

ارزیابی، مدل سازی و پیش بینی توسعه شهری نیشابور با تأکید بر زلزله

رحمان زندی*، استادیار سنجش ازدور و GIS-دانشگاه حکیم سبزواری

مهدی زنگنه، استادیار برنامه ریزی شهری-دانشگاه حکیم سبزواری

مهسا مقدم، دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی شهری-دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

در روند توسعه شهری بسیاری از زمین های کشاورزی اطراف و حاشیه شهرها تغییر کاربری یافتند و از طرفی مکان گزینی و توسعه بی برنامه شهرها در بسیاری از موارد منجر به نادیده گرفتن مخاطرات طبیعی گردید و مخاطرات طبیعی از عوامل تهدیدکننده امنیت شهرها هستند که یکی از مهم ترین این مخاطرات طبیعی، زلزله است. پژوهش حاضر با هدف بررسی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر زلزله در شهر نیشابور انجام گرفته است که از نظر هدف، کاربردی بوده و از تصاویر سنجندهی ETM مربوط به سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ و سنجندهی OLI مربوط به سال ۲۰۱۸ از ماهواره ی لندست بهره گیری شده است و برای تجزیه و تحلیل داده ها در محیط نرم افزاری Arc GIS استفاده گردید. همچنین از مدل IDW جهت پهنه بندی، از مدل AHP برای وزن دهی نظرات کارشناسان و برای پیش بینی توسعه شهری تا سال ۲۰۳۰ از مدل زنجیره ی مارکوف و CA مارکوف استفاده شد. نتایج تحقیق نشانگر آن است که سمت توسعه ی آینده ی شهر نیشابور بیش تر تمایل به سمت شمال و شمال شرق دارد؛ درحالی که محدوده ی مذکور در پهنه ی خطر متوسط زلزله قرار دارد و جنوب و جنوب غربی شهر در پهنه ی خطر کم بوده، درحالی که سمت توسعه ی آینده نخواهد بود و تا سال ۱۴۰۹ (۲۰۳۰ میلادی) بهترین جهت برای توسعه ی شهر به سمت جنوب و جنوب غربی است. به طور کلی قسمت شمالی شهر که عمده محدوده ی شهر و سمت توسعه ی شهر است، دارای خطر بیش تری است؛ چراکه در پهنه زلزله های با عمق کم قرار بوده و در پهنه ی زلزله های بیش از ۴/۷ ریشتر بوده و فاصله ی کم تری را با گسل های فعال دارد و سمت جنوب که سمت توسعه ی شهر هم نیست دارای خطرات احتمالی کم تری است.

واژگان کلیدی: مدل سازی، پیش بینی، توسعه شهری، زنجیره ی مارکوف، زلزله، نیشابور.

۱- مقدمه

ناحیه‌های شهری ۴ درصد از سطح زمین را دربرگرفته‌اند؛ بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها ساکن‌اند (حسین‌زاده و پناهی، ۱۳۹۳: ۱۶)، شهر مجموعه‌ای از ترکیب عوامل طبیعی، اجتماعی و محیط‌های ساخته‌شده توسط انسان است که در آن جمعیت ساکن متمرکز شده است (شعیه، ۱۳۸۹: ۴). با توجه به رشد شهرنشینی در دهه‌های اخیر بیش‌تر زمین‌های داخل و اطراف خود را تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی قرار داده‌اند. همچنین شهرها همواره تحت تأثیر نیروها و عوامل گوناگونی شکل گرفته و گسترش می‌یابند؛ با تحولات اجتماعی، جابه‌جایی‌های جمعیتی، تغییرات اقتصادی و نوآوری‌های فن‌شناختی، دگرگون می‌شوند. در زمانی که جمعیت افزایش یابد، فعالیت و سرمایه‌گذاری لاجرم به‌سرعت توسعه می‌یابد و نظام و سازمان کالبدی شهرها دستخوش تغییرات اساسی می‌شوند (واحدیان‌بیگی و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۰). با بروز تحولات جدید، شهرها به‌سرعت تغییرات و دگرگونی‌هایی را پذیرفتند که این دگرگونی‌ها به شکل افزایش سریع جمعیت و رشد فیزیکی شهر به‌صورت نامتعادل و ناهماهنگ بوده است (شمس و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۸)؛ به‌طوری‌که شکوفایی اقتصادی دهه‌های ۶۰ و ۷۰ قرن بیستم، گسترش سریع مراکز فعالیت و سکونت به‌سوی حومه‌ها و تخریب گسترده‌ی نواحی طبیعی پیرامون شهرها را در پی داشت (رهنما و روستا، ۱۳۹۱: ۱۱۶). این تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین به‌عنوان یکی از عوامل مهم و مؤثر بر تغییرات محیط زیست جهانی است. تغییرات کاربری اراضی بر طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های محیط زیست و منابع طبیعی تأثیر عمده‌ای دارد (Sundarakumar et al., 2012: 170). درواقع، توسعه‌ی شهری در سیر تکامل خود دارای روند تقریباً متعادلی بوده است (حسینی و سلیمانی‌مقدم، ۱۳۸۵: ۲۹-۲۸)؛ ولی تحولات فرهنگی-اجتماعی و اقتصادی قرن ۱۹ و ۲۰ متأثر از مدرنیسم، گسترش سریع شهرها و پیدایش کلان‌شهرها را موجب شده و تغییرات بنیادی را در سازمان فضایی و کالبدی آن‌ها به وجود آورده است (زیاری، ۱۳۸۲: ۱۵۱). توسعه و رشد شهرها دارای ابعاد متعددی است و برای بررسی هر یک، شاخص‌ها و روش‌های مختلفی وجود دارد (قدیری و دستا، ۱۳۹۵: ۳۴). در تمام شهرهای جهان گسترش و توسعه در جهات عمودی و افقی یکی از عوامل موردتوجه مدیران و برنامه‌ریزان شهری است. این مبحث که قدمتی کم‌تر از صدسال دارد، از اواسط قرن ۲۰ متداول شد. درست هم‌زمان با استفاده بی‌رویه از اتومبیل و صرف هزینه‌های گسترش بزرگراه‌ها و بسط فضاهای شهری شروع شد (Hess, 2001: 4). برخلاف اینکه مفهوم راهبردهای توسعه‌ی شهری حدود دو دهه است که وارد ادبیات مدیریت شهری شده، اما رویکرد غالب توسعه در سیستم‌های مدیریت شهری در ایران به‌گونه‌ای است که تنها در حد هدایت و راهبری طرح‌های هادی یا جامع شهری، تغییرات کاربری و گسترش سرمایه‌های فیزیکی محدود مانده است (شمس و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۲). در نتیجه برای بهبود این مسئله باید اطلاعات دقیق و درستی در دسترس باشد (امان‌پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۰).

شهرنشینی به‌عنوان دومین انقلاب در فرهنگ انسان، باعث دگرگونی در روابط متقابل انسان‌ها با یکدیگر شده است؛ از طرفی دیگر با افزایش جمعیت شهرنشین، بهره‌برداری از محیط افزایش یافته است (سرای و مویدفر، ۱۳۸۹: ۴۷). رشد روزافزون شهرها و غلبه‌ی شیوه‌ی شهرنشینی در چند دهه‌ی اخیر موجب شکل‌گیری روندهای مهاجرتی عظیمی به مناطق شهری در سراسر جهان شده است. ضمن اینکه این مسئله بیش از همه‌ی کشورهای درحال توسعه را با مشکلاتی از قبیل ناسازگاری در کاربری‌ها، عدم تناسب کاربری‌ها با استانداردهای شهرسازی، آشفستگی محیط شهری، عدم ارائه‌ی خدمات شهری به جمعیت تازه‌وارد و شکل‌گیری حلبی‌آبادها و مناطق حاشیه‌نشین، از بین رفتن اراضی کشاورزی پیرامون در اثر توسعه‌ی فیزیکی شهرها و تغییر کاربری‌های آن به کاربری‌های شهری، دگرگونی روستاهای پیرامونی و واقع در حوزه‌ی نفوذ کلان‌شهرها روبه‌رو کرده است (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳۲) و کاشانی و همکاران، (۱۳۸۸: ۲۰). با توجه به روند مهاجرت‌ها و پیچیدگی نظام‌های شهری در جهان معاصر، ارزیابی و تبیین تغییرات آن‌ها را به شیوه‌های سنتی و مرسوم در دنیایی که شهرنشینی از بزرگ‌ترین پدیده‌های قابل‌توجه آن محسوب می‌شود، امری بسیار مشکل است (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۹). در بیش‌تر نظریه‌های مهاجرت، تلاش برای

یافتن شرایط بهتر و زندگی بهتر، انگیزه‌ی اصلی مهاجرت به‌شمار می‌رود و تفاوت‌های مکانی در بردارنده‌ی این شرایط، انگیزه‌ی اصلی تصمیم فرد و گروه‌های اجتماعی در ترک دیار و رونهاندن به یک مکان جدید است که این تفاوت‌ها ریشه‌ی عمیق در شرایط اقتصادی دارد. در واقع، انجام مهاجرت عدم رضایت از امکان زندگی و درک اختلاف فضایی اعم از اقتصادی-اجتماعی، کالبدی و زیست‌محیطی است (صرافی، ۱۳۸۱: ۷). در نتیجه این مهاجرت‌ها و افزایش جمعیت، تغییرات کاربری زمین، فرآیندهای پویای فضایی و کالبدی هستند که توجه برنامه‌ریزان و همکاران را برای مدیریت منابع از طریق پیش‌بینی رشد آینده و معرفی نواحی زیست‌محیطی در خطر به خود جلب کرده است (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۰). مخاطرات طبیعی یکی از عوامل تهدیدکننده‌ی امنیت شهرها هستند. یکی از مهم‌ترین این مخاطرات طبیعی، زلزله است. زلزله هر ساله جان تعداد زیادی از افراد را می‌گیرد و این مخاطره به‌صورت ناگهانی رخ می‌دهد. پهنه‌بندی نقشه‌های زلزله در ایران نشان می‌دهد که بیش از دو سوم وسعت کشور در محور پرخطر قرار گرفته که اکثر شهرهای پرجمعیت نیز در راستای آن استقرار یافته‌اند؛ مناطقی که بیش‌تر تحت تأثیر فعالیت گسل‌اند و هم شدت زلزله زیاد و هم عمق کانون در آن‌ها کم است (شایان و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۱). کاربری اراضی شهری جزو مفاهیم پایه و اصلی دانش شهرسازی و در واقع شالوده‌ی شکل‌گیری آن است و به اندازه‌ای حائز اهمیت است که برخی از صاحب‌نظران برنامه‌ریزی شهری در کشورهای پیشرفته دنیا آن را برابر با برنامه‌ریزی شهری می‌دانند (اصغری زمانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۱). در سال ۲۰۰۷ برای نخستین بار در تاریخ توسعه‌ی شهری بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها ساکن شدند (Martinez et al., 2008: 85). با توجه به این مطلب از مدل‌های پیش‌بینی کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده‌ی پایدار از زمین یک نیاز ضروری می‌نماید (رضانی و جعفری، ۱۳۹۳: ۸۳). در بین مدل‌های مطرح برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مدل زنجیره‌ای CA مارکوف در ترکیب با تصاویر سنجنش‌ازدور برای مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی به‌طور گسترده در محیط‌های شهری و غیرشهری در مقیاس‌های بزرگ در مناطق مختلف دنیا مورد توجه برنامه‌ریزان و مسئولین زیادی قرار گرفته است (Guan et al., 2011: ۲۰۱۱).

در رابطه با تغییر کاربری و پوشش اراضی مطالعاتی چند در خارج و داخل کشور صورت گرفته است که نمونه‌هایی چند از آن‌ها به شرح زیر است:

در تحقیقی که به‌واسطه‌ی SetO & Woodcock در سال ۲۰۰۲ انجام شد تغییرات کاربری اراضی دلتای رود مروارید را با استفاده از داده‌های لندست TM بررسی گردید و نتایج حاکی از تغییرات کاربری زیادی در زمین‌های کشاورزی در مناطق شهری این قسمت است. Mallupattu & Reddy در سال ۲۰۱۳ به تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از سنجنش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای شهری تیری پاتی در هند (طی دوره‌ی ۱۹۷۶-۲۰۰۳) پرداختند. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده‌ی گسترش قابل توجه در مناطق شهری و نیز کاهش معنی‌دار مناطق کشاورزی و جنگلی در طی دوره‌ی مورد مطالعه است. در تحقیقی دیگر که به‌واسطه‌ی Sohl & Claggety در سال ۲۰۱۳ در مورد منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ای در جنوب اسپانیا با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف انجام شده است، این محققین توانستند تا تغییرات کاربری اراضی در گذشته و آینده نمایش دهند. در مطالعه‌ی دیگر که توسط Wang و همکاران با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف، تغییرات کاربری اراضی ساگا ژاپن را برای سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۲ مدل‌سازی نموده‌اند. در مطالعات داخلی واحدیان بیکی و همکاران در تحقیقی با عنوان اثر توسعه‌ی فیزیکی شهر تهران بر تغییر کاربری اراضی منطقه‌ی ۵ که در سال ۱۳۹۰ انجام شده است، با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و ENVI به بررسی توسعه‌ی فیزیکی منطقه‌ی ۵ شهر تهران که زمانی جزء اراضی پیرامون شهر بوده، اما در طی دوره‌های مختلف با افزایش جمعیت و مهاجرت به تهران، این اراضی وارد محدوده‌ی شهری شده، پرداخته شده است. پس از مطالعات فراوان دیگری در این زمینه، رضانی و جعفری در سال ۱۳۹۳ تحقیقی تحت عنوان آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف (مطالعه‌ی موردی: اسفراین) انجام دادند که با استفاده از مدل مارکوف و تصاویر ماهواره‌ای لندست در

شهرستان اسفراین استان خراسان شمالی به مدل سازی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۱۴۰۴ پرداخته شده است. در مطالعه‌های دیگر مهدی اصلاح و همکاران با عنوان بررسی کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف در برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat با استفاده از مدل مارکوف و تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ی لندست به بررسی کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف جهت برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین برای شهر تهران و حومه‌ی آن طی بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله پرداخته شده است.

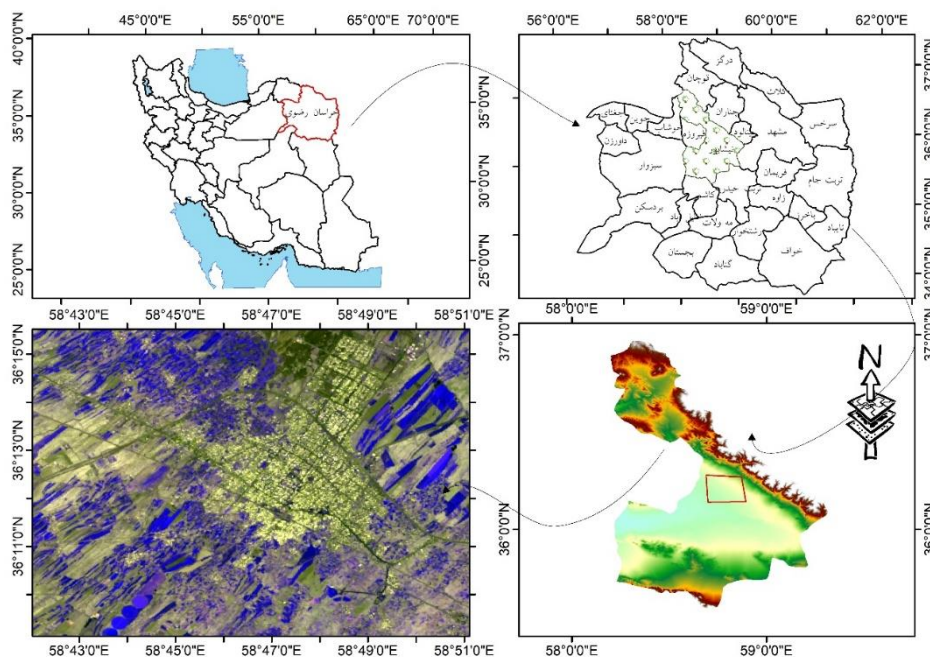
استان خراسان رضوی با داشتن شرایط بهتر نسبت به استان‌های مهاجر و وجود حرم امام رضا (ع) در کلان‌شهر مشهد، همواره به‌عنوان یک مقصد جذاب برای مهاجران کشور مورد توجه بوده است (زرزقانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۹). نزدیکی این کلان‌شهر با شهر نیشابور بخشی از جمعیت را به آنجا روانه کرده و جمعیت بومی این شهر هم در حال افزوده شدن است و با این افزایش جمعیت، تغییر کاربری اراضی امری بدیهی است. در نتیجه هدف تحقیق حاضر بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهری نیشابور با تأکید بر زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ی مارکوف در سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۴۰۹ است؛ بنابراین پژوهش حاضر با بررسی خطرات زلزله‌ی شهر نیشابور در وضع موجود و آینده آن انجام می‌گردد و در این راستا سؤال و فرضیه‌ی پژوهش به شرح ذیل می‌باشند:

- آیا توسعه‌ی فضایی شهر نیشابور با توجه به خطر زلزله پیش‌بینی شده است؟

- سمت توسعه‌ی فضایی پیش‌بینی شهر نیشابور با پهنه لرزه‌خیزی در یک جهت می‌باشند.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

شهر نیشابور از توابع استان خراسان رضوی و به‌عنوان مرکز شهرستان نیشابور است که در ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه عرض جغرافیائی و ۵۸ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی، در مسیر ارتباطی مشهد به طرف سبزوار و شاهرود در حاشیه‌ی شرقی کویر مرکزی ایران قرار گرفته است (فتوحی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۳). فاصله‌ی آن تا مرکز استان (مشهد) ۱۲۰ کیلومتر است. جمعیت شهر نیشابور در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب: ۲۰۵۹۷۲، ۲۳۹۱۸۵ و ۲۶۴۳۷۵ نفر (مرکز آمار ایران) و رشد جمعیت آن به ترتیب: ۱۶/۳ و ۱۰/۵ درصد بوده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

پژوهش از نوع کاربردی بوده که از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی انجام گرفته است. قسمت عمده‌ی پژوهش از طریق عملیات پیمایشی به دست آمده است. در این پژوهش از تصاویر سنجنده‌ی ETM مربوط به سال‌های (۱۳۷۹) ۲۰۰۰ و سال‌های (۱۳۸۸) ۲۰۰۹ و سنجنده‌ی OLI (۱۳۹۷) ۲۰۱۸ از ماهواره‌ی لندست بهره‌گیری شده است. در ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست تصحیح هندسی و رادیو متریک شد تا خطاهای مربوط به تصاویر ماهواره‌ای کاهش یابد. در ادامه محدوده‌ی مورد مطالعه را از تصاویر جدا کرده و اقدام به طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای گردید. مشخصات تصاویر مورد استفاده در این پژوهش و باندهای ترکیب‌شده در جدول شماره‌ی ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	کد تصویر	تاریخ تصویربرداری	ترکیب باندها
لندست ۵	TM	۱۶۰۳۵	۲۰۰۰/۰۹/۱۶	۲-۳-۴
لندست ۷	ETM+	۱۶۰۳۵	۲۰۰۹/۰۹/۰۱	۲-۳-۴
لندست ۸	OLI	۱۶۰۳۵	۲۰۱۸/۰۹/۰۲	۳-۴-۵

روش مورد استفاده جهت طبقه‌بندی اطلاعات، روش نظارت‌شده است. در این روش برای رده‌بندی پیکسل‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده شده؛ بدین معنی که با تعریف پیکسل‌های مشخص از تصویر برای هر یک از کلاس‌ها عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌های در نظر گرفته‌شده انجام گردیده است. همچنین لازم به توضیح است که الگوریتم حداکثر مشابهت جهت طبقه‌بندی نظارت مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش ارزش بازتابی هر پیکسل ناشناخته و بر اساس واریانس و کوواریانس آن طبقه‌ی واکنش طیفی ویژه تجزیه و تحلیل می‌شود، فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه بر اساس توزیع نرمال در اطراف پیکسل میانگین آن طبقه قرار گرفته‌اند. در عمل واریانس و کوواریانس و میانگین طبقه‌ی مختلف هر تصویر ماهواره‌ای برای طبقه‌بندی پدیده‌ها محاسبه می‌شود تا هر یک از پیکسل‌ها به طبقه‌ای تعلق یابد که حضورش در آن طبقه از احتمال بیش‌تری برخوردار است.

جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه از سه پارامتر فاصله از گسل، عمق و قدرت زلزله‌های بالای ۲/۵ ریشتر تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از محدوده‌ی مورد مطالعه که در طول دوره‌ی آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ میلادی رخ داده‌اند، در محیط نرم‌افزاری Arc GIS استفاده گردید. پارامترهای عمق و قدرت زلزله‌های رخ داده بر اساس مدل IDW پهنه‌بندی گردیدند. برای لایه‌ی فاصله از گسل نیز از دستور فاصله اقلیدسی استفاده شد. با توجه به اینکه معیارها دارای وزن‌های برابر نبودند، از نظر کارشناسان (۱۲ نفر) که مشخصات آن‌ها در جدول یک آمده است استفاده شده است. لازم به ذکر است که تعداد ۵۰ پرسش‌نامه توزیع شد که تعداد افراد پاسخ‌گو همین ۱۲ نفر بودند (جدول شماره‌ی ۲).

جدول ۲: مشخصات کارشناسان

تعداد	سمت	آخرین مدرک تحصیلی	رشته‌ی تخصصی
۲	کارشناس سازمان زمین‌شناسی	کارشناسی ارشد	زمین‌شناسی
۴	عضو هیئت‌علمی	دکتری	برنامه‌ریزی شهری
۱	عضو ستاد مدیریت بحران	کارشناسی ارشد	مهندسی زلزله
۳	کارمند شهرداری	کارشناسی	مهندسی عمران
۲	دانشجو	دانشجوی دکتری	ژئومورفولوژی

برای وزن دهی بر اساس مدل AHP استفاده گردید و هر کدام از معیارها دوبه دو با هم مقایسه شدند. در نهایت با روی هم قرار دادن لایه‌های مورد نظر، نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر زلزله استخراج گردید.

جدول ۳: مقایسه‌ی زوجی معیارها با استفاده از روش AHP (بر اساس نظر کارشناسان)

معیارها	فاصله	عمق	قدرت
فاصله	۱	۳	۲
عمق	۱/۳	۱	۱/۲
قدرت	۱/۲	۱/۲	۱

در ادامه جهت پی بردن به تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی محدوده‌ی مورد مطالعه (شهر نیشابور) که شامل کاربری‌های باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته شده، اراضی بایر و مراتع مدنظر قرار گرفته که از مدل زنجیره‌ی مارکوف کمک گرفته شده است. در زنجیره‌ی مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شده است. در این تحلیل، همواره از دو نقشه‌ی رستری استفاده شده که موردی‌ها مدل نامیده می‌شوند. علاوه بر این دو، نقشه‌ی فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی در افق ۲۰۳۰ نیز در مدل CA مارکوف در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل مارکوف نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت و ماتریس مساحت‌های تبدیل شده در هر کلاس و در نهایت تصاویر احتمالاً شرطی برای تبدیل کاربری مختلف است.

مدل زنجیره‌ی مارکوف و CA مارکوف: زنجیره‌های مارکوف یک روش ریاضی و احتمالاتی است. در واقع، مدل زنجیره‌ای مارکوف به‌صورت یک فرآیند تصادفی عمل می‌کند که در آن وضعیت آینده یک پیکسل تنها به وضعیت قبلی آن بستگی دارد و بر اساس آن پیش‌بینی می‌شود. نتیجه‌ی مستقیم حاصل از این مدل، ماتریس احتمال انتقال است؛ اما در این مدل هیچ درک جغرافیایی به دست نمی‌آید و در پایان به مدل سازی نقشه‌ی واحدی که نشان دهنده‌ی توزیع مکانی کلاس‌ها باشد، تولید نمی‌گردد. برای رفع این مشکل در دهه‌ی ۱۹۵۰ مدل CA مارکوف توسط جان‌وان نیومن برای اضافه کردن مشخصه‌ی مکانی به مدل مارکوف طراحی شد (Fan et al, 2008: 127_147). پیش‌بینی در مدل مارکوف با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود.

$$S(t+1) = P_{ij} \times s(t) \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در این رابطه $s(t)$ ، $S(t+1)$ حالت‌های سیستم در زمان t و $t+1$ هستند و p_{ij} ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود.

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

همین‌طور در این پژوهش جهت اعتماد به طبقه‌بندی صورت گرفته از شاخص کاپا استفاده شده است. شاخص کاپا از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$Kappa = P_0 - P_c / 1 - P_c \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

P0: درستی مشاهده شده

PC: توافق مورد انتظار

جدول ۴: ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

سال	تصویر	شاخص کاپا	ضریب صحت
۲۰۰۰	ETM	۰/۸۷	۹۰/۵۴
۲۰۰۹	ETM	۰/۸۸	۸۹/۴۶
۲۰۱۸	OLI	۰/۸۷	۹۲/۶۵

منبع: یافته‌های نگارندگان از تصویر ماهواره‌ای

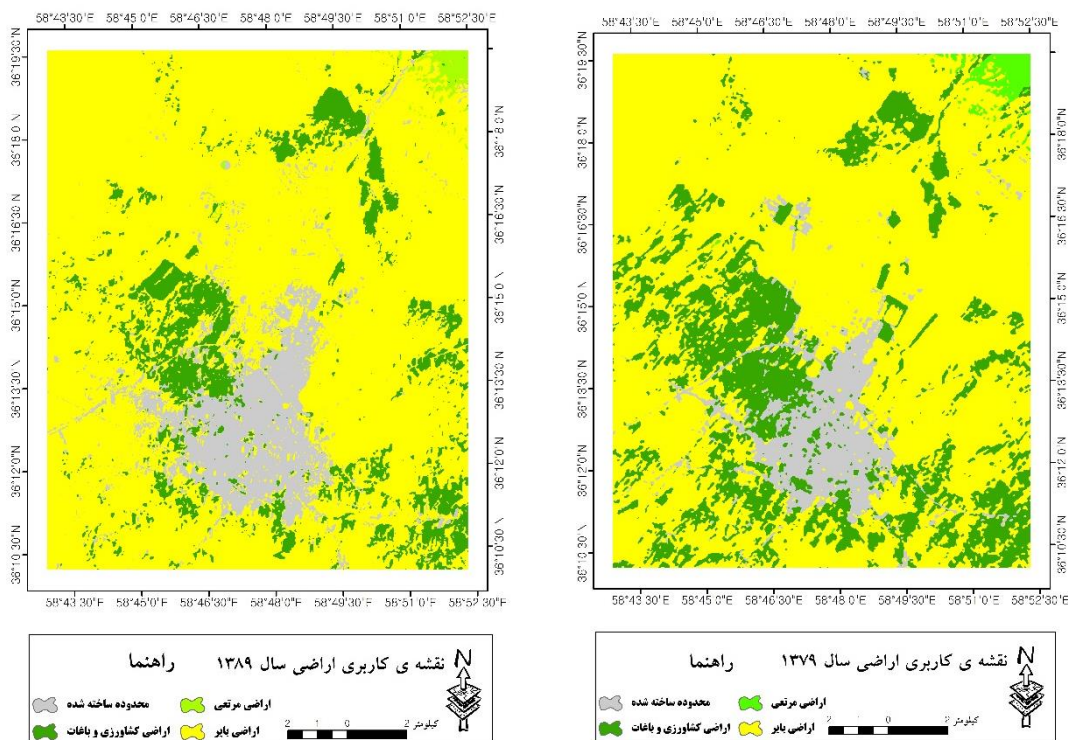
لازم به ذکر است که در تصویر ماهواره مورد استفاده، مساحت شهر نیشابور به انضمام پهنه‌های تا شعاع ۵ کیلومتر به اطراف شهر محاسبه گردیده است.

۴- بحث و نتایج

یافته‌های پژوهش مشتمل بر سه قسمت؛ بررسی تغییرات کاربری‌های عمده‌ی شهر، ارزیابی توسعه‌ی شهر با توجه به خطر زلزله و پیش‌بینی توسعه‌ی شهر نیشابور است.

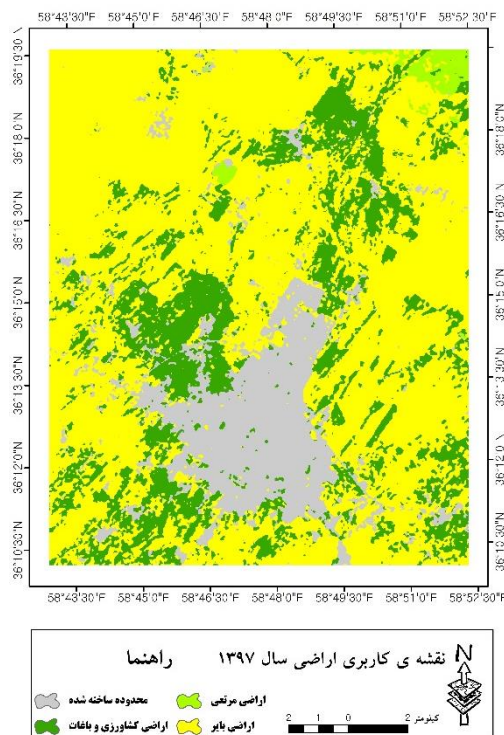
۴-۱- بررسی تغییرات کاربری اراضی:

در این مرحله با توجه به تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۷ محدوده‌های ساخته‌شده‌ی شهر نیشابور و پیرامون، اراضی کشاورزی، اراضی مرتعی و اراضی بایر مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.



شکل ۳: نقشه‌ی کاربری اراضی نیشابور سال ۱۳۸۹

شکل ۲: نقشه‌ی کاربری اراضی نیشابور سال ۱۳۷۹



شکل ۴: نقشه‌ی کاربری اراضی نیشابور سال ۱۳۹۷

مقایسه‌ی اشکال شماره‌ی ۲، ۳، ۴ و جدول شماره‌ی ۴ نشان می‌دهد که در سال ۱۳۷۹ محدوده‌ی ساخته‌شده‌ی شهر نیشابور و پیرامون آن در حدود ۸ درصد بوده و طی ۱۰ سال در سال ۱۳۸۹ به ۱۰/۵ درصد و طی ۷ سال بعد در سال ۱۳۹۷ به ۱۴/۳ درصد رسیده است. به عبارتی طی ۱۸ سال مورد مطالعه، مساحت ساخته‌شده‌ی شهر و پیرامون آن از ۱۹/۷ کیلومترمربع به ۳۵ کیلومترمربع افزایش یافته است که نشان از افزایش کاربری‌های شهری اعم از: مسکونی، تجاری، خدماتی، حمل‌ونقل و... بوده است و بیش‌تر ساخت‌وسازها به سمت شمال و شمال شرقی شهر و پیرامون آن تمایل داشته است و ارقام جمعیتی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ گویای افزایش جمعیت ناشی از نرخ رشد شهر و نرخ رشد طبیعی و مهاجرپذیری شهر نیشابور و پیرامون آن است که نکته تأثیرگذار بر افزایش ساخت‌وسازهای شهری است.

اراضی بایر از ۷۱ درصد به ۶۴/۱ درصد رسیده که در واقع، مساحت اراضی بایر از ۱۷۳/۹ کیلومترمربع به ۱۵۷ کیلومترمربع کاهش یافته است. همچنین در طول ۱۸ سال مورد مطالعه مساحت اراضی باغی از ۱۹/۹ درصد در سال ۱۳۷۹ به ۱۱ درصد کاهش یافته که نبود رغبت مردم به کاشت درختان میوه در فاصله‌ی سال‌های مذکور بوده و با رشد بازار محصولات باغی درصد اراضی باغی به ۲۰/۳ درصد رسیده که البته عامل افزایش جمعیت خود بر این موضوع تأثیرگذار بوده است، رغبت شهروندان به کاشت محصولات باغی و صیفی‌جات (به دلیل افزایش قیمت و برندسازی آلو و سبزی نیشابور) و افزایش آن نسبت به سالیان گذشته مشهودتر است و در مورد اراضی مرتعی و دیمی هم باید گفت که اراضی مرتعی شامل اراضی دیمی و بعضاً اراضی زراعی هم می‌شود و در چندساله اخیر به دلیل افزایش قیمت زیره سبز و زعفران اراضی دیمی زیره و اراضی کشت زعفران افزایش یافته که فقط در بخشی از سال سبز هستند و در تصاویر ماهواره به دلیل مشابهت با مراتع جز اراضی مرتعی و دیمی محاسبه می‌شوند.

جدول ۵: درصد تغییرات کاربری‌های مورد مطالعه

۱۳۹۷		۱۳۸۹		۱۳۷۹		کاربری		
نرخ رشد سالانه	درصد	نرخ رشد سالانه	درصد	نرخ رشد سالانه	درصد			
۳/۸	۱۴/۳	۳۵,۰۸	۲/۷۳	۱۰/۵	۲۵,۸۱	۸	۱۹,۷۰	محدوده‌ی ساخته‌شده
۷/۹	۲۰/۳	۴۹,۷۰	-۵/۷	۱۱	۲۶,۹۷	۱۹/۹	۴۸,۵۵	باغات
۷/۸	۱/۳	۳,۱۰	-۴/۱۶	۰/۷	۱,۷۶	۱/۱	۲,۶۷	اراضی مرتعی و زراعی دیم
-۲/۴	۶۴/۱	۱۵۷,۰۲	۰/۹	۷۷/۸	۱۹۰,۳۵	۷۱	۱۷۳,۹۷	اراضی یاب
	۱۰۰	۲۴۴,۹۱۷		۱۰۰	۲۴۴,۹۱۸	۱۰۰	۲۴۴,۹۱۷	مجموع

۴-۲- ارزیابی توسعه‌ی شهر با توجه به خطر زلزله

زلزله به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی است که بخش زیادی از زندگی انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زمین‌لرزه برای نیشابور همچون شهرهای دیگر در ایران، مهم‌ترین خطر طبیعی است و پیشینه‌ی تاریخی گویای لرزه‌خیزی آن است. دست‌کم ۴ زمین‌لرزه تاریخی با $M > 7$ در کمتر از ۲۰۰ سال ۱۲۰۹-۱۴۰۵ میلادی نزدیک نیشابور در شمال خاوری ایران اتفاق افتاده است. سازوکار بیشتر گسل‌های شناخته‌شده در گستره‌ی نیشابور فشاری بوده و یا مؤلفه مهم فشاری دارند. این نکته اهمیت زیادی دارد؛ زیرا گسل‌های فشاری (در سنجش با گسل‌های راستا لغز و عادی) پراثرتری‌ترند، دوره‌ی بازگشت زمین‌لرزه‌ها در راستای آن‌ها به نسبت طولانی و شتاب گرانشی افقی در درازای آن‌ها بیش‌تر است و می‌توانند زمین‌لرزه‌های بزرگ و ویرانگری را به وجود آورند (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۶). در اطراف نیشابور سه گسل فعال وجود دارد: گسل بینالود، گسل شمال نیشابور و گسل نیشابور، گسل‌های شمال نیشابور و بینالود در دامنه‌ی رشته‌کوه بینالود، در شمال نیشابور، قرار دارند (همان: ۵۵).

جدول ۶: بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره‌ی مشهد

ردیف	تاریخ وقوع رویداد (میلادی)	بزرگی (Ms)	گسل مسبب
۱	۱۲۰۹ نیشابور	۷/۳	بینالود
۲	۱۲۷۰ نیشابور	۷/۱	نیشابور
۳	۱۳۸۹ نیشابور	۷/۳	نیشابور یا بینالود
۴	۱۴۰۵ نیشابور	۷/۴	نیشابور یا بینالود
۵	۱۹۲۸ نیشابور	۵/۲	نیشابور
۶	۲۰۱۲ نیشابور	۴/۲	نیشابور
۷	۲۰۱۲ نیشابور	۷/۳	نیشابور

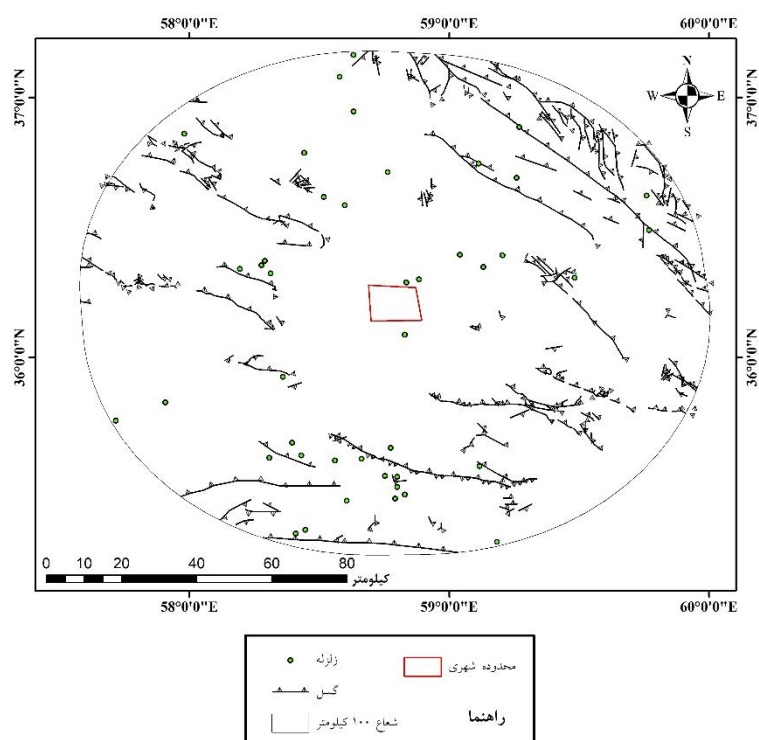
منبع: (حافظی مقدس و قزی، ۱۳۸۶: ۲)

با توجه به خطوط گسل موجود در اطراف شهر نیشابور، مشاهده می‌گردد که تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر نیشابور تعداد بسیاری گسل وجود دارد که دوری و نزدیکی شهر به گسل‌ها در خطرات ناشی از آن‌ها مؤثر است که این مورد برای ساختمان‌های فعلی خطرساز بوده و در شهرسازی آینده باید مدنظر کارشناسان دخیل در این امر قرار گیرد. در شکل ۵ این مسئله به‌خوبی نشان داده شده است.

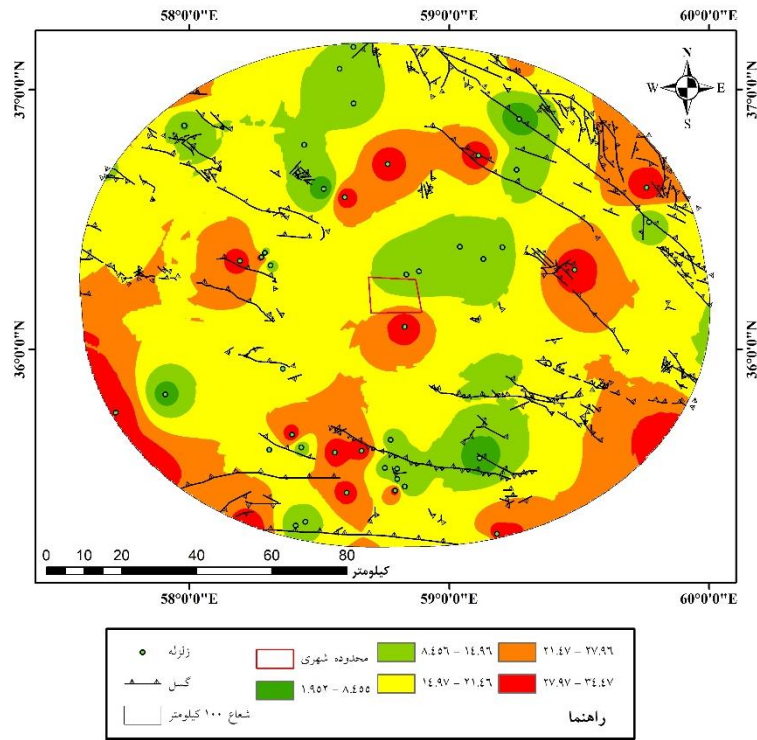
پهنه‌بندی شهر و پیرامون آن به لحاظ عمق زلزله نشان می‌دهد که جنوب شهر در پهنه‌های لرزه‌خیزی عمق ۲۲ تا ۳۵ کیلومتری نزدیک به سطح زمین بوده و محدوده‌ی شمالی شهر و پیرامون آن در پهنه‌های مربوط به عمق ۸/۶ تا ۱۵/۲ کیلومتر قرار دارند و با توجه به اینکه عمق زلزله‌ها در شدت آن‌ها مؤثر هستند، در واقع به دلیل نزدیکی به سطح زمین مخرب‌تر می‌باشند، اما اراضی شمالی شهر در پهنه‌های لرزه‌خیزی با عمق کم قرار دارند که عمده محدوده‌ی ساخته‌شده‌ی شهر در وضع موجود می‌باشند و سمت توسعه‌ی آینده شهر هم می‌باشند و سمت جنوب شهر دارای خطرات احتمالی کم‌تری است؛ چراکه در پهنه با زلزله‌های عمیق‌تر واقع شده است و طبق نقشه‌ی طرح جامع سمت توسعه‌ی آینده‌ی شهر هم نخواهد بود. شکل ۶ این واقعیت را به‌درستی نمایش می‌دهد.

پهنه‌بندی شهر و پیرامون آن به لحاظ شدت زلزله نشان می‌دهد که قسمت عمده محدوده‌ی جنوبی شهر در پهنه‌ی زلزله‌های با شدت ۴/۲ تا ۴/۶ ریشتر واقع شده‌اند و بخشی از محدوده‌ی شمال شهر در پهنه‌ی زلزله‌های با شدت ۴/۷ تا ۵/۲ ریشتر قرار داشته؛ به طوری که با افزایش شدت زلزله، اثرات مخرب ناشی از آن هم افزایش می‌یابد و شهر نیشابور در توسعه‌ی آینده تمایل سمت پهنه‌های با شدت بیش‌تر خواهد داشت. در واقع سمت توسعه‌ی آینده‌ی شهر نیشابور سمت شمال شهر خواهد بود که این اراضی در پهنه‌های با شدت بالا قرار دارند و در صورت بروز زلزله تخریب بیش‌تری هم رخ خواهد داد. در شکل ۷، نشان داده شده است.

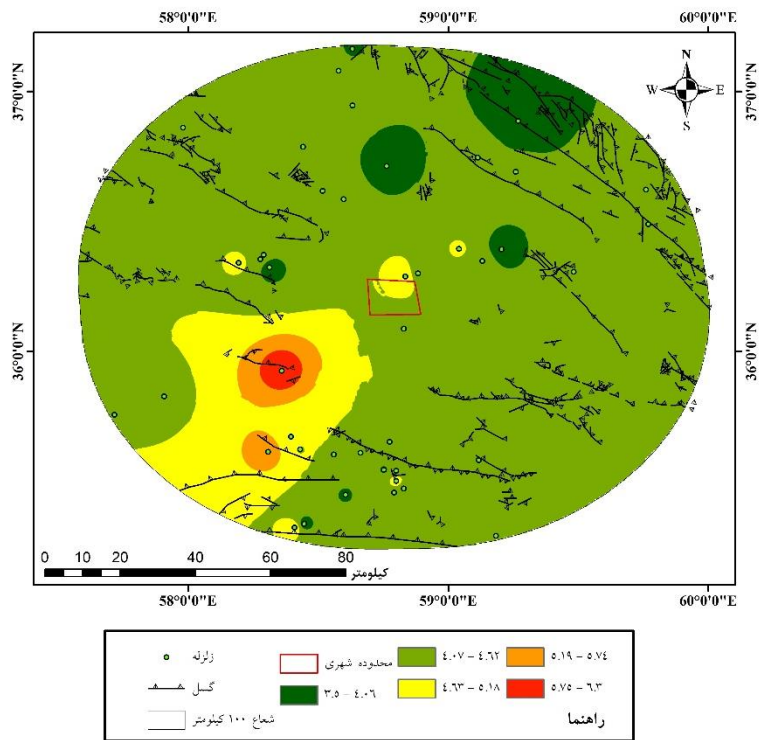
شهر نیشابور و اراضی پیرامونی به لحاظ فاصله تا خطوط گسل تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری در ۵ طبقه دسته‌بندی شده‌اند که اکثریت گسل‌ها بین پهنه ۰ تا ۴۲۸ متری قرار دارد و محدوده‌ی مورد مطالعه در پهنه‌ی ۱۷۰ تا ۳۴۰ متری از گسل‌ها واقع شده است که فاصله‌ی تقریباً مناسبی است، اما در پهنه کاملاً مناسب نبوده و ملاحظات امنیتی را می‌طلبد. شکل ۸ این گسل‌ها را به خوبی نشان می‌دهد.



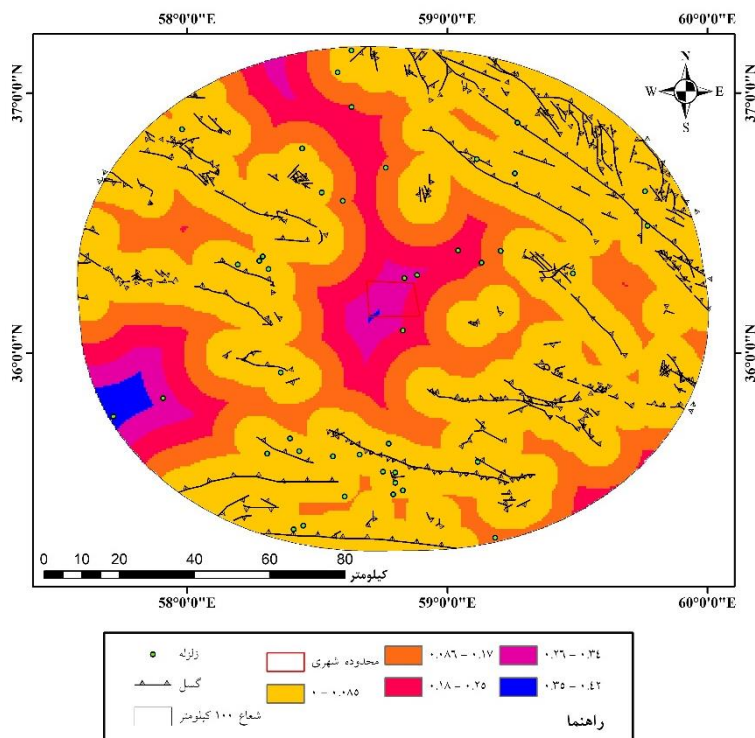
شکل ۵: بررسی موقعیت گسل‌ها تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری نیشابور



شکل ۶: نقشه‌ی عمق زلزله‌ها تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری نیشابور



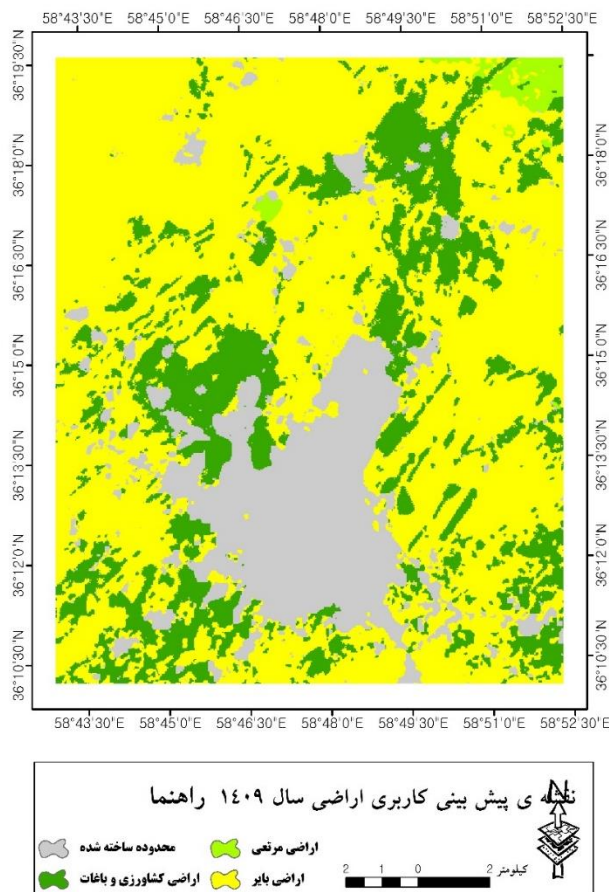
شکل ۷: نقشه‌ی شدت زلزله‌های رخ داده تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری نیشابور



شکل ۸: نقشه‌ی فاصله زلزله‌های رخ داده تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری

۴-۳- پیش‌بینی توسعه‌ی شهر

بر اساس مدل زنجیره‌ی مارکوف و CA مارکوف توسعه‌ی شهر پیش‌بینی گردیده و آن‌گونه که در شکل ۹ نشان داده شده، سمت توسعه‌ی آینده شهر نیشابور بیش‌تر تمایل به سمت شمال و شمال شرق دارد؛ درحالی‌که شکل ۱۰ نشان می‌دهد که محدوده‌ی مذکور در پهنه خطر متوسط زلزله قرار دارد و جنوب شهر در پهنه‌ی خطر کم بوده؛ درحالی‌که سمت توسعه‌ی آینده نخواهد بود و تا سال ۱۴۰۹ (۲۰۳۰ میلادی) بهترین جهت برای توسعه‌ی شهر به سمت جنوب و جنوب غربی است. طبق این پیش‌بینی، محدوده‌ی ساخته‌شده نسبت به سال ۱۳۹۷ که ۱۴/۳ درصد بوده به ۱۷/۵ درصد در سال ۱۴۰۹ خواهد رسید. درواقع از ۳۵ کیلومترمربع به ۴۲/۸ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت. البته نرخ رشد سالانه‌ی این نوع کاربری‌ها در این دوره‌ی ۱۲ ساله بین ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۹ در حدود ۱/۷ خواهد بود. با توجه به اینکه سمت توسعه‌ی فضایی شهر شمال و شمال شرقی شهر خواهد بود که در پهنه‌ی زلزله‌خیز واقع شده و این خود نوعی برنامه‌ریزی نامطلوب و خطرناک است، درواقع افزایش ساخت‌وسازها افزایش میزان خطر زلزله خواهد بود. اراضی باغی و مرتعی، زراعی درصد کمی کاهش خواهند داشت، اراضی بایر از ۶۴/۱ درصد در سال ۱۳۹۷ به ۶۱/۲ درصد در سال ۱۴۰۹ خواهد رسید. به عبارتی مساحت ۱۵۷/۱ کیلومترمربع به ۱۴۹/۸ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت و عمده اراضی بایر به ساخت‌وسازهای مسکونی و کاربری‌های وابسته به آن اختصاص خواهند یافت که این خود تغییر کاربری سازگار با زلزله نیست و حالت مطلوب‌تر آن است که اراضی واقع در پهنه‌ی زلزله‌خیز به کاربری‌های باغی و مرتعی و پارک‌های جنگلی اختصاص یابند (جدول ۷).



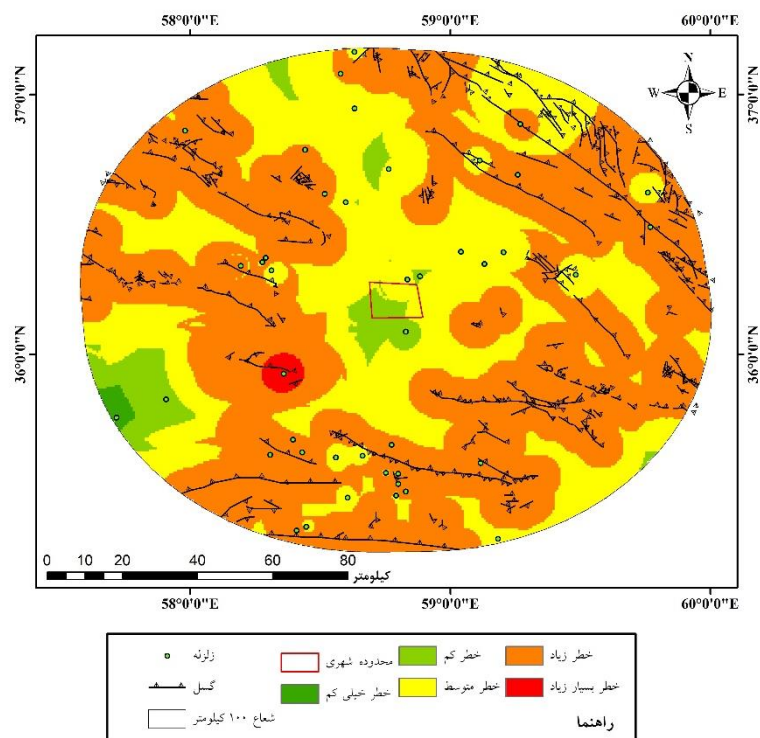
شکل ۹: نقشه‌ی کاربری اراضی نیشابور، در سال ۱۴۰۹

بر اساس مدل زنجیره‌ی مارکوف و CA مارکوف توسعه‌ی شهر پیش‌بینی گردیده که اراضی ساخته شده در سال ۱۴۰۹ با نرخ رشد ۱/۷ درصد به ۱۷/۵ درصد از کل مساحت خواهد رسید؛ اما خروجی حاصل از مدل مارکوف نشان می‌دهد که اراضی بایر به نفع اراضی ساخته شده کاهش می‌یابند و اراضی مرتعی و باغات اندکی کاهش خواهند داشت چراکه تا سال ۱۳۹۷ به آن ظرفیت لازم رسیده‌اند و اراضی مستعد زراعت و باغ داری مورد استفاده قرار گرفته و از این زمان تا افق ۱۴۰۹ مجدداً رشد کاهشی را در پیش خواهند گرفت. جدول زیر نرخ رشد سالانه و درصد مساحت هر یک از کاربری‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۷: مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی در سال ۱۴۰۹

نرخ رشد سالانه	۱۴۰۹		۱۳۹۷		کاربری
	درصد	مساحت به کیلومتر مربع	درصد	مساحت به کیلومتر مربع	
۱/۷	۱۷/۵	۴۲,۸۵	۱۴/۳	۳۵,۰۸	محدوده‌ی ساخته شده
- ۰/۱۶	۲۰/۱	۴۹,۲۴	۲۰/۳	۴۹,۷۰	باغات
- ۰/۶	۱/۲	۲,۹۵	۱/۳	۳,۱۰	اراضی مرتعی و زراعی دیم
- ۰/۴	۶۱/۲	۱۴۹,۸۶	۶۴/۱	۱۵۷,۰۲	اراضی بایر
--	۱۰۰	۲۴۴,۹۱۷	۱۰۰	۲۴۴,۹۱۷	مجموع

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷



شکل ۱۰: نقشه‌ی خطر زلزله تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری نیشابور

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آنچه به‌عنوان نتایج این پژوهش می‌توان بر آن تأکید کرد، در موارد زیر قابل‌ارائه است:

- با توجه به زلزله‌های رخ داده در طول تاریخ نیشابور و پیرامون؛ زمین‌لرزه برای این شهر همچون شهرهای دیگر در ایران، مهم‌ترین خطر طبیعی است.
- سمت توسعه‌ی شهر نیشابور، شمال و شمال شرق است که طبق نقشه‌های پهنه‌بندی این اراضی از نظر عمق و شدت زلزله‌های رخ داده شده و فاصله از گسل‌های فعال خطرناک‌تر از بقیه‌ی جهات شهر می‌باشند.
- محدوده‌ی مورد مطالعه در فاصله‌ی نزدیک از گسل‌های فعال واقع شده که ملاحظات ایمنی و مقاوم‌سازی بناها را می‌طلبد. همچنین لازم می‌آید که در اراضی نزدیک به گسل‌ها کاربری‌های کشاورزی، باغی و ایجاد پارک‌های جنگلی در دستور کار مدیریت شهری قرار گیرد.
- سمت توسعه‌ی آینده شهر نیشابور بیش‌تر تمایل به سمت شمال و شمال شرق دارد، درحالی‌که محدوده‌ی مذکور در پهنه‌ی خطر زلزله بوده؛ چراکه از نظر عمق در پهنه‌ی زلزله‌های با عمق کم و در فاصله کم‌تر از گسل‌های فعال و در پهنه‌ی با قدرت بالا قرار دارد و جنوب شهر در پهنه‌ی خطر کم‌تری بوده است؛ درحالی‌که سمت توسعه‌ی آینده نخواهد بود و تا سال ۱۴۰۹ (۲۰۳۰ میلادی) بهترین جهت برای توسعه‌ی شهر به سمت جنوب و جنوب غربی است؛ بنابراین سمت جنوب و جنوب غربی شهر از خطرات کم‌تری به لحاظ شدت، عمق زلزله و فاصله از گسل‌های فعال برخوردار است و مطلوب‌تر آن است که این سمت از شهر به‌عنوان سمت توسعه‌ی شهر در نظر گرفته شود.
- یکی از بهترین راه‌حل‌ها به‌منظور کاهش اثرات زلزله، رعایت فاصله استاندارد از پهنه‌های زلزله‌خیز و یا گسل‌ها است و همچنین تجدیدنظر در طرح‌های توسعه‌ی شهری نیشابور و لحاظ نمودن فاصله از گسل‌ها، مدیریت شهری را از خطرات احتمالی آینده مصون خواهد داشت. که این خود نه‌تنها صرف هزینه است، بلکه نوعی سرمایه‌گذاری است.
- نتایج به دست آمده از یافته‌های پژوهش جایگاه جغرافیا را در طرح‌های توسعه‌ی شهری بیش‌ازپیش نشان می‌دهد.

- مدل زنجیره‌ی مارکوف و CA مارکوف قابلیت و صحت بالایی را جهت پیش‌بینی توسعه‌ی شهری داراست.
 - نظر به اهمیت توسعه‌ی پایدار در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت شهری و همچنین در پیش‌رو داشتن سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ کشور ضرورت می‌یابد تا برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای در ابعاد اجتماعی، اقتصادی، کالبدی همسو با اهداف این سند باشد و از روش‌های دستیابی به اهداف این سند، به‌کارگیری هر یک از ابعاد توسعه‌ی پایدار بوده و در این میان ابعاد محیطی، کالبدی ملموس‌تر و ضروری‌تر می‌باشند.
 - با توجه به اینکه در پژوهش حاضر سه روش ارزیابی، مدل‌سازی و پیش‌بینی با همدیگر در یک پژوهش انجام شد و نیز استفاده هم‌زمان از مدل AHP و زنجیره‌ی مارکوف و پهنه‌بندی زلزله در محدوده‌ی مورد مطالعه در سه جنبه‌ی قدرت، فاصله از گسل و عمق زلزله‌ها از سطح زمین و همچنین تغییر کاربری‌ها تا سال‌های آینده، از جنبه‌های نوآوری این مقاله است، درحالی‌که تحقیقات مشابه معمولاً به یک مورد از روش‌های فوق بسنده نموده‌اند.

۶- منابع

- ۱- اصغری زمانی، اکبر، علی بخش‌زاده، پیام، زادولی‌خواجه، شاهرخ، زادولی، فاطمه (۱۳۹۵). ارزیابی میزان تغییرات کاربری اراضی در روستای الحاقی به مادرشهر تبریز طی دوره‌های زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۱، (نمونه‌ی موردی: آخماقیه)، مجله‌ی علوم جغرافیایی، شماره‌ی ۲۴، صص ۳۹-۲۱.
- ۲- اصلاح، مهدی، المدرسی، سیدعلی، مفیدی‌فر، مهدی، ملک‌زاده بافقی، شاهرخ (۱۳۹۳). بررسی کارایی مدل زنجیره‌ی مارکوف در برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی LANDSAT. نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته‌ی تحلیل فضایی (سنجش‌ازدور و GIS) در آمایش سرزمین، ۵ و ۶ اسفند ۱۳۹۳.
- ۳- امان‌پور، سعید، کاملی‌فر، محمدجواد، بهمنی، حجت (۱۳۹۴). تحلیلی بر تغییرات کاربری اراضی در کلان‌شهرها با استفاده از آنالیز تصاویر ماهواره‌ی در محیط ENVI (مطالعه‌ی موردی: کلان‌شهر اهواز، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر))، دوره‌ی ۲۶، شماره‌ی ۱۰۲، صص ۱۵۰-۱۳۹.
- ۴- پوراحمد، احمد، سیف‌الدینی، فرانک، پرنون، زیبا (۱۳۹۰). بررسی اثر مهاجرت بر تغییر کاربری اراضی شهر اسلام‌شهر، مجله‌ی آرمان‌شهر، شماره‌ی ۶، صص ۶۱-۴۹.
- ۵- پوراحمد، احمد، سیف‌الدینی، فرانک، پرنون، زیبا (۱۳۹۰). مهاجرت و تغییر کاربری اراضی در شهر اسلام‌شهر، فصلنامه‌ی مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره‌ی ۵، صص ۱۵۲-۱۳۱.
- ۶- پورمحمدی، محمدرضا، جمالی، فیروز، اصغری زمانی، اکبر (۱۳۸۷). ارزیابی گسترش فضایی کالبدی شهر زنجان با تأکید بر تغییر کاربری اراضی طی دوره‌ی ۱۳۵۵-۱۳۸۴ (۱۹۷۵-۲۰۰۵)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۶۳، صص ۴۶-۲۹.
- ۷- حافظی مقدس، ناصر (۱۳۸۶). گزارش مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌های شهر مشهد، جلد دوم، گزارش زمین‌شناسی مهندسی، سازمان مسکن و شهرسازی خراسان رضوی.
- ۸- حسین‌زاده، محمدمهدی، پناهی، رؤیا (۱۳۹۴). بررسی محدودیت‌های ژئومورفولوژیک توسعه‌ی فیزیکی و مکان‌یابی جهت‌های توسعه‌ی آینده شهر سنقر، مجله‌ی جغرافیا و توسعه فضای شهری، سال ۲، شماره‌ی ۱، صص ۶۲-۵۰.
- ۹- حسینی، سیدهادی، سلیمانی مقدم، هادی (۱۳۸۵). توسعه‌ی شهری و تضعیف مفاهیم محله‌ای، مسکن و انقلاب، شماره‌ی ۱۱۳، صص ۸۹-۷۰.
- ۱۰- رضانی، نفیسه، جعفری، رضا (۱۳۹۳). آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ی CA مارکوف، مطالعه‌ی موردی: اسفراین، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره‌ی ۴، صص ۹۶-۸۳.
- ۱۱- رهنما، محمدرحیم، روستا، مجتبی (۱۳۹۱). تحلیل تغییر کاربری و چگونگی حفظ و نگهداری فضای سبز، باغ‌ها، شهر جهرم در راستای توسعه‌ی پایدار، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره‌ی دوم، صص ۱۲۶-۱۱۳.
- ۱۲- زرقانی، سیدهادی، حسینی، سید مصطفی، قنبری، محمد، قیاسی، محمدحسین (۱۳۹۵). بررسی و تحلیل الگوی مهاجرت در استان خراسان رضوی، مطالعات فرهنگی-اجتماعی خراسان، سال ۱۱، شماره‌ی ۲، صص ۳۰-۲۲.
- ۱۳- زیاری، کرامت‌الله (۱۳۸۲). تحولات اجتماعی-فرهنگی ناشی از انقلاب صنعتی در توسعه‌ی فضایی تهران، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۱، صص ۴۰-۲۷.

- ۱۴- سرایی، محمدحسین و مویدفر، سعیده (۱۳۸۹). بررسی میزان پایداری توسعه در شهرهای مناطق خشک با تأکید بر مؤلفه‌های زیست-محیطی: شهر رادکان، فصلنامه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره‌ی پیاپی ۳۷، صص ۷۶-۴۷.
- ۱۵- شایان، سیاوش، زارع، غلامرضا وحق‌پناه، یعقوب (۱۳۹۲). زلزله‌خیزی ایران و مقاوم‌سازی مدارس، مجله‌ی رشد آموزش جغرافیا، شماره‌ی ۳، صص ۱۳۲-۱۰۱.
- ۱۶- شمس، مجید، ذاکر حقیقی، کیانوش، رحمانی، امیر (۱۳۹۱). ارائه‌ی الگوی بهینه‌سازی و پایداری روند گسترش کالبدی-فضایی شهر (نمونه‌ی موردی: شهر لای بید اصفهان)، مرکز انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، فصلنامه‌ی آمایش و توسعه‌ی پایدار (۳)، صص ۹۶-۸۳.
- ۱۷- شمس، مجید، رحمانی، بیژن، رحمانی، امیر (۱۳۹۲). تحلیلی بر گسترش کالبدی-فضایی شهر و تعیین الگوی بهینه و پایدار رشد کالبدی شهر صالح‌آباد با بهره‌گیری از مدل‌های کمی، مجله‌ی هفت حصار (۳)، سال اول، صص ۵۶-۴۷.
- ۱۸- شیعه، اسماعیل (۱۳۸۹). مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی شهری، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، تهران.
- ۱۹- صرافی، مظفر (۱۳۸۱). مهاجرت داخلی و مسئله مدیریت شهری، فصلنامه‌ی مدیریت شهری، شماره‌ی ۱۰، صص ۶۹-۴۸.
- ۲۰- فتاحی، مرتضی، رستمی مهربان، سمیه، طالبیان، مرتضی، بحرودی، عباس، هالینگورث، جیمز، والکر، ریچارد (۱۳۹۰). بررسی فعالیت گسل نیشابور در استان خراسان، مجله‌ی علوم زمین، سال بیستم، شماره‌ی ۷۹، صص ۵۵-۶۰.
- ۲۱- فتوحی، صمد، علی‌نیا، هادی، فیروزی، فاطمه، بخشی‌پور، جواد، رخشانی، زینب (۱۳۹۲). مکان‌یابی مناطق مستعد نسبت به لغزش (مطالعه‌ی موردی: شمال نیشابور)، مجله‌ی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره‌ی سوم، صص ۹۴-۷۸.
- ۲۲- قدیری، محمود، دستا، فرزانه (۱۳۹۵). تحلیل الگوی رشد کالبدی-فضایی کلان‌شهر تهران، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال سی و یکم، بهار ۱۳۹۵، شماره‌ی پیاپی ۱۲۰، صص ۴۴-۳۰.
- ۲۳- کاشانی، معصومه، جوان، جعفر، رهنما، محمدرحیم (۱۳۸۸). بررسی تغییر کاربری اراضی کشاورزی حاشیه‌ی شهر ورامین و عوامل مؤثر بر آن طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۵۴، پایان‌نامه‌ی مقطع کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲۴- مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵.
- ۲۵- واحیدیان بیگی، لیلیا، پوراحمد، احمد، سیف‌الدینی، فرانک (۱۳۹۰). اثر توسعه‌ی فیزیکی شهر تهران بر تغییر کاربری اراضی منطقه ۵، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، سال چهارم، شماره‌ی ۱، صص ۹۹-۱۱۱.
- 26- Fan, Fenglei, Wang, Yunpeng, Wang, Zhishi, (2008). Temporal and spatial change, detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl pp: 127_147.
- 27- Guan, DongJie, Li, HaiFeng, Inohae, Takuro, Su Weici, Nagaie, Tadashi, Hokao, Kazunori, (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model, Ecological Modelling, 222 (20–22), 3761_3772.
- 28- Hess, G.R. (2001). Just what is Sprawl Anyway? From <http://www.4.ncsuedu/grhess>.
- 29- Mallupattu, P.K. and J.R. Sreenivasula Reddy. (2013). Analysis of Land Use/Land Cover Changes Using Remote Sensing Data and GIS at an Urban Area, Tirupati, India. The Scientific World, 2013: 1_7.
- 30- Martlnez, Javier, Mboupb, Gora, Sliuzasa, Richard, Stein, Alfred (2008). Trends in urban and slum indicators across developing world cities, 1990_2003, Habitat.
- 31- Seto, K., R. Kaufmann and C. Woodcock. (2002). Monitoring Land Use Change in the Pearl River Delta Using Landsat TM. Remote Sensing, 23: 69_90.
- 32- Sohl, Terry L. and Claggett, Peter R., (2013), Clarity versus complexity: Land use
- 33- Sundarakumar, K., M. Harika, S.A. Begum, S. Yamini and K. Balakrishna. (2012). Land Use and Land Cover Change Detection and Urban Sprawl Analysis of Vijayawada City Using a Landsat Data. Engineering Science & Technology, 4: 170_178.
- 34- Wang, Shi Qing, Zheng, Xizinqi, and Zang, X. B., (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov_cellular automata model, Procedia Environmental Sciences, 13, 1238_1245.
- 35- Sohl, T. L., & Claggett, P. R. (2013). Clarity versus complexity: Land-use modeling as a practical tool for decision-makers. Journal of Environmental Management, 129, 235-243.