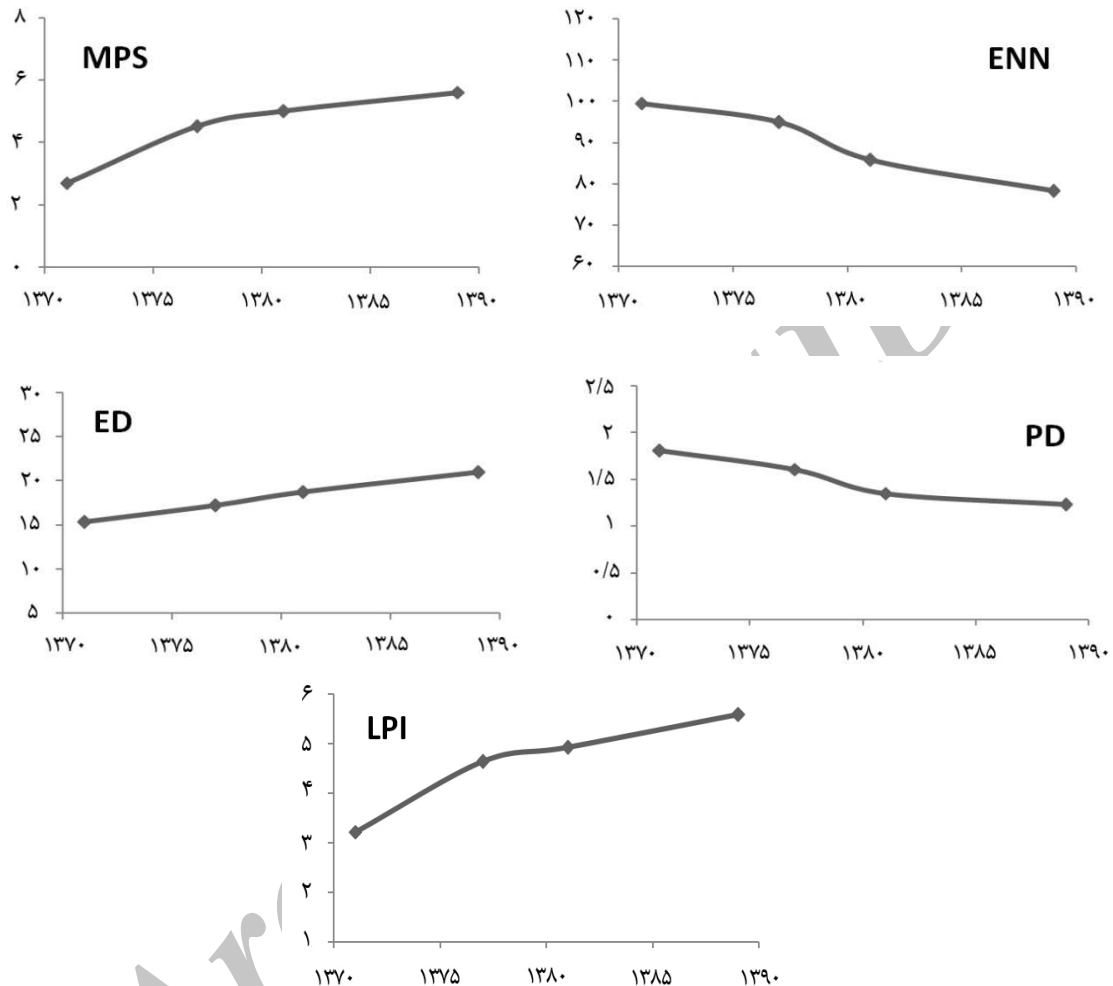
پس از استفاده از روش پس از طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات کاربری / پوشش زمین در سال‌های یادشده، کلیه تصاویر به محیط نرم‌افزار Fragstats 4.1 وارد و سنجه‌های ED، PD، ENN، MPS و LPI برای طبقه کاربری سکونتگاهی در سطح کلاس محاسبه شد. شکل ۴ نمایانگر روند تغییرات هر یک از سنجه‌هاست.

۴.۳. تحلیل سیمای کاربری سکونتگاهی در سطح لکه

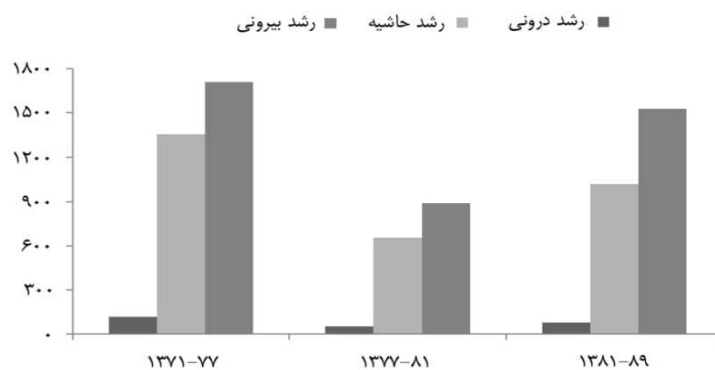
بر اساس نتایج حاصل از سنجه R، مقطع زمانی ۱۳۷۱-۱۳۷۷ با بیشترین نسبت الگوی رشد درونی (۳/۶۸ درصد، ۱۹/۵ هکتار در سال) و کمترین میزان الگوی رشد بیرونی (۵۳ درصد، ۲۸۴/۵ هکتار در سال) مواجه بوده است. این در حالی است که مقطع زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۹ بیشترین نسبت الگوی رشد بیرونی (۵۸ درصد، ۲۵۴/۵ هکتار در سال) را داشته است. همچنین

هر یک از الگوهای رشد شهری و در شکل ۶ نحوه چیدمان مکانی آن‌ها در مقطع زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹ مشخص شده است.

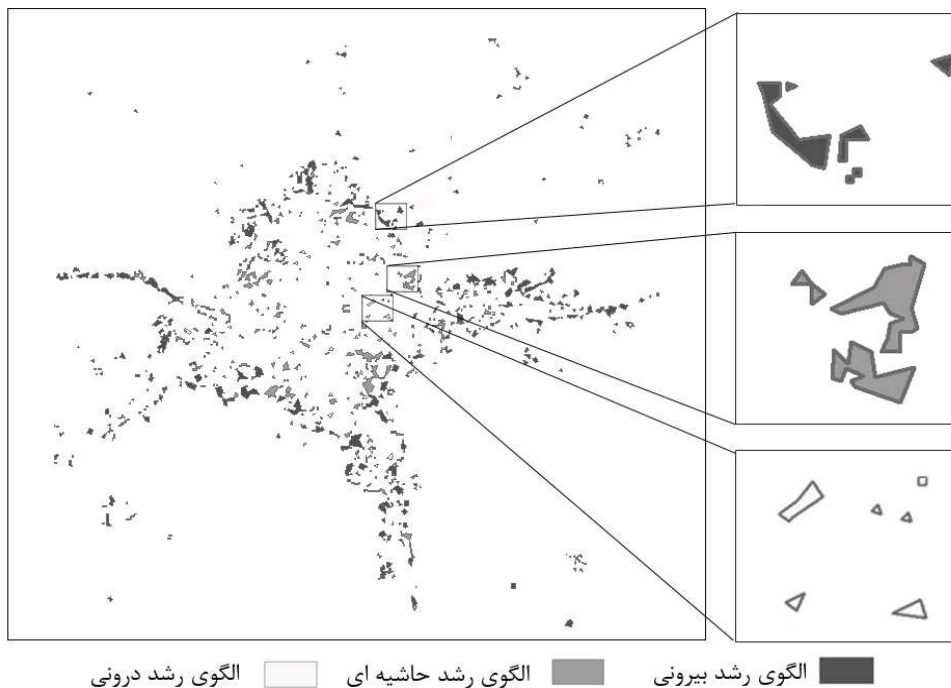
در مقطع زمانی ۱۳۷۷-۱۳۸۱ کمترین نسبت الگوی رشد درونی برابر با ۲/۰۷ درصد (۰/۰۳ هکتار در سال) رخ داده است. در شکل ۵ وسعت



شکل ۴. نمودار تغییرات سنج‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس



شکل ۵. مساحت الگوهای سه‌گانه رشد شهر در مقاطع زمانی مورد پژوهش



شکل ۶. نحوه چیدمان مکانی الگوهای سه گانه رشد شهر در مقطع زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹

۴. بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه با به کارگیری فنون آشکارسازی تغییرات و کاربرد مجموعه‌ای از سنجه‌های سیمای سرزمین به بررسی الگوهای توسعه شهر ساری پرداخته شد. همچنین از رهیافت اکولوژی سیمای سرزمین در سطح لکه، برای توصیف الگوهای توسعه کاربری سکونتگاهی استفاده شد. ترکیب نتایج حاصل از سه خروجی این مطالعه شامل آشکارسازی تغییرات، مطالعه سیمای کاربری سکونتگاهی در سطوح کلاس و لکه نشان‌دهنده توسعه یک‌سویه شهر ساری به‌منزله بزرگ‌ترین لکه سکونتگاهی در منطقه مطالعه شده است.

رشد شهر ساری در مقطع زمانی ۱۸ اگرچه با نرخ کاهشی ولی با توسعه هسته مرکزی (روند نزولی سنجه تراکم لکه) همراه بوده است. سنجه تراکم لکه شاخصی از همگنی سیمای سرزمین است و مقادیر پایین آن نشان از افزایش پراکنده‌روی کاربری سکونتگاهی و تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین دارد (Sun et al., 2013). کاهش مقادیر سنجه‌های تراکم لکه و فاصله اقلیدسی

نزدیک‌ترین همسایه به همراه افزایش مقادیر سنجه‌های تراکم حاشیه، شاخص بزرگ‌ترین لکه و سنجه میانگین اندازه لکه نشان از توسعه و افزایش مساحت لکه‌های کاربری سکونتگاهی موجود در منطقه مطالعه شده به دلیل افزایش جمعیت این شهر و مناطق هم‌جوار (Asgarian et al., 2014) آن دارد که طی آن لکه‌های موجود سکونتگاهی به‌خصوص لکه‌های هم‌جوار هسته مرکزی شهر ساری با یکدیگر ادغام شده‌اند و اتصالی ناموزون از توسعه را به وجود آورده‌اند.

در طول دوره مطالعه شده الگوی رشد درونی کاهش و الگوی رشد بیرونی افزایش یافته است. این موضوع نمایانگر کاهش تمرکز رشد سکونتگاهی در گروه‌های متمرکز و افزایش پدیده توسعه پراکنده است (Xu et al., 2007). از سوی دیگر، تغییر کاربری حاصل از الگوی رشد درونی، بیشترین نسبت تغییر پوشش بایر به کاربری سکونتگاهی را در بین سایر الگوهای رشد شهر داشته است (بیش از ۶۰ درصد)؛ درحالی‌که بیشترین نسبت تغییر کاربری کشاورزی به کاربری سکونتگاهی به دلیل الگوی رشد بیرونی بوده است

پدیده توسعه پراکنده اثرات متعددی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی است که از جمله این اثرات می‌توان به افزایش آلودگی منابع آب، خاک و هوا، افزایش مصرف انرژی و تشدید پدیده جزایر حرارت شهری، تغییر اقلیم، تخریب پوشش گیاهی، زمین‌های کشاورزی و همچنین اثرات منفی بر سلامت روحی و جسمی ساکنان شهرها اشاره کرد (Asgarian *et al.*, 2014).

اگرچه براساس نتایج حاصل از سایر مطالعات، شهر ساری از نظر وسعت کاربری سکونتگاهی به‌زای هر فرد هنوز با پدیده توسعه پراکنده شهری مواجه نشده است (Asgarian *et al.*, 2013)؛ ولی نظر به کمبود زمین‌های خالی در مرکز شهر و هزینه زیاد برای ساخت سکونتگاه در این مناطق، نیاز به گزینه‌هایی در حومه شهر برای ساخت سکونتگاه که در آن علاوه بر کنترل نوع تغییر کاربری به‌خصوص تخریب اراضی کشاورزی به‌دلیل افزایش الگوی رشد بیرونی، منجر به تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین نشود به‌شدت احساس می‌شود.

(بیش از ۸۰ درصد). با توجه به این نتایج این طور استنباط می‌شود که توسعه شهر ساری در طول زمان به‌دلیل حذف شدن فضاهای خالی دورن شهر (کاهش الگوی رشد درونی) به سمت حومه شهر (افزایش الگوی رشد بیرونی) و تخریب هرچه بیشتر زمین‌های کشاورزی در حال گسترش است. در سایر مطالعات انجام شده در این زمینه مانند مطالعه Sun و همکاران (۲۰۱۳) در شهر گوانژو^۱ و مطالعه Shi و همکاران (۲۰۱۲) در شهر لیونگانگ در کشور چین، رشد شهری روندی دوسویه را تجربه کرده است. الگوی رشد بیرونی در سال‌های اولیه این پژوهش‌ها، الگوی غالب توسعه شهری بود که دلالت بر افزایش توسعه پراکنده داشت ولی به‌دلیل به‌کارگیری سیاست‌های مربوط به کنترل توسعه پراکنده، الگوی رشد درونی در سال‌های بعدی به الگوی غالب توسعه شهری تبدیل و در نتیجه توسعه سکونتگاه‌ها در گروه‌های متمرکز شد. باید توجه داشت که افزایش الگوی رشد درونی و متعاقباً بروز

REFERENCES

1. Amiri, B.J., Nakane. K., 2009. Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the Chugoku District of Japan. Water resources management, Vol. 23, No. 5, pp: 931-956.
2. Aguilera, F., Valenzuela, L.M. and Botequiha-Leitao, A. 2011. Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. Landscape and Urban Planning, Vol. 99, No. 3-4, pp:226-238.
3. Alavipanah, S.K., 2003. Application of Remote Sensing in the Earth Sciences (soil). Tehran university publication, Tehran, 478. (In Persian).
4. Arnoff, A. 2011. Remote sensing for GIS managers. Tehran university press, Tehran, 710 p. (In Persian).
5. Asgarian A, Jabbarian Amiri B, Alizadeh Shabani A, Fegghi J. 2014. Predicting the spatial growth and urban sprawl in Sari, Iran using Markov Cellular Automata model and shannon entropy. Applied ecology. 3(6), 13-25.¹⁶
6. Asgarian, A., JabbarianAmiri, B., AlizadehShabani, A., Fegghi, J. 2013. Assessment of urban sprawl in Sari: Application of remote sensing and Shannon's antropy index. 20st national geomatics conference. National Cartographic Center (NCC). (In Persian).
7. Chander C, Markham B, and Helder D. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, 113, 893-903.
8. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V.,

1. Guangzhou

2. Lianyungang

- Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
9. DiBari, J.N. 2007. Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA. *Landscape and Urban Planning*, 79(3-4), 308-313.
10. Dosskey, M. 2001. Toward quantifying water pollution abatement in response to installing buffers on crop land. *Environmental Management*, 28, 577-598.
11. Fichera, C.R., Modica, G. and Pollino, M. 2012. Land Cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics. *European Journal of Remote Sensing*, 45, 1-18.
12. Herold, M., Couclelis, H. and Clarke, K. C. 2003. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Journal of Computers, Environment and Urban Systems*, 29(4), 369-399.
13. Iranian Bureau of Statistics. 2010. Statistical yearbook of Mazandaran province, Available from <http://www.amar.org.ir/Default.aspx?tabid=667&fid=11275&salname=02-98.pdf>. Accessed September 2012. in Persian.
14. Iranian Bureau of Statistics. 2011. *Census of Population and Housing*. Available on http://www.amar.org.ir/Portals/0/Files/abstract/1390/sarshomari90_nahaii.pdf. Accessed September 2012. in Persian.
15. Jackson, L.V., Laack, L.L. and Zimmerman, G.E. 2005. Landscape metrics associated with habitat use by ocelots in south Texas. *Journal of Wildlife Management*, 69(2), 733-738.
16. Jafari, H.R., Hamzeh, M., Nasiri H., Rafii, Y. 2011. Developing decision tree and data mining based conceptual model for detecting land cover changes using TM images and ancillary data. *Environmental sciences*, 8, 1-19. in Persian.
17. Jensen, J. 1996. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*, 2nd edn, Prentice-Hall, New Jersey.
18. Karami, A., Feghhi, J. 2010. Investigation of Quantitative metrics to protect the landscape in land use by sustainable pattern (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad). *Journal of Environmental Studies*, 60, 35-44. in Persian.
19. Kong, F., Yin, H. and Nakagoshi, N. 2007. Using GIS and landscape metrics in hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: a case study in Jinan city, China. *Journal of Landscape and Urban Planning*, 79(3-4), 240-252.
20. Matsushita, B., Xu, M., and Fukushima, T. 2006. Characterizing changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset. *Landscape and Urban Planning*, 78(3), 241-250.
21. McGarigal, K. and Marks, B. J. 1995. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
22. Miller, A.B., Bryant, E.S. and Birnie, R.W. 1998. An analysis of land cover changes in the northern forest of new England using multitemporal Landsat MSS data. *International Journal of Remote Sensing*, 19(2), 245-265.
23. Mitsova, D., Shuster, W. and Wang, X. 2009. A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Journal of Landscape and Urban Planning*, 99(2), 141-153.
24. Mondal, P. and Southworth, J. 2010. Evaluation of conservation interventions using a cellular automata-Markov model. *Forest Ecology and Management*, 260(10), 1716-1725.
25. Mozaffari, G.H., Ola zedeh, A. 2008. A Study and Analysis of Physical Development of Saghez and its Future Optimization Development with the Use of GIS. *Journal of Environmental Studies*. 47, 11-20.
26. Randolph, J. 2004. *Environmental Land Use Planning and Management*, Island Press, Washington, DC.

27. Sheikh Goodarzi, M., AlizadehShabani, A., Salman Mahiny, A., Fegghi, J. 2012. Investigation of urban growth impacts on suitability of conservational patches using a landscape ecological approach (Study Area: Korganroud Watershed), *Applied ecology*, 1, 30-40. (In Persian).
28. Shi, Y., Sun, X., Zhu, X., Li, Y. and Mei, L. 2012. Characterizing growth types and analyzing growth density distribution in response to urban growth patterns in peri-urban areas of Lianyungang City. *Landscape and Urban Planning*, 105(4), 425– 433.
29. Sun, C., Wu, Z., Lv, Z., Yao, N. and Wei, J. 2013. Quantifying different types of urban growth and the change dynamic in Guangzhou using multi-temporal remote sensing data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 409-417.
30. TalebiAmiri, SH., AzariDehkord, F., Sadeghi S.H., Soofbaf, S.R. 2009. Study on landscape degradation in neka Watershed using landscape metrics. *Journal of environmental studies*. 6(3), 133-144. (In Persian).
31. Tang, J., Wang, L. and Zhang, S. 2005. Investigating landscape pattern and its dynamics in Daqing, China. *International Journal of Remote Sensing*, 26, (11), 2259– 2280.
32. Tang, J., Wang, L., Yao, Z. 2008. Analyses of urban landscape dynamics using multi-temporal satellite images: A comparison of two petroleum-oriented cities, *Landscape and Urban Planning*, 78(4), 269-278.
33. Toolaei, S., Khazaei, A., 2006. Spatial distribution of population in Sari province. *Geography*. Vol. 11, pp: 125-142. (In Persian).
34. Turner, B. L. and Meyer, W. B. 1994. *Changes in land use and land cover: a global perspective*, Cambridge University Press, New York.
35. UMASS, (2013), *Landscape Ecology program*, Available from <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/Conceptual%20Background/Background%20TOC.html>. Accessed 26th June 2012.
36. Xu, C., Liu, M. S., Zhang, C., An, S. Q., Yu, W. and Chen, J. M. 2007. The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China. *Landscape Ecology*, 22(6), 925– 937.
37. Yang, X. and 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. *International Journal of Remote Sensing*, 23,(9), 1775– 1798.
38. Zhang, Q., Wang, J., Peng, X., Gong, P. and Shi, P. 2002. Urban built-up land change detection with road density and spectral information from multi-temporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 23(15), 3057–3078.