



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS
سال اول، شماره چهارم، زمستان ۱۳۸۸
Vol.1, No.4, Winter 2010
۴۰-۲۱

ارائه مدلی GIS مینا برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی منطقه‌ای (منطقه مورد مطالعه: شهرستان برخوار و میمه)

محمد کریمی*^۱، محمدسعدی مسگری^۲، محمدعلی شریفی^۳

۱. دانشجوی دکتری GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
۲. استادیار گروه GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
۳. دانشیار دانشکده علوم اطلاعات جغرافیایی و مشاهدات زمینی (ITC)، دانشگاه تونته، هلند

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۴/۲۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۲۳

چکیده

تأثیر پویای عوامل مختلف محیطی و اقتصادی و اجتماعی در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی، برنامه‌ریزی کاربری اراضی منطقه‌ای را به فرایندی پیچیده بدل ساخته است. هدف از انجام این تحقیق، تکوین و توسعه مدلی جدید برای برنامه‌ریزی انواع کاربری اراضی منطقه‌ای با استفاده از مدل‌سازی تعامل بین تناسب سرزمین در سطح بزرگ‌مقیاس و تقاضای کاربری‌ها در سطح کوچک‌مقیاس است. ارزیابی یکپارچه تناسب سرزمین در قالب تولید و تلفیق نقشه‌های معیار شامل توان اکولوژیکی، تأثیر همسایگی، دسترسی و محدودیت با به‌کارگیری روش‌های هوشمند و تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط GIS مدل‌سازی شد و مساحت مورد نیاز کاربری‌های مختلف به تفکیک واحدهای تقاضا با استفاده از رگرسیون آماری داده‌های موجود تعیین گردید. مدل توسعه داده شده با استفاده از داده‌های مربوط به دو دهه اخیر شهرستان برخوار و میمه واقع در استان اصفهان مورد ارزیابی قرار گرفت و فرایند تخصیص برای کاربری‌های سکونتگاه شهری، سکونتگاه روستایی، صنعت و کشاورزی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ انجام گرفت. نتایج این امر بیانگر آن است که در مدل‌سازی برنامه‌ریزی کاربری اراضی منطقه‌ای، در نظر گرفتن ارزیابی یکپارچه تناسب سرزمین، تقاضای کاربری‌ها و قوانین تغییر کاربری به صورت همزمان ضروری است. نتایج این تحقیق، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان را در خصوص برنامه‌ریزی اسکان جمعیت و استقرار فعالیت‌ها در فضا کمک می‌کند.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی کاربری، تناسب، تقاضا، تخصیص، روش‌های هوشمند.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، بالاتر از میرداماد، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تلفن: ۸۸۷۸۶۲۱۲

۱- مقدمه

تنوع تحقیقات موجود را می‌توان از دیدگاه‌های مختلف از جمله هدف، متدولوژی و نحوه ارزیابی مورد بررسی قرار داد. در غالب تحقیقات به مدل‌سازی بخشی از فرایند برنامه‌ریزی کاربری پرداخته شده است. به عنوان نمونه، می‌توان به مدل‌سازی توان اکولوژیکی (F.A.O, 1976; Makhdoum, 1999; Kalogirou, Verburg et al., 2002; Store, 2009 al., 2004a; Geertman et al., 2007; Hagoort et al., 2008) به صورت مستقل اشاره کرد. در برخی از تحقیقات مدل‌سازی برنامه‌ریزی نوعی از کاربری مانند سکونتگاه شهری (Engelen et al., 1997; Dietzel and Clarke, 2006; Liu et al., 2008 Verburg and Veldkamp, 2004; Sante-Riveira et al., 2008) مد نظر قرار گرفته است. در تحقیقات محدودی فرایند برنامه‌ریزی کاربری به صورت جامع مدل‌سازی شده است (Van Delden et al., 2007; Verburg and Overmars, 2009).

به‌منظور کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل‌های برنامه‌ریزی کاربری اراضی غالباً از نقشه‌های کاربری موجود به‌عنوان مبنا استفاده شده است. در غالب تحقیقات که تعداد پارامترهای کالیبراسیون کم و محدود فرض شده‌اند، مقادیر پارامترها معمولاً با استفاده از روش‌های هوشمند مانند شبکه عصبی (Li and Yeh., 2002) و الگوریتم ژنتیک (Al-Ahmadi et al., 2009) یا روش‌های مبتنی بر دانش کارشناسی مانند فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) (Wu and Webster, 1998) تعیین شده است. در تحقیقاتی که برنامه‌ریزی کاربری به صورت جامع مدل‌سازی شده است، با توجه به زیاد بودن تعداد پارامترهای کالیبراسیون، بیشتر از روش سعی و خطا (White and Engelen, 2000) و یا برازش‌های آماری (Verburg and Veldkamp, 2004) استفاده شده است. در این حالت معمولاً پارامترهای کالیبراسیون در چندین مرحله و به صورت مستقل تعیین شده‌اند. اخیراً تحقیقات محدودی در خصوص استفاده از دانش

در تحلیل اولیه تغییر کاربری، پرسش‌هایی مانند «چرا؟ کجا؟ چه زمانی؟ چگونه؟ و چه مقدار؟» برای تغییر کاربری مطرح می‌گردد. افزایش جمعیت و لزوم تأمین نیازهای محیطی و اقتصادی و اجتماعی نسل حاضر موجب تغییر کاربری به صورت طبیعی می‌گردد. محدودیت منابع و تأمین نیازهای نسل آینده، ضرورت اعمال و دخالت دانش کارشناسی را در فرایند طبیعی تغییر کاربری نشان می‌دهند. مدل‌سازی برنامه‌ریزی کاربری اراضی از مباحث اصلی مطالعات آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی منطقه‌ای محسوب می‌شود؛ و از طرف دیگر نیاز مطالعات مختلف مانند اقلیم، منابع آب، حمل‌ونقل و محیط زیست به نقشه کاربری آتی سرزمین، ضرورت انجام این امر مهم را نمایان‌تر می‌سازد.

فرایند برنامه‌ریزی کاربری اراضی را می‌توان در نگاهی کلی، تعامل بین تناسب سرزمین (عرضه) و مساحت مورد نیاز (تقاضا) در شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه عنوان کرد. میزان تناسب برای کاربری‌های مختلف معمولاً از طریق مقایسه ویژگی‌های مورد نیاز کاربری‌ها با ویژگی‌های سرزمین در سطح پلی‌گون یا پیکسل (سطح بزرگ‌مقیاس) تعیین می‌گردد. در تعیین ویژگی‌های مورد نیاز کاربری‌ها معمولاً مجموعه‌ای از معیارهای محیطی، اقتصادی و اجتماعی مانند توان اکولوژیکی، همسایگی، دسترسی و محدودیت‌ها در نظر گرفته می‌شود (white and Engelen, 2000). از طرف دیگر، مساحت مورد نیاز کاربری‌ها معمولاً در سطح واحدهای مدیریتی (سطح کوچک‌مقیاس) با توجه به روندها و سناریوهای مختلف تعیین می‌گردد. تعامل پویای بین تناسب و تقاضا در دو سطح بزرگ و کوچک مقیاس در منطقه مورد مطالعه با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و مدیریتی حاکم بر آن، سبب گردیده است که برنامه‌ریزی کاربری تحت عنوان فرایندی دینامیک، پیچیده و غیرخطی نام‌برده شود.

به اندازه معیارها در نقاط جمعیتی تهیه شده‌اند - با استفاده از روش میانگین وزن دار در محیط GIS با هم تلفیق گردیده‌اند. خروجی این تحقیقات بیشتر نقشه‌های تناسب برای یک نوع کاربری است و به علت عدم محاسبه تقاضای کاربری‌ها و عدم اعمال قوانین تغییر کاربری منجر به فرایند تخصیص نگردیده است.

در این تحقیق مدل‌سازی فرایند تخصیص انواع کاربری با استفاده از روش‌های هوشمند و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (به‌منظور تعیین تناسب سرزمین) و رگرسیون آماری (برای تعیین تقاضا) در محیط GIS مدنظر قرار گرفت. مزیت مدل تکوین‌یافته، مدل‌سازی دقیق‌تر هر یک از نقشه‌های معیار برای تعیین تناسب سرزمین و در نظر گرفتن همزمان آنها با تقاضای کاربری‌ها و قوانین تغییر کاربری است. وزن عوامل و فاکتورهای مؤثر در مراحل مختلف مدل‌سازی به تناسب روش استفاده شده (منطق فازی، اتوماسیون سلولی و جز اینها) براساس روش AHP تعیین گردیده است. لازم به توضیح است که به‌منظور تدقیق دانش کارشناسی در روش AHP، در برخی موارد از شاخص‌های مکانی مستخرج از داده‌های موجود، مانند فاکتور غنی‌شدگی، استفاده شده است. با توجه به نکات یاد شده، هدف از انجام این تحقیق، تکوین و توسعه و پیاده‌سازی مدلی GIS مینا برای مدل‌سازی برنامه‌ریزی انواع کاربری به صورت همزمان در سطح منطقه‌ای است. مدل ایجاد و توسعه داده شده، در شهرستان برخوار و میمه - واقع در استان اصفهان - پیاده‌سازی و اجرا گردید.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق شهرستان برخوار و میمه واقع در مرکز و شمال غربی استان اصفهان در ایران به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است (شکل ۱). این شهرستان با مساحت ۶۹۵۷ کیلومترمربعی و جمعیت ۲۷۹,۷۷۸ نفر دارای تراکم جمعیت ۳۶/۳ نفر در کیلومترمربع است. مطابق با آمار سال ۱۳۸۵

کارشناسی در خصوص مدل‌سازی توسعه شهری انجام گرفته است (Hagoort et al., 2008).

در مطالعات آمایش سرزمین، هر چند از GIS در مرحله تبیین وضعیت موجود و تحلیل مطالعات بخشی استفاده شده است، لیکن تاکنون منجر به ارائه فرایندی مشخص برای برنامه‌ریزی کاربری نشده است (Tawfigh, 2006). در طرح‌های مطالعات طرح کالبدی منطقه‌ای که با هدف تهیه نقشه پتانسیل کاربری سکونتگاه شهری تهیه می‌شوند، از روش AHP به‌منظور وزن‌دهی معیارها، و از روش‌های ارزیابی چندمعیاره برای تلفیق نقشه‌های معیار در محیط GIS استفاده می‌شود (UP&ARCI, 2000). از دیگر تحقیقات مرتبط می‌توان به ارزیابی توان اکولوژیکی (Makhdoum, 1999; Mahfouzi et al., 2002; Babaee and Awnegh, 2006)، تعیین جهت گسترش فیزیکی سکونتگاه‌ها یا صنعت (Bader, 2000; Zakeri, 2004; Rashno, 2004; Mokhtari et al., 2006; Sardari, 2007)، پیش‌بینی میزان تغییرات پوشش (Mosivand, 2007)، تحلیل وضع موجود کاربری شهری (Saberi, 1999)، به‌کارگیری سیستم پشتیبانی «What if» (Far, 1999) در برنامه‌ریزی شهری و محلی (Khoii, 2002; Razani, 2005) و تخصیص کاربری بر اساس دسترسی و ارزش افزوده در شبکه‌ای نمونه (Ameri and Barg gol, 2007) اشاره کرد.

روش‌ها و ابزارهای مختلفی برای مدل‌سازی برنامه‌ریزی کاربری، تکوین و توسعه یافته است. با توجه به تفاوت ماهیت مناطق، به‌کارگیری آنها برای سایر مناطق، دشوار و در بعضی مواقع ناممکن است. با توجه به تحقیقات محدود در این زمینه، مدل‌سازی برنامه‌ریزی کاربری در مناطق مختلف و تکوین روش‌های جدید در این خصوص، ضروری به نظر می‌رسد (Verburg and Overmars, 2009).

در بیشتر تحقیقات مربوط به برنامه‌ریزی کاربری اراضی در کشور، معیارهای مورد نظر در ساختاری سلسله‌مراتبی با استفاده از روش AHP وزن‌دهی شده و نقشه‌های معیار - که غالباً از انترپلاسیون مقادیر مربوط

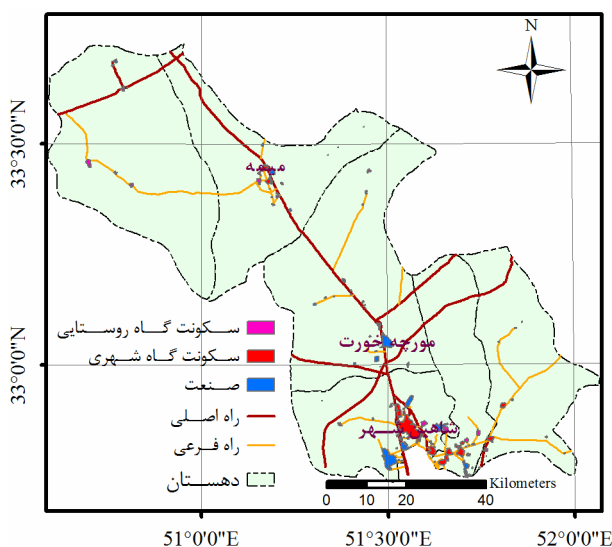
عنوان پیامدهای خارجی وارد بر سیستم در نظر گرفت که مدل سازی آنها پیچیده است و در این تحقیق مد نظر قرار نگرفته‌اند.

۲-۱- تعیین تناسب

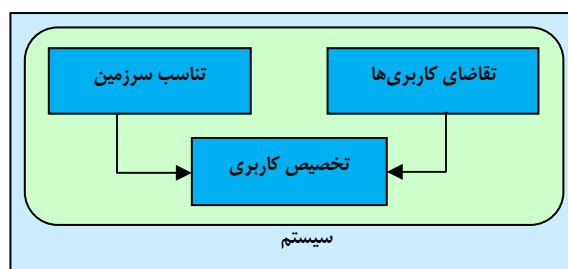
اندازه‌گیری یا محاسبه مقدار دقیق تناسب یک واحد از سرزمین برای یک کاربری خاص غیرعملی است. در تحقیقات مختلف برای مقایسه نسبی تناسب، مجموعه‌ای از معیارهای محیطی و اقتصادی و اجتماعی شامل توان اکولوژیکی، همسایگی، دسترسی و محدودیت‌ها را تعیین کرده‌اند. در ادامه روند مدل سازی هر یک از معیارهای مذکور و ارزیابی یکپارچه آنها به‌منظور تعیین تناسب تشریح می‌گردد.

(SCI, 2008)، این شهرستان دارای ۹ شهر و ۲۸ روستاست و بیش از ۸۶ درصد جمعیت آن شهری است. رشد جمعیت سالانه ۲/۵۸ درصد در طول سال‌های ۶۵ تا ۷۵ و رشد سالیانه ۲/۳۹ درصد در طول سال‌های ۱۳۷۵ تا ۸۵، که بالاترین اعداد در سطح استان‌اند، گویای تمرکز و رشد جمعیت در این منطقه است.

فرایند برنامه‌ریزی کاربری را می‌توان در نگاهی کلی شامل سه مدل اصلی تولید نقشه‌های تناسب، محاسبه تقاضای مورد نیاز و تخصیص کاربری‌ها عنوان کرد. با در نظر گرفتن این سه مدل در قالب یک سیستم (شکل ۲)، شرایط اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و مدیریتی حاکم بر منطقه مورد مطالعه را می‌توان به



شکل ۱. نقشه پایه شهرستان برخوار و میمه



شکل ۲. مراحل کلی فرایند تعیین کاربری مطلوب

۲-۱-۱- تعیین توان اکولوژیکی

توان اکولوژیکی از مقایسه وضعیت منابع اکولوژیکی (شیب، خاک، اقلیم و جز اینها) با ویژگی‌های طبیعی مورد نیاز هر یک از کاربری‌ها تعیین می‌گردد. با توجه به پیچیدگی تعریف نیازمندی‌های مذکور، از مدل توان اکولوژیکی مخدوم (Makhdoum, 1999) استفاده گردید. در این مدل ویژگی‌های طبیعی مورد نیاز کاربری‌ها و پوشش‌های مختلف مانند کشاورزی طبقه ۱ تا ۳، مرتع طبقه ۱ تا ۳ و سکونتگاه و صنعت طبقه ۱ و ۲ به صورت باینری تعریف شده است.

به منظور تهیه نقشه‌های توان اکولوژیکی کلاس‌های مختلف از کاربری‌ها و پوشش‌های مورد نظر، مدل مخدوم براساس منطق فازی پیاده‌سازی گردید. مدل سازی تغییر تدریجی ویژگی‌های منابع اکولوژیکی (شیب، ارتفاع، جهت شیب، بافت خاک، عمق خاک، فرسایش، نوع اقلیم و زمین‌شناسی) با استفاده از تعریف توابع عضویت فازی مناسب، تلفیق نقشه‌های فازی با توسعه موتور استنتاج فازی (ایجاد یک پایگاه قواعد «اگر - آن‌گاه» فازی و به‌کارگیری مدل تصمیم‌گیری ممدانی) و قطعی‌سازی داده‌ها با استفاده از روش مرکز ثقل، از مهم‌ترین مراحل پیاده‌سازی مدل مخدوم براساس منطق فازی است که جزئیات آن در (Karimi et al., 2009) ارائه شده است.

۲-۱-۲- مدل سازی تأثیر همسایگی

در برنامه‌ریزی کاربری هر واحد از سرزمین، علاوه بر ویژگی‌های محیطی و اکولوژیکی آن واحد، بایستی به نحوه توزیع و پراکندگی مکانی انواع مختلف کاربری در اطراف آن نیز توجه کرد. معمولاً مدل‌سازی تعامل میان کاربری‌های مختلف بر یکدیگر، تأثیر همسایگی نام دارد و به منظور محاسبه آن بیشتر از روش اتوماسیون سلولی (CA) استفاده می‌شود. روش CA براساس فضای رستری تعریف شده است که هر پیکسل دارای وضعیت معینی است. وضعیت هر سلول با استفاده از ارزش پیکسل‌های مجاور و در قالب توابع انتقال در بازه‌های

زمانی مشخص به صورت همزمان و اتوماتیک، بهنگام می‌گردد (White and Engelen, 2000). محاسبه تأثیر همسایگی در سه مرحله انجام گرفت. در مرحله اول محدوده تأثیر تعامل میان کاربری‌ها تعیین گردید. در بیشتر تحقیقات، شعاع تأثیر همسایگی هشت پیکسل در نظر گرفته شده است. با مد نظر قرار دادن دقت نقشه‌های ۱:۲۵۰,۰۰۰ برابر با یکصد متر، شعاع مذکور معادل هشتصد متر است. شعاع تأثیر در مطالعات منطقه‌ای معمولاً بیشتر از هشتصد متر است. پوشش دادن محدوده تأثیر بیشتر از هشتصد متر با استفاده از هشت پیکسل مجاور، مستلزم تعریف پیکسل‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر است که این امر منجر به کاهش دقت مدل‌سازی می‌گردد (Pan et al., 2010). Van Vliet (2009) به منظور توجه شعاع تأثیر بیشتر و حداقل کردن زمان محاسبات، ساختاری درختی را ارائه کرده است. در این تحقیق براساس ساختار پیش‌گفته، ساختاری شعاعی پیاده‌سازی گردید که در آن محدوده تأثیر به سطوح مختلف دایره‌ای اندک‌بندی می‌گردد.

در مرحله دوم، تعریف توابع انتقال مدنظر قرار گرفت. این توابع بیانگر اندازه پیامدهای خارجی مکانی هر کاربری بر کاربری دیگر در طول شعاع تأثیر است که معمولاً در قالب چندین نمودار تعریف می‌شوند. در تعریف توابع انتقال نکات ذیل مد نظر قرار گرفت:

- در محاسبه اندازه پیامدهای خارجی مکانی هر کاربری بر کاربری دیگر تأثیرات شعاعی ارزشی و غیرارزشی کاربری‌ها مدنظر قرار می‌گیرد (Haggort et al., 2008). از آنجا که تأثیرات ارزشی کاربری‌ها به عنوان موتور تغییر کاربری از کاربری‌ای به کاربری دیگر فرض می‌شود، در این تحقیق اندازه پیامدهای خارجی کاربری‌ها معادل تأثیرات ارزشی آنها در نظر گرفته شد. به منظور کمی‌سازی یا عددی کردن تأثیرات ارزشی کاربری‌ها از روش AHP استفاده گردید.
- فقدان روش‌های ریاضی برای محاسبه دقیق پیامدها در شعاع تأثیر، استفاده از متغیرهای زبانی می‌تواند

هم‌مقیاس کردن مقادیر فاکتور غنی‌سازی، معمولاً از لگاریتم این مقادیر استفاده می‌گردد.

با توجه به نکات مطرح شده، نحوه تغییر اندازه پیامدهای خارجی مکانی کاربری‌ها در طول شعاع تأثیر تعیین گردید. به عبارت دیگر، نمودارهای شاخص غنی‌شدگی به‌وسیله دانش کارشناسی تفسیر شد و نتایج آن در قالب متغیرهای زبانی تعریف گردید. به‌عنوان نمونه، نتایج این امر برای کاربری سکونتگاه شهری در جدول ۱ نمایش داده شده است.

در این جدول L, M, H, VH و VL به ترتیب معادل تأثیرات «خیلی زیاد»، «زیاد»، «متوسط»، «کم» و «خیلی کم» هستند. در تشریح این جدول می‌توان گفت که تأثیر کاربری سکونتگاه شهری بر سکونتگاه شهری در فاصله «خیلی نزدیک» معادل تأثیر «خیلی زیاد» و به صورت جذب و تأثیر کاربری سکونتگاه شهری بر صنعت در فاصله «نزدیک» معادل «کم» و به صورت دفع است. لازم به توضیح است که اندازه پیامد خارجی هر کاربری بر روی کاربری دیگر در هر سطح از ساختار شعاعی براساس تأثیرات ارزشی کاربری‌ها و نحوه تغییرات پیامدهای خارجی در فواصل مختلف از شعاع تأثیر تعیین می‌گردد.

در مرحله سوم، اندازه تجمعی پیامدهای خارجی مکانی تعیین گردید. تأثیر همسایگی هر پیکسل برای هر کاربری، از تأثیر تجمعی پیکسل‌های مجاور در شعاع تأثیر با توجه به فاصله و کاربری آنها محاسبه می‌گردد.

در مدل‌سازی اندازه پیامدها مفید و کارا واقع شود. در این خصوص با تقسیم‌بندی شعاع تأثیر به فواصل «خیلی نزدیک»، «نزدیک»، «متوسط»، «دور» و «خیلی دور»، محدوده تأثیر تعامل میان کاربری‌ها معادل پنج سطح دایره‌ای در نظر گرفته شد.

معمولاً در تعریف توابع انتقال، استفاده از داده‌های کاربری موجود در قالب شاخص‌های مکانی مانند فاکتور غنی‌شدگی (Verburg et al., 2004a) مدنظر قرار می‌گیرد. این شاخص از تقسیم تراکم محلی کاربری پیکسل‌های مجاور واقع در شعاع تأثیر مشخص نسبت به تراکم کلی کاربری‌ها محاسبه می‌گردد (رابطه ۱):

$$F_{ikd} = \frac{n_{kdi}/n_{di}}{N_k/N} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، F_{kdi} بیانگر تأثیر همسایگی پیکسل‌های مجاور دارای کاربری k که در فاصله d از پیکسل i قرار دارند، n_{kdi} بیانگر تعداد پیکسل‌های مجاور دارای کاربری k در فاصله d و n_{di} بیانگر تعداد پیکسل‌های موجود در فاصله d است. همچنین N و N_k به ترتیب بیانگر تعداد پیکسل‌های دارای کاربری k و تعداد کل پیکسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه است. در بیشتر موارد میانگین F_{kdi} برای کلیه پیکسل‌هایی که به کاربری‌ای مشخص تغییر کاربری داده‌اند، به عنوان مبنا مدنظر قرار می‌گیرد. به‌منظور

جدول ۱. اهمیت تأثیر کاربری‌ها بر کاربری سکونتگاه شهری

نام کاربری	فاصله				
	خیلی نزدیک	نزدیک	متوسط	دور	خیلی دور
سکونتگاه شهری	+VH	+H	+M	+L	+L
صنعت	-M	-L	-VL	0	+VL
سکونتگاه روستایی	+M	+M	+L	+L	+0
کشاورزی	-VL	-VL	0	+VL	+VL

۲-۱-۳- تعیین دسترسی

قابلیت نسبی دستیابی به سیستم حمل‌ونقل، دسترسی نام دارد. دسترسی، به عنوان یکی از عوامل مؤثر در فرایند تخصیص، موجب گسترش رقابت اقتصادی در سطح منطقه و تغییر ارزش زمین‌های مجاور سیستم حمل‌ونقل می‌گردد که این امر خود به تغییر نوع کاربری منتهی می‌شود (Ameri and Barg gol, 2007). در برخی از موارد، سکونتگاه‌ها، فرودگاه‌ها، بنادر و کانال‌های آب نیز به عنوان مکمل سیستم حمل‌ونقل مدل‌سازی شده‌اند (de Kok et al., 2004; Verburg et al., 2002). در این تحقیق به منظور تعیین دسترسی، علاوه بر شبکه راه‌ها سایر زیرساختارهای متداول و مراکز عمده نیز در نظر گرفته شدند. در تشریح این امر می‌توان به توسعه بخش کشاورزی منطقه مورد مطالعه در سال‌های اخیر با احداث شبکه‌های آبیاری (APERI, 2003)، سیاست‌های دولت در خصوص اولویت تأمین انرژی برق و گاز سکونتگاه‌ها و صنایع واقع در مجاورت خطوط شبکه برق و انتقال گاز (LUPD, 2008) و نقش مراکز عمده موجود در منطقه اشاره کرد.

قابلیت دسترسی به مجموعه زیرساختارها و مراکز عمده در سه مرحله تعیین گردید. در مرحله اول میزان دسترسی هر پیکسل به زیرساختارهای مورد نظر شامل شبکه راه‌ها، خطوط انتقال برق، خطوط لوله گاز و کانال‌های انتقال آب براساس رابطه (۲) (Engelen, et al., 1997) محاسبه شد.

$$A_{ijk} = \frac{1}{1 + D_{ij} / a_{jk}}, j = 1, 2, 3, 4 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲)، A_{ijk} بیانگر میزان دسترسی پیکسل i با کاربری k به زیرساختار j ، D_{ij} بیانگر فاصله اقلیدسی پیکسل i تا نزدیک‌ترین پیکسل متعلق به زیرساختار j و a_{jk} بیانگر اهمیت دسترسی کاربری k به زیرساختار j است.

در مرحله دوم، دسترسی نقاط جمعیتی به مراکز عمده جمعیتی و صنعتی موجود با استفاده از مدل

گرنانش، رابطه (۳) (Geurs and Wee, 2004)، تعیین گردید.

$$A_g = \left(\sum_{h=1} P_h * e^{-\beta T_{gh}} \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)، A_g بیانگر میزان دسترسی هر نقطه جمعیتی g ، T_{gh} بیانگر زمان دسترسی نقطه جمعیتی g مرکز عمده h ، P_h بیانگر اهمیت مرکز عمده h ، β بیانگر روند کاهش میزان دسترسی با افزایش فاصله است. در رابطه مذکور، میزان اهمیت مراکز عمده برای نقاط جمعیتی و واحدهای صنعتی به ترتیب معادل جمعیت و تعداد شاغلان آنهاست. در بیشتر تحقیقات از فاصله اقلیدسی به عنوان پارامتر فاصله دسترسی استفاده شده است. در این تحقیق فاصله بین نقاط جمعیتی و مراکز عمده با استفاده از آنالیز شبکه و براساس شبکه دسترسی محاسبه گردید. همچنین با توجه به تفاوت سرعت‌های طرح قطعات تشکیل‌دهنده راه‌ها، پارامتر زمان دسترسی به عنوان مینا قرار گرفت. لازم به توضیح است که سرعت طرح انواع راه‌های اصلی، فرعی و روستایی با توجه به آیین‌نامه‌های طرح هندسی راه‌های کشور به ترتیب معادل ۹۰، ۷۰ و ۵۰ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شد.

در مرحله سوم میزان دسترسی کلی با استفاده از میانگین وزن‌دار مجموعه زیرساختارهای متداول و مراکز عمده جمعیتی و صنعتی محاسبه گردید. به منظور ترکیب میزان دسترسی به زیرساختارها و مراکز عمده، لازم است که میزان دسترسی به مراکز عمده مانند میزان دسترسی به زیرساختارها به تفکیک پیکسل محاسبه گردد. در این خصوص، حوزه جغرافیایی هر نقطه جمعیتی با استفاده از آنالیز تیسن تعیین شد و معادل یک ناحیه فرض گردید. از آنجا که در محیط نرم‌افزار ArcGIS آنالیز تیسن برای عوارض نقطه‌ای است، در این قسمت از تحقیق الگوریتم جدیدی به منظور آنالیز تیسن برای عوارض پلی‌گون‌ی مدل‌سازی و پیاده‌سازی گردید.

۲-۱-۴- محدودیت‌ها

در فرایند برنامه‌ریزی کاربری، توجه به عواملی که به نوعی مانع تغییرات کاربری می‌گردند، ضروری است. در این خصوص می‌توان از مقررات و آیین‌نامه‌ها، طرح‌های توسعه مصوب و مجموعه تهدیدات محیطی و اقتصادی و اجتماعی نام برد. برخی از سیاست‌ها، تخصیص هر نوع کاربری را محدود می‌سازند، ولی برخی دیگر تعدادی از کاربری‌ها را محدود می‌کنند. وجود قسمت‌هایی از پناهگاه‌های حیات وحش قمیشلو و موته، به عنوان دو منطقه تحت مدیریت سازمان محیط زیست کشور، در شهرستان برخوار و میمه مهم‌ترین محدودیت برنامه‌ریزی کاربری اراضی محسوب می‌شوند.

۲-۱-۵- ارزیابی یکپارچه تناسب کلی

صرف‌نظر از تکنیک‌های مورد استفاده در تعیین هر یک از فاکتورهای مؤثر در تعیین تناسب کلی، به‌منظور تلفیق نقشه‌های فاکتور بیشتر از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است (White and Engelen, 1997; Barredo et al., 2003; van Delden et al., 2007; Geneletti and van Duren, 2008). در این تحقیق، از یکی از این روش‌ها مطابق با رابطه (۴) استفاده گردید:

رابطه (۴)

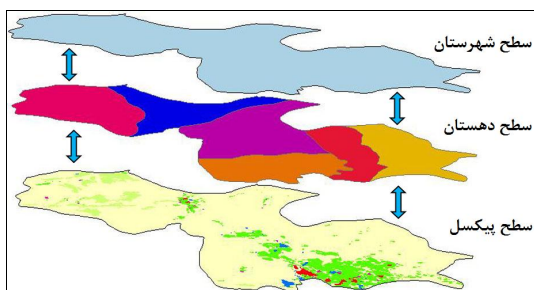
$$LS_{k,j} = (Z_{k,j}) * (A_{k,j})^{w_a} * (S_{k,j})^{w_s} * (N_{k,j})^{w_n}$$

در رابطه (۴)، $LS_{k,j}$ بیانگر تناسب کلی هر پیکسل برای کاربری z_j ، $S_{k,j}$ ، $A_{k,j}$ ، $N_{k,j}$ به ترتیب بیانگر پتانسیل محیطی، دسترسی، تأثیر همسایگی و وضعیت محدودیت در هر پیکسل برای کاربری z_j است. مقادیر w_n و w_a ، w_s به ترتیب بیانگر وزن معیارهای مذکور هستند. در تحقیقات دیگران ارزش این وزن‌ها مساوی و برابر با عدد یک فرض شده‌اند (Barredo et al., 2003; Van Vliet et al, 2009). در این تحقیق ارزش این وزن‌ها با توجه به نقش معیارهای پتانسیل محیطی،

دسترسی و تأثیر همسایگی برای کاربری‌های مختلف تعیین گردیدند.

۲-۲- تعیین تقاضا

مساحت مورد نیاز کاربری‌های مختلف در سطح کوچک‌مقیاس و به تفکیک واحد تقاضا محاسبه می‌شود. این واحدها معمولاً منطبق بر تقسیمات سیاسی و مدیریتی در نظر گرفته می‌شوند. مطابق با نتایج سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵، شهرستان برخوار و میمه شامل دو بخش، شش دهستان و سی‌وهفت نقطه جمعیتی است. در این تحقیق، شهرستان و دهستان به صورت مستقل به‌عنوان واحد تقاضا در نظر گرفته شدند. سطوح مختلف این مدل‌سازی در شکل ۳ نمایش داده شده است. در این شکل سطح فوقانی بیانگر شهرستان برخوار و میمه، سطح میانی بیانگر دهستان، و سطح تحتانی (سطح بزرگ‌مقیاس) بیانگر نقشه کاربری است که از سلول‌هایی با ابعاد یک‌صدمتری تشکیل شده است.



شکل ۳. تقسیم‌بندی فضا در مراحل مختلف فرایند تخصیص کاربری‌ها

در تحقیقات انجام شده مساحت مورد نیاز کاربری‌ها بیشتر براساس شاخص‌های تجربی منتج از رشد جمعیت و توسعه اقتصادی (Klosterman, 1997; de Kok et al., 2004; Liu et al., 2007) رگرسیون آماری (Verburg, et al., 2002) و روش‌های برنامه‌ریزی خطی چندهدفه (Wang et al., 2004; Sante and Crecente, 2007) محاسبه شده است. در

در رابطه (۵)، $P_{k,j}$ بیانگر میزان پتانسیل پیکسل z برای کاربری k $LS_{k,j}$ بیانگر تناسب کلی پیکسل z برای کاربری k (محاسبه شده در رابطه ۴) و $CM_{e,k}$ بیانگر درجه سهولت تغییر کاربری e (کاربری موجود پیکسل z) به کاربری k (کاربری آتی) است.

در این تحقیق، فرایند تخصیص براساس میزان ماکزیمم پتانسیل و مساحت مورد نیاز کاربری‌ها در هر واحد تقاضا به صورت پیکسل مینا شکل می‌گیرد که در ادامه مراحل آن به اختصار ارائه می‌گردند.

مرحله ۱: کاربری‌ها و پوشش‌های موجود تخصیص اولیه می‌یابند. تخصیص کاربری‌ها تغییرناپذیر است و کاربری‌های از قبل تخصیص یافته به منزله تخصیص نهایی محسوب می‌شوند.

مرحله ۲: در واحد تقاضای مورد بررسی، کاربری پیکسل (پیکسل‌های) با ماکزیمم پتانسیل تعیین می‌گردد.

مرحله ۳: در صورت انتخاب چندین کاربری در مرحله ۱، کاربری با ارزش بیشتر در اولویت قرار می‌گیرد.

مرحله ۴: موقعیت پیکسل‌های انتخاب شده در مرحله ۲ تعیین می‌گردند.

مرحله ۵: وضعیت پیکسل انتخاب شده از نظر تقاضای کاربری مربوط بررسی می‌گردد. این مرحله بیشتر به منظور کاهش حجم محاسبات و زمان اجرای مدل‌سازی اضافه شده است.

مرحله ۶: اگر چندین پیکسل دارای پتانسیل واحدی باشند، براساس درجه سهولت تغییر کاربری و پوشش موجود مرتب می‌شوند. همچنین در این مرحله اگر چندین پیکسل دارای یک ارزش باشند و کاربری و پوشش موجود آنها یکسان باشد، پیکسل نزدیک‌تر به کاربری مشابه در اولویت تخصیص قرار می‌گیرد.

مرحله ۷: در صورت مثبت بودن امکان تبدیل کاربری وجود تقاضا، عملیات تخصیص انجام می‌گیرد.

این تحقیق مساحت مورد نیاز کاربری‌های مختلف به تفکیک دهستان در سال‌های افق با استفاده از رگرسیون آماری داده‌های موجود تعیین گردید. بازه زمانی ارزیابی مدل‌های تخصیص کاربری با توجه به وضعیت موجود بودن داده‌ها، معمولاً دوره‌ها یا پریودهای چندساله تعریف می‌گردد. از طرف دیگر، در مدل‌سازی تخصیص کاربری معمولاً دوره برنامه‌ریزی یک سال است. بنابراین ضروری است که مساحت مورد نیاز محاسبه شده در چندین سال به تفکیک سال تعیین گردد و سهم هر واحد تقاضا از مساحت مورد نیاز هر کاربری به صورت سالیانه تخصیص داده شود.

۲-۳- تخصیص کاربری‌ها

در تخصیص کاربری به هر واحد سرزمین، علاوه بر میزان تناسب سرزمین و مساحت مورد نیاز کاربری‌ها، بایستی به وضعیت کاربری و پوشش موجود و قوانین و سیاست‌های موجود در خصوص تغییر کاربری توجه کرد. تغییرات برخی از کاربری‌ها، به سرمایه‌گذاری زیادی نیاز دارد و در برخی مواقع مشکل و یا حتی ناممکن است. به‌عنوان مثال، هزینه تغییر کاربری یک زمین بایر به صنعت کمتر از هزینه تغییر کاربری یک باغ به صنعت است. در مثالی دیگر می‌توان گفت که تغییر کاربری سکونتگاه شهری به کشاورزی غیرعملی است؛ در حالی که برعکس آن متداول است. معمولاً درجه سهولت تغییر کاربری‌ها به یکدیگر در قالب ماتریسی به نام ماتریس تغییر کاربری بیان می‌گردد که هر درایه آن عددی حقیقی بین صفر تا یک است (Verburg and Veldkamp, 2004). در این تحقیق درجه سهولت تغییر کاربری‌ها به‌وسیله دانش کارشناسی و با استفاده از روش AHP تعیین گردید. پتانسیل هر پیکسل برای تغییر کاربری با استفاده از تناسب کلی و درجه سهولت تغییر کاربری براساس رابطه (۵) تعیین می‌گردد.

$$P_{k,j} = LS_{k,j} * CM_{e,k} \quad \text{رابطه (۵)}$$

(Tapiador and Casanova, 2003; Mosivand, 2007; Wang et al., 2009). با توجه به فقدان نقشه کاربری مناسب، نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۷۷ با استفاده از تصاویر Landsat و نقشه کاربری سال ۱۳۸۴ با استفاده از تصاویر Aster تولید گردید. در این خصوص می‌توان به گرفتن تصاویر، ژئورفرنس و موزاییک کردن تصاویر، ایجاد تصویری یکپارچه با ترکیب باندهای تصویر (باندهای ۱ و ۲ و ۳ تصویر ETM، باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ تصویر ETM+ و باندهای ۱، ۲ و ۳ تصویر ASTER با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر)، تولید شاخص گیاهی نرمال‌شده (NDVI)، برش تصاویر با محدوده منطقه مورد مطالعه، طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از روش حداکثر شباهت، نرم کردن تصویر با استفاده از ماسک متوسط، برداری کردن نتایج طبقه‌بندی، تصحیح خطاهای موجود و تولید نقشه کاربری - شامل سه کلاس کشاورزی، مرتع و سایر - اشاره کرد. در این فرایند از نقشه کاربری اراضی موجود، نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ و داده‌های آماری استان به عنوان داده‌های آموزشی استفاده گردید. در ارزیابی طبقه‌بندی تصاویر دقت کلی در سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۵ به ترتیب برابر ۸۵/۴۸، ۹۵/۹۸ و ۹۰/۷۳ و ضریب کاپا در سال‌های مذکور نیز به ترتیب برابر ۰/۸۰۴۶، ۰/۹۲۶۳ و ۰/۸۷۲۵ محاسبه گردید.

با توجه به عدم دقت در استخراج کاربری‌های سکونتگاه شهری، سکونتگاه روستایی و صنعت، نسبت به رقوم‌سازی محدوده‌های عوارض مربوط، با تفسیر چشمی اقدام گردید. نقشه کاربری تهیه شده دارای شش کلاس سکونتگاه شهری، سکونتگاه روستایی، صنعت، کشاورزی، مرتع و سایر است. تصاویر منطقه مورد مطالعه و نقشه‌های کاربری استخراج شده در سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۴ در شکل ۴ ارائه شده است.

براساس متدولوژی یا روش‌شناسی ارائه شده در

مرحله ۸: با توجه به وضعیت تغییر کاربری و تخصیص انجام یافته در واحد تقاضای مورد بررسی، میزان سطح تخصیص داده شده، سطح مورد نیاز کاربری جدید و سطح کاربری موجود بهنگام می‌گردد. با انجام مراحل مذکور، اولین پیکسل تخصیص می‌یابد و به‌منظور تخصیص تقاضای کلیه کاربری‌ها در کلیه واحدهای تقاضا مرحله دوم تا هشتم تکرار می‌گردد. در انتها به سال افق یک سال اضافه می‌شود و کلیه مراحل پیش‌گفته تکرار می‌شود.

۳- نتایج

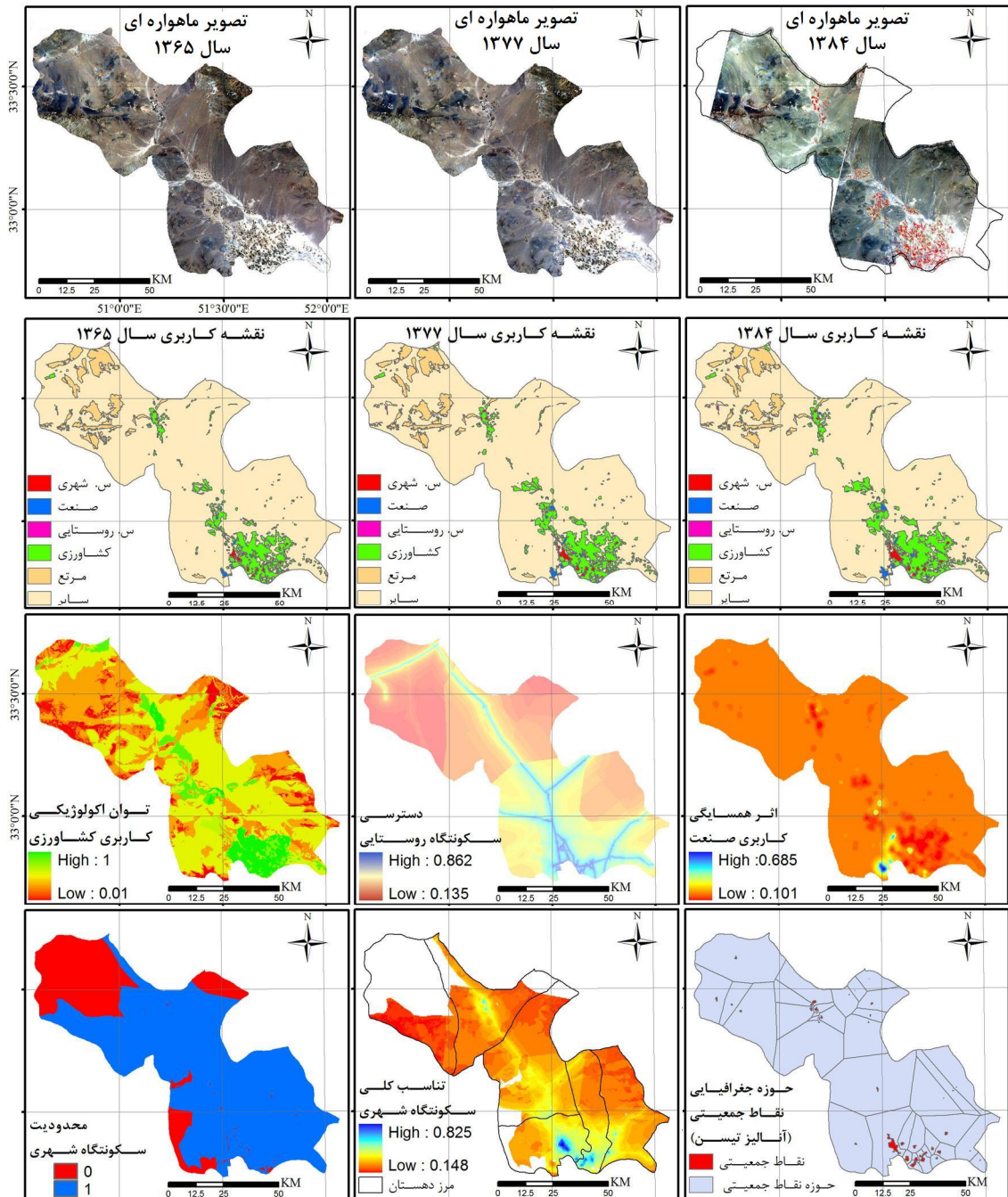
همان‌گونه که در بخش پیش ذکر گردید، پیاده‌سازی فرایند برنامه‌ریزی کاربری اراضی مستلزم تولید نقشه‌های تناسب سرزمین و تعیین مساحت مورد نیاز کاربری‌ها در سال‌های افق است. در این تحقیق سال ۱۳۸۴ به‌عنوان سال مبنا تعریف گردید و پیش‌بینی نقشه کاربری سال ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ مدنظر قرار گرفت. در ادامه، روند پیش‌بینی نقشه کاربری و نتایج به‌دست آمده تشریح می‌شود.

۳-۱- تولید نقشه‌های فاکتور

مدل‌سازی برنامه‌ریزی کاربری اراضی، نیازمند داده‌های مکانی و توصیف متنوعی در بازه‌های زمانی مختلف است. در این زمینه، یک پایگاه داده مکانی از مجموعه نقشه‌های توپوگرافی، خاک، اقلیم، زمین‌شناسی، شبکه راه‌ها، خطوط انتقال برق، خطوط لوله گاز، کانال‌های انتقال آب، محدوده مراکز جمعیتی، مناطق حفاظت شده، زون خطر زلزله و مسیل در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ ایجاد گردید. مجموعه نقشه‌های پایه از معاونت برنامه‌ریزی استانداری اصفهان (LUPD, 2008) برگرفته شدند و در محیط GIS آماده‌سازی گردیدند.

نقشه کاربری به‌عنوان مبنای تولید نقشه تأثیر همسایگی، محاسبه تقاضا و تولید شاخص‌های مکانی مورد نظر است. معمولاً از تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور تولید نقشه کاربری و پوشش اراضی استفاده می‌شود

بخش ۲، مجموعه نقشه‌های فاکتور توان اکولوژیکی، دسترسی، تأثیر همسایگی، محدودیت و تناسب کلی برای کاربری‌های مختلف تهیه گردیدند که تعدادی از آنها به عنوان نمونه در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴. تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های کاربری و فاکتور تهیه شده در منطقه مورد مطالعه

۳-۲- تعیین اهمیت نسبی فاکتورها

مدل سازی صحیح و دقیق تخصیص کاربری، وابسته به مقادیر فاکتورهای مؤثر و اهمیت نسبی آنهاست. بنابراین بایستی پارامترهای مذکور به صورت دقیق محاسبه گردند تا برنامه ریزان و سیاست گذاران با اطمینان بیشتر استفاده از مدل های برنامه ریزی را در دستور کار خود قرار دهند. پارامترهای هر مدل که از آنها به عنوان پارامترهای کالیبراسیون نام برده می شود، معمولاً براساس داده های موجود یا دانش کارشناسی تعیین می گردند.

در صورت استفاده از داده های کاربری موجود، پارامترهای کالیبراسیون با حداقل کردن اختلاف بین دو نقشه کاربری شبیه سازی و نقشه کاربری واقعی، با استفاده از روش هایی مانند کاپا و کاپا فازی تعیین می گردند (Hagen-Zanker, 2009). در تحقیقات مختلف، به فقدان داده های کاربری مناسب در دوره های کافی اشاره شده است. از طرف دیگر در کشورهای در حال توسعه بیشتر تغییرات کاربری منتج از سیاست های مدیریتی و تصمیم گیری های غیر کارشناسی است. این امر استفاده از داده های واقعی را به عنوان مبنای تعیین پارامترهای کالیبراسیون - و به تبع آن اعتبارسنجی مدل های تخصیص - با ابهام مواجه می سازد. در مطالعاتی که به هر دلیل امکان استفاده از داده های واقعی وجود نداشته است، معمولاً از دانش کارشناسی در جهت تعیین پارامترهای کالیبراسیون استفاده می شود.

در این تحقیق پارامترهای کالیبراسیون با استفاده از ساختاردهی دانش کارشناسی در قالب روش AHP تعیین گردیدند. به منظور تدقیق دانش کارشناسی در خصوص برخی از پارامترها در منطقه مورد مطالعه، از شاخص های مکانی مستخرج از داده های کاربری موجود در طی دو بازه زمانی ۱۳۶۵-۱۳۷۷ و ۱۳۸۴-۱۳۷۷ استفاده گردید. این پارامترها با توجه به مراحل مختلف مدل سازی تخصیص کاربری، به شرح ذیل تعیین گردیدند.

- اهمیت نسبی هر یک از فاکتورهای توان اکولوژیکی (S) تأثیر همسایگی (N) و دسترسی (A) برای کاربری های مختلف تعیین شده است. به عنوان نمونه، اهمیت فاکتورها برای کاربری های سکونتگاه شهری و کشاورزی در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. وزن فاکتورهای مختلف برای کاربری های مختلف متفاوت است (Verburg et al., 2004b; Al-Ahmadi et al., 2009). به عنوان مثال، برای کاربری سکونتگاه شهری اهمیت تأثیر همسایگی بیشتر از تناسب محیطی است؛ و برعکس، برای کاربری کشاورزی اهمیت تناسب محیطی بیش از تأثیر همسایگی است.

جدول ۲. تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای مؤثر در تعیین تناسب کلی کاربری سکونتگاه شهری

	N	A	S	w
N	۱	۲	۳	۰/۵۴۰
A		۱	۲	۰/۲۹۷
S			۱	۰/۱۶۳

جدول ۳. تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای مؤثر در تعیین تناسب کلی کاربری کشاورزی

	S	N	A	w
S	۱	۲	۵	۰/۵۸۲
N		۱	۳	۰/۳۰۹
A			۱	۰/۱۰۹

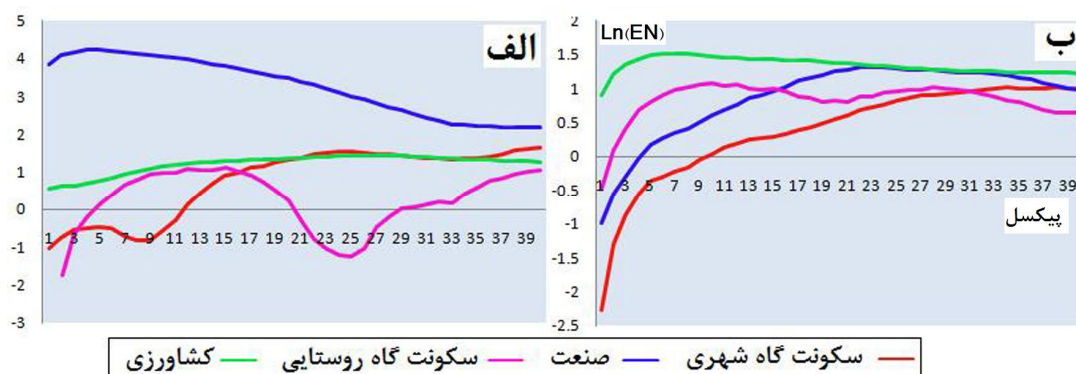
- به منظور استفاده از نقشه های توان اکولوژیکی کلاس های مختلف به عنوان ورودی فرایند تخصیص کاربری، تلفیق نقشه های طبقات مختلف هر کاربری ضروری است. در این زمینه، ابتدا وزن طبقات مختلف محاسبه شد و سپس در نقشه های توان اکولوژیکی کلاس های مختلف ضرب گردید. با تلفیق نقشه های وزن دار با استفاده از عملگر ماکزیمم، نقشه های توان اکولوژیکی کاربری ها و پوشش های مورد نظر تهیه شدند و نرمال گردیدند.

برق (E)، خطوط لوله گاز (G)، مراکز عمده جمعیتی (P) و مراکز عمده صنعتی (I) برای کاربری صنعت در جدول ۴ ارائه شده است.

۳-۳- تعیین تقاضا

در این قسمت مساحت مورد نیاز کاربری‌های مختلف به تفکیک دهستان و شهرستان در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ با استفاده از یک برآزش خطی مساحت کاربری‌های موجود طی سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۴ تعیین گردید، که نتایج این امر به عنوان نمونه برای دو کاربری سکونتگاه شهری و کشاورزی در جدول ۵ نمایش داده شده است.

- همان‌گونه که در بخش ۲-۱-۲ مطرح شد، به‌منظور تعیین اندازه پیامدهای خارجی مکانی کاربری‌ها در طول شعاع تأثیر از تفسیر شاخص غنی‌شدگی استفاده گردید. در این تحقیق براساس رابطه (۱)، میانگین F_{ikd} برای کلیه پیکسل‌هایی که طی دو بازه زمانی ۱۳۶۵-۱۳۷۷ و ۱۳۸۴-۱۳۷۷ تغییر کاربری داده‌اند محاسبه گردید که نتایج آن برای کاربری‌های سکونتگاه‌های شهری و کشاورزی در بازه زمانی ۱۳۶۵-۱۳۷۷ در شکل ۵ ارائه شده است.
- اهمیت نسبی زیرساخت‌ها و مراکز عمده در تعیین دسترسی کلی تعیین گردیدند. به‌عنوان نمونه اهمیت فاکتورهای شبکه راه‌ها (R)، خطوط انتقال



شکل ۵. لگاریتم غنی‌شدگی برای سکونتگاه شهری (الف) و کشاورزی (ب)، در بازه زمانی ۱۳۶۵-۱۳۷۷

جدول ۴. تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای مؤثر در تعیین دسترسی کاربری صنعت

	R	P	I	E	G	W
R	۱	۲	۲	۳	۶	۰/۳۹۳
P		۱	۱	۲	۴	۰/۲۲۰
I			۱	۲	۳	۰/۲۰۸
E				۱	۲	۰/۱۱۷
G					۱	۰/۰۶۲

جدول ۵. سهم مساحت کاربری‌های سکونتگاه شهری و کشاورزی

نام دهستان/ شهرستان	سکونتگاه شهری					کشاورزی				
	۱۳۶۵	۱۳۷۷	۱۳۸۴	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۳۶۵	۱۳۷۷	۱۳۸۴	۱۳۹۵	۱۴۰۰
برخوار شرقی	۱۸۸	۲۴۳	۲۸۰	۳۳۲	۳۸۳	۶۲۳۶	۷۵۴۶	۸۶۶۰	۹۹۵۱	۱۱۱۷۵
برخوار مرکزی	۵۷۵	۷۷۴	۸۹۸	۱۰۸۲	۱۲۷۶	۱۴۴۷۹	۱۵۸۵۴	۱۷۶۸۴	۱۹۲۰۸	۲۰۵۹۸
زرکان	۰	۰	۰	۰	۰	۹۵۷	۱۱۷۷	۱۲۶۶	۱۴۵۸	۱۵۹۶
ونداده	۲۰۴	۲۸۸	۳۳۶	۴۱۳	۴۹۸	۴۳۳۸	۵۲۴۱	۵۸۵۴	۶۷۰۴	۷۴۲۹
مورچه‌خورت	۰	۰	۰	۰	۰	۸۱۷۲	۱۱۲۰۶	۱۲۸۱۵	۱۵۵۵۵	۱۸۳۵۰
برخوار غربی	۱۳۴۵	۱۸۲۷	۲۴۱۰	۲۹۲۹	۳۶۷۹	۱۴۲۵۴	۱۵۶۰۱	۱۶۳۱۳	۱۷۵۲۹	۱۸۲۴۲
برخوار و میمه	۲۳۱۲	۳۱۳۲	۳۹۲۴	۴۷۵۶	۵۸۳۶	۴۸۴۳۶	۵۶۶۲۵	۶۲۵۹۲	۷۰۴۰۵	۷۷۳۹۰

۳-۴- ارزیابی مدل‌سازی تخصیص کاربری

در ارزیابی مدل‌سازی تخصیص کاربری معمولاً از نقشه‌های کاربری واقعی به عنوان مبنا استفاده می‌شود (White and Engelen, 2000; Hagoort et al., 2008). در این حالت از تناسب و لازم بودن تغییرات کاربری اتفاق افتاده اطمینان کافی وجود دارد. با فرض درست بودن این موضوع، در این تحقیق نقشه‌های شبیه‌سازی کاربری سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۴ تولید شدند و با نقشه‌های کاربری واقعی مربوط، از طریق محاسبه ضریب کاپا (Hagen-Zanker, 2009) و خطای کلی^۱ مقایسه گردیدند. ضریب کاپا در طی دو دوره مذکور به ترتیب برابر ۰/۹۰۲ و ۰/۹۲۸ و خطای کلی نیز به ترتیب برابر ۰/۳۲۴ و ۰/۳۱۲ است. در خطای کلی نسبت تعداد پیکسل‌های صحیح تخصیص یافته به تعداد کل پیکسل‌های تخصیص یافته (تقاضای مورد نیاز)، محاسبه می‌گردد. مقایسه دو نقشه کاربری شبیه‌سازی شده و واقعی به وسیله خطای کلی، واضح‌تر از مقایسه آنها بر اساس ضریب کاپاست و تفسیر آن برای کاربری‌های مختلف ساده‌تر است. با توجه به نتایج ارائه شده و مقایسه آن با تحقیقات موجود مانند (Hagoort, 2009; Van Vliet, et al, 2008)، می‌توان گفت که پارامترها و وزن‌های تعیین شده از طریق دانش کارشناسی به صورت کلی مناسب و پذیرفتنی‌اند. در کشورهای در حال توسعه بیشتر تغییرات کاربری منبج از سیاست‌های مدیریتی و

تصمیم‌گیری‌های غیرکارشناسی است و تغییرات کاربری مطابق با استانداردها و فاکتورهای مؤثر در مدل‌سازی تغییر کاربری انجام نمی‌گیرد. این موارد استفاده از داده‌های واقعی را به عنوان مبنای ارزیابی مدل‌سازی تخصیص کاربری با ابهام مواجه می‌سازد. این امر را می‌توان یکی از محدودیت‌های ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌سازی برنامه‌ریزی کاربری اراضی در کشورهای در حال توسعه عنوان کرد.

۳-۵- پیش‌بینی نقشه کاربری در سال‌های افق

در این قسمت با توجه به نقشه‌های تناسب کلی و تقاضای مورد نیاز و براساس الگوریتم تخصیص که در بخش ۲-۳ ارائه شد، نقشه‌های کاربری سال ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ تولید گردید. در زمینه تعیین واحد تقاضا دو سیاست را می‌توان دنبال کرد. در سیاست اول، منطقه مورد مطالعه یک واحد تقاضا محسوب می‌شود و مساحت کاربری‌ها به صورت تجمعی برای کل منطقه محاسبه می‌گردد. با انجام این امر سیاست تخصیص متمرکز اعمال می‌شود و بیشتر تقویت سکونتگاه‌ها و مراکز صنعتی عمده و زون‌های اصلی توسعه کشاورزی مدنظر است. در سیاست دوم، منطقه مورد مطالعه به چندین واحد تقاضا تقسیم‌بندی می‌شود و مساحت

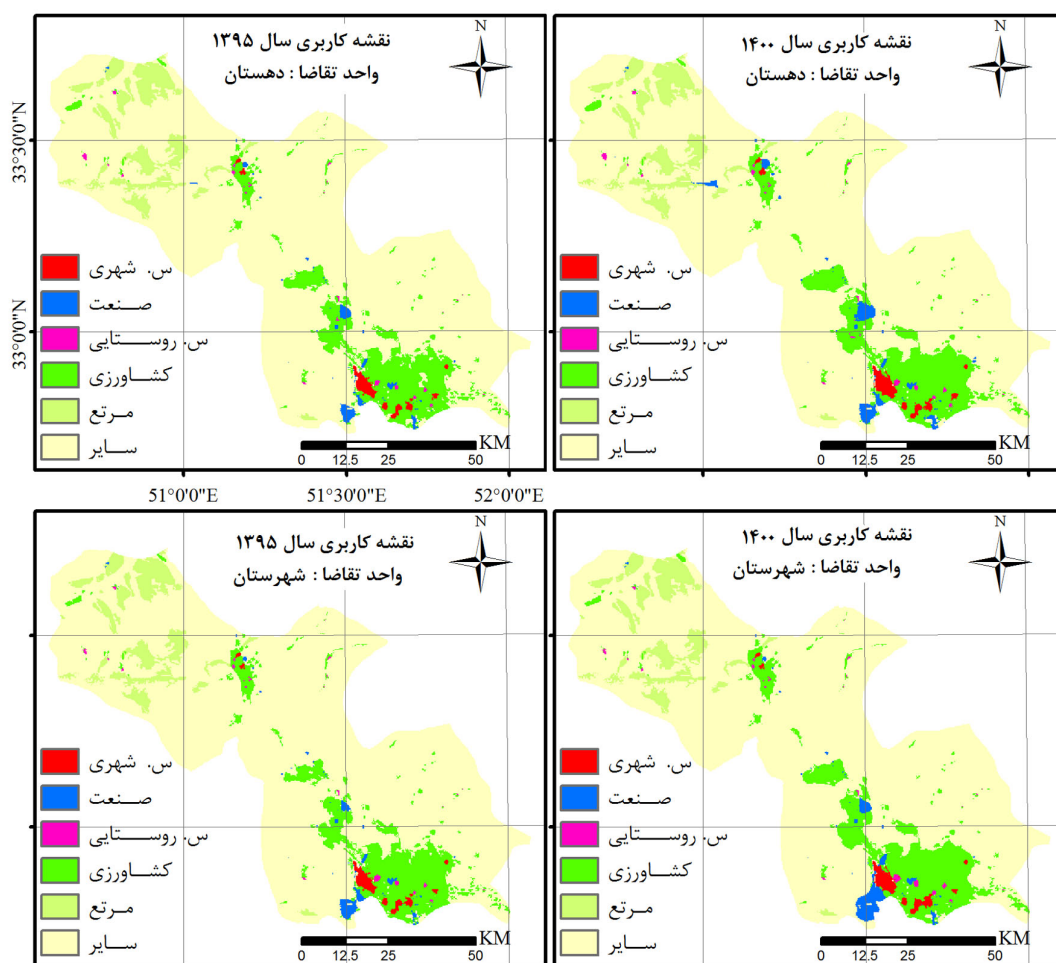
1. Overall accuracy

مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفت. پیاده‌سازی استنتاج‌گرهای فازی به منظور ارزیابی توان اکولوژیکی، پیاده‌سازی روابط تجربی موجود و آنالیز شبکه برای مدل‌سازی قابلیت دسترسی، توسعه روش اتوماسیون سلولی به منظور مدل‌سازی تأثیر همسایگی، به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با هدف ارزیابی یکپارچه تناسب، به کارگیری رگرسیون آماری در محاسبه تقاضای کاربری‌های مختلف و توسعه یک الگوریتم پیکسل‌مینا با روند تدریجی و مرحله به مرحله به منظور تخصیص کاربری مناسب از جمله روش‌هایی محسوب می‌شود که در مراحل مختلف تخصیص کاربری مدنظر قرار گرفتند.

مورد نیاز کاربری‌های مختلف به تفکیک واحدهای تقاضا محاسبه می‌گردد و تخصیص می‌یابد. با انجام این امر توسعه سکونتگاه‌ها، مراکز صنعتی و زون‌های کشاورزی در هر واحد تقاضا به تفکیک انجام می‌گیرد و سیاست توزیع غیرمتمرکز مدنظر قرار می‌گیرد. با توجه به دو سیاست مذکور نقشه‌های کاربری سال ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ مربوط تولید گردید که نتایج آن در شکل ۶ نمایش داده شده است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق، تکوین و توسعه روشی جدید برای مدل‌سازی تخصیص انواع کاربری در سطح منطقه‌ای است. به منظور دستیابی به هدف مذکور،



شکل ۶. نقشه‌های کاربری پیش‌بینی شهرستان برخوار و میمه

در این تحقیق به منظور تخصیص کاربری های سکونتگاه شهری، سکونتگاه روستایی، صنعت و کشاورزی، ویژگی های کلی کاربری ها مدل سازی گردید. در مطالعات مختلف، سطوح مختلف هر کاربری مدنظر قرار گرفته است. به عنوان مثال، می توان به گروه بندی سکونتگاه های شهری به سه دسته تراکم کم، تراکم متوسط و تراکم زیاد، گروه بندی صنایع به انواع صنایع (غذایی، نساجی، ماشین آلات، فلزات اساسی، چوب و جز اینها) و گروه بندی کشاورزی به محصولات مختلف اشاره کرد. با گروه بندی کاربری ها لازم است که ویژگی های مورد نیاز آنها به صورت دقیق تری تعیین شود. این امر مستلزم جمع آوری و مدل سازی لایه های اطلاعاتی تخصصی تر و با جزئیات بیشتر و همچنین به کارگیری و توسعه مدل های کاربری متناسب با گروه بندی کاربری هاست. توسعه سیستم حامی برنامه ریزی مکانی برای در نظر گرفتن تخصیص کاربری ها در سطوح مختلف، از نیازهای اصلی کشور محسوب می شود که مستلزم تحقیقات بیشتری است.

در تعیین مساحت مورد نیاز کاربری ها در سال های افق از برآزش خطی مساحت کاربری ها استفاده گردید. محاسبه مساحت مورد نیاز کاربری ها با استفاده از روش های دیگر و همچنین در سناریوهای مختلف قابل محاسبه است که برنامه ریزان و سیاست گذاران بایستی با توجه به استراتژی های مربوط، روش مورد نظر را برگزینند.

کارشناسان، برنامه ریزان و سیاست گذاران در مطالعات مختلف از جمله آمایش سرزمین، برنامه ریزان منطقه ای و طرح های کالبدی نیاز به ابزاری دارند که بتوانند نیازها، اهداف و خواست های خود را مدل سازی کنند و بتوانند نتایج سناریوها و اولویت بندی های خود را در سیستمی گرافیکی و یا مکان مرجع ملاحظه و تفسیر کنند. در این تحقیق سعی گردید تا حد ممکن این بستر فراهم گردد. فرایند پیشنهادی در این تحقیق را می توان با تغییرات لازم برای سایر مناطق مورد استفاده قرار داد.

در این تحقیق ساختار سلسله مراتبی تلفیق معیارها در نظر گرفته شده است. به عنوان نمونه، نقشه های تناسب کلی از تلفیق نقشه های معیار تناسب محیطی، تأثیر همسایگی، دسترسی و محدودیت، نقشه معیار تناسب محیطی از تلفیق نقشه های زیرمعیار شیب، جنس خاک، اقلیم و نظایر اینها، و نقشه معیار دسترسی از تلفیق نقشه های زیرمعیار دسترسی به مجموعه زیرساختها و دسترسی به مراکز عمده جمعیتی و صنعتی تشکیل شده است. وزن عوامل و فاکتورهای مؤثر در مراحل مختلف مدل سازی به تناسب روش استفاده شده (منطق فازی، اتوماسیون سلولی و جز آن) براساس روش AHP تعیین گردیده است. لازم به توضیح است که در برخی موارد به منظور تدقیق دانش کارشناسی از شاخص های مکانی مستخرج از داده های موجود مانند فاکتور غنی شدگی استفاده شده است.

در کشورهای در حال توسعه معمولاً نمی توان از نقشه کاربری واقعی به عنوان مبنای ارزیابی مدل سازی تخصیص کاربری استفاده کرد. این امر را می توان یکی از محدودیت های روش ارائه شده، به خصوص در ارزیابی و اعتبارسنجی مدل سازی تخصیص کاربری برشمرد. از طرف دیگر، با استفاده از این مدل می توان وضعیت مناطق تخصیص یافته در واقعیت را از لحاظ فاکتورهای مؤثر در مدل سازی تغییر کاربری ارزیابی کرد.

در مدل ایجاد شده با توجه به افزایش جمعیت و تأمین نیازهای مربوط، افزایش مساحت کاربری ها مدل سازی گردید. این امر برای تعدادی از کاربری ها مانند سکونتگاه شهری و صنعت صحیح است. در مدل سازی تعدادی از کاربری ها مانند کشاورزی به دلایلی مانند افزایش فرسایش و افزایش شوری خاک، علاوه بر مدل سازی افزایش کاربری بایستی کاهش سطح کاربری نیز مدل سازی شود. با توجه به گستردگی موضوع، مدل سازی همزمان افزایش و کاهش سطح کاربری ها، خود مقوله دیگری است که انجام آن در این تحقیق میسر نشده است و می تواند در تحقیقات دیگری پوشش داده شود.

۵- منابع

- Al-Ahmadi, K., See, L., Heppenstall, A., Hogg, J., 2009, **Calibration of a Fuzzy Cellular Automata Model of Urban Dynamics in Saudi Arabia**, Ecological complexity, 6, 80–101.
- Ameri, M., Barg gol, I., 2007, **Land Allocation Modeling in Regional Level Based on Accessibility and Land Value**, Journal of Transportation research, 4, 131-144 (In Persian).
- APERI, 2003, **Comprehensive Studies for Agricultural Development Provincial Synthesis (Esfahan province)**, Volume 18: Synthesis report, Agricultural Planning and Economic Research Institute (APERI), Tehran, Iran (in Persian).
- Babae, A.R., Awnegh, M., 2006, **Evaluation of Development Potential and Land use Planning of Posht-e-Kouh Watershed**, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 13, 1, 127-137 (persian).
- Bader, R., 2000, **Application of Remote Sensing and GIS in Assessing Urban Physical Development (Case study : Razi City)**, M.Sc. Thesis, Remote sensing and GIS Department, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University (In Persian).
- Barredo, J.I., Kasanko, M., McCormick, N., Lavalle, C., 2003, **Modelling Dynamic Spatial Processes: Simulation of Urban Future Scenarios through Cellular Automata**, Landscape, Urban. Plan. 64, 145–160.
- de Kok, J.L., Engelen, G., White, R., Wind, H.G., 2004, **Modelling Land-use Change in a Decision-support System for Coastal-Zone Management**, Environ. Model. Assess, 6, 123–132.
- Dietzel, C., Clarke, K., 2006, **The Effect of Disaggregating Land Use Categories in Cellular Automata During Model Calibration and Forecasting**, Comput, Environ. Urban. 30, 78–101.
- Engelen, G., White, R., Uljee, I., 1997, **Integrating Constrained Cellular Automata Models**, GIS and Decision Support Tools for Urban Planning and Policy Making, In: Timmermans, H. (Ed.), Decision Support Systems in Urban Planning, Chapman and Hall.
- F.A.O., 1976, **A Framework for Land Evaluation**, F.A.O soils bulletin. Pb No. 32, Rome.
- Geertman, S., Hagoort, M., Ottens, H., 2007, **Spatial-temporal Specific Neighborhood Rules for Cellular Automata Land-use Modeling**, Int. J. Geogr. Inform. Sci. 21(5), 547-568.
- Geneletti, D., van Duren, I., 2008, **Protected Area Zoning for Conservation and Use: A Combination of Spatial Multi-Criteria and Multi-objective Evaluation**, Landscape. Urban. Plan, 85, 97–110.
- Geurs, K.T., van Wee, B., 2004, **Accessibility Evaluation of Land-use and Transport Strategies: Review and Research Directions**, Journal of Transport Geography, 12, 127–140.

- Hagen-Zanker, A., 2009, **An improved Fuzzy Kappa Statistic that Accounts for Spatial Autocorrelation**, *Int. J. Geog. Inf. Sci.* 23(10), 61–73.
- Hagoort, M., Geertman, S., Ottens, H., 2008, **Spatial Externalities, Neighborhood Rules and CA Land-use Modeling**, *Ann Reg Sci.* 42, 39–56.
- Kalogeria, S., 2002, **Expert Systems and GIS: An Application of Land Suitability Evaluation**, *Comput. Environ. Urban.* 26, 89–112.
- Klosterman, R.E., 1999, **The What If? Collaborative Planning Support System**, *Environ. Plann. B* 26, 393–408.
- Karimi, M., Mesgari, M.S., Sharifi, M.A., 2009, **Modelling Ecological Capability Using Fuzzy Logic: Case study area: Borkhar and Meymeh Township**, *Journal of Iranian GIS and RS Society.* 1, (forthcoming)-(in Persian).
- Khoii, Z., Asgari, A., Rafiian, M., 2005, **Application of Planning Support System, What if, in Local Land Use Planning with Objective in Natural Ecosystems and Agriculture Conservation**, *Journal of Environmental Studies* 38, 81-92 (In Persian).
- Li, X., Yeh, A.G.O., 2002, **Neural-network based Cellular Automata for Simulating Multiple Land Use Changes Using GIS**, *Int. J. Geogr. Inform. Sci.* 16 (4), 323–343.
- Liu, X., Li, X., Shi, X., Wu, S., Liu, T., 2008, **Simulating Complex Urban Development Using Kernel-based Non-linear Cellular Automata**, *Ecol. Model.* 211, 169–181.
- Liu, Y., Lv, X., Qin, X., Guo, H., Yu, Y., Wang, J., Mao, G., 2007, **An Integrated GIS-based Analysis System for Land-Use Management of Lake Areas in Urban Fringe**, *Landscape. Urban. Plan.* 82, 233–246.
- LUPD, 2008, **Land Use Planning Studies in the Esfahan Province**, Land use Planning Department (LUPD), Governor's office of Esfahan, Esfahan, Iran (in Persian).
- Mahfouzi, M., Darvish Sefat, A.A., Makhdoum, M., 2002, **Land Use Planning of Dadghan-Tafresh Watershed**, Using GIS, *Journal of Environmental Studies* 27, 99-108 (persian).
- Makhdoum, M.F., 1999, **Fundamental of Land use Planning**, Publication of Tehran University, Third edition (persian).
- Mokhtari, M., Safaii Asl, A., Rangzan, K., Firoozi, M.A., 2006, **Modelling of Urban Development and Environmental Application in GIS Environment for Assessing the Appropriate Regions for Urban Physical Development**, Third Conference on GIS, Qheshm (In Persian).
- Mosivand, A.J., 2007, **Predicting Land Cover Change Using Land use Maps**, Satellite Images and Markov Chain Model, Msc Thesis, Remote sensing and GIS Department, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University (In Persian).

- Pan, Y., Roth, A., Yu, Z., Doluschitz, R., 2010, **The Impact of Variation in Scale on the Behavior of a Cellular Automata Used for Land use Change Modeling**, Comput. Environ. Urban. Article in press.
- Rashno, N., 2004, **Develop and Application of Urban Planning Support System Using AHP and GIS (Case Study: Bagh Neshat Region)**, Msc Thesis, Geography Department, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University (In Persian).
- Razani, A., 2002, **Urban Land Use Planning Usig What if Planning Support System (Case Study: Doroud City)**, M. Sc. Thesis, Urban & Regional Planning Department, Faculty of arts, Tarbiat Modares University (In Persian).
- Saberi Far, R., 1999, **Critical and Analysis of Urban Land Use Planning (Case Study: Mashad City)**, Ph.D. Thesis, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University (In Persian).
- Sante, I., Crecente, R., 2007, **LUSE, A Decision Support System for Exploration of Rural Land Use Allocation: Application to the Terra Cha district of Galicia (N.W. Spain)**, Agr. Syst. 94, 341–356.
- Sante-Riveira, I., Crecente-Maseda, R., Miranda-Barros, D., 2008, **GIS-based Planning Support System for Rural Land-use Allocation**, Comput. Eelectron. Agr. 63, 257-273.
- Sardari, M.R., 2007, **Recognition & Zoning of Vulnerable Areas for Informal Settlement Growth (Case Study: Qazvin Coubation)**, M.Sc. Thesis, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University (In Persian).
- SCI, 2008, **Housing and Population Census (HPC) 2006**, Statistical Center of Iran (SCI), Retrieved: 15 December 2008, from <http://www.sci.org.ir/portal/faces/public/census85/census85.natayej>.
- Store, R., 2009, **Sustainable Locating of Different Forest Uses**, Land Use Policy. 26, 610–618.
- Tapiador, F.J., Casanova, J.L., 2003, **Land Use Mapping Methodology Using Remote Sensing for the Regional Planning Directives in Segovia, Spain**. Landscape and Urban Planning 62, 103–115.
- Tawfigh, F., 2006, **Spatial Planning; Global Experience and Its Comparison with the Conditions of Iran**, Urban Planning & Architecture Research Center of Iran (In persian).
- Urban Planning & Architecture Research Center of Iran (UP&ARCI), 2000, **Initial Studies and Assigning Strategy for Database Formation**, Project for Establishing the Geographic Information Databases of Development Plans, Tehran (In persian).
- Van Delden, H., Luja, P., Engelen, G., 2007, **Integration of Multi-Scale Dynamic Spatial Models of Socio-Economic and Physical Processes for River Basin Management**, Environ. Modell. Softw. 22, 223-238.

Van Vliet, J., White, R., Dragicevic, S., 2009, **Modelling Urban Growth Using a Variable Grid Cellular Automaton**, Comput. Environ. Urban. 33, 35–43.

Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., Mastura, S.S.A., 2002, **Modelling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model**, Environ. Manage. 30 (3), 391–405.

Verburg, P.H., Veldkamp, A., 2004, **Projecting Land Use Transitions at Forest Fringes in the Philippines at Two Spatial Scales**, Landscape. Ecol. 19, 77–98.

Verburg, P.H., de Nijs, T.C.M., van Eck, J.R., Visser, H., de Jong, K., 2004a, **A Method to Analyze Neighborhood Characteristics of Land Use Patterns**, Comput. Environ. Urban. 28, 667–690.