



آنالیز زمانی - مکانی گسترش فیزیکی و رشد اسپرال شهری با استفاده از داده‌های چندزمانه سنجش از دور و مدل‌های آماری، مطالعه موردی: شهر اردبیل^۱

محمدتقی معصومی *

دانش آموخته دوره دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۵/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۱۹

چکیده

گسترش و رشد شهری فرایندی مکانی- جمعیتی است و به اهمیت روزافزون شهرک‌ها و شهرها به عنوان محل تمرکز جمعیت در جامعه و اقتصاد خاصی اشاره دارد. آنالیز رشد شهری با استفاده از داده‌های تاریخی و کنونی عملیاتی ضروری در مطالعات جغرافیایی شهرها و برنامه‌ریزی‌های آتی می‌باشد. گسترش افقی و رشد شهرها می‌تواند با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تکنیک‌های GIS در کنار شاخص‌های آماری، نقشه‌برداری شده و اندازه‌گیری گردد. هدف اصلی این مقاله فرایینی یا دیده‌بانی رشد شهری در شهر اردبیل (در شمال غرب ایران) در چهار دهه گذشته و کمی‌سازی درجه آزادی رشد شهری، درجه گسترش افقی بی‌رویه شهری و درجه خوب بودن رشد شهری بوده است. عکسهای هوایی و تصاویر چندزمانه ماهواره- ای پوشش دهنده چهار دهه (۲۰۰۷-۱۹۶۸) برای تعیین گستره و رشد فیزیکی شهر اردبیل در هشت جهت جغرافیایی مختلف در داخل یک ناحیه دایره‌ای شکل مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. در راستای آنالیز رشد شهری، آزمون کای اسکور پیرسن برای بررسی درجه آزادی رشد شهری و آنتروپی شانون برای تعیین درجه اسپرال شهری به کار گرفته شدند و درجه خوب بودن رشد شهری نیز بررسی گردیده است. این اندازه‌ها هم برای چهار دوره ده ساله و هم برای مناطق مختلف شهر محاسبه شدند. نتایج نشان می‌دهد که درجه آزادی رشد شهری برای هر چهار دوره زمانی خیلی بالاست و میزان آن برای جهات شمال و شرق اردبیل نسبتاً پایین و برای شمال شرق، جنوب شرق، غرب و شمال غرب شهر بالا و برای جنوب و جنوب غرب خیلی بالاست. درجه آزادی کلی رشد شهری نیز برای کل شهر به شدت بالا می‌باشد. آنالیز صورت گرفته با آنتروپی شانون نیز نشان می‌دهد شهر اردبیل در هر چهار دوره زمانی از پراکندگی افقی شهری برخوردار بوده و در همه جهات نیز در حال تجربه نمودن پراکندگی فیزیکی شهری است. هرچند که میزان آن در دوره‌های زمانی

^۱- این مقاله از رساله دکتری با عنوان «فرایینی، مدل‌سازی و پیش‌بینی گسترش پراکنده شهری، مطالعه موردی: شهر اردبیل» که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران با راهنمایی دکتر سیدرحیم مشیری انجام شده، استخراج گردیده است.

* نویسنده رابط Taqi.masoumi@gmail.com

و جهات مختلف متفاوت می‌باشد. اسپرال کلی نیز با در نظر گرفتن کل شهر خیلی بالاست و بنابراین می‌توان گفت اردبیل با در نظر گرفتن الگو و فرایند در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۶۸ از اسپرال کلی بالایی برخوردار بوده است و سرانجام اینکه آنالیز درجه خوب بودن شهری نیز نشان می‌دهد که شهر اردبیل در دوره زمانی مذکور شاهد مطلوب بودن رشد شهری نبوده و میزان آن در همه جهات منفی بوده است.

واژه های کلیدی: اسپرال شهری، مطلوب بودن رشد شهری، اردبیل، سنجش از دور

مقدمه

در اولین دهه قرن بیستم، روند سکونت انسانها در روستاها و شهرها شروع به تغییر یافتن نموده و در حال حاضر هر هفته حدود یک میلیون نفر به جمعیت شهری جهان افزوده می‌شود (نظریان و همکاران، ۱۳۸۸). همه کشورها مخصوصاً در واکنش به رشد جمعیت و پیشرفتهای اقتصادی و زیرساختی، مستعد پدیده‌ی حیرت‌آور شهرنشینی هستند و شهرها در حال بوجود آوردن وضعیت هشدار دهنده در همه کشورهای جهان هستند و در واقع با این که شهرها در گذشته، شاخص‌ها و معیارهای مطلوب توسعه و تمدن را در آغوش خود پروراندند و بارور می‌کردند، امروز با افزایش انفجاری جمعیت برخلاف توسعه و مدنیّت گام برمی‌دارند و با گسترش فضایی ناهنجار به ضرر زیر ساخت‌های اکولوژیکی عمل می‌کنند (نظریان، ۱۳۸۰). این وضعیت منجر به ایجاد مشکلات کاربری اراضی نظیر از بین رفتن زمینهای کشاورزی، رشد بی‌قواره شهری^۱، بالا رفتن ارزش و قیمت زمین، احتکار زمین و... شده است. در حوزه مطالعات شهری، رشد بی‌قواره و پراکنده شهری موضوعی است که توجه زیادی را به خود جلب نموده است. رشد و گسترش شهری از تغییرات کاربری اراضی (معمولاً از کاربری کشاورزی به کاربری شهری) ناشی می‌شود. مشخص شده است که جمعیت و اقتصاد دو نیروی محرکه گسترش شهری هستند و تقاضا برای فضا توسط انسانها اصلی‌ترین نیروی محرکه گسترش شهری است. با وجود این، گسترش شهری بدون حمایت عامل اقتصاد ممکن نیست اتفاق بیفتد (لین لی و همکاران، ۲۰۰۳). گسترش و رشد شهری هم باید به عنوان الگوی کاربری اراضی شهری (پیکربندی فضایی یک ناحیه مادرشهری در یک لحظه زمانی) و هم به عنوان یک فرایند (به عنوان تغییر در ساختار فضایی شهرها در طی زمان) آنالیز گردد. اگر رشد شهری به عنوان الگو در نظر گرفته شود، در این صورت یک پدیده استاتیک (ایستا) می‌باشد و در صورتی که به عنوان فرایند در نظر گرفته شود، یک پدیده دینامیک (پویا) خواهد بود. آنالیز رشد شهری از دو بعد الگو و فرایند یک ضرورت برای برنامه‌ریزان، مدیران و گروههای ذینفع شهری است. رشد شهری به عنوان یک الگو اگر چه به ما در درک توزیع فضایی کمک می‌نماید، اما یک پدیده ایستا می‌باشد و در واقع نواحی‌ای که به عنوان رشد بدقواره شهری برای یک زمان مشخص شناسایی می‌شوند، عمدتاً قسمتی از یک صحنه دینامیک شهری هستند (اوینگ، ۱۹۹۷). آنالیز رشد شهری با در نظر گرفتن دو بعد الگو و فرایند (به شکل ترکیبی) به درک چگونگی تغییر چشم‌انداز شهری در طی زمان کمک می‌نماید و 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 مشاهده شده و رشد مورد انتظار (۴) پی بردن به وجود ناهمخوانی (اختلاف) فضایی یا زمانی در رشد شهری و (۵) اطلاع از رخداد یا عدم رخداد رشد شهری از نوع رشد و گسترش پراکنده (اسپرال).

زمین اصلی ترین عنصر در توسعه شهری محسوب می‌شود. از این رو تنظیم و کنترل نحوه استفاده از آن و همچنین محاسبه نیاز واقعی شهر به زمین، به منظور تامین کاربری‌های مختلف در زمان حال و تعمیم و تطبیق ارقام و کمیتهای به دست آمده به آینده در حل مشکل زمین و مسکن و رشد مناسب شهرها، موثر واقع می‌شود (صابری‌فر، ۱۳۸۱). گسترش افقی یا خزش شهری همیشه منجر به تغییر کاربری زمین می‌شود. حال ممکن است که این تغییر در زمین‌های زراعی صورت پذیرد و یا مراتع و جنگل‌ها و

¹ - Sprawl

دامنه های کم و بیش شیبدار کوهها و تپه ها را دربرگیرد. زیرا جمعیت و فعالیت هایی که از شهر مرکزی در فرایند خزش به پیرامون منتقل می شوند، برای استقرار در پیرامون، نیاز به زمین دارند. از اینرو می توان گفت که تغییر کاربری اراضی در پیرامون شهر نسبت مستقیم با اندازه شهر دارد و هرچه شهر بزرگ تر باشد و فاقد برنامه ریزی دقیق، تاثیر آن در تغییر کاربری اراضی پیرامونی بیشتر است (قادرمزی، ۱۳۸۳).

پیشینه تحقیق

نزدیک به سه دهه است که تلاشهای تحقیقاتی زیادی برای آشکارسازی تغییرات شهری با استفاده از تصاویر سنجنش از دور صورت می گیرد. برای اینکه سنجنش از دور از نظر هزینه مفید و اثربخش و از نظر تکنولوژیکی کم عیب می باشد و داده های فضایی استواری را فراهم می آورد که نواحی وسیعی را با جزئیات فضایی و فرکانس زمانی بالا می پوشاند و با برگشت به دهه ۱۹۶۰ می تواند داده های تاریخی خوبی را فراهم سازد. اهمیت سنجنش از دور به خاطر داشتن "دید بی نظیر" از دینامیک های فضایی و زمانی فرآیندهایی چون رشد شهری و تغییرات کاربری اراضی می باشد (هرولد و همکاران، ۲۰۰۳) و به همین دلیل است که این تکنیک به طور وسیعی برای آشکارسازی و فرایینی تغییرات پوشش اراضی در مقیاسهای مختلف و با نتایج مفید به کار رفته است (استفانو و همکاران ۲۰۰۱، ویلسون و همکاران، ۲۰۰۳) که به عنوان نمونه به برخی از آنها اشاره می شود. موحد و همکار (۱۳۸۸) جهت گسترش محله های حاشیه نشین شهر اهواز را با استفاده از نقشه حریم قانونی شهر، نقشه کاربری اراضی حاصل از طبقه بندی تصاویر ماهواره ای و نقشه کاربری اراضی شهری (طرح جامع و تفصیلی) مورد ارزیابی قرار داده است. ضیاءتوانا و همکار (۱۳۸۸) تغییرات کاربری اراضی روستاهای پیراشهری سنندج را در فرایند خزش شهری ارزیابی نموده اند. میرباقری و همکار (۱۳۸۸) میزان تمرکز توسعه اراضی شهری را در محدوده شهرهای اسلامشهر، رباط کریم و نسیم شهر و با استفاده از تابع Ripleys در GIS و در دوره زمانی ۱۳۷۵-۱۳۷۱ و ۱۳۸۱-۱۳۷۵ مورد ارزیابی کمی قرار داده اند. آنها داده های مورد نیاز برای انجام تحقیق را از تصاویر ماهواره SPOT استخراج نموده اند. ابراهیم زاده و همکار (۱۳۸۸) الگوی کالبدی-فضایی شهر مرودشت را با استفاده از مدل های آنتروپی شانون و هلدن تحلیل نموده و به این نتیجه رسیده اند که این شهر تا سال ۱۳۷۵ به صورت فشرده رشد نموده اما از این سال به بعد رشد بدقواره (اسپرال) در این شهر رخ داده است. قرخلو و همکار (۱۳۸۸) الگوی رشد کالبدی-فضایی شهر تهران را با استفاده از مدل های کمی و روش تسای یعنی چهار روش درجه تجمع، درجه توزیع متعادل، تراکم و اندازه متروپل بررسی نموده و به این نتیجه رسیده اند که شهر تهران از نظر رشد و گسترش فضایی در گذشته از رشد آرام و فشردگی نسبی برخوردار بوده اما با شروع شهرنشینی سریع و مهاجرت های بی رویه روستاشهری، رشد مساحت آن بسیار سریع شده بطوریکه می توان الگوی رشد پراکنده یا گسترش افقی بی رویه را بر این شهر متصور شد. عزیزپور و همکاران (۱۳۸۸) رابطه رشد افقی سریع شهر یزد و تحرکات جمعیتی در این شهر را بررسی نموده اند. آنها به این نتیجه رسیده اند که بخشی از رشد افقی سریع شهر یزد حاصل مهاجرت روستاییان به شهر یزد با انگیزه اشتغال در این شهر بوده است. چرا که مناطق عمده مهاجرنشین در شهر یزد در محدوده پیرامون شهر قرار گرفته اند. ابراهیم زاده و همکار (۱۳۸۹) عوامل گسترش فیزیکی و رشد اسپرال شهر طبس را با استفاده از مدل آنتروپی هلدن تحلیل نموده و برای انجام تحقیق از داده های اسنادی و میدانی و مدل های هلدن، ضریب مکانی و مدل فزاینده اشتغال و جمعیت استفاده نموده اند. خوش گفتار و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات پوشش و کاربری زمین را در بخشی از شهر تهران و با استفاده از تصاویر ماهواره ای ASTER برای دوره زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۱ پیش نموده اند. سودهیرا و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از سنجنش از دور و GIS اسپرال شهری صورت گرفته در دوره زمانی سه دهه ای را در ناحیه منگلور-یودویی در هندوستان مطالعه نموده اند در این مطالعه همچنین برخی از شاخص های چشم انداز مورد نیاز برای کمی سازی اسپرال شهری نیز توصیف شده- اند. خیالی و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از سنجنش از دور و GIS، گسترش شهری و بازسازی فضایی الگوهای کاربری اراضی را

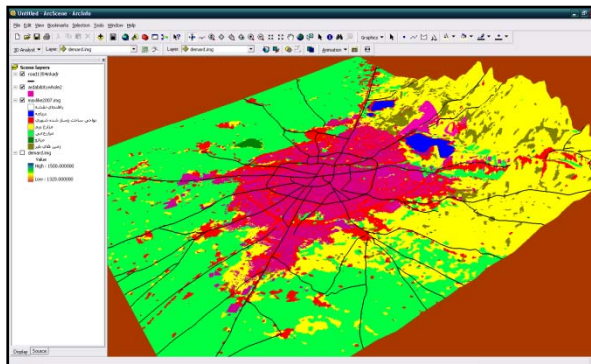
در دلتای رودخانه پیرل در جنوب چین مطالعه نموده‌اند. هویپینگ لیو و کیمینگ ژو (۲۰۰۵) از یک مدل آماری فضایی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیران در رابطه با پیش‌بینی رشد شهری در حاشیه شهر پکن در چین استفاده نموده‌اند. جینگ خیاو و همکاران (۲۰۰۶) روندهای شهرنشینی را در شهر شیجیاژوانگ در چین با استفاده از RS و GIS مطالعه نموده‌اند. بسام صالح و سامی الرواشده (۲۰۰۷) از تکنیک‌های RS و GIS برای تعیین موقعیت و برآورد گسترش نواحی شهری در سه شهر اردنی استفاده نمودند. مک‌مارتین و همکاران (۲۰۰۷) از داده‌های سنجش از دور برای آنالیز گسترش شهری در منطقه بیرمینگهام استفاده نموده‌اند و هدف آنها درک بهتر روندهای توسعه و گسترش ناحیه مادر شهری بیرمینگهام بوده است. ماهس کومار و همکاران (۲۰۰۸) اسپرال شهری شهر آجر در هندوستان را در مقیاس متوسط و برای دوره ۲۵ ساله (۱۹۷۷-۲۰۰۲) و با هدف استخراج اطلاعات مربوط به اسپرال، مساحت سطوح نفوذناپذیر و تغییرپذیری زمانی و فضایی آنها مطالعه نموده‌اند. آنها برای انجام این مطالعه از تصاویر سنجنده های TM, MSS, ETM+ و ماهواره لندست و سنجنده LISS III ماهواره IRS استفاده کرده‌اند. اشرف‌ام-دیوان و یاسوشی یاماگوچی (۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اجتماعی-اقتصادی تغییرات کاربری/پوشش اراضی را در ناحیه مادر شهری داکار بزرگ در بنگلادش و در دوره ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۳ ارزیابی و بررسی نموده‌اند. یوئیلیانگ ما و رویسانگ خو (۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و تکنیک‌های استخراج و طبقه‌بندی اطلاعات، مطالعه‌ای دینامیک را روی ناحیه ساخت‌وساز شده شهر گوانگژو در چین در دوره‌های زمانی مختلف انجام داده‌اند.

اهداف و فرضیات تحقیق

به طور واضح اهداف ویژه این مقاله عبارتند از: (۱) استخراج ویژگی‌های مکانی و زمانی گسترش شهری در اردبیل. (۲) آگاهی از نرخ گسترش شهری. (۳) پی بردن به تفاوت بین گسترش شهری مشاهده شده و گسترش شهری مورد انتظار. (۳) اطلاع از رخداد یا عدم رخداد گسترش شهری از نوع گسترش پراکنده (اسپرال). (۴) آنالیز و درک الگو و دینامیک اسپرال شهری و بالاخره (۵) مفید بودن تکنیک‌های فضایی مانند سنجش از دور و GIS برای آشکارسازی و تجزیه و تحلیل آنالیز گسترش بی‌قواره شهری و بررسی تغییرپذیری فضایی و زمانی آن. توجه به اهداف و سئوالات تحقیق فرضیاتی را به شرح زیر مطرح می‌کند: (۱) به نظر می‌رسد شهر اردبیل از نظر فرایند گسترش شهری در کل دچار گسترش پراکنده شهری می‌باشد. (۲) به نظر می‌رسد می‌توان با استفاده از تکنولوژی‌های جدید مانند RS و GIS در کنار داده‌های جانبی، گسترش پراکنده شهری را در ناحیه مادر شهری اردبیل فرایندی، تجزیه و تحلیل و مدیریت نمود.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهر اردبیل و نواحی اطراف آن به شعاع تقریبی ۷ کیلومتر از مرکز تجاری (CBD) شهر می‌باشد. شکل شماره ۱ منطقه مورد مطالعه را در ارتباط با توپوگرافی نشان می‌دهد. اردبیل مرکز شهرستان اردبیل و در عین حال مرکز استان اردبیل می‌باشد. این شهر در دشت اردبیل و در ارتفاع ۱۳۴۰ متری از سطح دریا قرار دارد (وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۶). با هدف نمایش بصری بهتر رابطه بین مورفولوژی شهر اردبیل و ناهمواریهای اطراف آن، شکل شماره ۱ به گونه‌ای چرخش داده شده که در آن دید به سمت جنوب شرق می‌باشد. در این شکل دیده می‌شود که شهر از یک سمت چسبیده به تپه‌ماهورهای اطراف دریاچه شورابیل بوده و در جهات دیگر متصل به مزارع آبی و دیم کشاورزی می‌باشد. بنابراین گسترش افقی شهر بایستی با پس از انجام مطالعات دقیق و کارشناسی شده صورت گیرد.



شکل شماره ۱- مورفولوژی شهری اردبیل و رابطه آن با توپوگرافی منطقه

داده‌ها و روش تحقیق

در سالهای اخیر داده های سنجنش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به طور وسیعی برای تهیه نقشه (با هدف درک الگو)، فرآینبی (با هدف درک فرایند) و مدلسازی (برای شبیه سازی) رشد شهری، کاربری اراضی و اسپرال شهری مورد استفاده قرار گرفته اند. این مطالعه قصد دارد گسترش افقی یا اسپرال شهری را با استفاده از داده های فعلی و تاریخی سنجنش ازدور و با کمک مدل های آماری ساده که می توانند روی ابعاد مختلف زمانی و مکانی (فضایی) به کار برده شوند، آنالیز نماید و مشخص نماید که آیا رشد شهری در اردبیل در سالهای گذشته از نوع رشد شهری اسپرال بوده یا خیر و در صورت وجود اسپرال، روند آن در طی زمان و همچنین میزان آن در قطاع های مختلف شهری چگونه بوده است. در تحقیق حاضر تصاویر ماهواره ای مربوط به سالهای ۱۹۹۸، ۱۹۹۸ مربوط به ماهواره لندست و ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ مربوط به ماهواره IRS مورد استفاده قرار گرفته اند و قبل از استخراج اطلاعات از این تصاویر، پیش پردازش های لازم روی آنها صورت گرفته است. علاوه بر این تصاویر که مشخصات آنها در جدول شماره ۱ آمده است، عکسهای هوایی با مقیاسهای ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، نقشه های توپوگرافی، نقشه های موضوعی مانند نقشه کاربری اراضی منطقه و نقشه طرح تفصیلی شهر اردبیل در مراحل مختلف تحقیق مورد استفاده قرار گرفته اند.

جدول شماره ۱- مشخصات تصاویر ماهواره ای تهیه شده از سازمان فضایی کشور برای انجام تحقیق

ردیف	تصویر سنجنده	ماهواره	تاریخ اخذ	تعداد باندها	توان تفکیک فضایی (متر)
۱	TM	لندست	۱۹۸۸	۷	۲۸/۵
۲	TM	لندست	۱۹۹۸	۷	۲۵
۶	LISIII	IRS	۲۰۰۷	۴	۲۴

قبل از استخراج اطلاعات مورد نیاز آنالیز از تصاویر ماهواره ای، عملیات پیش پردازش تصاویر ماهواره ای (تصحیح اتمسفری و تصحیح هندسی) صورت گرفت. برای تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره ای بر مبنای بازتاب از آب دریاچه شورابیل در جنوب شهر اردبیل از روشهای حداقل هیستوگرام و روش رگرسیون استفاده شده است. بنابراین در تمامی تصاویر چندزمانه بخشی از تصویر که حاوی سلولهای پوشیده از آب در دریاچه شورابیل بوده برش داده شده و هیستوگرام باندهای مرئی تصاویر با هیستوگرام باند مادون قرمز در محیط نرم افزار IDRISI (The Kilimanjaro Edition) مقایسه و حداقل هیستوگرام از باندهای مرئی کم شده است. در روش رگرسیون نیز ارقام پیکسلهای حاوی آب (و در واقع دارای بازتاب صفر در مادون قرمز) در برابر هم رسم شده و با استفاده از روش کمترین مربعات^۱ بهترین خط مستقیم برازیده شده^۲ یا خط رگرسیون از نقاط تعیین شده گذرانده شده است (معصومی،

^۱ - least squares method

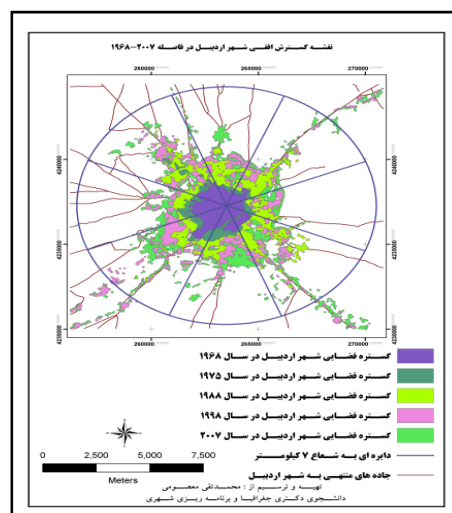
^۲ - regression line

۱۳۷۸). برای تصحیح هندسی تصویر با توجه به اینکه تمرکز روی شهر اردبیل و نواحی نزدیک به آن بوده، ۲۰ نقطه کنترل زمینی از روی نقشه‌های توپوگرافی منطقه و در داخل و اطراف شهر اردبیل انتخاب و با استفاده از معادله درجه دوم نسبت به تصحیح هندسی تصاویر اقدام گردید و با توجه به اینکه خطای RMS هیچکدام از نقاط بیش از حد مجاز نبودند، هیچکدام از آنها حذف نشد و با استفاده از معادله درجه دوم و روش واسطه یابی نزدیکترین همسایه و با خطای RMS کلی ۰/۴ و در محیط نرم‌افزاری ERDAS IMAGINE 8.7 صورت گرفت. اطلاعات کلی مربوط به این فرایند در خصوص هر کدام از تصاویر مورد استفاده در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول شماره ۲- اطلاعات کلی در خصوص فرایند تصحیح هندسی تصاویر چندزمانه مورد استفاده

ردیف	تصویر	تعداد GCP	معادله به کار رفته	میزان RMS	مبنای تصحیح
۱	TM (1988)	۲۰	درجه دوم	۰/۴	Topo Sheet
۲	TM (1998)	۲۴	درجه دوم	۰/۶	TM (1988) تصحیح هندسی شده
۳	IRS (2007)	۲۲	درجه دوم	۰/۶	TM (1988) تصحیح هندسی شده

با استفاده از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۲ که می‌تواند به استخراج اطلاعات مهم و از بین بردن افزونگی داده‌ها کمک کند، تصاویر بدون همبستگی تولید شده و طبقه‌بندی تصاویر چندزمانه با استفاده از روشهای نظارت نشده و نظارت شده صورت گرفت و دقت کلی طبقه‌بندی با الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال^۳ برای تصاویر ماهواره‌ای ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ به ترتیب ۰/۹۴۹، ۰/۸۸ و ۰/۸۴ بوده است. پس از تعیین گستره فضایی شهر اردبیل در سالهای ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ از تصاویر ماهواره‌ای و گسترش فضایی آن در سال‌های قبل از روی نقشه‌های توپوگرافی (تهیه شده از عکسهای هوایی)، قبل از انجام محاسبات مربوطه این نقشه‌ها همپوشانی^۴ شده‌اند تا روند توسعه شهر اردبیل در یک بازه زمانی حدوداً چهار دهه‌ای (از سال ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۷) مشخص گردد (شکل شماره ۲).



شکل شماره ۲- همپوشانی نقشه‌های نشان‌دهنده گستره فضایی شهر اردبیل در چهار دهه گذشته

1 - root mean square

2 - Principal Components Analysis (PCA)

3 - Maximum Likelihood Classification (MLC)

4 - overlay

در مرحله بعد، نقطه مرکزی شهر (که مرکز شهر نامیده می‌شود) در محل مرکز بخش تجارت مرکزی شهر (CBD) در نظر گرفته شد. سپس با در نظر گرفتن این نقطه مرکزی یک دایره بزرگ (به مساحت ۱۵۴ کیلومتر مربع) ترسیم شد به طوریکه دایره، پیکسل‌های پیوسته شهری (که به محدوده شهر اشاره می‌کند) را در زمان آخرین تصویر تهیه شده (۲۰۰۷) در برمی‌گیرد. سپس این ناحیه دایره‌ای (از این به بعد شهر نامیده می‌شود) به هشت قطاع مساوی (که از به بعد مناطق نامیده می‌شوند) که مساحت هر کدام از آنها ۱۹/۲۵ کیلومتر مربع بود، تقسیم گردید (در ۸ جهت: شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب، شمال غرب) همانگونه که در شکل شماره ۲ دیده می‌شود، این دایره به مناطق (قطاع‌های) مختلف برای استخراج نواحی ساخت و ساز شده در جهات مختلف تقسیم شد، بطوریکه بتوانند از نظر آماری مقایسه شوند. در مرحله بعد نواحی ساخت و ساز شده در هر قطاع و در سالهای مختلف با بریدن تصاویر طبقه‌بندی شده با مرز قطاع‌ها و سپس ضرب کردن تعداد پیکسل‌های هر قطاع در اندازه پیکسل محاسبه شدند. نتیجه این عملیات بوجود آمدن یک ماتریس (جدول شماره ۳) می‌باشد که نواحی ساخت و ساز شده را در هر قطاع و در سالهای مختلف نشان می‌دهد (اطلاعات مربوط به سالهای ۱۹۶۸ و ۱۹۷۵ از روی نقشه توپوگرافی و عکس‌های هوایی منطقه به دست آمده است).

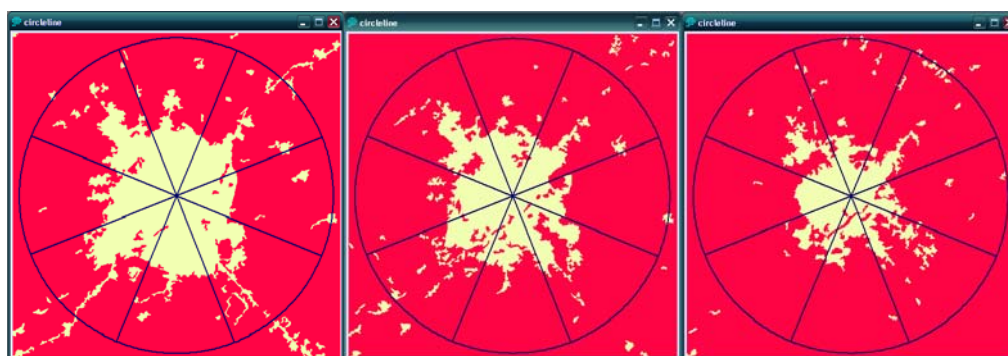
جدول ۳- مساحت نواحی ساخت و ساز شده در شهر اردبیل در سالهای مختلف (بر حسب هکتار)

سال	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب	شهر
۱۹۶۸	۴۴/۵۵	۴۸/۱۵	۲۷/۲۷	۶۳/۴۵	۷۰/۱۱	۱۲۳/۶۶	۹۳/۸۷	۸۷/۰۳	۵۵۸/۰۹
۱۹۷۵	۵۸/۸۶	۶۵/۴۳	۵۰/۸۵	۷۴/۲۵	۱۳۴/۱	۱۷۰/۴۶	۱۴۹/۳۱	۱۳۲/۳۹	۸۳۵/۶۲
۱۹۸۸	۲۳۴/۳۶	۲۷۷/۵۶	۱۵۳/۹	۲۹۹/۷۹	۲۰۵/۱۱	۲۶۸/۳۸	۲۱۹/۷۸	۳۳۱/۸۳	۱۹۹۰/۷۱
۱۹۹۸	۳۲۸/۲۳	۳۴۹/۱۱	۲۰۱/۱۵	۴۰۵/۸۱	۳۴۳/۲۵	۴۹۴/۹۱	۳۱۱/۶۷	۵۴۷/۴۷	۲۹۸۱/۷
۲۰۰۷	۴۵۰	۴۶۴/۴۹	۳۰۱/۵	۵۷۳	۵۳۴/۹۶	۶۷۸/۴۲	۴۱۳/۳۷	۶۵۵/۴۷	۴۰۷۱/۲۱

منبع: محاسبات نگارندگان

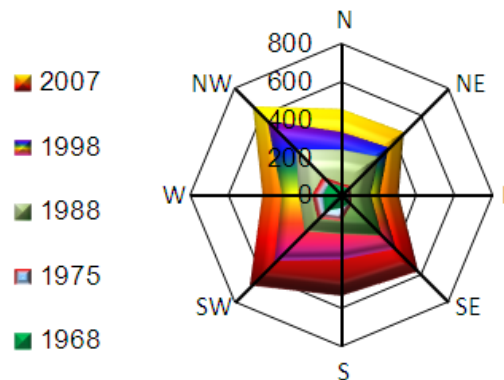
یافته‌های تحقیق

نتیجه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره ای به نواحی ساخت و ساز شده (به همراه دیگر سطوح نفوذناپذیر) و ساخته نشده برای سه سال ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ به وجود آمدن تصاویر موجز و خیلی ساده از ناحیه مورد مطالعه بوده است (شکل شماره ۳) که محدوده شهر را در زمانهای مذکور نشان می‌دهند. با بررسی این تصاویر طبقه‌بندی شده می‌توان دید که گسترش شهر در قطاع‌های مشخص شده حالت‌های مختلفی دارد: برخی قطاع‌ها خیلی فشرده هستند. در حالیکه در قطاع‌های دیگر فضاهای خالی بیشتری بین ساخت و سازها دیده می‌شود. در برخی نواحی مرز بین ساخت و ساز شده و نشده خیلی تیز است در حالیکه در نواحی دیگر نواحی ساخته شده و نشده درهم آمیخته‌اند. همچنین می‌توان بر شدن فضاهای بین نواحی قبلاً ساخته شده را دید که باعث به هم پیوستگی آنها می‌شود.



شکل شماره ۳- تصاویر طبقه‌بندی شده باینری به ترتیب از سمت راست برای سالهای ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ که نواحی ساخت و ساز شده را به رنگ سبز نشان می‌دهند.

تصاویر باینری تولید شده در فراهم ساختن شواهد استوار برای بحث و تصمیم درباره آینده کافی نیستند و برای توصیف هوشمند این الگوهای متفاوت، درک چگونگی تغییر آنها در طی زمان و مقایسه هر قطاع با قطاع‌های دیگر و بالاخره توضیح تغییرات بین این الگوها به صورت آماری، ما نیاز به انتخاب اندازه‌های کمی بیان کننده ویژگی‌های آنها داریم. یک نمودار راداری از داده‌های جدول شماره ۳ برای نمایش مفید و موثر موضع در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. جدول شماره ۳ و شکل شماره ۴ به طور توأم به ما در خصوص ناحیه ساخت و ساز شده شهر و تغییر آن در طی زمان در جهات مختلف اطلاعاتی را می‌دهد.



شکل شماره ۴- نمودار راداری نشان‌دهنده ناحیه ساخت و ساز شده در شهر اردبیل در سالها و جهات جغرافیایی مختلف

سپس رشد مشاهده شده در ناحیه ساخت و ساز شده شهری (جدول شماره ۴) برای دوره‌های زمانی ۱۹۶۸-۱۹۷۵، ۱۹۷۵-۱۹۸۸، ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ محاسبه گردید. درصد افزایش در ناحیه ساخت و ساز شده که سنجه صریحی از نرخ رشد شهری است، نیز محاسبه گردید (جدول شماره ۵).

جدول شماره ۴- رشد مشاهده شده در ناحیه ساخت و ساز شده شهر اردبیل (بر حسب هکتار)

دوره زمانی	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب	جمع سطر
۱۹۶۸-۱۹۷۵	۱۴/۳۱	۱۷/۲۸	۲۳/۵۸	۱۰/۸	۶۳/۹۹	۴۶/۸	۵۵/۴۴	۴۵/۳۶	۲۷۷/۵۶
۱۹۷۵-۱۹۸۸	۱۷۵/۵	۲۱۲/۱۳	۱۰۳/۰۵	۲۲۵/۵۴	۷۱/۰۱	۹۷/۹۲	۷۰/۴۷	۱۹۹/۴۴	۱۱۵۵/۰۶
۱۹۸۸-۱۹۹۸	۹۳/۸۷	۷۱/۵۵	۴۷/۲۵	۱۰۶/۰۲	۱۳۸/۲۴	۲۲۶/۵۳	۹۱/۸۹	۲۱۵/۶۴	۹۹۰/۹۹
۱۹۹۸-۲۰۰۷	۱۰۸	۱۱۵/۳۸	۱۰۰/۳۵	۱۶۷/۱۹	۱۹۱/۶۱	۱۸۳/۵۱	۱۰۱/۷	۱۰۸	۱۰۸۹/۵۱
جمع ستون	۴۰۵/۴۵	۴۱۶/۳۴	۲۷۴/۲۳	۵۰۹/۵۵	۴۶۴/۸۵	۵۵۶/۷۶	۳۱۹/۵	۵۶۸/۴۴	۳۵۱۳/۱۲

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول شماره ۵- نرخ رشد نواحی ساخت و ساز شده در دوره زمانی مورد مطالعه در اردبیل (به درصد)

دوره زمانی	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب	شهر
۱۹۶۸-۱۹۷۵	۳۲/۱۲	۳۵/۸۹	۸۶/۴۷	۱۷/۰۲	۹۱/۲۷	۳۷/۸۴	۵۹/۰۶	۵۲/۱۲	۴۹/۷۳
۱۹۷۵-۱۹۸۸	۲۹۸/۱۶	۳۲۴/۲	۲۰۲/۶۵	۳۰۳/۷۶	۵۲/۹۵	۵۷/۴۴	۴۷/۲	۱۵۰/۶۴	۱۳۸/۲۲
۱۹۸۸-۱۹۹۸	۴۰/۰۵	۲۵/۷۸	۳۰/۷	۳۵/۳۶	۶۷/۴	۸۴/۴	۴۱/۸	۶۴/۹۸	۴۹/۷۸
۱۹۹۸-۲۰۰۷	۳۷/۱	۳۳/۰۵	۴۹/۸۹	۴۱/۲	۵۵/۸	۳۷/۰۸	۳۲/۶۳	۱۹/۷۳	۳۶/۵۴

منبع: محاسبات نگارندگان

این جدول به وضوح نشان می دهد که نرخ رشد شهری در طی زمان در حال کاهش است. نرخ رشد پایین (۱۹/۷۳٪) تا خیلی - بالا (۳۲۴/۲٪) می تواند مشاهده شود. اگر چه این یافته نرخ در حال کاهش رشد شهری را نشان می دهد، اما ضرورتاً این توسعه فشرده یا خوب نیست و بنابراین به آنالیزهای بیشتری نیاز دارد.

تفاوت بین رشد شهری مشاهده شده و مورد انتظار

رشد شهری مشاهده شده بایستی برای درک ناهمخوانی، با رشد شهری مورد انتظار مقایسه شود. جدول شماره ۴ رشد مشاهده شده در پوشش اراضی را نشان می دهد. با استفاده از این جدول می توان رشد شهری مورد انتظار از نظر تئوری را با بهره گیری از فرمول (۱) محاسبه نمود. اگر جدول ۴ را به عنوان ماتریس M در نظر بگیریم که عناصر ماتریس M_{ij} بوده و $i=1,2,3,\dots,n$ (دوره زمانی مشخص شده یا همان سطرهای ماتریس) و $j=1,2,3,\dots,m$ (قطاع مشخص یا ستونهای ماتریس) باشد، رشد ناحیه ساخت و ساز شده مورد انتظار برای هر متغیر بوسیله تولید جمع های حاشیه ای تقسیم بر کل ناحیه محاسبه می شود (المیدا و همکاران ۲۰۰۵). بنابراین رشد مورد انتظار M_{ij}^E برای ردیف i ام و ستون j ام عبارت است از:

$$M_{ij}^E = \frac{M_i^S \times M_j^S}{M_g} \quad (1)$$

که در آن M_i^S مجموع سطر و M_j^S جمع ستون و $M_g = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}$ می باشد. از معادله (۱) جدول شماره ۶ حاصل می شود که ماتریس رشد شهری مورد انتظار را نشان می دهد.

جدول شماره ۶- رشد مورد انتظار ناحیه ساخت و ساز شده در قطاع های دوره های زمانی مختلف (بر حسب هکتار)

دوره زمانی	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
۱۹۶۸-۱۹۷۵	۳۲/۰۳	۳۲/۸۹	۲۱/۶۷	۴۰/۲۶	۳۶/۷۳	۴۳/۸۳	۲۵/۲۴	۴۴/۹
۱۹۷۵-۱۹۸۸	۱۳۳/۳	۱۳۶/۸۹	۹۰/۱۶	۱۶۷/۵۳	۱۵۲/۸۳	۱۸۲/۴	۱۰۵/۰۵	۱۸۶/۸۹
۱۹۸۸-۱۹۹۸	۱۱۴/۳۷	۱۱۷/۴۴	۷۷/۳۵	۱۴۳/۷۳	۱۳۱/۱۳	۱۵۶/۴۹	۹۰/۱۲	۱۶۰/۳۵
۱۹۹۸-۲۰۰۷	۱۲۵/۷۴	۱۲۹/۱۲	۸۵/۰۴	۱۵۸/۰۲	۱۴۴/۱۶	۱۷۲/۰۴	۹۹/۰۸	۱۷۶/۲۹

منبع: محاسبات نگارندگان

اگر جدول شماره ۶ را از جدول شماره ۴ کم کنیم (رشد مورد انتظار - رشد مشاهده شده)، جدول جدیدی به دست می آید که تفاوت بین رشد مشاهده شده و رشد مورد انتظار را نشان می دهد (جدول شماره ۷).

جدول شماره ۷- تفاوت بین رشد مشاهده شده و مورد انتظار در قطاع های دوره های زمانی مورد نظر (بر حسب هکتار)

دوره زمانی	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
۱۹۶۸-۱۹۷۵	-۱۷/۷۲	-۱۵/۶۱	۱/۹۱	-۲۹/۴۶	۲۷/۲۶	۲/۹۷	۳۰/۲	۰/۴۵
۱۹۷۵-۱۹۸۸	۴۲/۱۹	۷۵/۲۴	۱۲/۸۹	۵۸	-۸۱/۸۲	-۸۴/۴۷	-۳۴/۵۸	۱۲/۵۴
۱۹۸۸-۱۹۹۸	-۲۰/۵	-۴۵/۸۹	-۳۰/۱	-۳۷/۷۱	۷/۱۱	۷۰/۰۴	۱/۷۶	۵۵/۲۹
۱۹۹۸-۲۰۰۷	-۳/۹۷	-۱۳/۷۴	۱۵/۳	۹/۱۶	۴۷/۴۵	۱۱/۴۶	۲/۶۱	-۶۸/۲۹

منبع: محاسبات نگارندگان

از جدول شماره ۷ می توان به اختلاف رشد شهری برای هر قطاع در دوره های زمانی مورد نظر پی برد. ارزشهای منفی رشد ناچیز و ارزشهای مثبت رشد بیشتر از انتظار را نشان می دهند. درجه انحراف نیز می تواند از روی مقادیر محاسبه شود. این آنالیز به وضوح نشان می دهد که در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۷ رشد شهری مشاهده شده در اکثر قطاع ها از انتظارات خیلی انحراف پیدا کرده است.

کای اسکور پیرسن و رشد شهری

آمارهای کای اسکور پیرسن بررسی آزادی میان زوجی از متغیرهای انتخاب شده برای توضیح تغییر همان طبقه پوشش اراضی را در نظر می‌گیرد (المیدا و همکاران ۲۰۰۵). بنابراین برای تعیین درجه آزادی، تست کای اسکور با معادله کای اسکور پیرسن اجرا می‌شود: (مورد انتظار) / χ^2 (مورد انتظار - مشاهده شده). این میزان، آزادی یا درجه انحراف رشد شهری مشاهده از رشد شهری مورد انتظار را آشکار می‌کند. براساس جداول شماره ۴ (رشد مشاهده شده) و ۶ (رشد مورد انتظار)، آمار کای اسکور برای هر دوره زمانی به این صورت محاسبه می‌گردد (جدول شماره ۸).

$$\chi_i^2 = \sum_{j=1}^m \frac{(M_j - M_j^E)^2}{M_j^E} \quad (2)$$

که در آن χ_i^2 درجه آزادی (روانی)، برای دوره زمانی i ام، M_j ناحیه ساخت و ساز شده مشاهده شده در ستون j ام برای ردیف مشخص شده، M_j^E ناحیه ساخت و ساز شده مورد انتظار در ستون j ام برای ردیف مشخص شده می‌باشد.

جدول شماره ۸- درجه آزادی رشد شهری در دوره‌های زمانی

دوره زمانی	درجه آزادی (χ_i^2)
۱۹۶۸-۱۹۷۵	۹۵/۵۱
۱۹۷۵-۱۹۸۸	۱۷۱/۸
۱۹۸۸-۱۹۹۸	۹۴/۰۶
۱۹۹۸-۲۰۰۷	۴۷/۷۷

منبع: محاسبات نگارندگان

حال اگر، j (ستون) را با i (ردیف) و m (تعداد ستونها) را با n (تعداد ردیف‌ها) در معادله (۲) جایگزین نماییم، می‌توانیم درجه آزادی را برای هر قطاع به دست آوریم (جدول شماره ۹).

جدول شماره ۹- درجه آزادی رشد شهری در هر قطاع

قطاع	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
درجه آزادی (χ_i^2)	۲۶/۹۶	۶۸/۱۷	۱۶/۴۸	۵۲/۰۷	۸۰/۰۵	۷۱/۴۴	۴۷/۶	۴۶/۳۶

کای اسکور دارای حد پایین صفر است و زمانی به دست می‌آید که ارزش مشاهده شده دقیقاً با ارزش مورد انتظار برابر باشد. جدول شماره ۸ به وضوح نشان می‌دهد که درجه آزادی برای هر چهار دوره زمانی خیلی بالاست (یعنی عدم تشابه بین ارزشهای مشاهده شده و مورد انتظار). جدول شماره ۹ نشان می‌دهد که درجه آزادی برای جهات شمال، شرق اردیبل نسبتاً پایین است (یعنی نزدیکی نسبی ارزشهای مشاهده شده و مورد انتظار) در حالیکه برای جهات شمال شرق، جنوب شرق، غرب و شمال غرب بالا و برای جنوب و جنوب غرب خیلی بالاست.

درجه آزادی کلی نیز می‌تواند به این صورت محاسبه گردد:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(M_{ij} - M_{ij}^E)^2}{M_{ij}^E} \quad (3)$$

درجه آزادی کلی رشد شهری از سال ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۷ با استفاده از رابطه (۳) محاسبه و در جدول شماره ۱۴ آمده است. همانطوریکه دیده می‌شود درجه آزادی کلی به شدت بالاست.

درجه آزادی کلی بالاتر، نبود ثبات در برنامه‌ریزی با در نظر گرفتن کل شهر را نشان می‌دهد. درجه بالاتر آزادی برای یک منطقه، شاخصی از توسعه متزلزل و بی‌ثبات در منطقه با تغییر زمان است و درجه بالاتر آزادی برای یک دوره زمانی می‌تواند به عنوان تغییر پذیری درون منطقه‌ای بالا در رشد شهری در نظر گرفته شود. به هر حال، بایستی گفته شود که درجه بالاتر آزادی نمی‌تواند به عنوان اسپرال شهری در نظر گرفته شود. در عوض آن می‌تواند به عنوان ناجوری و ناهمگنی در رشد به عنوان یک فرایند و یا الگو در نظر گرفته شود.

انترپی شانون و رشد شهری

انترپی شانون روشی است که به خوبی برای تعیین الگوی شهری اسپرال یافته پذیرفته شده است و از آن برای تجزیه و تحلیل و تعیین مقدار پدیده رشد بی‌قواره شهری نیز استفاده می‌شود (حکمت‌نیا و همکار، ۱۳۸۵). در این تحقیق انترپی شانون (H_i) برای هر دوره زمانی مورد اشاره از روی جدول شماره ۵ و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده است (بهاتا و همکاران، ۲۰۱۰):

$$H_i = - \sum_{j=1}^m p_j \log_e(p_j) \quad (۴)$$

که در آن p_j سهم متغیر در ستون j ام (یعنی نسبت نرخ رشد ناحیه ساخت و ساز شده در قطاع j ام) که از جدول شماره ۵ و به این صورت محاسبه شده است: $\frac{\text{نرخ رشد ساخت و ساز در منطقه } j \text{ ام}}{\text{مجموع نرخ رشد شهری ساخت و ساز شده همه مناطق}}$ و m تعداد کل قطاع‌ها (۸ منطقه) می‌باشد.

درجه اسپرال می‌تواند بوسیله ارزش یا مقدار انترپی مشخص گردد. میزان انترپی از صفر تا $\log_e m$ در نوسان است. ارزش عددی صفر نشان می‌دهد که توزیع ساخت و ساز فشرده است. در حالیکه ارزشهای نزدیک به $\log_e m$ توزیع پراکنده ساخت و ساز را نشان می‌دهد. ارزش‌های بالای انترپی وقوع اسپرال شدید شهری را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۱۰- انترپی شانون برای هر دوره زمانی

$\frac{1}{2} \log_e(m)$	$\log_e(m)$	انترپی (H_i)	دوره زمانی
۱/۰۴	۲/۰۸	۱/۹۶۴	۱۹۶۸-۱۹۷۵
۱/۰۴	۲/۰۸	۱/۸۶۵	۱۹۷۵-۱۹۸۸
۱/۰۴	۲/۰۸	۲/۰۰۲	۱۹۸۸-۱۹۹۸
۱/۰۴	۲/۰۸	۲/۰۴۲	۱۹۹۸-۲۰۰۷

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول شماره ۱۰ نشان می‌دهد که ارزشهای انترپی خیلی بیشتر از نصف $\log_e m$ می‌باشد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که شهر دچار توسعه فیزیکی پراکنده شهری شده است و میزان این پراکندگی در دوره ۱۹۸۸-۲۰۰۷ بیشتر از دوره‌های دیگر بوده است. آنالیز نشان می‌دهد که شهر از پراکندگی بالایی برخوردار است. اگر ارزش انترپی به پایین‌تر از نصف $\log_e m$ برود فقط در این صورت است که می‌توان گفت شهر دچار پراکندگی در توسعه فیزیکی نمی‌باشد (همان منبع).

حال برای تعیین انترپی هر منطقه، فرمول شماره ۴ می‌تواند به شکل زیر تغییر یابد:

$$H_j = - \sum_{i=1}^n p_i \log_e(p_i) \quad (۵)$$

که در آن π_i سهم متغیر در ردیف i ام (یعنی نسبت نرخ رشد ناحیه ساخت و ساز شده در دوره زمانی i ام) که از جدول شماره ۵ به این صورت محاسبه شده است: $\frac{\text{نرخ رشد ساخت و ساز در دوره زمانی } i\text{ام}}{\text{مجموع نرخ رشد شهری ساخت و ساز شده همه دوره ها}}$ و n تعداد کل دوره زمانی (۳ دوره) می‌باشد (جدول- شماره ۱۱).

جدول شماره ۱۱- انترویی شانون برای قطاع‌های مختلف شهری

قطاع	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
انترویی (Hi)	۰/۸۷۵	۰/۷۸۱	۱/۴۶۳	۰/۷۹۰	۱/۳۶۲	۱/۳۲۶	۱/۳۶۴	۱/۱۶۸
Loge(n)	۱/۳۸۶	۱/۳۸۶	۱/۳۸۶	۱/۳۸۶	۱/۳۸۶	۱/۳۸۶	۱/۳۸۶	۱/۳۸۶
$\frac{1}{2} \text{Loge}(n)$	۰/۶۹۳	۰/۶۹۳	۰/۶۹۳	۰/۶۹۳	۰/۶۹۳	۰/۶۹۳	۰/۶۹۳	۰/۶۹۳

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول شماره ۱۱ نشان می‌دهد که مقدار انترویی در همه جهات بیش از نصف مقدار $\log_e n$ است. یعنی اینکه شهر در همه جهات در حال تجربه نمودن پراکندگی فیزیکی شهری است هرچند که کمترین آن در شمال شرق و جنوب شرق و بیشترین آن نیز در شمال غرب شهر بوده است. از این آنالیز و همچنین اطلاعات جانبی موجود مشخص می‌شود که پراکندگی شهری در شمال غرب بیشتر در ارتباط با سکونتگاه‌های غیررسمی شهر (محلات حاشیه شهر مانند سلمان‌آباد، میراشرف، کاظم‌آباد، آرازعلی و ...) بوده در حالیکه پراکندگی شهری در غرب و جنوب غرب و جنوب در ارتباط با توسعه فیزیکی برنامه‌ریزی شده (فازهای مختلف شهرک کارشناسان در جنوب غرب و فازهای مختلف شهرک سبلان و شهرکهای کوثر و ... در جنوب شهر اردبیل) بوده است. اسپرال کلی می‌تواند از این رابطه محاسبه شود (همان منبع):

$$H = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log_e(p_{ij}) \quad (6)$$

که در آن p_{ij} سهم متغیر در ردیف i ام و ستون j ام (یعنی نسبت نرخ رشد ناحیه ساخت و ساز شده در دوره زمانی i ام و منطقه j ام)، محاسبه شده از جدول شماره شماره ۵ با استفاده از:

$$\frac{\text{نرخ رشد ساخت و ساز در دوره زمانی } i\text{ام و منطقه } j\text{ام}}{\text{مجموع کل همه متغیرها}}$$

حد بالایی اسپرال کلی به صورت $\log_e(n \times m)$ محاسبه شده که برابر ۳/۴۶۶ می‌باشد. با استفاده از معادله (۶) اسپرال کلی برابر ۳/۰۸ به دست می‌آید که از نصف $\log_e(n \times m)$ (یعنی ۱/۷۳) خیلی بالاست. بنابراین می‌توان گفت که شهر با در نظر گرفتن الگو و فرایند در دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۸ از اسپرال کلی بالایی برخوردار است.

درجه خوب بودن^۱ رشد شهری

از آنجاییکه کای اسکور (درجه آزادی) و انترویی (درجه اسپرال) اندازه‌های متفاوتی هستند و یکی ممکن است در برخی موارد با دیگری تناقض داشته باشند، تعیین درجه خوب بودن رشد شهری ضرورت می‌یابد. این می‌تواند برای هر دوره زمانی به صورت زیر محاسبه شود (همان منبع) (جدول شماره ۱۲):

$$G_i = \log_e \left[\frac{1}{x_i^2 \left(\frac{H_i}{\log_e(m)} \right)} \right] \quad (7)$$

^۱ - Degree of goodness

که در آن G_i درجه خوب بودن رشد شهری برای دوره زمانی Δt ، x_i^2 درجه آزادی برای دوره زمانی Δt ، H_i انترویی برای دوره زمانی Δt و m تعداد کل قطعاتها (۸ قطعه) در این تحقیق می‌باشد.

جدول شماره ۱۲- درجه خوب بودن رشد شهری برای دوره‌های زمانی

دوره زمانی	درجه خوب بودن (G_i)
۱۹۶۸-۱۹۷۵	-۴/۵
۱۹۷۵-۱۹۸۸	-۵/۰۳
۱۹۸۸-۱۹۹۸	-۴/۵
۱۹۹۸-۲۰۰۷	-۴/۰۲

منبع: محاسبات نگارندگان

درجه خوب بودن رشد شهری برای هر منطقه (جدول شماره ۱۳) نیز می‌تواند محاسبه شود. برای این کار کافی است در معادله (۷)، Δt را با m و n جایگزین نماییم.

جدول شماره ۱۳- درجه خوب بودن رشد شهری در هر قطعه

قطعه	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
درجه خوب بودن (G_i)	-۲/۸۳۴	-۳/۶۴۸	-۲/۸۵۶	-۳/۳۹۰	-۴/۳۶۵	-۴/۲۲۵	-۳/۸۴۷	-۳/۶۶۵

منبع: محاسبات نگارندگان

درجه خوب بودن کلی نیز می‌تواند به این صورت محاسبه شود:

$$G = \log_e \left[\frac{1}{x^2 \left(\frac{H}{\log_e(m \times n)} \right)} \right] \quad (8)$$

که در آن x^2 درجه آزادی کلی و H اسپرال کلی می‌باشد (جدول شماره ۱۴).

جدول شماره ۱۴- درجه آزادی کلی، انترویی کلی و درجه خوب بودن کلی رشد شهری

درجه آزادی کلی رشد شهری (x^2)	انترویی (H)	درجه خوب بودن رشد شهری (G_i)
۴۰۹/۱۴	۳/۰۸	-۵/۸۹۶

منبع: محاسبات نگارندگان

درجه خوب بودن یک اندازه رک و صریح می‌باشد. مقادیر مثبت، خوب بودن رشد شهری را نشان می‌دهد و مقادیر منفی حاکی از بد بودن رشد شهری است. درجه خوب بودن (یا بد بودن) را می‌توان با استفاده از نتایج ارائه شده در جدول‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ بررسی نمود. این آنالیز نشان می‌دهد که خوب بودن رشد شهری چگونه در مقاطع مختلف زمانی و در مناطق مختلف شهری تغییر می‌کند و اینکه میزان خوب بودن مثبت است یا منفی. از این آنالیز می‌توان گفت در طول دوره زمانی ۱۹۶۸-۲۰۰۷ شهر شاهد خوب بودن رشد شهری نبوده است. آنالیز این موضوع در مناطق مختلف نیز نتیجه مشابهی را نشان می‌دهد. همانطوریکه در این جداول دیده می‌شود درجه خوب بودن رشد در همه جهات منفی بوده و حاکی از بد بودن رشد در همه جهات است. با این وجود اگر جهات مختلف را باهمدیگر مقایسه کنیم، جهات جغرافیایی شمال، شرق شهر اردبیل نسبت به بقیه جهات از وضعیت بهتری برخوردار هستند و درجه خوب بودن کلی رشد شهری نیز بدترین وضعیت را دارد.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

همانطوریکه قبلاً گفته شد این مطالعه با استفاده از تصاویر چندزمانه سنجش از دور و عکسهای هوایی صورت گرفت. اگر تصاویر بیشتری با فواصل زمانی کوتاهتری در دسترس بود و مورد استفاده قرار می‌گرفت، نتایج بهتری نیز به دست می‌آورد. بدیهی است که قابلیت اعتماد آنالیزهای آماری با افزایش متغیرهای مدنظر افزایش می‌یابد. علاوه بر این ناحیه مورد مطالعه می‌تواند به قطعات و مناطق دایره‌ای تقسیم شود و یا به طور مرجح دایره‌ای و قطاعی. این کار بینش بهتری را درباره رشد شهری فراهم خواهد نمود. مناطق مختلف سطوح مختلفی از فشردگی (تراکم) را دارا هستند که منجر به الگوهای مختلف رشد می‌شود. بنابراین یک سیاست منفرد برای کل شهر به یک اندازه برای همه جای آن مناسب نخواهد بود. به هر حال به دلیل نبود پایگاه اطلاعات کامل در مورد منطقه مورد مطالعه، در این تحقیق تنها ۸ قطاع دایره در نظر گرفته شدند. لازم به تذکر است اگر از دایره و قطاع دایره به طور همزمان استفاده شود، فاصله از CBD تا منطقه ویژه به طور غیرمستقیم حساب خواهد شد که ممکن است مطلوب تعداد زیادی از مسئولین باشد. فاصله تا CBD یک ملاحظه مهم است چرا که تراکم و فشردگی شهری با آن تغییر می‌کند.

این مطالعه یک ناحیه دایره ای هم فاصله از مرکز شهر را در نظر می‌گیرد و فرض می‌کند احتمال رشد در همه جهات از مرکز شهر برابر است چرا که شبکه جاده ها، توزیع مراکز تجاری، ویژگی های زمین و دیگر متغیرها را که ممکن است روی رشد شهر اثر بگذارند، در نظر نمی‌گیرد. به هر حال ضرورتی ندارد که یک ناحیه دایره ای در نظر گرفته شود به جای آن می‌توان مرز طبیعی یا محدوده شهر را در نظر گرفته و سپس آن را به چند قسمت تقسیم نمود. مرزهای اداری (هر چند که دینامیک گسترش شهری را به طور مناسب منعکس نمی‌کنند) نیز می‌توانند در نظر گرفته شوند که می‌توانند وابستگی یا عدم وابستگی اجتماعی-اقتصادی را نشان دهند. مرزهای طبیعی به ندرت داده هایی درباره متغیرهای اجتماعی-اقتصادی دارند.

اندازه های بکار رفته در این مطالعه مبتنی بر ناحیه ساخت و ساز شده در هر قطاع می‌باشند. با وجود این زمینهای قابل دسترسی برای توسعه شهری در همه قطاع‌ها یکسان نیستند. بنابراین بهتر خواهد بود سه معیار (آزادی، اسپرال و خوب بودن رشد) بر پایه درصد ناحیه ساخت و ساز شده در داخل هر قطاع با استثنا نمودن زمین غیرقابل توسعه محاسبه شوند. این درصد می‌تواند با استفاده از این فرمول محاسبه شود:

$$\times 100 \frac{\text{ناحیه ساخت و ساز شده در داخل قطاع}}{\text{مساحت زمین غیرقابل توسعه در داخل قطاع - مساحت کل قطاع}}$$

به هر حال، مساحت مناطق و نواحی غیر قابل توسعه نمی‌توانند به طور مستقیم از داده های سنجش از دور اندازه گیری شوند. یک ناحیه ممکن است به چند دلیل غیرقابل توسعه باشد دلایل طبیعی (مانند رودخانه، مناطق سنگلاخی)، مالکیت (مانند مالکیت نظامی)، تدابیر دولتی (مانند حفاظت از فضاهای باز، اجسام آبی یا کشاورزی) نزاع قانونی روی زمین و ... بنابراین ممکن است گرفتن این مجموعه داده های زمانی مشکل باشد. به هر حال، اگر این داده ها در دسترس باشند، شخص ممکن است با درصد فوق الذکر ناحیه ساخت و ساز شده جلو برود و آشکارا نتایج قابل اعتمادتری کسب خواهد کرد. چندین دلیل می‌تواند برای در نظر گرفته نشدن شبکه جاده ای، توزیع مراکز تجاری، ویژگی های زمین، انتقال بین کاربری های مختلف زمین، و ... آورده شود. اما باید به خاطر داشته باشیم که شهرها در کشورهای در حال توسعه بدون توسعه برنامه ریزی شده رشد کرده اند. در بسیاری موارد این شهرها فاقد داده های تاریخی درباره توسعه شهر و فهرست برداری از کاربری / پوشش اراضی هستند. بنابراین بسیاری از مدل‌های فضایی-آماری نمی‌تواند پذیرفته شود. علاوه بر این در برخی موارد، مدیران شهری به ابزارها یا مدل‌های جدید و تکنولوژی های جدید مثل تکنولوژی ژئوسپیشال آگاهی ندارند. بنابراین آنها به روشهای تحلیلی ساده که داده های ورودی حداقل را طلب

می کنند، نیاز دارند. نیاز به سادگی از این دیدگاه حاصل می شود و بدیهی است که روش به کار گرفته شده در این تحقیق به خاطر سادگی آن برای کسب داده های تاریخی از تصاویر ماهواره ای و همچنین استفاده از آنالیز آماری خیلی مفید خواهد بود. در این مطالعه رشد شهری مورد انتظار با استفاده از یک روش آماری (فرمول ۱) برپایه رشد شهری گذشته و حال محاسبه شده است. در بسیاری از شهرهای کشورهای صنعتی انتظارات رشد شهری را از قبل تعیین و برنامه ریزی کرده اند. بنابراین برای این شهرها به جای استفاده از فرمول (۱) ما باید ارزشهای از قبل تعیین شده (در صورت وجود) استفاده نماییم و بنابراین کمی سازی درجه آزادی و درجه خوب بودن رشد شهری تحت تاثیر متغیرهای تدبیری و سیاستی مدیران شهری قرار خواهد گرفت. سرانجام، اینکه آیا درجه بالای خوب بودن رشد شهری شاخصی از توسعه پایدار است یا نه، ممکن است جای بحث باشد برای اینکه آن بایستی با شواهد تجربی شاخص های پایداری مورد قضاوت قرار گیرد. اما بحثی وجود ندارد که درجه پایین آزادی و درجه پایین اسپرال یک انتظار و توقع عمومی است.

نتیجه گیری نهایی و راهبردها

در این مطالعه با استفاده از داده های سنجش از دور و با یک روش جدید رشد شهری را تجزیه و تحلیل شده است. چندین مدل آماری برای مطالعه رشد شهری به عنوان فرایند، الگو و وضعیت کلی به کار رفته است. نتیجه مطالعه، چندین شاخص و معیار برای درک رشد شهری در در ناحیه مادرشهری اردبیل بود. آنالیز نشان می دهد که شهر دارای درجه بالای آزادی بوده و در حال رشد بدقواره شهری می باشد. با وجود این روند رشد بدقواره در طی زمان در حال کاهش است، اگر چه درجه آزادی در حال افزایش می باشد. درجه خوب بودن رشد شهری نیز کاملاً مضطرب کننده است. همچنین می توان نتیجه گرفت که خوب بودن رشد شهری برای ناحیه مورد مطالعه، با وجود کاهش نرخ رشد شهری در حال کاهش است. این مطالعه برای مسئولین و مدیران شهری برای راهنمایی آنها در برنامه ریزی آتی و تصمیم گیری و همچنین برای مذاکره و مباحثه مفید است.

ثابت شده که مدل های نشان داده شده در قسمت های قبلی به دست آمده از داده های سنجش از دور و GIS برای شناسایی الگوی رشد شهری و روندهای کلی آن مفید می باشد. یک مدل جدید - درجه خوب بودن - نیز در این مطالعه به کار رفته است که می تواند رشد شهری را آنالیز نماید. دو مدل آماری - کاری اسکور پیرسن و و انترویی شانون - نیز در یک روش جدید به کار رفته اند که می تواند نتیجه آن داده های مفصل برای آنالیز رشد شهری باشد. یک فرضیه جدید می تواند از آنالیز و بحث قبلی به دست آید: درجه خوب بودن رشد شهری شاخصی از توسعه پایدار است. که ممکن است هدف آنالیز و تحقیق آتی باشد. مطالعه همچنین روی هدف تحقیق درباره رشد شهری با استفاده از مدل های نشان داده شده برای برنامه ریزی و مسئولین متمرکز شده است. با توجه به یافته های تحقیق، پیشنهاد می گردد اولاً به منظور کم نمودن تغییرات چشمگیر کاربری/پوشش اراضی و مواجهه با اثرات محیطی گسترش شهری و افزایش سطوح ساخته شده شهری، الگوی فعلی رشد از طریق برنامه ریزی و مدیریت موثر و کارآمد کاربری اراضی و با در نظر گرفتن همه معیارها و فاکتورها مدیریت شود. ثانیاً کارهای تحقیقاتی آتی بایستی به مدلسازی کاربری اراضی شهری و تکنیک های ترکیب دهنده داده های اجتماعی-اقتصادی و ابزارهای GIS برای پیش بینی الگوی آتی تغییرات روی بیاورند. ثالثاً با در نظر گرفتن تغییرات کاربری اراضی در حال رخ دادن و اسپرال شهری در منطقه مورد مطالعه، در دستور کار قرار دادن رشد هوشمند برای استفاده مؤثر و کارآمد از زمینهای جدیداً توسعه یافته اهمیت پیدا می کند (مانند گسترش یا توسعه عمودی نواحی برای حفاظت از محیط های طبیعی).

منابع

ابراهیم زاده آسمین، حسین؛ ابراهیم زاده، عیسی؛ (۱۳۸۹)، تحلیلی بر عوامل گسترش فیزیکی و رشد اسپرال شهر طبس پس از زلزله با استفاده از مدل آنتروپی هلدن، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹.

ابراهیم زاده، عیسی؛ رفیعی، قاسم؛ (۱۳۸۸)، تحلیلی بر الگوی گسترش کالبدی-فضایی شهر مرودشت با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن و ارائه الگوی گسترش مطلوب آتی آن، مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۶۹.

حکمت‌نیا، حسن؛ موسوی، میرنجف؛ (۱۳۸۵)، کاربرد مدل در جغرافیا با تاکید بر برنامه‌ریزی شهری و ناحیه‌ای، انتشارات علم نوین، یزد.

خوش گفتار، محمد مهدی؛ طالعی، محمد؛ و ملک‌پور، پیمان؛ (۱۳۸۹)، مدل‌سازی زمانی - مکانی رشد شهری: روش مبتنی بر تلفیق Cellular Automata و زنجیره مارکوف، همایش ملی ژئوماتیک، تهران.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، عکس هوایی با مقیاس ۱:۵۰/۰۰۰ اردیبهل گرفته شده در سال ۴۹ (براساس اطلاعات حاشیه‌ای عکس).

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ متعلق به سری K753.

سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، (۱۳۸۲)، نقشه کاربری اراضی شهرستان اردیبهل تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای (اخذ شده از اداره کل منابع طبیعی استان اردیبهل).

سازمان فضایی کشور، تصاویر ماهواره‌ای سالهای ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ و ... از ماهواره‌های Landsat و IRS.

سازمان نقشه‌برداری کشور، عکس هوایی شهر اردیبهل با مقیاس ۱:۲۰/۰۰۰ تهیه شده در تیرماه سال ۱۳۴۷ به شماره‌های 9 001 و 9 003، 10 001 و 10 003 بلوک ۲۴.

صابری‌فر، رستم، (۱۳۸۱)، نقد و تحلیل برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری مشهد، رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

ضیاء‌توانا، محمدحسن؛ قادرمزی، حامد؛ (۱۳۸۸)، تغییرات کاربری اراضی روستاهای پیراشهری در فرایند خزش شهر روستاهای نایسر و حسن اباد سندر، مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۶۸.

عزیزپور، ملکه؛ حسین زاده دلیر، کریم؛ و اسمعیل‌پور، نجمه؛ (۱۳۸۸)، بررسی رابطه رشد افقی سریع شهر یزد و تحرکات جمعیتی در این شهر، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰، شماره پیاپی ۳۴، شماره ۲.

قادرمزی، حامد، ۱۳۸۳، نقش روستاها در توسعه روستاهای پیرامونی؛ مطالعه موردی روستا شهر دهگلان، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

قرخلو، مهدی؛ زنگنه شهرکی، سعید؛ (۱۳۸۸)، شناخت الگوی رشد کالبدی-فضایی شهر با استفاده مدل‌های کمی (مطالعه موردی: شهر تهران)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی شماره ۲.

معصومی، محمدتقی؛ (۱۳۷۸)، بررسی امکان استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل از تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای AVHRR/NOAA در طبقه‌بندی و مطالعه تغییرات زمانی پوشش گیاهی - مطالعه موردی: استان اردیبهل، پایان‌نامه

کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS دانشگاه تربیت مدرس تهران.

موحد، علی؛ تقی زاده، ایوب؛ (۱۳۸۸)، بررسی جهت‌های توسعه مناطق حاشیه نشین شهر اهواز با استفاده از GIS و RS، مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۰.

میرباقری، بابک؛ متکان، علی‌اکبر؛ (۱۳۸۸)، ارزیابی کمی میزان تمرکز توسعه اراضی شهری با استفاده از تابع Ripley s K در GIS منطقه مورد مطالعه: محدوده شهرهای اسلام شهر، رباط کریم، نسیم شهر، مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره

۶۹.

نظریان، اصغر؛ (۱۳۸۰)، شهرهای آینده: کانون فاجعه‌ی انسانی یا بستر تعامل فرهنگی، مجله فضای جغرافیایی، سال اول، شماره ۳، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.

- نظریان، اصغر؛ معصومی، محمدتقی؛ و ملکی نظام آباد، رسول (۱۳۸۸)، شهر پایدار با تاکید بر استراتژی‌های مدیریت حمل و نقل شهری و کاهش ترافیک با نگاهی به کلانشهر تهران، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال ششم، شماره ۲۳.
- وزارت مسکن و شهرسازی، (۱۳۱۷)، نقشه کاربری اراضی آذربایجان، به مقیاس ۱:۵۰/۰۰۰ (تهیه شده از سازمان مسکن و شهرسازی اردبیل)
- وزارت مسکن و شهرسازی، (۱۳۸۴)، نقشه طرح تفصیلی شهر اردبیل (تهیه شده از سازمان مسکن و شهرسازی اردبیل).
- وزارت مسکن و شهرسازی، سازمان مسکن و شهرسازی اردبیل (۱۳۸۶)، طرح جامع شهر اردبیل، خلاصه وضع موجود.
- Almeida, C.M., Monteiro, A.M.V., Mara, G., Soares-Fillho, B.S., Cerqueira, G.C., Pennachin, C.S.L., et al. (2005), Simulation of urban land-use change. *International Journal of Remote Sensing* 26(4), 759-774.
- Ashraf M. Dewan, Yasushi Yamaguchi, 2009, Land use and Land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization, *Applied Geography*, 29, 390-401.
- Bassam saleh, & samih al Rawashdeh, 2007, Study of urban expansion in Jordanian cities using GIS and remote sensing, *International Journal of Applied Science and Engineering*, 5, 1:41-52
- Bhata, B., Saraswati, & Bandyopadhyay, 2010, Quantifying the degree-of-freedom, degree-if-goodness of urban growth from remote sensing data, *Applied Geography* 30, 96-111.
- Ewing, R. (1997). IS los angeles-style sprawl desirable? *Journal of the American planning Association*, 63(1), 107-126
- Herold, M., Goldstein, N.C., Clarck, K.C., 2003, the spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote Sens. Environ.* 86, 286-302.
- Huiping Liu, Qiming Zhou, 2005, Developing urban growth prediction from spatial indicators based on multi-temporal images, *Computers, Environment and Urban systems*, 29, 580-594.
- Jieng Xiao, Yanjun Shen, Jingfeng Ge, Ryutaro Tateishi, Changyuan Tang, Yanqing Liang, Zhiying Huang, 2006, Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang China by using GIS and remote sensing, *Landscape and urban planning*, 75, 69-80.
- Lin Li , Yohei Sato, Haihong Zhu, 2003, Simulating spatial urban expansion based on a physical process, *Landscape and urban Planning* 64, pp: 67 – 76.
- Mac Martin, Dudley Hall, Luke Marzen, & Toni Alexander, 2007, Remote Sensing Nalysis of urban expansion in Birmingham Alabama: 1988-2004, *Applied Geography Conferences*, 30: 147-156.
- Mahesh Kumar Hat, P.K. Garg, Deepak Khare, 2008, Monitoring and modeling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques, *International Journal of Applied Observation and Geoinformation*, 10, 26-43.
- Stefanov, W.L., Ramsey, M.S., Christensen, P.R., 2001, Monitoring Urban land cover change: an expert system approach to land cover classification of semiarid to arid urban centers. *Remote Sens. Environ.* 77, 173-185.
- Sudhira, H.S., Ramachandra, T.V., Jagadish, K.S., 2004, Urban Sprawl: metrics, dynamics, and modeling using GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5: 29-39.
- Wilson, E.H., Hurd, J.D., Civco, D.L., Prisole, M.P., Arnold, C., 2003, Development of a geospatial model to quantity describe and map urban growth. *Remote Sens. Environ.* 86, 275-285.
- Xia, Li. & Gar-on Yeh, Anthony, 2004, Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS, *Landscape and urban planning* 69, 335-354.

Yueliang Ma, Ruisong Xu, 2009, Remote Sensing monitoring and driving force analysis of urban expansion in Guangzhou city, China. Habitat International XXX, 1-8..