

بررسی درجه‌ی آزادی، پراکندگی و خوب بودن رشد شهری تهران و عوامل تأثیرگذار بر آن با استفاده از سنجش از دور و تحلیل‌های آماری

محمد کریمی فیروزجایی^۱، مجید کیاورزمقدم^{۲*}، نعیم میجانی^۳، سید کاظم علوی پناه^۴

^۱ دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
mohammad.karimi.f@ut.ac.ir

^۲ استادیار گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
kiavarzmajid@ut.ac.ir

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
naeim.mijani@ut.ac.ir

^۴ استاد گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
salavipa@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۵، تاریخ تصویب آبان ۱۳۹۶)

چکیده

پراکندگی شهری به عنوان یک نوع خاص از رشد شهری در نظر گرفته می‌شود که اثرات منفی بسیاری را به همراه دارد. تجزیه و تحلیل رشد شهری با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی به عنوان یکی از نیازهای اساسی مطالعات جغرافیایی شهری و برنامه‌ریزی‌های آینده محسوب می‌شود. فن‌آوری سنجش از دور به عنوان یک ابزار مؤثر برای تشخیص و مدل‌سازی رشد شهری کاربرد دارد. هدف از این پژوهش، بررسی دقیق میزان و نحوه‌ی رشد شهری و تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر چگونگی رشد شهری برای شهر تهران می‌باشد. در این مطالعه، از شش تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۵۱ استفاده شده است. تصاویر ذکر شده با استفاده از الگوریتم بیشترین شباهت طبقه‌بندی شدند و نقشه اراضی ساخته‌شده مربوط به سال ۱۴۰۳ با استفاده از مدل سلول‌های خودکار-مارکوف پیش-بینی شده است. در نهایت، پارامترهای آماری مربوط به رشد شهری کلان‌شهر تهران در دوره‌های زمانی ۴۴ سال گذشته و ۸ سال آینده برای ۸ جهت جغرافیایی مختلف بررسی شده است. آزمون کای اسکور پیرسون و مدل آنتروپی شانون برای محاسبه درجه آزادی و پراکندگی و تجزیه و تحلیل رشد شهری استفاده شده است. علاوه بر این مدل‌ها، شاخص درجه‌ی خوب بودن نیز برای تجزیه و تحلیل رشد شهری ارائه شده است و تأثیر پارامترهای محیطی بر نحوه‌ی رشد شهری بررسی شده است. برای پارامترهای درجه آزادی کلی، آنتروپی شانون و درجه‌ی خوب بودن به ترتیب مقادیر $3104/2$ ، $4/71$ و $8/23$ - بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که شهر تهران از درجه آزادی بالا، پراکندگی زیاد و درجه خوب بودن منفی در رشد شهری برخوردار است. پارامترهای شرایط اقلیمی، دمای سطح منطقه و نحوه توزیع راه‌های ارتباطی تأثیر مستقیم بر میزان و نحوه رشد شهری دارد. نتایج این تحقیق پایه و اساس شناخت عمیق رشد شهر تهران و بهینه‌سازی برنامه‌ریزی شهری برای آینده را فراهم کرده است.

واژگان کلیدی: درجه آزادی، درجه پراکندگی، درجه خوب بودن رشد شهری، سنجش از دور، تهران

۱- مقدمه

رشد شهری یکی از فرایندهای توسعه شهری می‌باشد. اگرچه شهرها تنها سه درصد از سطح کره زمین را اشغال کرده‌اند [۱] ولی با سرعت و مقیاس غیرقابل تصویری در اکثر کشورهای جهان در حال رشد و گسترش هستند [۲]. این امر موجب بروز وضعیت هشدار دهنده در همه کشورهای جهان مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه شده است [۳]. رشد شهری دارای دو بعد جمعیت‌شناسی و مکانی می‌باشد، بدین معنی که با افزایش جمعیت در شهرها نیاز برای سکونتگاه افزایش می‌یابد و شهرها با رشد مکانی مواجه می‌شوند [۴]. در بسیاری از موارد، پدیده‌ی رشد شهری با عنوان توسعه‌ی پراکنده‌ی شهری شناخته می‌شود [۲]. توسعه‌ی پراکنده‌ی شهری به توسعه‌ی بی-رویه و بی‌برنامه‌ی شهرها اطلاق می‌شود که نه تنها موجب توسعه‌ی نامتوازن و بی‌قواره‌ی شهرها شده، بلکه باعث تخریب فضای پیرامون خود نیز می‌شود [۲]. این پدیده دارای اثرات متعددی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی می‌باشد، ازجمله‌ی این اثرات می‌توان به افزایش آلودگی منابع آب، خاک و هوا، افزایش سرانه مصرف انرژی و تشدید پدیده جزایر حرارت شهری، تغییر اقلیم، پوشش گیاهی، زمین‌های کشاورزی و همچنین اثرات منفی بر سلامت روحی و جسمی ساکنان شهرها اشاره کرد [۵، ۶، ۷]. آگاهی از فرم فضایی و نحوه‌ی رشد شهر یکی از

عوامل تأثیرگذار در میزان موفقیت برنامه‌ریزان و مدیران شهری بوده و می‌تواند به بهبود محیط‌های شهری کمک شایانی نماید [۴]. آنالیز رشد شهری با در نظر گرفتن دو بعد الگو و فرآیند (به شکل ترکیبی) به درک چگونگی تغییر چشم‌اندازهای شهری، در طی زمان کمک می‌نماید. این درک شامل این موارد می‌باشد: (۱) آگاهی از نرخ رشد شهری (۲) آگاهی از پیکربندی فضایی رشد شهری (۳) پی بردن به تفاوت بین رشد شهری مشاهده‌شده و رشد شهری مورد انتظار (۴) شناسایی ناهمخوانی، اختلاف فضایی و زمانی در رشد شهری (۵) اطلاع از میزان گسترش پراکنده [۸]. تا به حال پژوهش‌های متعددی در زمینه بررسی پراکندگی رشد شهری انجام شده است. مطالعات انجام شده در این زمینه را می‌توان به بررسی الگوی رشد [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳] فرآیند رشد [۱۱، ۱۴، ۱۶] علت و نتیجه رشد شهری [۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱] و اقدامات متقابل در برابر اثرات رشد شهری [۱۹، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵] عوامل مختلفی بر میزان و نحوه رشد شهری در ابعاد مکانی و زمانی تأثیرگذار هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به شرایط اقلیمی، دمای سطح، عوامل طبیعی، نحوه توزیع شبکه راه‌های ارتباطی، معیارهای اقتصادی و سیاست-گذاری‌ها اشاره کرد. مجموعه عوامل موثر بر رشد متراکم و پراکنده شهری به صورت جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مجموعه عوامل موثر بر رشد متراکم و پراکنده شهری

عوامل اصلی	زیر بخش‌ها
عامل اقتصادی	رشد اقتصادی شهرها، بازار سرمایه و اعتبار، فقدان مسکن مقرون به صرفه، تفرق سیاسی (به ویژه در مناطق کلانشهرها)، سوداگری و بورس بازی زمین، قوامین و مقرارت شهری، توپوگرافی محیط شهری
تکنولوژی و مظاهر آن	وسایل نقلیه جدید، روش‌های جدید ساخت و ساز، تاسیسات زیربنایی
تحول و دگرگونی نیازها	حمل و نقل سریع، تسهیلات شهری جدید، نیاز به خدمات شهری بیشتر و بروزتر
عامل سیاست‌های شهری دولت	سکونتگاه‌های غیر رسمی، سیاست‌های دولت در بخش زمین و مسکن شهری، طرح‌های توسعه شهری، الگوی کاربری زمین شهری، زوال بافت-های فرسوده شهری
نظام مدیریت	فقدان مدیریت یکپارچه، ادغام مناطق روستایی در محدوده‌های شهری
جمعیت	رشد جمعیت، مهاجرت
سبک زندگی	تغییر سبک زندگی و تقاضا برای حومه نشینی، تقاضا برای فضای زندگی بیشتر، فرسودگی مناطق درون شهری

روش‌های مختلفی برای بررسی رشد فیزیکی شهرها به کار گرفته شده است که به‌روزترین، دقیق‌ترین و کم هزینه‌ترین آن‌ها استفاده از علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. با توجه به این‌که گسترش فیزیکی در مقیاس مکانی و زمانی وسیع صورت می‌گیرد، می‌توان با استفاده از داده‌های چند زمانه سنجش از دور، نسبت به استخراج کاربری اراضی ساخته‌شده اقدام نمود [۳۳-۳۸]. سپس با مقایسه‌ی آن‌ها در دوره‌های زمانی مختلف به کمک تجزیه و تحلیل‌های مکانی و آماری سیستم اطلاعات جغرافیایی میزان و نسبت تغییرات را ارزیابی و روند آن را مدل‌سازی کرده تا در برنامه‌ریزی‌های شهری استفاده شود [۳۹ و ۴۰]. از سویی دیگر، پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی علوم کامپیوتر و کاربرد آن در برنامه‌ریزی شهری به‌خصوص از اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی، رویکردی جدید در مدل‌سازی تغییرات مکانی را به همراه داشت [۴۱].

از آن زمان تاکنون مدل‌های دینامیکی و آماری بسیاری برای شبیه‌سازی رشد شهر ابداع شده‌اند [۴۲]. در بین مدل‌های دینامیکی، مدل سلول‌های خودکار-مارکوف با تعیین احتمال تغییرات کاربری/ پوشش سرزمین در فرآیند زنجیره مارکوف و نیز شبیه‌سازی تغییرات مکانی آن در مدل سلول‌های خودکار به مدل‌سازی دینامیکی تغییرات زمانی و مکانی پوشش سرزمین و رشد فیزیکی شهری می‌پردازد [۴۳-۴۷]. به‌طور کلی، هدف از این مطالعه، بررسی شاخص‌های درجه آزادی^۱، پراکندگی^۲ و خوب بودن^۳ رشد شهری تهران در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۵۱ و بررسی عوامل محیطی تأثیرگذار بر مقادیر این شاخص‌ها در جهت‌های جغرافیایی مختلف می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور استخراج ویژگی‌های مکانی-زمانی گسترش شهری و پیش‌بینی روند گسترش شهر از تصاویر ماهواره‌ای در شش بازه زمانی (۱۳۸۷-۱۳۹۵، ۱۳۸۷-۱۳۸۷، ۱۳۷۹-۱۳۷۹، ۱۳۷۱-۱۳۶۳، ۱۳۷۱-۱۳۵۱، ۱۳۶۳-۱۳۵۱) استفاده شده است.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آماره کای اسکور پیرسون، مدل آنتروپی شانون و شاخص درجه خوب بودن استفاده شده است. مدل آماری کای اسکور پیرسون مقدار

تفاوت رشد شهری مشاهده شده و مورد انتظار را برای دوره‌های زمانی و جهت‌های مختلف مشخص می‌کند [۴۸] که همراه با مدل آنتروپی شانون برای تعیین تغییرات و پراکندگی در گسترش مرزهای شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۵، ۴۹، ۵۰، ۵۱]. از شاخص درجه خوب بودن برای بررسی کیفیت رشد شهری استفاده می‌شود [۳۵] و [۵۱]. در مطالعات قبلی انجام شده، این مدل‌ها برای تجزیه و تحلیل پدیده‌های فضایی شهر از جمله روند تغییرات فرم و ساختار شهر، جهت گسترش فضایی و تغییرات کاربری اراضی در گذشته استفاده شده است. در این مطالعه، روش تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی مورد استفاده متفاوت از مطالعات قبلی می‌باشد. در واقع در این تحقیق، از مدل پیش‌بینی سلول‌های خودکار-مارکوف برای پیش‌بینی رشد شهری سال ۱۴۰۳ استفاده و از پارامترهای آماری همچون آنتروپی شانون و کای اسکور پیرسون برای تجزیه و تحلیل نحوه، میزان و درجه خوب بودن رشد شهری، در گذشته و آینده استفاده می‌شود. همچنین تأثیر عوامل دمای سطح، شرایط اقلیمی و شبکه راه‌های اصلی بر توسعه پراکنده شهری تحلیل شده است.

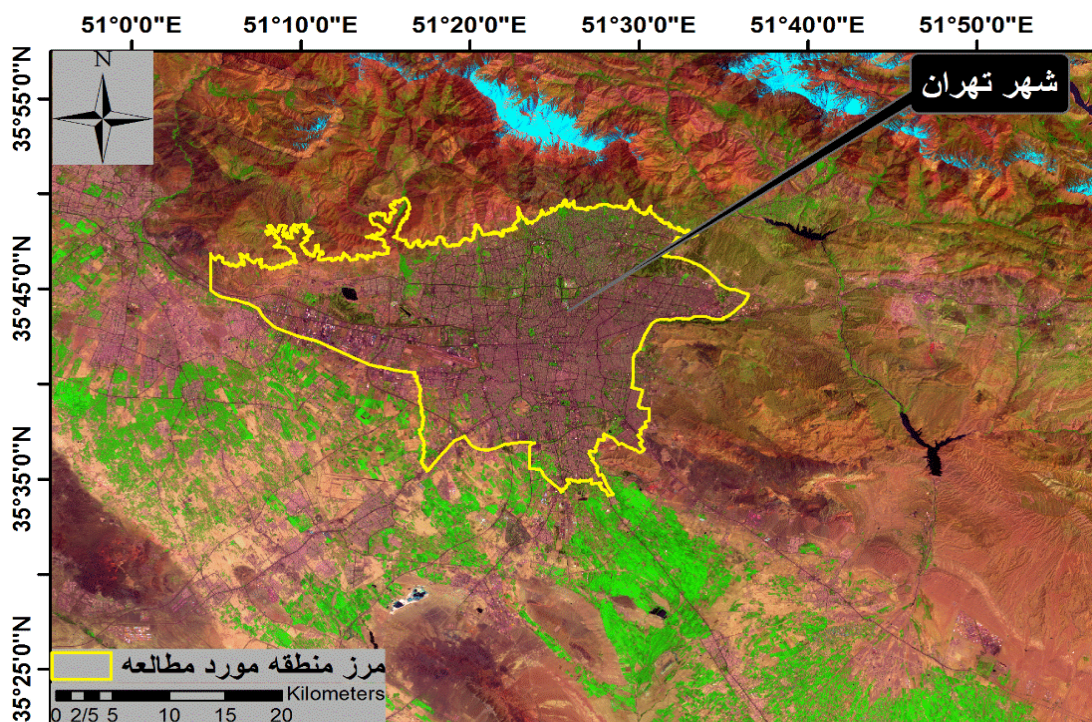
۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل کلان‌شهر تهران، پایتخت جمهوری اسلامی ایران می‌باشد. از نظر موقعیت جغرافیایی این کلان‌شهر در شمال ایران، دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز و حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران در دشتی نسبتاً هموار قرار گرفته است. تهران یک مرکز کلیدی برای تولید، سکونت، تجارت، توزیع و حمل و نقل در کشور ایران می‌باشد. این شهر با نرخ شتابان رشد شهری مخصوصاً در چهار دهه گذشته مواجه بوده است. امروزه جمعیت شهر تهران در طول روز به بیش از ۱۰ میلیون نفر می‌رسد. توسعه شهری و فقدان برنامه‌ریزی مناسب تأثیرات منفی محیطی را در منطقه بجا گذاشته است. موقعیت منطقه مورد مطالعه به‌صورت شکل (۱) نشان داده شده است.

^۱ degree of freedom

^۲ degree of sprawl

^۳ degree-of-goodness



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳- داده و روش‌شناسی

۳-۱- داده‌ها

حاضر از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری استفاده شده است. نقشه‌ی اقلیمی منطقه برای بررسی شرایط اقلیمی، نقشه‌ی مربوط به راه-های اصلی منطقه برای بررسی شرایط جاده‌های اصلی و داده‌های هواشناسی منطقه نیز برای محاسبه دمای سطح منطقه بکار گرفته شده است. داده‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول (۲) نشان داده شده است.

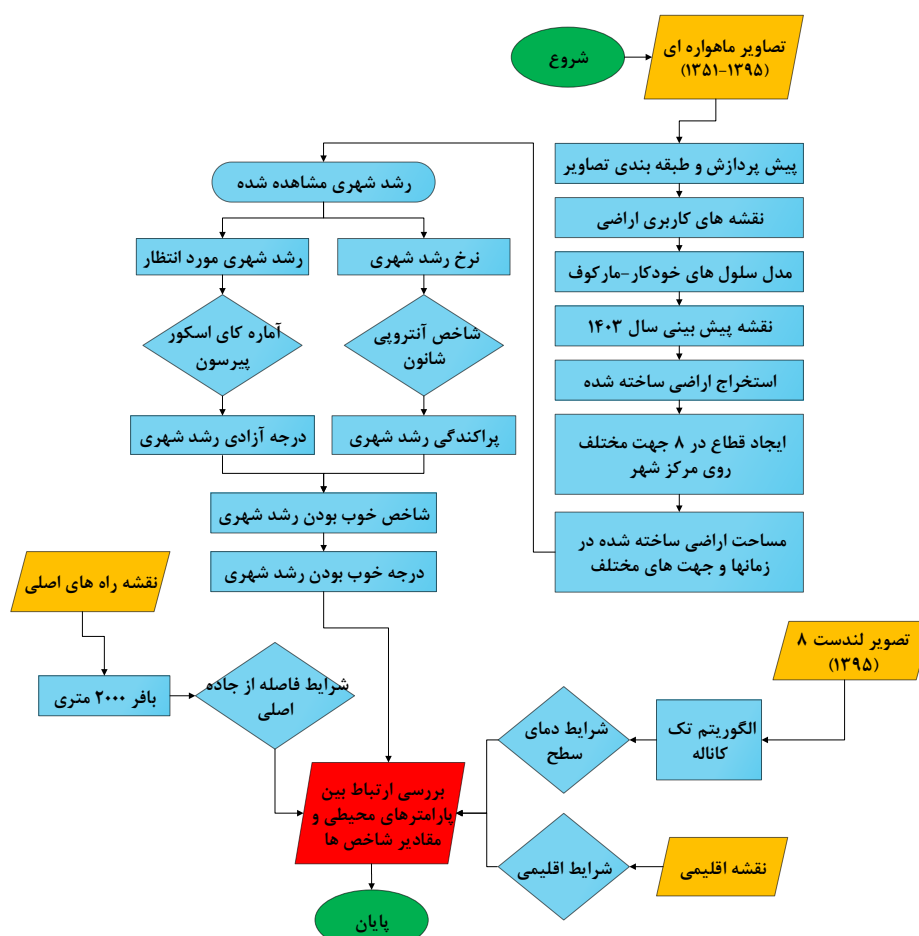
در مطالعه‌ی حاضر، از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شده است. این تصاویر زمین مرجع شده و در سیستم تصویر UTM در ناحیه N۳۹ قرار دارند. تصاویر مذکور در سایت زمین‌شناسی امریکا به رایگان در دسترس می‌باشد. همچنین به منظور ارزیابی صحت هندسی تصاویر

جدول ۲- داده‌های مورد استفاده در پژوهش

تاریخ	قدرت تفکیک مکانی (متر)	ماهواره (سنجنده)	نوع داده
۱۳۵۱/۰۹/۱۴	۷۹	لندست ۴ (TM)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۶۳/۰۸/۰۸	۳۰	لندست ۵ (TM)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۷۱/۰۷/۲۹	۳۰	لندست ۵ (TM)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۷۹/۰۸/۰۵	۳۰	لندست ۷ (ETM+)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۸۷/۰۸/۱۱	۳۰	لندست ۵ (TM5)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۹۵/۰۹/۰۲	۳۰	لندست ۸ (OLI)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۵۱-۱۳۷۹-۱۳۹۵	۱:۵۰۰۰۰	-	نقشه توپوگرافی
-	۳۰	ASTER	مدل رقومی ارتفاع
-	-	-	نقشه اقلیمی
-	-	-	شیب فایل جاده‌های کشور
۱۳۹۵/۰۹/۲	-	مودیس (Mod 07)	داده‌های بخار آب

۳-۲- روش پژوهش

مراحل کلی انجام پژوهش به صورت شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- مراحل کلی انجام پژوهش

۳-۲-۱- پیش پردازش و استخراج اراضی ساخته شده

۳-۲-۱-۱- پیش پردازش

به عنوان اولین گام در این پژوهش به منظور کنترل کیفیت داده ها و آگاهی از وجود خطاهای هندسی و رادیومتری، داده ها مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. تمام تصاویر مورد استفاده در پژوهش با استفاده از مدل تصحیح اتمسفری FLAASH تصحیح شدند. با توجه به اینکه مدل تصحیح FLAASH فقط قادر است اثرات مختلف اتمسفری را تصحیح کند برای تصحیح اثرات توپوگرافی و سایه که بر دقت طبقه بندی تصاویر ماهواره ای و بررسی تغییرات کاربری اراضی تاثیر مستقیم می گذارد از رابطه (۱) استفاده شده است [۶۱].

$$\rho_n = \rho_{FLAASH} * \left(\frac{\cos(\theta)}{\cos(\alpha)} \right) \quad (1)$$

در این رابطه، ρ_n بازتاب زمینی تصحیح شده ناشی از اثرات توپوگرافی و سایه، ρ_{FLAASH} بازتاب زمینی حاصل از مدل تصحیح اتمسفری FLAASH، θ زاویه فرود محلی طول موج خورشید بر سطح و α زاویه زنیته خورشید می باشند.

کسینوس زاویه فرود موج برای هر پیکسل متفاوت بوده و وابسته به شیب، جهت شیب، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی در آن نقطه می باشد [۶۲]. در این مدل برای محاسبه زاویه فرود موج از رابطه (۲) استفاده می شود.

$$\begin{aligned} \cos(\theta) &= \sin(\delta) \sin(\varphi) \cos(s) \\ &- \sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(s) \cos(w) \\ &+ \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(s) \cos(\gamma) \\ &+ \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(s) \cos(\gamma) \cos(w) \\ &+ \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(s) \sin(w) \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن δ میزان انحراف زمین، φ عرض جغرافیایی و w نشان دهنده زاویه ساعتی همگی بر حسب رادیان می-باشند که از طریق روابط (۳) تا (۴) محاسبه می-شوند [۶۲]. همچنین s بیانگر شیب و γ نشان دهنده جهت شیب هر دو بر حسب رادیان می-باشند.

$$\delta = 0.409 \sin\left\{\left(\frac{2\pi}{365} \times \text{DOY}\right) - 1.39\right\} \quad (3)$$

$$w = \frac{\pi}{12} \{(t + 0.06667(L_z - L_m) + S_c) - 12\} \quad (4)$$

DOY روزگرفتن تصویر از سال میلادی، t زمان استاندارد عبور ماهواره، L_z طول جغرافیایی مرکز قاچ زمان محلی (بر حسب درجه)، L_m طول جغرافیایی مرکز تصویر ماهواره‌ای (بر حسب درجه) و S_c تصحیح فصلی برای زمان خورشید (بر حسب ساعت) که به صورت رابطه (۵) و (۶) محاسبه می-شود [۶۲].

$$S_c = 0.1645 \sin(2b) - 0.1255 \cos(b) - 0.025 \sin(b) \quad (5)$$

$$b = 2\pi(\text{DOY} - 81)/364 \quad (6)$$

کسینوس زاویه زینتی خورشید برای منطقه از رابطه (۷) بدست می-آید.

$$\cos(\alpha) = \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(w) + \sin(\delta) \cos(\varphi) \quad (7)$$

که در رابطه فوق، δ میزان انحراف زمین، φ عرض جغرافیایی و w نشان دهنده زاویه ساعتی همگی بر حسب رادیان می-باشند.

با توجه به اهمیت دقت تصحیح هندسی بر صحت نتایج آشکارسازی تغییرات، این تصاویر باید کاملاً از نظر هندسی بر یکدیگر منطبق باشند. قبل از شروع پردازش و مقایسه تصاویر مذکور، با توجه به زمین مرجع بودن این تصاویر، تصحیح هندسی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و به روش ثبت تصویر به نقشه انجام شد.

۳-۲-۱- استخراج اراضی ساخته شده

در پژوهش حاضر از روش بیشترین شباهت برای طبقه-بندی تصاویر استفاده شده است. در این روش بعد از ارزیابی احتمالات در هر کلاس، پیکسل‌ها به کلاس‌هایی که بیشترین احتمال را دارند اختصاص می-یابند [۵۳]. پیش از

طبقه‌بندی نظارت‌شده‌ی تصاویر، بایستی داده‌های آموزشی به دقت انتخاب شوند. هدف از عملیات آموزشی آن است که به یک مجموعه آماری، که بیانگر الگوی طیفی پوشش زمینی باشد دست یابیم. تعریف اشتباه کلاس‌های موردنیاز توسط داده‌های آموزشی، بر کل روند طبقه‌بندی با نظارت تأثیر گذاشته و موجب طبقه‌بندی اشتباه تصویر می‌شود [۵۳]. در این مرحله، با استفاده از تفسیر چشمی و اطلاعات نگارنده از کاربری‌های منطقه با توجه به بازپیدی‌های میدانی متعدد اقدام به تهیه‌ی داده‌های آموزشی جهت استفاده در عملیات طبقه‌بندی نظارت‌شده گردید.

پس از پایان عملیات طبقه‌بندی تصاویر، دقت طبقه‌بندی با استفاده از نمونه‌های اخذ شده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ به کمک شاخص‌های ضریب کاپا و صحت کلی منطقه ارزیابی شده است. جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و میزان گسترش فیزیکی شهر، از مدل سلول‌های خودکار-مارکوف استفاده شده است [۵۴]. این مدل دو بخش اصلی، مدل زنجیره‌ی مارکوف و مدل سلول‌های خودکار را شامل می‌شود. در این مدل، همواره از دو نقشه‌ی رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شوند. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. بر اساس احتمال شرطی قانون بیز، پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در مدل مارکوف با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود [۵۵ و ۵۶].

$$s(t+1) = p_{ij} \times s(t) \quad (8)$$

در این رابطه، $s(t)$ و $s(t+1)$ حالت‌های سیستم در زمان t و $t+1$ هستند و p_{ij} ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$(0 \leq p_{ij} \leq 1 \text{ and } \sum_{j=1}^N p_{ij} = 1, (i,j=1,2,\dots,n))$$

خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل شده هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالی شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است [۵۶].

ماتریس معرف M_{ij} ، $i = 1, 2, 3, \dots, n$ (جهت های مشخص شده یا سطرهای ماتریس) و $j = 1, 2, 3, \dots, m$ (دوره های زمانی مشخص شده یا همان ستون های ماتریس)، M_i^s مجموع سطر i ، M_j^s مجموع ستون j و $M_g = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}$ می باشد [۵۴].

۳-۲-۱- شاخص آنتروپی شانون

آنتروپی شانون، روشی است که به خوبی برای تعیین الگوی پراکندگی رشد شهری استفاده شده و از آن برای بررسی و تعیین مقدار پدیده رشد شهری بی قواره نیز استفاده می شود. آنتروپی شانون برای هر دوره زمانی مورد اشاره با توجه به مقادیر نرخ رشد شهری و با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه شده است.

$$H_j = - \sum_{i=1}^n P_i \log_e(P_i) \quad (11)$$

که در آن P_i سهم متغیر در سطر i -ام (نسبت نرخ رشد ناحیه ساخته شده در جهت i -ام) و n تعداد جهت های جغرافیایی مورد بررسی برابر با ۸ می باشد.

درجه پراکندگی رشد شهری به وسیله مقدار آنتروپی شانون مشخص می شود. میزان آنتروپی از ۰ تا $\log_e^n$ در نوسان است. هرچه مقدار آنتروپی به مقدار صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده توزیع اراضی ساخته شده فشرده می باشد و مقدار نزدیک به $\log_e^n$ برای این شاخص توزیع پراکنده اراضی ساخته شده را نشان می دهد. مقادیر بالای آنتروپی، وقوع پراکندگی شهری شدید را نشان می دهد. برای تعیین آنتروپی هر جهت از رابطه (۱۲) استفاده می شود.

$$H_i = - \sum_{j=1}^m P_j \log_e(P_j) \quad (12)$$

که در آن P_j سهم متغیر در ستون j -ام (نسبت نرخ رشد ناحیه ساخته شده در بازه زمانی j -ام) و m تعداد بازه های زمانی مورد بررسی برابر با ۶ می باشد. پراکندگی کلی شهر از رابطه (۱۳) محاسبه شده است.

$$H = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \log_e(P_{ij}) \quad (13)$$

در مدل زنجیره مارکوف، اگرچه احتمالات انتقال محاسبه شده در هر کاربری دارای دقت زیادی است، ولی این مدل فاقد هرگونه اطلاعات وابستگی مکانی است [۵۶]. به همین دلیل، از سلول های خودکار برای اضافه کردن مشخصه مکانی به مدل استفاده می شود. شبکه خودکار، عاملی است که توانایی تغییر وضعیتش را بر اساس به کارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان می دهد داراست. از فیلتر سلول های خودکار برای توسعه ی یک فاکتور وزن دهی-مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول ها بر اساس وضعیت همسایه اش استفاده خواهد شد؛ بنابراین در مدل سلول های خودکار مارکوف با استفاده از ماتریس انتقال مساحت، نقشه شبیه سازی شده از کاربری اراضی در آینده بدست خواهد آمد [۵۴-۵۶]. برای ارزیابی اعتبار مدل سازی، نقشه حاصل از آن در یک زمان خاص معمولاً با نقشه واقعی مربوط به همان زمان مقایسه می شود. اگر اختلاف مقادیر پیش بینی شده و واقعی برای کاربری ها کمتر از هشت درصد باشد مدل سلول های خودکار مارکوف قابلیت مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه را دارد [۵۷، ۶۶، ۶۷]. در مرحله بعد کلاس اراضی ساخته شده از تمام نقشه های طبقه بندی و پیش بینی استخراج شد.

۳-۲-۲- بررسی شاخص های کیفیت رشد شهری

نقطه مرکزی شهر (که مرکز شهر نامیده می شود) در نظر گرفته و یک دایره بزرگ به مرکز این نقطه ترسیم شده است، به طوری که دایره، پیکسل های مربوط به اراضی ساخته شده شهری را در زمان آخرین تصویر تهیه شده دربر می گیرد. سپس این ناحیه دایره ای، به ۸ جهت مساوی تقسیم گردید [۵۲] (شکل ۳). مساحت و نرخ رشد شهری برای دوره های زمانی مختلف و جهت های جغرافیایی مختلف محاسبه شده است. رشد شهری مشاهده شده باید برای درک ناهمخوانی با رشد شهری مورد انتظار مقایسه شود. رشد شهری مورد انتظار با توجه به رشد شهری مشاهده شده محاسبه می شود. برای این منظور از رابطه (۱۰) استفاده می شود.

$$M_{ij}^E = M_i^s \times M_j^s / M_g \quad (10)$$

اگر جدول مربوط به رشد شهری مشاهده شده را به عنوان ماتریس M در نظر بگیریم هر یک از درایه های

که در آن P_{ij} سهم متغیر در سطر i -ام و ستون j -ام (نسبت نرخ رشد ناحیه ساخته شده در بازه زمانی j -ام و جهت جغرافیایی i -ام) می باشد.

۳-۲-۲-۳- شاخص درجه‌ی آزادی رشد شهری

تفاوت بین رشد مشاهده شده و مورد انتظار اراضی ساخته شده درجه انحراف رشد شهری را نشان می دهد. اگر درجه انحراف بالا باشد می توان نتیجه گرفت که این متغیر از دیگر متغیرهای کلاس خود مستقل است [۲۵]. آماره‌ی کای اسکور پیرسون، از آزادی میان جفت متغیرها برای توصیف تغییر در کاربری اراضی در همان کلاس استفاده می کند [۴۸]؛ بنابراین، برای تعیین درجه آزادی، تست کای اسکور اجرا می شود. با استفاده از رابطه (۱۴) و مقادیر رشد شهری مشاهده شده و مورد انتظار آماره کای اسکور برای بازه‌های زمانی مختلف محاسبه و در نتیجه میزان آزادی یا درجه انحراف رشد شهری مشاهده شده از رشد شهری مورد انتظار آشکار می شود.

$$X_j^2 = \sum_{i=1}^n (M_i - M_i^E)^2 / M_i^E \quad (14)$$

که در رابطه (۱۴)، X_j^2 درجه آزادی برای دوره زمانی j -ام، M_i ناحیه ساخته شده مشاهده شده در سطر i -ام برای ستون مشخص شده، M_i^E ناحیه ساخته شده مورد انتظار در سطر i -ام برای ستون مشخص شده می باشد. حال اگر i (سطر) را با j (ستون) و n (تعداد سطرها) را با m (تعداد ستونها) در معادله (۱۴) جایگزین نماییم، می توانیم درجه آزادی را برای هر جهت جغرافیایی (X_i^2) به صورت مجزا محاسبه کنیم.

درجه آزادی کلی نیز با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه می شود.

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (M_{ij} - M_{ij}^E)^2 / M_{ij}^E \quad (15)$$

مقدار درجه آزادی، معرف ناجوری و ناهمگنی در رشد شهری به عنوان یک فرایند در نظر گرفته می شود و به تنهایی شاخص مناسبی برای تحلیل پراکندگی شهری نمی باشد.

۳-۲-۲-۳- شاخص درجه‌ی خوب بودن

از آنجایی که کای اسکور و آنتروپی، دارای اندازه‌های متفاوتی هستند و یکی ممکن است در برخی موارد با

دیگری تناقض داشته باشد، شاخص سومی با عنوان شاخص درجه خوب بودن رشد شهری با تلفیق شاخص درجه آزادی و آنتروپی شانون تعریف می شود. این شاخص با استفاده از رابطه (۱۶) محاسبه شده است.

$$G_j = \log_e \left[\frac{1}{X_j^2 (H_j / \log_e(n))} \right] \quad (16)$$

که در آن G_j درجه خوب بودن رشد شهری برای دوره زمانی j -ام، X_j^2 درجه آزادی برای دوره زمانی j -ام، H_j آنتروپی برای دوره زمانی j -ام و n تعداد کل جهت‌های جغرافیایی بوده که در این پژوهش ۸ در نظر گرفته شده است. برای محاسبه درجه خوب بودن رشد شهری برای هر جهت جغرافیایی نیز کافی است در معادله (۱۶)، j را با i و n را با m جایگزین نماییم.

درجه خوب بودن کلی نیز با استفاده از رابطه (۱۷) محاسبه خواهد شد.

$$G = \log_e \left[\frac{1}{X^2 (H / \log_e(m \times n))} \right] \quad (17)$$

که در آن X^2 درجه آزادی کلی و H پراکندگی کلی می باشد.

شاخص‌های آنتروپی شانون، درجه‌ی آزادی و خوب بودن رشد شهری برای منطقه محاسبه و در نهایت تجزیه تحلیل‌ها برای مقایسه و بررسی میزان و چگونگی رشد شهری در ابعاد مکانی و زمانی برای بازه زمانی ۱۴۰۳-۱۳۵۱ انجام شده است.

۳-۲-۳- بررسی ارتباط پارامترهای محیطی و کیفیت رشد شهری

پس از بررسی شاخص‌های مربوط به چگونگی رشد شهری برای منطقه مورد مطالعه، تأثیر نحوه پراکنش پارامترهای محیطی بر مقدار شاخص‌ها در جهت‌های جغرافیایی مختلف بررسی شده است. برای این منظور از سه پارامتر دمای سطح، شرایط اقلیمی و شبکه راه‌ها به عنوان پارامترهای محیطی استفاده شده است.

۳-۲-۳-۱- دمای سطح

نقشه‌ی دمای سطح منطقه با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و با بهره‌گیری از الگوریتم محاسبه‌ی دمای سطح تک کاناله [۶۷] محاسبه شده است.

جدول ۳- نتایج ارزیابی خطا تصحیح هندسی تصاویر (پیکسل)

سال	۱۳۵۱	۱۳۶۳	۱۳۷۱	۱۳۷۹	۱۳۸۷	۱۳۹۵
خطا در جهت X	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۱۸
خطا در جهت Y	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۲۴

جدول ۴- نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی

سال	۱۳۵۱	۱۳۶۳	۱۳۷۱	۱۳۷۹	۱۳۸۷	۱۳۹۵
ضریب کاپا	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹	۰/۹۳
صحت کلی	۹۲/۲	۹۰/۱	۹۳	۹۴/۶	۹۲	۹۵

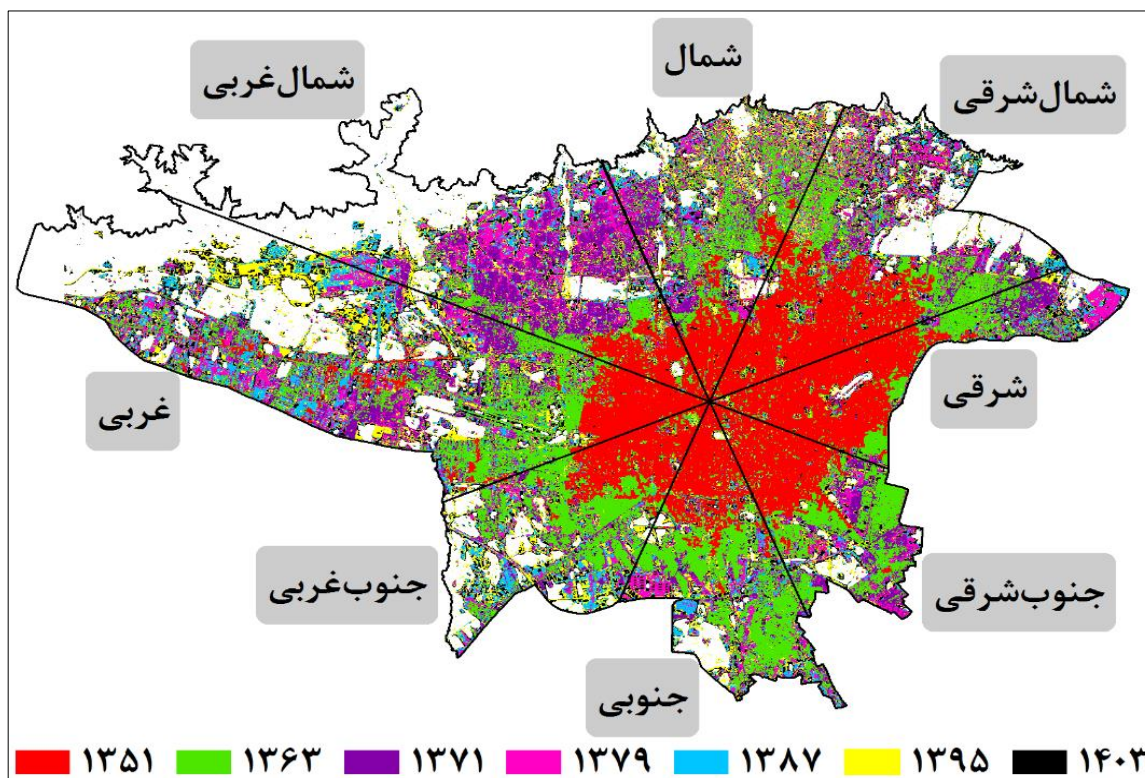
نتیجه‌ی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و استخراج نواحی ساخته‌شده برای سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۷-۱۳۹۵-۱۳۷۱-۱۳۶۳-۱۳۵۱ و تصویر پیش‌بینی شده سال ۱۴۰۳ در شکل (۳) نشان داده شده است. بررسی بصری تصاویر طبقه‌بندی شده نشان می‌دهد که گسترش شهر در جهت‌های مشخص شده متفاوت است. تصاویر باینری تولید شده، در فراهم ساختن شواهد استوار برای بحث و تصمیم درباره آینده کافی نیستند. برای توصیف الگوهای گسترش شهری، درک چگونگی تغییر آن‌ها در بعد زمان و مکان و بررسی تغییرات بین این الگوها به‌صورت آماری، نیاز به محاسبه پارامترهای آماری می‌باشد.

باند حرارتی ۱۰، b_{λ} ضریب ثابتی است که برای باند ۱۰ لندست ۸ برابر با ۱۳۲۴ درجه کلوین درنظر گرفته می‌شود. W میزان بخار آب موجود در اتمسفر که با استفاده از محصول بخار آب مودیس (MOD07) برای تاریخ موردنظر بدست می‌آید.

نقشه مربوط به فاصله از جاده‌های اصلی با ایجاد حریم‌های ۲۰۰۰ متری به دور جاده‌های اصلی تهیه‌شده است. همچنین از نقشه اقلیمی منطقه برای بررسی شرایط اقلیمی در جهت‌های جغرافیایی مختلف استفاده شده است. بررسی‌های آماری مربوط به وضعیت شرایط اقلیمی، دمای سطح و نحوه توزیع جاده‌ها در جهت‌های جغرافیایی مختلف انجام و با نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل‌های آماری مربوط به شاخص‌های گسترش شهری مقایسه شده است. درنهایت تأثیر هریک از پارامترهای شرایط اقلیمی، دمای سطح و راه‌های ارتباطی با نحوه گسترش شهری بررسی شده است.

۴- بحث و نتایج

نتایج تصحیح هندسی تصاویر قبل از طبقه‌بندی به صورت جدول (۳) و نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی در جدول (۴) نشان داده شده است.

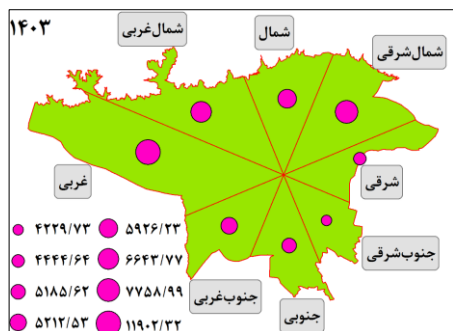


شکل ۳- نقشه‌های اراضی ساخته‌شده بازه زمانی ۱۳۵۱-۱۳۹۵ و پیش‌بینی شده سال ۱۴۰۳

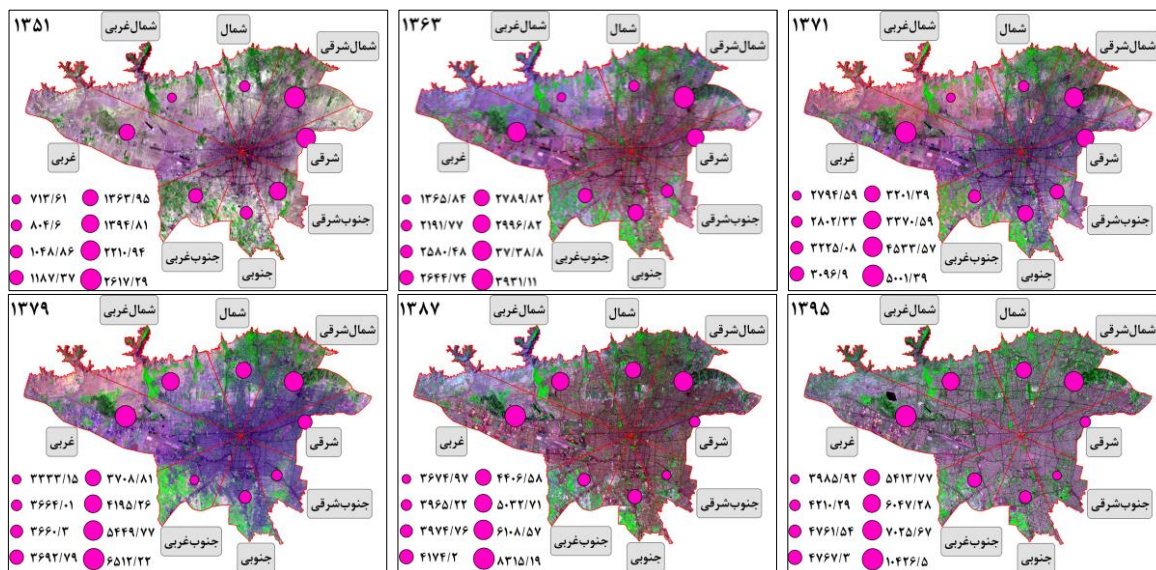
۱-۴- بررسی مساحت اراضی ساخته شده و رشد

شهری

نتایج حاصل از بررسی مساحت کاربری ساخته شده برای سال ۱۴۰۳ و دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۵۱ به ترتیب، به صورت شکل (۴) و (۵) نشان داده شده است. در این شکل‌ها، مساحت مربوط به تمام سال‌های مورد مطالعه در جهت‌های جغرافیایی مختلف مشخص می‌باشد.



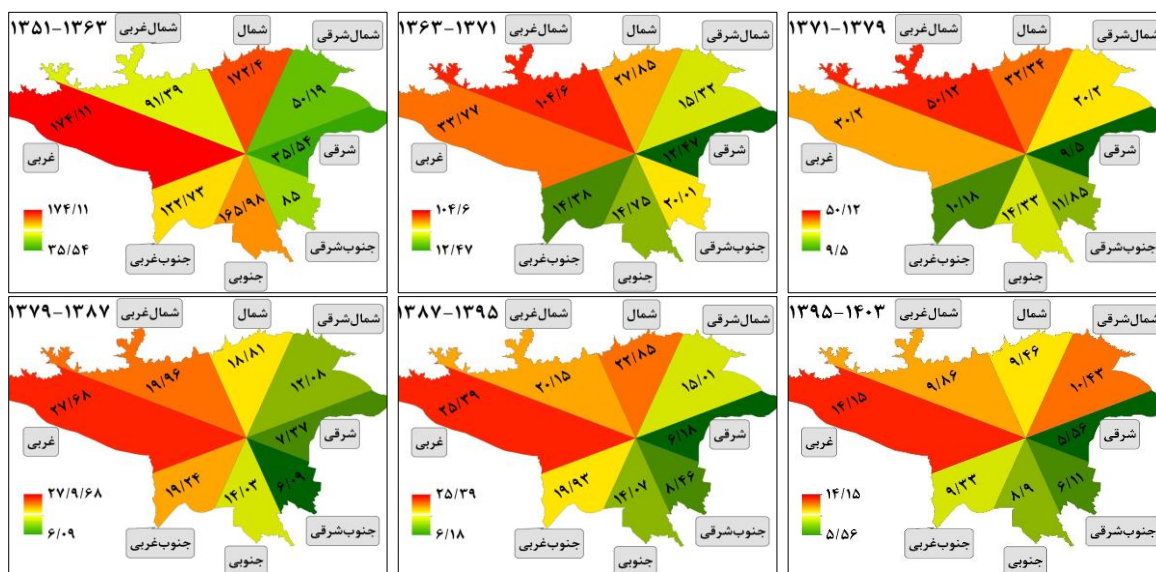
شکل ۴- مساحت کاربری ساخته شده برای سال ۱۴۰۳ (هکتار)



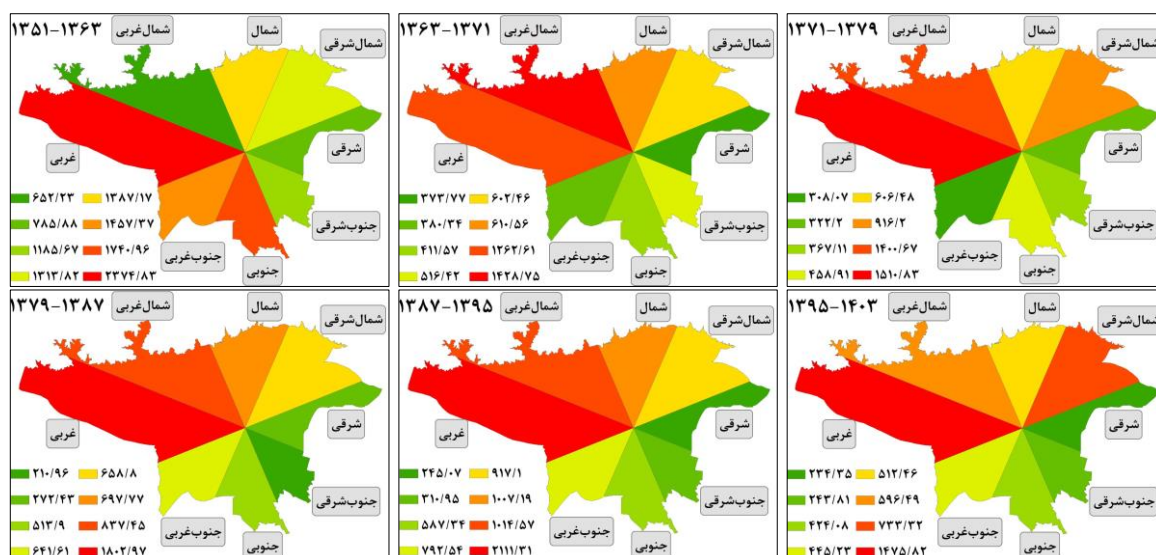
شکل ۵- مساحت اراضی ساخته شده برای بازه زمانی ۱۳۵۱-۱۳۹۵ (هکتار)

افزایش مساحت اراضی ساخته شده یا نرخ رشد شهری، به صورت مجزا برای بازه‌های زمانی و جهت‌های مختلف محاسبه و نتایج به صورت شکل (۷) نشان داده شده است.

رشد اراضی ساخته شده برای بازه‌های زمانی ۱۳۶۳-۱۳۵۱، ۱۳۷۱-۱۳۶۳، ۱۳۷۹-۱۳۷۱، ۱۳۸۷-۱۳۷۹، ۱۳۹۵-۱۳۸۷ و بازه زمانی پیش‌بینی شده ۱۴۰۳-۱۳۹۵ در جهت‌های مختلف محاسبه شده است (شکل ۶). درصد



شکل ۶- نرخ رشد شهری در دوره‌های زمانی مختلف (درصد)



شکل ۷- رشد مشاهده شده در اراضی ساخته شده در دوره‌های زمانی و جهت‌های جغرافیایی مختلف (هکتار)

با استفاده از رابطه (۱۰) و با بهره‌گیری از مقادیر رشد مشاهده شده اراضی ساخته شده می‌توان رشد شهری مورد انتظار را محاسبه کرد. مقادیر محاسبه شده برای رشد شهری مورد انتظار به صورت جدول (۵) نشان داده شده است. تفاوت بین رشد اراضی ساخته شده مشاهده شده و رشد اراضی ساخته شده مورد انتظار از تفاضل مقادیر مربوط این دو پارامتر بدست می‌آید (جدول ۶). مقادیر جدول (۶) نشان دهنده اختلاف رشد شهری برای هر جهت در دوره‌های زمانی مورد نظر می‌باشد؛ به عبارت دیگر این مقادیر بیانگر درجه انحراف رشد شهری در بعد زمان و مکان هستند. مقادیر منفی، نشان دهنده رشد کمتر و مقادیر مثبت، نشان دهنده رشد بیشتر از انتظار برای دوره زمانی یا جهت خاص می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که رشد شهری مشاهده شده در جهت های غربی و شمال شرقی در دوره زمانی ۱۴۰۳-۱۳۵۱ از مقادیر رشد شهری مورد انتظار خیلی انحراف پیدا کرده و کمتر از مقادیر مورد انتظار می‌باشد و مقادیر مشاهده شده در جهت های جنوب و جنوب شرقی خیلی بیشتر از مقادیر رشد شهری مورد انتظار بوده است.

نتایج نشان می‌دهد که نرخ رشد شهری طی دوره‌های زمانی مختلف دارای مقادیر متفاوتی می‌باشد. بیشترین نرخ رشد شهری مربوط به دوره زمانی ۱۳۵۱-۱۳۶۳ و کمترین آن در دوران گذشته مربوط به دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۷۹ می‌باشد. همچنین نرخ رشد شهری در بازه زمانی پیش‌بینی شده هشت ساله کمترین مقدار را نسبت به بازه‌های گذشته دارد. جهت‌های شرقی و جنوب شرقی طی این سال‌ها کمترین نرخ رشد اراضی ساخته شده را داشته‌اند که از دلایل عمده آن وجود موانع طبیعی همچون توپوگرافی می‌باشد. جهت‌های غربی و شمال غربی دارای بیشترین نرخ رشد شهری بوده‌اند. برای بازه پیش‌بینی هشت ساله بیشترین و کمترین میزان رشد شهری به ترتیب مربوط به جهت‌های غربی و شرقی می‌باشد. مقادیر نرخ رشد شهری طی سال‌های گذشته کاهش یافته و این روند برای بازه زمانی پیش‌بینی شده هم صادق است. اما این موضوع دلیل محکمی برای رشد فشرده و خوب شهری برای منطقه نمی‌باشد و این موضوع نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

جدول ۵- رشد شهری مورد انتظار برای دوره‌های زمانی مختلف (هکتار)

	۱۳۶۳-۱۳۵۱	۱۳۷۱-۱۳۶۳	۱۳۷۹-۱۳۷۱	۱۳۸۷-۱۳۷۹	۱۳۹۵-۱۳۸۷	۱۴۰۳-۱۳۹۵
شمال	۱۳۹۶/۶	۷۱۵/۹	۷۹۳/۳	۷۲۲/۳	۸۹۵/۳	۵۹۷/۹
شمال شرقی	۱۴۰۲/۱	۷۱۸/۷	۷۹۶/۴	۷۲۵/۱	۸۹۸/۸	۶۰۰/۲
شرق	۶۰۹/۱	۳۱۲/۲	۳۴۶/۰۱	۳۱۵/۰۱	۳۹۰/۴	۲۶۰/۷
جنوب شرقی	۷۷۳/۰۹	۳۹۶/۳	۴۳۹/۱	۳۹۹/۸	۴۹۵/۵	۳۳۰/۹
جنوب	۱۱۲۸/۱	۵۷۸/۲	۶۴۰/۸	۵۸۳/۴	۷۲۳/۱	۴۸۲/۹
جنوب غربی	۱۰۹۷/۶	۵۶۲/۶	۶۲۳/۵	۵۶۷/۶	۷۰۳/۶	۴۶۹/۹
غرب	۲۸۷۳/۸	۱۴۷۳/۱	۱۶۳۲/۴	۱۴۸۶/۲	۱۸۴۲/۲	۱۲۳۰/۳
شمال غربی	۱۶۱۷/۱	۸۲۸/۹	۹۱۸/۶	۸۳۶/۳	۱۰۳۶/۶	۶۹۲/۳

جدول ۶- تفاوت بین رشد شهری مشاهده شده و رشد شهری مورد انتظار (هکتار)

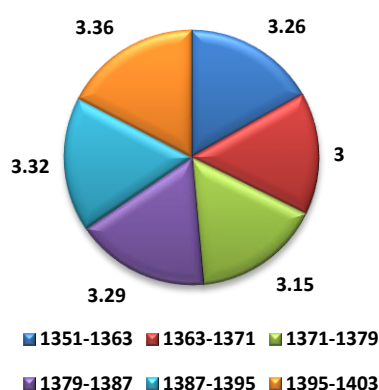
	۱۳۵۱-۱۳۶۳	۱۳۶۳-۱۳۷۱	۱۳۷۱-۱۳۷۹	۱۳۷۹-۱۳۸۷	۱۳۸۷-۱۳۹۵	۱۳۹۵-۱۴۰۳
شمال	-۹/۵	۱۰۵/۴	-۱۱۳/۱	۲۴/۵	-۱۱۱/۸	۸۵/۴
شمال شرقی	-۸۸/۳	۱۱۶/۳	-۱۱۹/۷	۶۶/۳	-۱۸/۲	-۱۳۳/۰۳
شرق	۱۷۶/۷	-۶۱/۵	۲۳/۸	۴۲/۵	۱۴۵/۴	۲۶/۴
جنوب شرقی	۴۱۲/۵	-۱۲۰/۱	۷۲/۰۳	۱۸۸/۸	۱۸۴/۶	۸۷/۱
جنوب	۶۱۲/۸	۱۶۶/۷	۱۸۱/۹	۶۹/۵	۱۳۵/۸	۵۸/۸
جنوب غربی	۳۵۹/۶	۱۸۲/۳	۳۱۵/۴	-۷۳/۹	-۸۸/۸	۲۴/۷
غرب	-۴۹۹/۰۳	۲۱۰/۵	۱۲۱/۶	-۳۱۶/۷	-۲۶۹/۰۳	-۲۴۵/۴
شمال غربی	-۹۶۴/۹	-۵۹۹/۷	-۴۸۲/۰۴	-۱/۱	۲۲/۱	۹۵/۸

۲-۴- آنتروپی شانون و رشد شهری

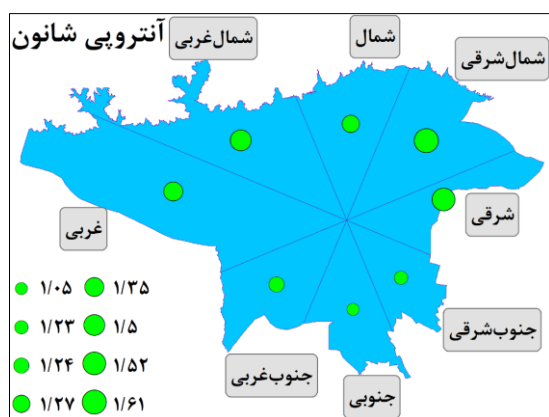
آنتروپی شانون، روشی است که برای تعیین الگوی پراکندگی رشد شهری استفاده شده و از آن برای بررسی و تعیین مقدار پدیده رشد شهری بی‌قواره نیز استفاده می‌شود. در دوره‌های زمانی گذشته، بازه زمانی ۱۳۶۳-۱۳۷۱ دارای کمترین و ۱۳۸۷-۱۳۹۵ دارای بیشترین مقدار پراکندگی در رشد شهری هستند. همچنین در بازه زمانی پیش‌بینی شده ۱۳۹۵-۱۴۰۳ پراکندگی شهری به نسبت گذشته افزایش می‌یابد. نتایج کلی بیانگر این است که شهر از پراکندگی بالایی در رشد برخوردار است. اگر ارزش آنتروپی پایین‌تر از نصف $\log_e^n$ باشد می‌توان گفت شهر دچار پراکندگی در توسعه فیزیکی نمی‌باشد. مقدار آنتروپی در اکثر جهت‌ها دارای مقدار بالاتر از نصف $\log_e^m$ می‌باشد. در نتیجه شهر در همه جهت‌ها دارای رشد پراکنده فیزیکی می‌باشد. جهت شمال شرقی دارای مقدار آنتروپی شانون $1/61$ می‌باشد که به مقدار $\log_e^m$ بسیار نزدیک است در نتیجه در این جهت با پراکندگی شدید در رشد فیزیکی مواجه هستیم. در مقابل جهت‌های جنوب و جنوب شرقی دارای مقادیر آنتروپی شانون کمتر از نصف مقدار $\log_e^m$ هستند که بیانگر عدم پراکندگی در رشد فیزیکی شهر در این جهت‌ها می‌باشد.

مقادیر بالای آنتروپی، وقوع پراکندگی شهری شدید را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از محاسبه آنتروپی شانون برای بازه‌های زمانی و جهت‌های جغرافیایی مختلف به ترتیب به صورت شکل (۸) و (۹) نشان داده شده است.

آنتروپی شانون



شکل ۸- آنتروپی رشد شهری برای دوره‌های زمانی مختلف

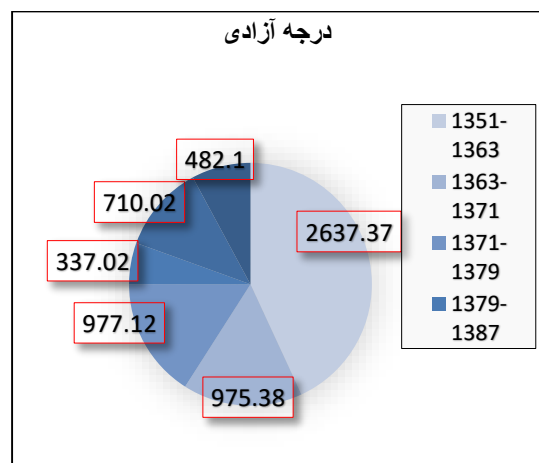


شکل ۹- مقدار آنتروپی رشد شهری برای جهت‌های مختلف

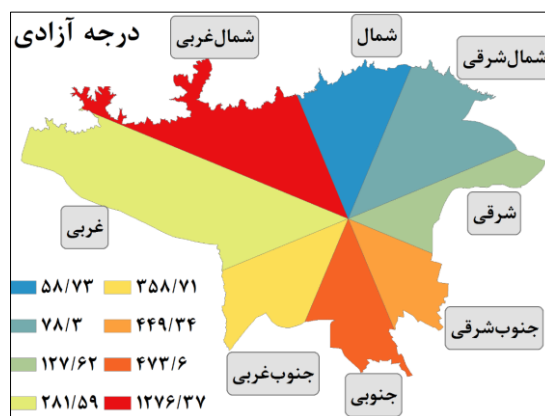
پراکندگی کلی شهر برای کل شهر در دوره زمانی موردنظر محاسبه شده است. حد بالای پراکندگی کلی به صورت $\log_e^{n \times m}$ محاسبه شده است. پراکندگی کل برابر با $4/71$ می‌باشد که از نصف مقدار $\log_e^{n \times m}$ خیلی بالاتر است. در نتیجه می‌توان گفت که به طور کلی شهر در دوره زمانی ۱۳۵۱-۱۳۹۵ از پراکندگی بالایی برخوردار است. و این روند طی سال‌های آینده نیز ادامه خواهد داشت.

۴-۳- کای اسکور پیرسون و رشد شهری

زمانی که مقادیر مشاهده شده با مقادیر مورد انتظار برابر باشد، کای اسکور صفر خواهد شد. کای اسکور بالا نشان دهنده اختلاف زیاد مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار و در نتیجه درجه آزادی بالا می‌باشد. درجه آزادی محاسبه شده برای دوره‌های زمانی و جهت‌های جغرافیایی مختلف به صورت شکل (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است. بازه‌های زمانی ۱۳۶۳-۱۳۵۱ و ۱۳۸۷-۱۳۷۹ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار درجه آزادی می‌باشند. همچنین جهت‌های شمال غربی و جنوب دارای بیشترین درجه آزادی و جهت‌های شمال و شمال شرقی دارای کمترین درجه آزادی در رشد شهری در طول بازه زمانی مورد مطالعه بوده‌اند. درجه آزادی کلی رشد شهری محاسبه شده برای دوره زمانی سال‌های ۱۴۰۳-۱۳۵۱ به صورت جدول (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است درجه آزادی کلی به شدت بالاست. درجه آزادی بالا برای یک منطقه، بیانگر توسعه بی‌ثبات در منطقه با تغییر زمان می‌باشد.



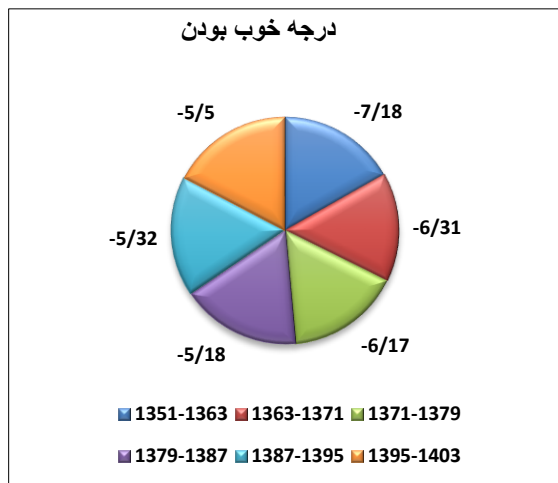
شکل ۱۰- درجه آزادی رشد شهری برای دوره‌های زمانی مختلف



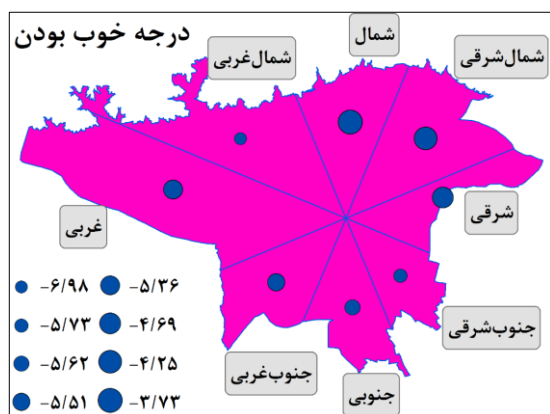
شکل ۱۱- درجه آزادی رشد شهری برای جهت‌های مختلف

۴-۴- درجه خوب بودن رشد شهری

نتایج حاصل از محاسبه شاخص درجه خوب بودن رشد شهری برای دوره‌های زمانی و جهت‌های مختلف به ترتیب به صورت شکل (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است



شکل ۱۲- درجه خوب بودن رشد شهری در دوره‌های زمانی مختلف



شکل ۱۳- درجه خوب بودن رشد شهری در دوره‌های زمانی مختلف

در تجزیه و تحلیل مقادیر به دست آمده برای شاخص درجه خوب بودن می‌توان گفت که مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده خوب بودن رشد شهری و مقادیر منفی حاکی از بد بودن رشد شهری است. نتایج نشان می‌دهد که در بازه‌های زمانی مختلف شهر دارای رشد شهری خوب نبوده است. بررسی این شاخص در جهت - های مختلف نیز نشان دهنده همین موضوع می‌باشد اما می‌توان بازه‌های زمانی و جهت‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد. جهت شمال و شمال غربی به ترتیب به نسبت دیگر جهت‌ها بهترین و بدترین رشد شهری را داشته‌اند. همچنین طبق این شاخص بازه زمانی ۱۴۰۳-۱۳۹۵ بهترین و ۱۳۵۱-۱۳۶۳ بدترین رشد شهری را

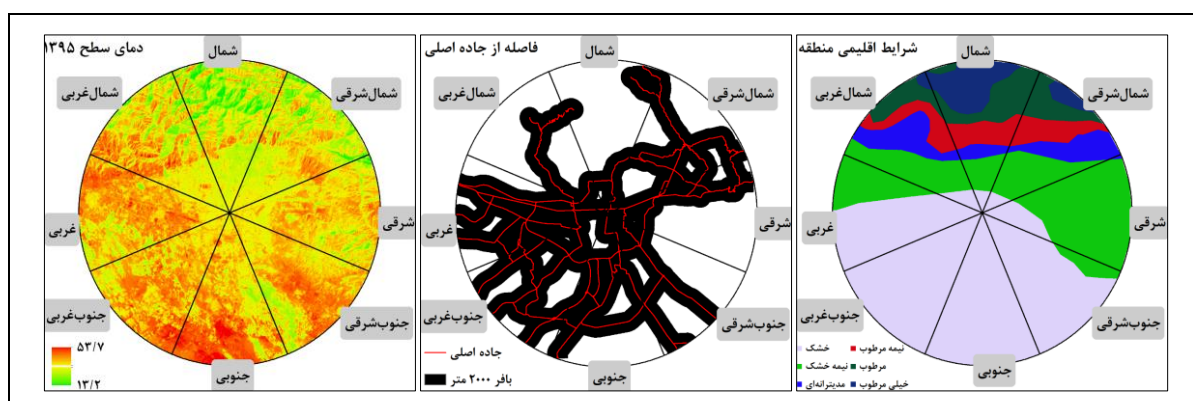
۴-۵- بررسی عوامل مؤثر بر رشد شهری

از جمله عوامل مؤثر بر چگونگی رشد شهری می‌توان به شرایط دمایی سطح، شرایط اقلیمی و نحوه پراکنش راه‌های ارتباطی در منطقه اشاره کرد. سه عامل ذکر شده مؤثر بر رشد شهری در محدوده جغرافیایی تهران بررسی شده است. بدین منظور نقشه‌های بدست آمده برای شرایط دمایی سطح، شرایط اقلیمی و راه‌های ارتباطی در شکل (۴۱) نشان داده شده است.

دارند. نتیجه محاسبه درجه‌ی خوب بودن کلی رشد شهری منطقه، برای دوره زمانی مورد مطالعه به‌صورت جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷- درجه آزادی، آنتروپی و درجه خوب بودن کلی

درجه خوب بودن (G)	آنتروپی (H)	درجه آزادی (X^2)
-۸/۲۳	۴/۷۱	۳۱۰۴/۲



شکل ۱۴- شرایط دمایی سطح، شرایط اقلیمی و راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه

وضعیت هر یک از پارامترها در ۸ جهت جغرافیایی مختلف بررسی و نتایج به‌صورت جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول ۸- نتایج بررسی وضعیت شرایط دمایی سطح، اقلیم منطقه و توزیع راه‌های ارتباطی در ۸ جهت جغرافیایی مختلف

مساحت اقلیم خیلی مرطوب (کیلومتر مربع)	مساحت اقلیم مرطوب (کیلومتر مربع)	مساحت اقلیم نیمه مرطوب (کیلومتر مربع)	مساحت اقلیم مدیترانه‌ای (کیلومتر مربع)	مساحت اقلیم نیمه خشک (کیلومتر مربع)	مساحت اقلیم خشک (کیلومتر مربع)	مساحت "فاصله از جاده اصلی" (کیلومتر مربع)	میانگین "سطح" (درجه سانتی گراد)	شمال
۱۱۳۱۰/۲۱	۱۰۴۱۰/۳	۶۱۱۰	۲۳۴۵/۳۱	۴۱۵۳/۵	۸۰۴/۹۶	۱۰۲۳۸/۱۳	۳۱/۰۸	شمال
۲۳۴۹/۶۳	۶۱۶۲/۷۵	۶۸۲۱/۶۴	۷۹۵۴/۶۵	۱۰۷۹۲/۶۲	۱۰۴۹/۸۵	۲۲۶۹۳/۶۸	۳۰/۰۲	شمال شرقی
-	-	-	۱۰۷/۹۱	۳۰۵۴۱/۱۴	۴۴۶۹/۵۸	۱۴۸۴۶/۴	۳۵/۱۸	شرق
-	-	-	-	۳۱۶۴/۹۴	۳۱۹۵۳/۹۶	۱۸۸۷۵/۴۳	۳۶/۷۶	جنوب شرقی
-	-	-	-	-	-	۲۲۹۶۸/۰۹	۳۸/۸۶	جنوب
-	-	-	-	-	-	۲۷۲۳۸/۵۹	۳۷/۷	جنوب غربی
-	-	-	-	۱۰۶۷۱/۹۳	۲۴۴۵۲/۱۹	۲۸۳۳۶/۷۷	۳۷/۴۸	غرب
۵۹۱/۶۶	۴۹۷۸/۸	۶۱۲۸/۰۱	۹۲۲۰/۸۹	۱۲۴۹۳/۹۸	۱۷۵۰/۶۴	۱۲۷۱۵/۷۴	۳۳/۸۴	شمال غربی

پراکنده‌ی شهری را نشان می‌دهد. برای نمونه جهت‌های شمال شرقی و شمال غربی دارای بالاترین مقادیر آنتروپی شان و میانگین دمای سطح پایین ۳۱/۰۸ و ۳۳/۸۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. همچنین، جهت جغرافیایی شمال شرقی دارای بیشترین مساحت مربوط به مناطق با اقلیم خیلی مرطوب، کمترین میانگین دمای سطح به میزان ۳۰/۹۲ درجه سانتی‌گراد و مقدار بالایی آنتروپی شان به

نتایج بررسی مقادیر پارامترهای در جهت‌های جغرافیایی مختلف و مقایسه آن با مقادیر آنتروپی شان و بیانگر ارتباط دمای سطح منطقه، شرایط اقلیمی و راه‌های ارتباطی با رشد پراکنده شهری در این منطقه می‌باشد. جهت‌های جغرافیایی شمال و شمال شرقی دارای اقلیم معتدل تر و میانگین دمای سطح پایین‌تری هستند و در همان جهات، مقادیر آنتروپی شان و رشد بی‌قواره و

میزان ۱/۶۱ می‌باشد. مناطق قرار گرفته شده در جهت‌های جغرافیایی جنوب و جنوب‌غربی به دلیل قرار گرفتن در شرایط اقلیمی خشک و میانگین دمای بالا دارای مقادیر پایین آنتروپی شانون به میزان ۱/۰۵ و ۱/۲۳ می‌باشند. ازجمله پارامتر مؤثر دیگر بر گسترش پراکنده شهری در منطقه، قرارگیری در نزدیکی مسیرهای ارتباطی می‌باشد. جهت‌های جغرافیایی که از مقادیر بالای مساحت فاصله از جاده اصلی برخوردار هستند دارای مقادیر بالای آنتروپی شانون نیز می‌باشند. در این زمینه می‌توان به جهت جغرافیایی شمال‌شرقی اشاره کرد. برخی از جهت‌های جنوبی و جنوب‌غربی علیرغم قرارگیری در شرایط اقلیمی خشک و دمای سطح بالا دارای مقادیر آنتروپی شانون بالایی می‌باشند که از دلایل اصلی آن می‌توان به قرارگیری این جهت‌ها در طول مسیرهای ارتباطی اشاره کرد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه با بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور و بررسی‌های آماری رشد شهری کلان‌شهر تهران تجزیه و تحلیل شده است. چندین مدل آماری مختلف برای مطالعه رشد شهری به‌عنوان فرایند، الگو و وضعیت کلی به کار رفته است. نوآوری این پژوهش نسبت به مطالعات مشابه در این زمینه، پیش‌بینی نقشه اراضی ساخته‌شده کلان‌شهر تهران مربوط به سال ۲۰۲۴ با استفاده از مدل پیش‌بینی سلول‌های خودکار-مارکوف و بررسی‌های آماری خاص مربوط به شاخص‌های رشد شهری برای دوران گذشته و آینده می‌باشد. همچنین پارامترهای شرایط اقلیمی، دمای سطح منطقه و نحوه توزیع راه‌های ارتباطی در جهت‌های جغرافیایی مختلف نیز بررسی و تأثیر هر یک از پارامترهای فوق بر نحوه و میزان گسترش شهری در جهت‌های مختلف بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که شهر دارای درجه آزادی بالایی بوده و در حال رشد بدقواره و پراکنده می‌باشد. با این حال، روند رشد بدقواره در طی زمان در حال کاهش است. از دلایل اصلی این مسئله توسعه‌ی فرایند گسترش عمودی شهر می‌باشد. شاخص درجه خوب بودن رشد شهری نیز نتایج نگران‌کننده‌ای را نشان می‌دهد. برخلاف کاهش نرخ رشد شهری طی سال‌های گذشته، مقدار شاخص درجه خوب بودن رشد شهری برای منطقه مورد مطالعه در حال کاهش می‌باشد. بررسی پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر نحوه رشد شهری

نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی معتدل‌تر و دمای سطح پایین‌تر ازجمله عوامل مؤثر بر رشد پراکنده شهری در منطقه بوده‌اند. همچنین میزان قرارگیری جاده‌های اصلی در جهت‌های جغرافیایی ارتباط مستقیم بر گسترش بیشتر شهر در این جهت‌ها داشته است. با توجه به بررسی پارامترهای مختلف و تجزیه تحلیل‌های دقیق میزان و نحوه رشد شهری در ابعاد مختلف، نتایج پژوهش می‌تواند به‌عنوان راهنمای مناسب در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری-های آینده برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری بکار رود. با در نظر گرفتن پراکندگی شهری اتفاق افتاده و پیش‌بینی شده برای منطقه مورد مطالعه، می‌توان با دستور کار قرار دادن رشد هوشمند از زمین‌های جدیداً توسعه یافته به‌طور مؤثر و کارآمد استفاده کرد. ازجمله پیشنهادها در زمینه مدیریت رشد شهری برای مدیران و برنامه‌ریزان توجه بیشتر به نتایج مدل پیش‌بینی مربوط به سال ۱۴۰۳ و ارائه راهکارهای مناسب می‌باشد. به‌عنوان نمونه، ۱: اجرای برنامه‌ها و سیاست‌های انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی در مناطقی که بیشتر در معرض خطر رشد پراکنده هستند می‌تواند در این زمینه مفید باشد. ۲: توجه و اهتمام جدی مسئولان شهری به بافت‌های فرسوده شهری و تلاش در جهت احیای کالبدی و عملکردی آن‌ها و تغییر جدی سیاست‌های دولت و مقامات محلی از توسعه بیرونی شهرها به سمت توسعه درونی آن‌ها و استفاده کارآمد از زمین‌های شهری موجود در مناطق و جهت‌های که بیشتر در خطر رشد پراکنده شهری قرار دارند. ۳: تغییر در الگوی نظام کاربری اراضی شهری و تبعیت از الگوها و مدل‌هایی که علاوه بر افزایش کیفیت زندگی بتواند بر پیامدهای منفی ناشی از رشد پراکنده شهری نیز فائق آید الگوهایی چون رشد هوشمند، شهرهای الکترونیک، شهر فشرده، بوم شهر و غیره. ۴: با توجه به نقش تأثیرگذار سکونتگاه‌های غیررسمی در رشد پراکنده شهرها، توجه به اجرایی شدن طرح‌های توانمندسازی، بهسازی و ساماندهی سکونتگاه-های غیررسمی موجود در مناطق حاشیه‌ای شهرها و همچنین تشدید نظارت‌ها برای جلوگیری از گسترش کالبدی-فضایی پهنه‌های غیررسمی در مناطق حاشیه‌ای شهرها البته در کنار اتخاذ سیاست‌های کلان برای توسعه منطقه‌ای متعادل و کاهش روند مهاجرت‌های روستاشهر. ۵: آینده‌نگری مسئولان و مدیران شهری برای هدایت رشد شهری در جهت‌های مختلف طی سال‌های آتی و آماده-

با مدل‌های آماری استفاده شده در پژوهش برای شناسایی الگوی رشد شهری و روندهای کلی آن و به‌کارگیری در برنامه‌ریزی شهری مؤثر و کارا می‌باشد.

سازی زمین‌های پیراشهری برای اقشار و گروه‌های با سطوح درآمدی مختلف در جهت کنترل و کاهش بورس بازی زمین شهری در اراضی پیراشهری. در نهایت نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تلفیق فناوری سنجش از دور

مراجع

- [1] Sarvestani, M. S., Ibrahim, A. L., and Kanaroglou, P. (2011). "Three decades of urban growth in the city of Shiraz, Iran: A remote sensing and geographic information system application." *Cities*, 28(4), pp. 320-329.
- [2] Sun, C., Wu, Z. F., Lv, Z. Q., Yao, N., and Wei, J. B. (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, pp. 409-417.
- [3] Vermeiren, K., Van Rompaey, A., Loopmans, M., Serwajja, E., and Mukwaya, P. (2012). "Urban growth of Kampala, Uganda: Pattern analysis and scenario development." *Landscape and Urban Planning*, 106(2), pp. 199-206.
- [4] Sheykhi, H., Parizadi, T., Rezaei, M., and Sajadi, M. (2012). "Determining the physical form of Isfahan using gary and moran model, 3(9), pp. 119-136."
- [5] Frumkin, H. (2002). "Urban sprawl and public health." *Public health reports*, 117(3), 201.
- [6] Rafiee, R., Mahiny, A. S., and Khorasani, N. (2009). "Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(6), pp. 431-438.
- [7] Thapa, R. B., and Murayama, Y. (2012). "Scenario based urban growth allocation in Kathmandu Valley, Nepal." *Landscape and Urban Planning*, 105(1), pp. 140-148.
- [8] Masoomi, M. T. (2011). "Analysis of temporal-spatial development and Urban's Aspral growth using remote-sensing multitemporal data and statistical models; The case study of the Ardabil." *Encyclopedia of Geography Journal*, pp. 19-29.
- [9] Heimlich, L. B. R. E. (2001). "Development at the urban fringe and beyond: impacts on agriculture and rural." *Economic Research Service, Washington DC: US Department of Agriculture*.
- [10] Forman, R. T. T. (1995). "Landscape mosaic: the ecology of landscape and regions Cambridge University Press.
- [11] Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Coleman, S., and Freihage, J. (2001). "Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept." *Housing policy debate*, 12(4), pp. 681-717.
- [12] Wasserman, M. (2000). "Confronting urban sprawl." *Regional Review of the Federal Reserve Bank of Boston*, pp. 9-16.
- [13] Wilson, E. H., Hurd, J. D., Civco, D. L., Prisloe, M. P., and Arnold, C. (2003). "Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth." *Remote sensing of environment*, 86(3), pp. 275-285.
- [14] Davis, K. (1965). "The urbanization of the human population." *Scientific American*, 213, pp. 40-53.
- [15] Ewing, R. (1997). "Is Los Angeles-style sprawl desirable?." *Journal of the American planning association*, 63(1), pp. 107-126.
- [16] Harvey, R. O., and Clark, W. A. (1965). "The nature and economics of urban sprawl." *Land Economics*, 41(1), pp. 1-9.
- [17] Barnes, K. B., Morgan III, J. M., Roberge, M. C., and Lowe, S. (2001). "Sprawl development: its patterns, consequences, and measurement." *Towson University, Towson*, pp. 1-24.
- [18] Benfield, F. K. (1999, October). "Once there were greenfields." In *Forum for Applied Research and Public Policy* (Vol. 14, No. 3, p. 6). University of Tennessee, Energy, Environment and Resources Center.
- [19] Brueckner, J. K. (2000). "Urban sprawl: diagnosis and remedies." *International regional science review*, 23(2), pp. 160-171.
- [20] Grimm, N. B., Grove, J. G., Pickett, S. T., and Redman, C. L. (2000). "Integrated Approaches to Long-Term Studies of Urban Ecological Systems Urban ecological systems present multiple challenges to ecologists—pervasive human impact and extreme heterogeneity of cities, and the need to integrate social and ecological approaches, concepts, and theory." *BioScience*, 50(7), 571-584. growing region using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban planning*, 69(4), pp. 335-354.

- [21] Hedblom, M., and Söderström, B. (2008). "Woodlands across Swedish urban gradients: Status, structure and management implications." *Landscape and Urban Planning*, 84(1), pp. 62-73.
- [22] Alterman, R. (1997). "The challenge of farmland preservation: lessons from a six-nation comparison." *Journal of the American Planning Association*, 63(2), pp. 220-243.
- [23] Asif, S., and Shachar, A. (1999). "LAND—national comprehensive outline scheme and principles for building and development document—NOS/35." *Interim Report—Summery of Stage A, Tel-Aviv (in Hebrew)*.
- [24] Coughlin, R. E. (1991). "Formulating and evaluating agricultural zoning programs." *Journal of the American Planning Association*, 57(2), pp. 183-192.
- [25] Bhatta, B. (2009). "Modelling of urban growth boundary using geoinformatics." *International Journal of Digital Earth*, 2(4), pp. 359-381.
- [26] Frenkel, A. (2004). "The potential effect of national growth-management policy on urban sprawl and the depletion of open spaces and farmland." *Land use policy*, 21(4), pp. 357-369.
- [27] Gatrell, J. D., and Jensen, R. R. (2002). "Growth through greening: developing and assessing alternative economic development programmes." *Applied Geography*, 22(4), pp. 331-350.
- [28] Hollis, L. E., and Fulton, W. B. (2002). "Open space protection: conservation meets growth management." *Brookings Institution Center on Urban and Metropolitan Policy*.
- [29] Longley, P., Batty, M., Shepherd, J., and Sadler, G. (1992). "Do green belts change the shape of urban areas? A preliminary analysis of the settlement geography of South East England." *Regional Studies*, 26(5), pp. 437-452.
- [30] Nelson, A. C., and Moore, T. (1993). "Assessing urban growth management: The case of Portland, Oregon, the USA's largest urban growth boundary." *Land Use Policy*, 10(4), pp. 293-302.
- [31] Wassmer, R. W. (2002). "Fiscalisation of land use, urban growth boundaries and non-central retail sprawl in the western United States." *Urban Studies*, 39(8), pp. 1307-1327.
- [32] Burby, R. J., Nelson, A. C., Parker, D., and Handmer, J. (2001). "Urban containment policy and exposure to natural hazards: is there a connection?." *Journal of Environmental Planning and Management*, 44(4), pp. 475-490.
- [33] Deng, J. S., Wang, K., Hong, Y., and Qi, J. G. (2009). "Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization." *Landscape and urban planning*, 92(3), pp. 187-198.
- [34] Manonmani, R., and Suganya, G. M. D. (2010). "Remote sensing and GIS application in change detection study in urban zone using multi temporal satellite." *International journal of Geomatics and Geosciences*, 1(1), 60.
- [35] Bhatta, B., Saraswati, S., and Bandyopadhyay, D. (2010). "Quantifying the degree-of-freedom, degree-of-sprawl, and degree-of-goodness of urban growth from remote sensing data." *Applied Geography*, 30(1), pp. 96-111.
- [36] Batisani, N., and Yarnal, B. (2009). "Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: Spatial dynamics and landscape transformations." *Applied Geography*, 29(2), pp. 235-249.
- [37] Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y., and Huang, Z. (2006). "Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing." *Landscape and urban planning*, 75(1), pp. 69-80.
- [38] Martin, M., Hall, D., Marzen, L., and Alexander, T. (2007). "Remote Sensing Analysis of Urban Expansion in Birmingham, Alabama: 1988-2004." In *PAPERS AND PROCEEDINGS OF APPLIED GEOGRAPHY CONFERENCES (Vol. 30, p. 147)*. [np]; 1998.
- [39] Shahi, K., Shafri, H. Z., Taherzadeh, E., Mansor, S., and Muniandy, R. (2015). "A novel spectral index to automatically extract road networks from WorldView-2 satellite imagery." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), pp. 27-33.
- [40] Alberti, M. (2005). "The effects of urban patterns on ecosystem function." *International regional science review*, 28(2), pp. 168-192.
- [41] Batty, M., Xie, Y., and Sun, Z. (1999). "Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata." *Computers, environment and urban systems*, 23(3), pp. 205-233.
- [42] Feng, Y., Liu, Y., Tong, X., Liu, M., and Deng, S. (2011). "Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules." *Landscape and Urban Planning*, 102(3), pp. 188-196.
- [43] Deadman, P., Brown, R. D., and Gimblett, H. R. (1993). "Modelling rural residential settlement patterns with cellular automata." *Journal of Environmental Management*, 37(2), pp. 147-160.

- [44] Deep, S., and Saklani, A. (2014). "Urban sprawl modeling using cellular automata." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(2), pp. 179-187.
- [45] Clark, W. A., and Hoskings, P. L. (1986). "Statistical methods for geographers John Wiley and Sons New York." *Clark Statistical Methods for Geographers* 1986.
- [46] Belal, A. A., and Moghanm, F. S. (2011). "Detecting urban growth using remote sensing and GIS techniques in Al Gharbiya governorate, Egypt." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 14(2), pp. 73-79.
- [47] White, R., and Engelen, G. (2000). "High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems." *Computers, environment and urban systems*, 24(5), pp. 383-400.
- [48] Almeida, C. M. D., Monteiro, A. M. V., Câmara, G., Soares-Filho, B. S., Cerqueira, G. C., Pennachin, C. L., and Batty, M. (2005). "GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change." *International Journal of Remote Sensing*, 26(4), pp. 759-774.
- [49] Kumar, J. A. V., Pathan, S. K., and Bhandari, R. J. (2007). "Spatio-temporal analysis for monitoring urban growth—a case study of Indore city." *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 35(1), pp. 11-20.
- [50] Lata, K. M., Prasad, V. K., Badarinath, K. V. S., Raghavaswamy, V., and Rao, C. H. S. (2001). "Measuring urban sprawl: A case study of Hyderabad." *GIS Development* 5 (12). Reproduced with permission of the copyright owner. Further reproduction prohibited without permission, pp. 8-13.
- [51] Sudhira, H. S., Ramachandra, T. V., and Jagadish, K. S. (2004). "Urban sprawl: metrics, dynamics and modelling using GIS." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(1), pp. 29-39.
- [52] Dadras, M., Shafri, H. Z., Ahmad, N., Pradhan, B., and Safarpour, S. (2015). "Spatio-temporal analysis of urban growth from remote sensing data in Bandar Abbas city, Iran." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), pp. 35-52.
- [53] Otukey, J. R., & Blaschke, T. (2010). Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S27-S31.
- [54] Yang, X., Zheng, X. Q., and Lv, L. N. (2012). "A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata." *Ecological Modelling*, 233, pp. 11-19.
- [55] Rajitha, K., Mukherjee, C. K., Vinu Chandran, R., & Prakash Mohan, M. M. (2010). Land-cover change dynamics and coastal aquaculture development: a case study in the East Godavari delta, Andhra Pradesh, India using multi-temporal satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 31(16), 4423-4442.
- [56] Azizi, A., Malakmohamadi, B., and Jafari, H. (2016). "Land use and land cover spatiotemporal dynamic pattern and predicting changes using integrated CA-Markov model." *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(3), pp. 223-234.
- [57] Pontius, R. G. (2000). "Quantification error versus location error in comparison of categorical maps." *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 66(8), pp. 1011-1016.
- [58] Fan, F., Wang, Y., and Wang, Z. (2008). "Temporal and spatial change detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images." *Environmental Monitoring and Assessment*, 137(1-3), pp. 127-147.
- [59] Rashmi, M. K., and Lele, N. (2010). "Spatial modeling and validation of forest cover change in Kanakapura region using GEOMOD." *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(1), pp. 45-54.
- [60] Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., and Cristóbal, J. (2014). "Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), pp. 1840-1843.
- [61] Zhang, Z., De Wulf, R. R., Van Coillie, F. M., Verbeke, L. P., De Clercq, E. M., & Ou, X. (2011). Influence of different topographic correction strategies on mountain vegetation classification accuracy in the Lancang Watershed, China. *Journal of Applied Remote Sensing*, 5(1), 053512-053512.
- [62] Waters, R., Allen, R., Bastiaanssen, W., Tasumi, M., & Trezza, R. (2002). SEBAL. Surface Energy Balance Algorithms for Land. Idaho Implementation. Advanced Training and Users Manual, Idaho, USA.
- [63] G. Chander, B. L. Markham, and D. L. Helder, "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors," *Remote sensing of environment*, vol. 113, no. 5, pp. 893-903, 2009.
- [64] J. A. Sobrino et al., "Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 46, no. 2, pp. 316-327, 2008.
- [65] Baker, W. L. (1989). A review of models of landscape change. *Landscape ecology*, 2(2), 111-133.
- [66] Alimohammadi, A., Mousyvnd, A. J., and Shayan, S. (2010) "Prediction of land use-cover changes using satellite images and Markov chain model" *The Journal of Spatial Planning*, 14(3), pp. 117-130.