

تحلیل زمانی - مکانی گسترش کالبدی شهر مشهد و پایش تغییرات کاربری اراضی اطراف

سعید زنگنه شهرکی* - استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

علی کاظم‌زاده - دانشجوی کارشناسی‌ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (مطالعات شهری و روستایی)،

دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران

سیروس هاشمی دره بادامی - دانشجوی کارشناسی‌ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (مطالعات شهری و روستایی)،

دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۲۸ تأیید مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۳

چکیده

بررسی و تحلیل گسترش شهر با استفاده از داده‌های چندزمانه از جمله مباحثی است که در مطالعات شهری و برنامه‌ریزی برای آینده شهر اهمیت زیادی دارد. هدف از این مطالعه، بررسی میزان گسترش کالبدی شهر مشهد، شناسایی ماهیت اراضی تغییر یافته به کاربری شهری، تعیین جهات اصلی رشد و همچنین بررسی الگوی رشد این شهر در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲ است. بدین ترتیب، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۲) طبقات پوشش و کاربری زمین برای شهر مشهد و اطراف آن استخراج شد و با استفاده از تکنیک کشف تغییرات به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی تصاویر، تغییرات اراضی کشاورزی و اراضی بایر به کاربری شهری شناسایی گردید. سپس با استفاده از تکنیک‌های آمار منطقه‌ای میزان گسترش شهر و ماهیت تغییرات در جهات جغرافیایی مختلف به دست آمد. از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲، بر اساس نتایج، ۳۳۴۳/۶۷ هکتار از اراضی کشاورزی و ۶۹۶۴/۱۱ هکتار از اراضی بایر به کاربری شهری تبدیل شده است. جهات اصلی گسترش شهر در این بازه زمانی، به ترتیب جهات شمال غرب، غرب و شرق بوده است. جهات شمال غرب، شرق و شمال به ترتیب جهاتی‌اند که بیشترین میزان تغییر اراضی کشاورزی به کاربری شهری در آنها اتفاق افتاده است. از سوی دیگر، در جهات شمال غرب، غرب و جنوب، تبدیل اراضی بایر به کاربری شهری بیشتر از جهات دیگر بوده است. بررسی میزان تراکم و نحوه پراکنش رشد شهر نشان می‌دهد که گسترش شهر از الگوی رشد افقی و پراکنده پیروی کرده است. توجه به نتایج، نقشه‌های ارائه شده و تصاویر ماهواره‌ای شهر مشهد نشان می‌دهد که مناسب‌ترین جهت برای رشد آینده این شهر جهت شمال غرب است. زیرا در این قسمت نسبت اراضی بایر به اراضی کشاورزی در مقایسه با جهات دیگر بیشتر است و همچنین مانع طبیعی محدودکننده‌ای در این جهت وجود ندارد.

کلیدواژه‌ها: تغییرات کاربری اراضی/ پوشش زمین، رشد و گسترش شهری، مشهد

مقدمه

نحوه شکل‌گیری مکانی و رشد و گسترش شهر از جمله مباحث مهمی است که امروزه در مطالعات شهری بررسی می‌شود. رشد شهر یکی از ابعاد توسعه شهری است که به عنوان فرایندی زمانی- مکانی و جمعیتی شناخته شده و به افزایش اهمیت شهرها به عنوان نقاط تمرکز جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی اشاره دارد (Bhatta et al, 2009: 97). شهر به عنوان یک پدیده پویا دارای ماهیتی زمانی- مکانی بوده که در طول زمان تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی دچار تغییر و تحول می‌شود و گسترش می‌یابد. به طور کلی، رشد یک شهر تابعی از عوامل مختلف طبیعی و انسانی است که میزان، ابعاد و جهات گسترش آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اولین پیامدی که با گسترش شهر ظاهر می‌شود تغییر کاربری اراضی اطراف شهر است. از این رو گسترش یک شهر با توجه به اینکه در بستر چه نوع زمین‌هایی گسترش یافته باشد، می‌تواند پیامدهای مثبت و منفی متفاوتی داشته باشد. برای آنکه بتوان رشد آینده شهر را به صورت برنامه‌ریزی شده و در جهات مناسب هدایت کرد، آگاهی از چگونگی رشد شهر در دوره‌های مختلف الزامی است. امروزه یکی از روش‌هایی که با استفاده از آن می‌توان نحوه تغییر و گسترش یک شهر را در یک بازه زمانی بررسی و تحلیل کرد استفاده از داده‌ها و روش‌های سنجش از دور است. داده‌های سنجش از دور دارای مزایای زیادی از جمله دسترسی به داده در دوره‌های زمانی مختلف، هزینه کم و کاهش زمان مطالعات است که در دهه‌های اخیر موجب افزایش چشمگیر استفاده از آن در زمینه‌های گوناگون و به طور خاص در مطالعات شهری شده است.

یکی از مهم‌ترین موارد کاربرد داده‌های سنجش از دور استفاده از آن برای بررسی و کشف تغییرات^۱ به وجود آمده در پدیده‌هایی است که دارای ماهیت زمانی- مکانی بوده یا به عبارتی موقعیت و وضعیت آنها در طول زمان دچار تغییر می‌شود. در واقع کشف تغییرات به فرایند شناسایی و تعیین نوع و وسعت پوشش یا کاربری زمین در یک دوره زمانی با استفاده از تصاویر سنجش از دور گفته می‌شود (Singh, 1989: 993; Coppin et al, 2004: 1575). استفاده از روش‌های کشف تغییرات در زمینه‌های مختلفی که به تغییرات پوشش زمین^۲ و کاربری اراضی^۳ مرتبط است، می‌تواند مفید باشد. از جمله تغییرات اراضی زراعی (Imbernon, 1999)، تغییر نواحی شهری ساحلی (Shalaby & Tateishi, 2007: Abd El-Kawy O.R et al, 2011)، جنگل‌زدایی (Wyman & Stein, 2010)، بیابان‌زایی (Alavi panah and Ehsani, 2006)، بررسی تغییرات چشم‌انداز و پراکنش سکونتگاه‌ها (Munroe, Croissant & York, 2005) و بسیاری از مسائل و پدیده‌های دیگر است که در طول زمان دچار تغییر می‌شوند. کشف تغییرات با استفاده از داده‌های سنجش از دور مستلزم استفاده از چند تصویر مربوط به زمان‌های مختلف است تا به کمک آنها بتوان تغییراتی را که در طول زمان در ارتباط با پدیده تحت نظر رخ داده است، کشف و مشاهده کرد (Abd El-Kawy O.R et al., 2011: 484 به نقل از Singh, 1989). تکنیک‌های زیادی برای کشف تغییرات پوشش و کاربری زمین توسط افراد مختلف

1. Change detection
2. Land cover
3. Land use

توسعه داده شده است. برخی از این تکنیک‌ها عبارتند از: مقایسه پس از طبقه‌بندی تصاویر^۱، روش تفاضل تصاویر^۲، آنالیز مؤلفه‌های اصلی^۳، روش اختلاف شاخص گیاهی^۴ و روش آنالیز برداری^۵ (Lu et al, 2004 ; Jenson, 2005: 470-493). ژوشی و همکاران (۲۰۰۲)، در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست تغییرات خط ساحلی در شهر شانگ یو چین را بررسی کرده‌اند. آنها در انتها نتیجه گرفتند که استفاده از تصاویر لندست برای پایش تغییرات سریع کاربری‌های ساحلی کارآمد و مناسب است. علوی‌پناه و احسانی (۲۰۰۶)، در پژوهشی تغییرات نواحی بیابانی و بیابان‌زایی با استفاده از داده‌های چندطیفی لندست را مطالعه کردند. آنها نتیجه گرفتند که تصاویر لندست برای شناسایی تغییرات نواحی بیابانی مناسب است. علاوه بر آن، بررسی‌های میدانی می‌تواند به بهبود نتایج کمک کند. عبدالکاوی و همکاران با استفاده از داده‌های سنجنده TM⁺, ETM, TM تغییرات پوشش و کاربری زمین را در دلتای نیل غربی مطالعه کرده‌اند. هدف از این مطالعه کمک به مدیریت بهتر تغییرات کاربری بیان شده که توانسته است تغییراتی که در نتیجه فعالیت‌های انسانی در این محدوده اتفاق افتاده است را شناسایی کند (Abd El-Kawy et al, 2011). در مطالعه‌ای دیگر (Kolios and Styliou, 2013)، از تصاویر لندست برای شناسایی تغییرات پوشش و کاربری زمین در منطقه پروزا پنینسولا^۶ یونان استفاده کردند. آنها برای طبقه‌بندی تصاویر از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی^۷ و سیستم‌های پشتیبان بردار^۸ استفاده کردند و توانستند تغییرات اراضی شهری، جنگلی، ساحلی و کشاورزی را شناسایی کنند. فیضی‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) تغییرات کاربری فضای سبز شهر تبریز را با استفاده از داده‌های TM و Spot بررسی کردند. آنها در این مطالعه از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده کردند و توانستند میزان کاهش فضای سبز این شهر را به دست آورند. جعفری و همکاران در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۸۹ انجام داده‌اند، به منظور آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی در بخش مرکزی شهرستان بویراحمد (یاسوج)، با استفاده از تصاویر سنجنده TM مدلی مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم^۹ توسعه دادند. آنها با این روش توانستند تغییرات پوشش و کاربری اراضی را شناسایی کنند. مطالعات فراوان دیگری نیز در زمینه تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و تغییرات آن با استفاده از داده‌های سنجنده از دور، در شهرهای مختلف انجام گرفته است.

شهر مشهد به دلیل ورود سالانه بیش از ۲۰ میلیون گردشگر (سالنامه آماری مشهد، ۱۳۹۱)، توجه بیشتر دولت‌های بعد از انقلاب اسلامی، افزایش سرمایه‌گذاری‌ها و ایجاد فرصت‌های شغلی در دهه‌های اخیر، مهاجرت روستا به شهر بی‌سابقه‌ای را تجربه کرده است که این امر موجب افزایش چشمگیر جمعیت و متعاقباً رشد و گسترش این شهر شده است. رشد مذکور بدون در نظر گرفتن پتانسیل‌های محیطی صورت گرفته است که سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی - اقتصادی متعددی شده است. این امر نیاز به مطالعه نحوه و میزان گسترش این شهر را دوچندان کرده است.

1. Post-classification comparison (PCC)

2. Image differencing

3. Principle components analysis

4. Vegetation index differencing

5. Spectral change vector analysis

6. Preveza peninsula

7. Artificial neural networks

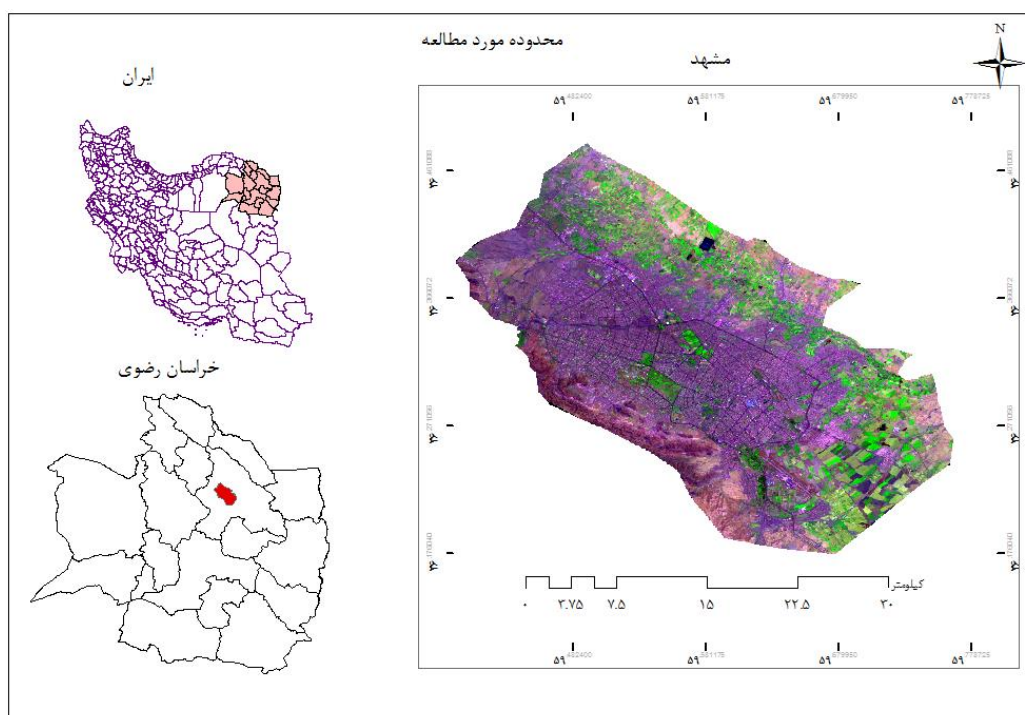
8. Support vector machines

9. Decision tree

بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی میزان گسترش کالبدی شهر مشهد، شناسایی اراضی تغییر یافته به کاربری شهری، تعیین جهات اصلی رشد و بررسی الگوی رشد این شهر در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های شناسایی تغییرات و آمار منطقه‌ای، صورت گرفته است. همچنین پیشنهاد جهات مناسب برای گسترش آینده شهر بر اساس نتایج، دیگر هدف این پژوهش است.

محدوده مورد مطالعه

مشهد شهری در شمال شرقی ایران و مرکز استان خراسان رضوی است. این شهر بین عرض‌های ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲ دقیقه شمالی و طول ۵۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی واقع شده است. ارتفاع متوسط این شهر از سطح دریا ۹۸۵ متر و وسعت آن حدود ۲۸۸ کیلومتر مربع است. این شهر در دشت مشهد در حد فاصل رشته‌کوه‌های کپه‌داغ و بینالود واقع شده است (آمارنامه شهر مشهد، ۱۳۹۱: ۲۰-۱۶). موقعیت دشتی و مکان‌گزینی این شهر در زمین‌های مسطح امکان گسترش شهر را در اطراف فراهم آورده است. عاملی طبیعی که رشد این شهر را محدود می‌کند مناطق مرتفع و کوهستانی رشته‌کوه بینالود در غرب و جنوب غرب شهر است. از سوی دیگر، این شهر از شمال غرب با زمین‌های بایر، و از شمال، شمال شرق، شرق و جنوب شرق عمدتاً با اراضی کشاورزی هم‌جوار است. از نظر جمعیتی، در نخستین سرشماری رسمی در ایران (۱۳۳۵) مشهد با جمعیت ۲۴۱۹۸۹ نفر، چهارمین شهر پرجمعیت ایران بوده است. در سرشماری سال ۱۳۶۵، جمعیت این شهر به ۱۴۶۳۵۰۸ نفر رسیده است (آمارنامه شهر مشهد، ۱۳۹۱: ۲۸). همچنین در سال ۱۳۹۰ مشهد با جمعیت ۲۷۷۲۲۸۷ نفر، دومین شهر پرجمعیت ایران بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۳). بررسی روند تاریخی گسترش شهر مشهد تا سال ۱۲۵۳ نشان می‌دهد که این شهر دارای ساختار سنتی و گسترش تدریجی پیرامون حرم حضرت رضا (ع) است. مقایسه نقشه‌های شهر در دوره‌های اخیر نیز نشان می‌دهد که جهت غالب رشد شهر به سمت شمال غرب بوده است. با توجه به قرار داشتن حرم مطهر امام رضا (ع) در این شهر، سالانه جمعیت نسبتاً زیادی از روستاها و شهرهای دیگر استان و همچنین از دیگر نقاط کشور برای سکونت به این شهر مهاجرت می‌کنند. به طوری که در یک دوره پنجاه و پنج ساله (۹۰-۳۵) جمعیت این شهر بالغ بر ده برابر گشته است. ورود سالانه بیش از ۲۳ میلیون زائر و گردشگر (آمارنامه شهر مشهد، ۱۳۹۱: ۱۷۰)، وجود سرمایه‌ها و صنایع و توجه دولت به این شهر، شرایط اشتغال در زمینه‌های مختلف خدماتی، صنعتی و گردشگری را فراهم آورده است. این عوامل موجب جذب جمعیت و در نتیجه گسترش شهر می‌شود.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

داده‌های به کاررفته

برای مقایسه و بررسی‌های تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه در حالت ایده‌آل داشتن تصاویر مربوط به یک روز در سال‌های مختلف مناسب است. اما با توجه به مشکلاتی از قبیل در دسترس نبودن تصویر، دوره زمانی عبور ماهواره از منطقه، پوشش ابر و...، استفاده از تصاویر نزدیک به هم ارجحیت دارد. بنابراین در این تحقیق از تصاویر سنجنده TM (۱۳۶۶/۶/۵)، سنجنده ETM+ (۱۳۷۹/۶/۹) و سنجنده OLI (۱۳۹۲/۵/۱۰) استفاده گردید (جدول ۱). برای تصحیح هندسی از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ مشهد استفاده شد و خطای RMSE کمتر از ۰/۵ پیکسل به دست آمد. از آنجا که در طبقه‌بندی تصاویر از الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شده و کلاس‌های آموزشی به صورت جداگانه از هر تصویر به دست آمده است، نیازی به تصحیح اتمسفری وجود ندارد (Jensen, 2005: 492). سپس دیگر تبدیلات روی تصاویر برای استخراج اطلاعات صورت گرفت.

جدول ۱. مشخصات قدرت تفکیک مکانی، رادیومتریک سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI/TIRS (منبع: USGS)

ماهواره / سنجنده	تفکیک رادیومتریک	تفکیک مکانی باندهای حرارتی	تفکیک مکانی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی	تفکیک باند پن کروماتیک
لندست ۵ / TM	۸ بیت	۱۲۰ * ۱۲۰ متر	۳۰ * ۳۰ متر	ندارد
لندست ۷ / ETM+	۸ بیت	۶۰ * ۶۰ متر	۳۰ * ۳۰ متر	۱۵ * ۱۵ متر
لندست ۸ / OLI/TIRS	۱۶ بیت	۱۰۰ * ۱۰۰ متر	۳۰ * ۳۰ متر	۱۵ * ۱۵ متر

تکنیک کشف تغییرات

برای شناسایی تغییرات از الگوریتم مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. این روش، روشی کمی است که برای انجام آن به تصحیح هندسی تصاویر (انطباق هندسی تصاویر) و طبقه‌بندی آنها نیاز است. سپس دو نقشه به صورت پیکسل به پیکسل با استفاده از یک ماتریس شناسایی تغییرات با هم مقایسه می‌شوند. هر خطا در نقشه‌های طبقه‌بندی شده به نتیجه نهایی نقشه شناسایی تغییرات نیز منتقل می‌شود. بنابراین، ضروری است که نقشه طبقه‌بندی شده به کاررفته در این روش حتی‌الامکان دقیق باشد. دقت در نقشه خروجی شناسایی تغییرات به دقت نقشه‌های طبقه‌بندی شده بستگی دارد. این روش به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود و به آسانی قابل درک است. مزایای آن شامل ارائه جزئیات اطلاعات from-to (اطلاعات آماری پیکسل‌های تغییر یافته از قبیل مساحت) و فراهم کردن نقشه طبقه‌بندی برای سال پایه بعدی است (Jensen, 2005: 482).

طبقه‌بندی تصاویر

برای طبقه‌بندی تصویر از الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. ماهیت طبقه‌بندی حداکثر احتمال اختصاص یک پیکسل به طبقه‌ای است که احتمال طبقه‌بندی بر اساس اطلاعات موجود از داده‌های آموزشی در آن حداکثر میزان خود باشد. در این روش ابتدا میزان احتمال هر پیکسل به هر کلاس از قبل تعریف شده و محاسبه می‌شود و کلاسی که بیشترین میزان احتمال را داشته باشد، پیکسل تست را به خود اختصاص می‌دهد. فرض روش حداکثر احتمال این است که آمارهای داده‌های آموزشی برای هر کلاس و در هر باند به صورت نرمال (گوسین) توزیع شده‌اند. اولین مرحله این طبقه محاسبه احتمال $P(X | W_i)$ است. به این معنی که کلاسی به پیکسل مورد نظر انتساب داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد.

$$\hat{p}(x | w_i) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^2 \hat{\sigma}_i} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(x - \hat{\mu}_i)^2}{\hat{\sigma}_i^2}\right] \quad (1)$$

در این فرمول x بردار مقادیر طیفی و w_i کلاس طیفی i است. P احتمال وجود پیکسل i در یک طبقه خاص است. بنابراین برای اختصاص دادن یک پیکسل به یک کلاس بعد از محاسبه احتمال قرار گرفتن پیکسل تست در هر کلاس، کلاسی که بیشترین میزان احتمال را دارد، پیکسل تحت نظر را به خود اختصاص می‌دهد (Jensen, 2005: 374-379).

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

معمولاً برای بیان و ارزیابی صحت طبقه‌بندی از ماتریس خطا استفاده می‌شود. جدول خطا روابط میان داده‌های یک منبع مشخص با نتایج مربوط به طبقه‌بندی خودکار را به صورت طبقه‌به‌طبقه مقایسه می‌کند. این جدول مربع شکل بوده و تعداد سطر و ستون آن با تعداد طبقاتی که صحت طبقه‌بندی آنها ارزیابی می‌شود، برابر است (توماس م. لیلیند و رالف و.

کیفر، ۱۳۸۷: ۶۸۲). در این جدول میزان صحت طبقه‌بندی پیکسل‌هایی که به عنوان نمونه آموزشی تعریف شده‌اند، تعیین می‌گردد. خواننده با مشاهده جدول خطا می‌تواند از انواع خطاهای حذف و اضافه آگاه شود. تفسیر این جداول بدین شرح است: پیکسل‌های نمونه آموزشی که به صورت صحیح و مطابق با پوشش زمین طبقه‌بندی شده‌اند، در امتداد قطر بزرگ ماتریس خطا قرار دارند. همه عناصر غیرقطری ماتریس، نشان‌دهنده خطاهای حذف و اضافه‌اند. خطای حذف به معنای آنست که در ستون عمودی غیر از قطر بزرگ قرار دادند، مربوط می‌شود و خطای اضافه نیز به وسیله عناصری که در سطر افقی غیر از قطر بزرگ واقع شده‌اند، نشان داده می‌شوند (توماس م. لیلیسند و رالف و. کیفر، ۱۳۸۷: ۶۸۳). با استفاده از اطلاعات این جدول می‌توان دقت‌های زیر را برای طبقه‌بندی به دست آورد:

صحت کلی^۱: با تقسیم تعداد کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌های تحت طبقه‌بندی، صحت کلی به دست می‌آید.

صحت تولیدکننده^۲: از تقسیم تعداد پیکسل‌هایی که در هر طبقه به درستی طبقه‌بندی شده‌اند بر تعداد پیکسل‌های واقعیت زمینی (نمونه آموزشی) مورد استفاده آن طبقه (جمع ستون)، دقت تولیدکننده به دست می‌آید. این معیار بیان‌کننده این است که واقعیت زمینی (پیکسل‌های نمونه آموزشی) به چه نسبتی، درست طبقه‌بندی شده‌اند.

صحت کاربر^۳: از تقسیم تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌هایی که در یک طبقه جای گرفته‌اند (جمع ردیف) حاصل می‌شود (همان، ۶۸۴).

لازم به ذکر است که معیارهای ذکر شده بر اساس اطلاعات نمونه‌های آموزشی پایه‌ریزی شده و تنها نشان‌دهنده این است که چقدر می‌توان از اطلاعات آماری استخراج شده از آنها در طبقه‌بندی استفاده کرد. به عبارتی، این معیارها نشان‌دهنده دقت مناطق تعلیمی بوده و صحت کلی مجموعه طبقه‌بندی شده را نشان نمی‌دهد. بنابراین دقت نمونه‌های تعلیمی برداشت شده، باید در حد مطلوبی باشد.

ضریب کاپا یکی دیگر از پارامترهای دقت است که از ماتریس خطا استخراج می‌شود و دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (فاطمی و باقری، ۱۳۸۹: ۲۴۰ به نقل از Richard, 1995). این ضریب با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad (2)$$

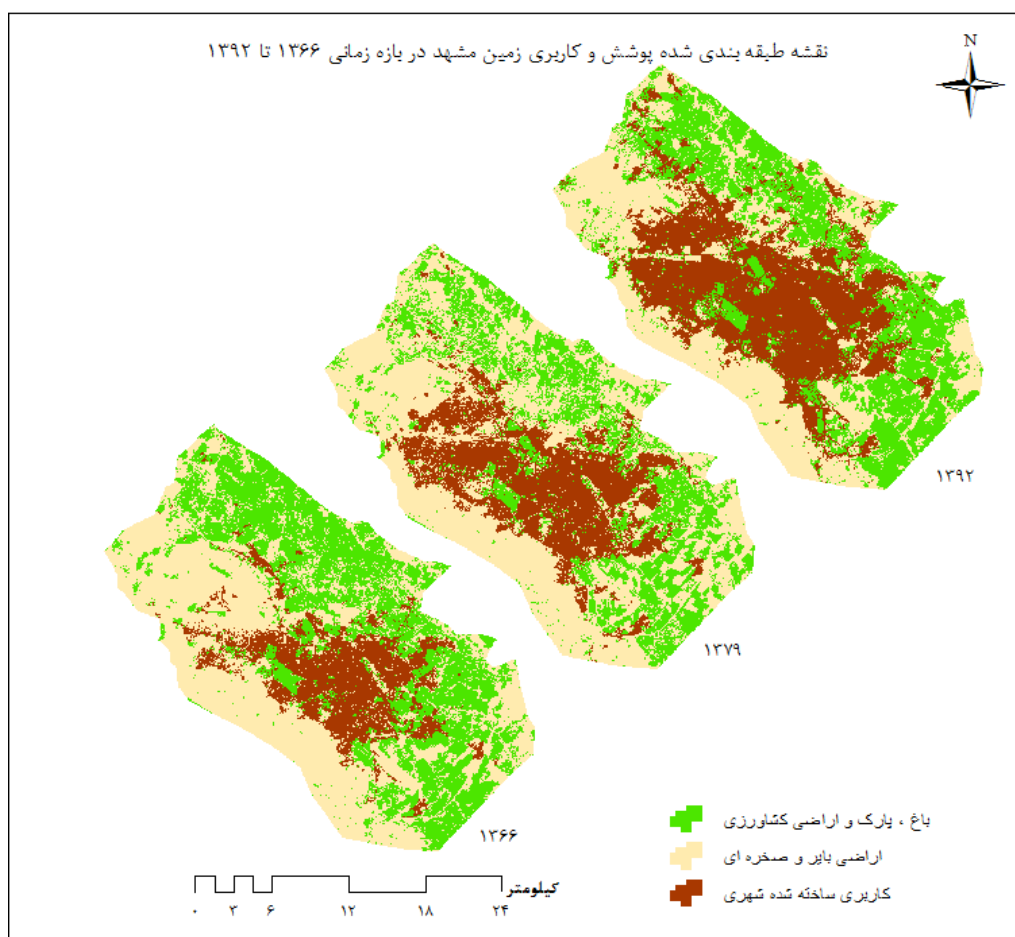
در این معادله N تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی (پیکسل‌های نمونه تعلیمی)، r تعداد ردیف‌های جدول خطا، X_{ii} تعداد مشاهدات مربوط به ردیف i و ستون i (در روی قطر بزرگ)، X_{i+} مشاهدات در ردیف i و X_{+i} کل مشاهدات در ستون i است. ضریب کاپا علاوه بر عناصر قطری ماتریس خطا از عناصر غیرقطری نیز برای محاسبه دقت استفاده می‌کند. مقادیر این ضریب بین صفر تا یک قرار می‌گیرد. مقدار صفر به این معنا است که طبقه‌بندی کاملاً تصادفی انجام گرفته است. مقدار یک به معنای یک طبقه‌بندی کاملاً صحیح بر اساس نمونه‌های تعلیمی است.

1. Overall accuracy
2. Product accuracy
3. User accuracy

یافته‌های تحقیق

طبقه‌بندی تصاویر

برای زمین مرجع کردن تصاویر ابتدا تصویر مربوط به سال ۱۳۹۲ با استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی مشهد با دقت ۰/۳ پیکسل زمین مرجع شد، سپس دو تصویر دیگر با این تصویر مطابقت داده شد و آنها نیز زمین مرجع گردیدند. برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال^۱ (MLC) استفاده شد. در این روش طبقه‌بندی، هر پیکسل به کلاسی انتساب داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق به آن کلاس را دارد (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹: ۲۱۵). ابتدا تصاویر با توجه به ویژگی‌های منطقه تحت مطالعه به کلاس‌های کاربری شهری، جاده‌ها، کاربری کشاورزی، باغ‌ها و پارک‌ها، اراضی بایر، اراضی صخره‌ای و نواحی کوهستانی تفکیک شد. سپس کلاس‌های مختلف با هم ترکیب شدند و در نهایت سه کلاس کاربری شهری ساخته شد و کلاس باغ، پارک و اراضی کشاورزی و کلاس زمین‌های بایر و صخره‌ای به دست آمد. نتایج طبقه‌بندی برای هر سه دوره در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۲. نقشه طبقه‌بندی شده پوشش و کاربری زمین مشهد در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۲

ارزیابی دقت طبقه‌بندی

در زیر ماتریس خطا و صحت طبقه‌بندی مربوط به تصاویر استفاده‌شده آورده شده است. همان‌گونه که در این جدول‌ها نشان داده شده، صحن کلی طبقه‌بندی برای تصویر مربوط به سال ۱۳۶۶، ۹۶/۰۲، سال ۱۳۷۹، ۹۷/۲۶ و سال ۱۳۹۲، ۹۶/۶۶ به‌دست آمده است. علاوه بر آن، صحت تولیدکننده و صحت کاربر برای هر طبقه استخراج گردیده است. در مجموع، اعداد به‌دست‌آمده دقت زیاد طبقه‌بندی را نشان می‌دهد که دلیل آن دقت در برداشت نمونه‌های تعلیمی و تعداد کم طبقه‌های تحت استفاده (سه طبقه) است. تعداد کم طبقات از آن جهت است که هدف پژوهش، بررسی تغییرات کلی گسترش شهر در اراضی کشاورزی و اراضی بایر است و نیازی به تعیین طبقات بیشتر احساس نمی‌شود. در جدول زیر به عنوان مثال برای کاربری ساخته‌شده شهری ۱۵۱۹ پیکسل به عنوان نمونه آموزشی تعریف شده که از این تعداد ۱۴۵۴ پیکسل به‌صورت درست در این طبقه جای گرفته‌اند. ۴۹ پیکسل در طبقه اراضی بایر و صخره‌ای و ۱۶ پیکسل در طبقه باغ و اراضی کشاورزی قرار گرفته‌اند. با تقسیم پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده (۱۴۵۴) بر تعداد کل پیکسل‌های این طبقه (جمع ستون) صحت تولیدکننده ۹۵/۷۲٪ به‌دست آمده است. از سوی دیگر، ۱۵۱۳ پیکسل از کل پیکسل‌های نمونه آموزشی در این طبقه قرار گرفته است که از این تعداد، ۱۴۵۴ پیکسل متعلق به همین طبقه بوده، در حالی که ۵۸ پیکسل آن به طبقه اراضی بایر و صخره‌ای و ۱ پیکسل آن به باغ و اراضی کشاورزی تعلق داشته است. صحت کاربر مربوط به این طبقه که از تقسیم تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده (۱۴۵۴) بر تعداد کل پیکسل‌هایی که در این طبقه جای گرفته‌اند (۱۵۱۳) حاصل می‌شود، ۹۶/۱٪ است. ضریب کاپای به‌دست‌آمده برای تصاویر طبقه‌بندی‌شده مربوط به سال‌های ۱۳۶۶، ۷۹ و ۹۲ به‌ترتیب ۰/۹۳، ۰/۹۵ و ۰/۹۳ است. این بدان معنا است که برای مثال، نتایج طبقه‌بندی برای تصویر سال ۱۳۶۶، ۹۳ درصد بهتر از موقعی است که پیکسل‌ها به‌طور تصادفی برچسب‌دهی شوند. اعداد به‌دست‌آمده دقت طبقه‌بندی (نمونه‌های تعلیمی) را در سطح مطلوبی نشان می‌دهند.

جدول ۲. جداول خطای طبقه‌بندی مربوط به تصاویر سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۲

جدول خطای طبقه‌بندی مربوط به تصویر سال ۱۳۶۶					
داده‌های طبقه‌بندی	باغ، پارک و اراضی کشاورزی	اراضی بایر و صخره‌ای	ساخته‌شده شهری	جمع ردیف	صحت کاربر
باغ، پارک و اراضی کشاورزی	۲۰۹۲	۵۷	۱۶	۲۱۶۵	۹۶/۶۳
اراضی بایر و صخره‌ای	۶۹	۲۴۹۹	۴۹	۲۶۱۷	۹۵/۴۹
ساخته‌شده شهری	۱	۵۸	۱۴۵۴	۱۵۱۳	۹۶/۱۰
جمع ستون	۲۱۶۲	۲۶۱۴	۱۵۱۹	۶۲۹۵	
صحت تولیدکننده	۹۶/۷۶	۹۵/۶	۹۵/۷۲		
		دقت کلی: ۹۶/۰۲٪	ضریب کاپا: ۰/۹۳		

ادامه جدول ۲. جداول خطای طبقه‌بندی مربوط به تصاویر سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۲

جدول خطای طبقه‌بندی مربوط به تصویر سال ۱۳۷۹					
داده‌های طبقه‌بندی	باغ، پارک و اراضی کشاورزی	اراضی بایر و صخره‌ای	ساخته‌شده شهری	جمع ردیف	صحت کاربر
باغ، پارک و اراضی کشاورزی	۲۳۹۰	۱	۲	۲۳۹۳	۹۹/۸۷
اراضی بایر و صخره‌ای	۱	۶۰۲۲	۹۱	۶۱۱۴	۹۸/۵
ساخته‌شده شهری	۰	۱۹۵	۱۹۱۴	۲۱۰۹	۹۰/۷۵
جمع ستون	۲۳۹۱	۶۲۱۸	۲۰۰۷	۱۰۶۱۶	
صحت تولیدکننده	۹۹/۹۶	۹۶/۸۵	۹۵/۳۷		
دقت کلی: ۹۷/۲۶٪ ضریب کاپا: ۰/۹۵					

جدول خطای طبقه‌بندی مربوط به تصویر سال ۱۳۹۲					
داده‌های طبقه‌بندی	باغ، پارک و اراضی کشاورزی	اراضی بایر و صخره‌ای	ساخته‌شده شهری	جمع ردیف	صحت کاربر
باغ، پارک و اراضی کشاورزی	۱۱۱۶	۳۵	۱	۱۱۵۲	۹۶/۸۸
اراضی بایر و صخره‌ای	۸۸	۳۴۷۱	۷	۳۵۶۶	۹۷/۳۴
ساخته‌شده شهری	۱۷	۴۱	۸۹۲	۹۵۰	۹۳/۸۹
جمع ستون	۱۲۲۱	۳۵۴۷	۹۰۰	۵۶۶۸	
صحت تولیدکننده	۹۱/۴	۹۷/۸۶	۹۹/۱۱		
دقت کلی: ۹۶/۶۶٪ ضریب کاپا: ۰/۹۳					

شناسایی میزان گسترش شهر و تغییرات اراضی کشاورزی و اراضی بایر به کاربری شهری

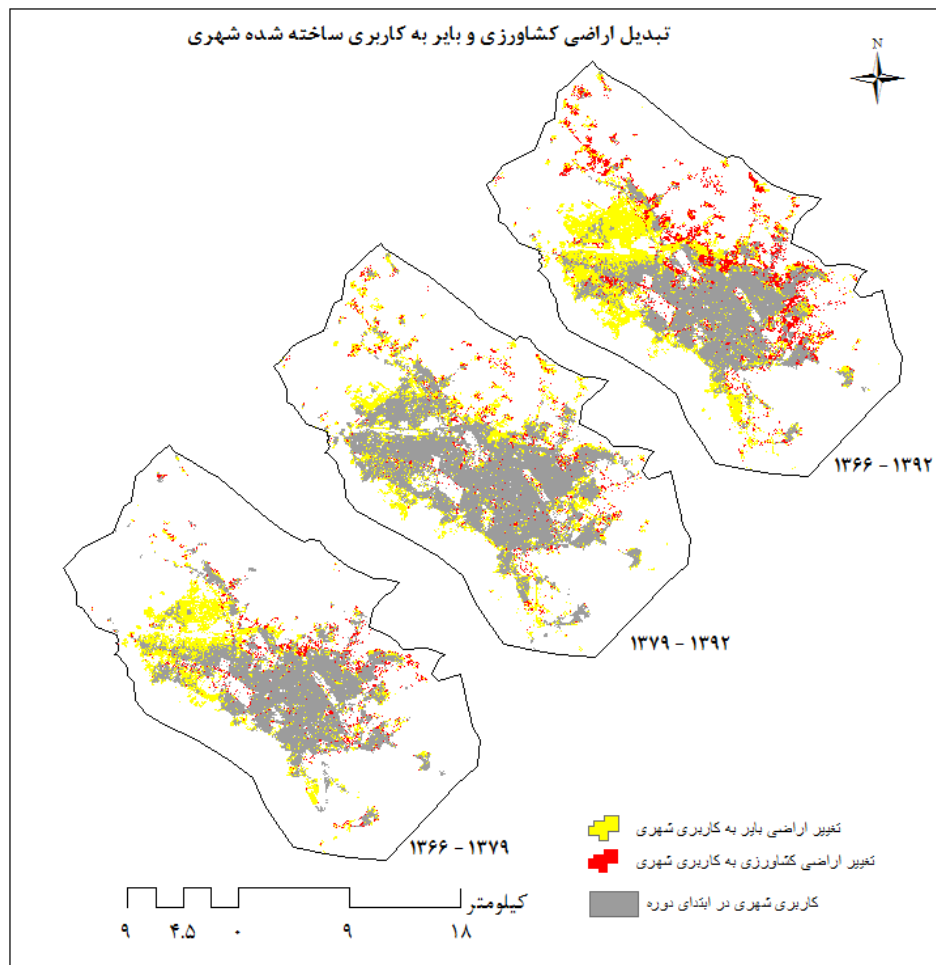
از آنجا که یکی از اهداف این پژوهش بررسی میزان گسترش شهر مشهد است، میزان تغییرات اراضی کشاورزی و اراضی بایر به کاربری ساخته‌شده شهری، با استفاده از تکنیک کشف تغییرات تعیین خواهد شد. کاربری ساخته‌شده شامل ساختمان‌ها و خیابان‌ها است. میزان تغییرات مذکور در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲ در جدول ۳ آمده است. بر اساس این جدول از سال ۱۳۶۶ تا سال ۱۳۹۲ ۳۳۳۴۴/۶۷ هکتار از اراضی کشاورزی اطراف شهر به کاربری ساخته‌شده تبدیل شده است. علاوه بر آن، در همین بازه زمانی ۶۹۶۴/۱۱ هکتار از اراضی بایر به کاربری شهری تبدیل شده است. مساحت کاربری ساخته‌شده در ابتدای دوره (۱۳۶۶)، ۹۰۷۰/۳۸ هکتار بوده است، در حالی که در سال ۱۳۹۲ این مساحت به ۱۸۸۹۸/۱۱ هکتار رسیده است. بر اساس اطلاعات استخراج‌شده از سالنامه آماری شهر مشهد، مساحت محدوده شهری این شهر ۲۸/۸ هزار هکتار بوده است. اما محدوده شهری تنها شامل نواحی ساخته‌شده نیست، بلکه تمام زمین‌هایی را که

در داخل مرزهای مدیریتی شهرداری قرار دارند (شامل زمین‌هایی که برای رشد آتی شهر در نظر گرفته شده است) در بر می‌گیرد. علاوه بر این، فضای سبز داخل شهر جزء کاربری ساخته‌شده شهری به حساب نیامده است. با توجه به این موارد و بر اساس نتایج این پژوهش مساحت کاربری ساخته‌شده شهر مشهد در سال ۱۳۹۲، ۱۸۸۹۸/۱۱ هکتار بوده است.

جدول ۳. میزان تغییرات اراضی کشاورزی و اراضی بایر به کاربری شهری در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲ (هکتار)

۹۰۷۰/۳۸	کاربری ساخته‌شده شهری در ابتدای دوره (۱۳۶۶)
۳۳۴۴/۶۷	تغییر اراضی کشاورزی به کاربری شهری
۶۹۶۴/۱۱	تغییر اراضی بایر به کاربری شهری
۱۰۳۰۸/۷۸	مجموع مساحت اضافه‌شده
۱۸۸۹۸/۱۱	کاربری ساخته‌شده شهری در انتهای دوره (۱۳۹۲)

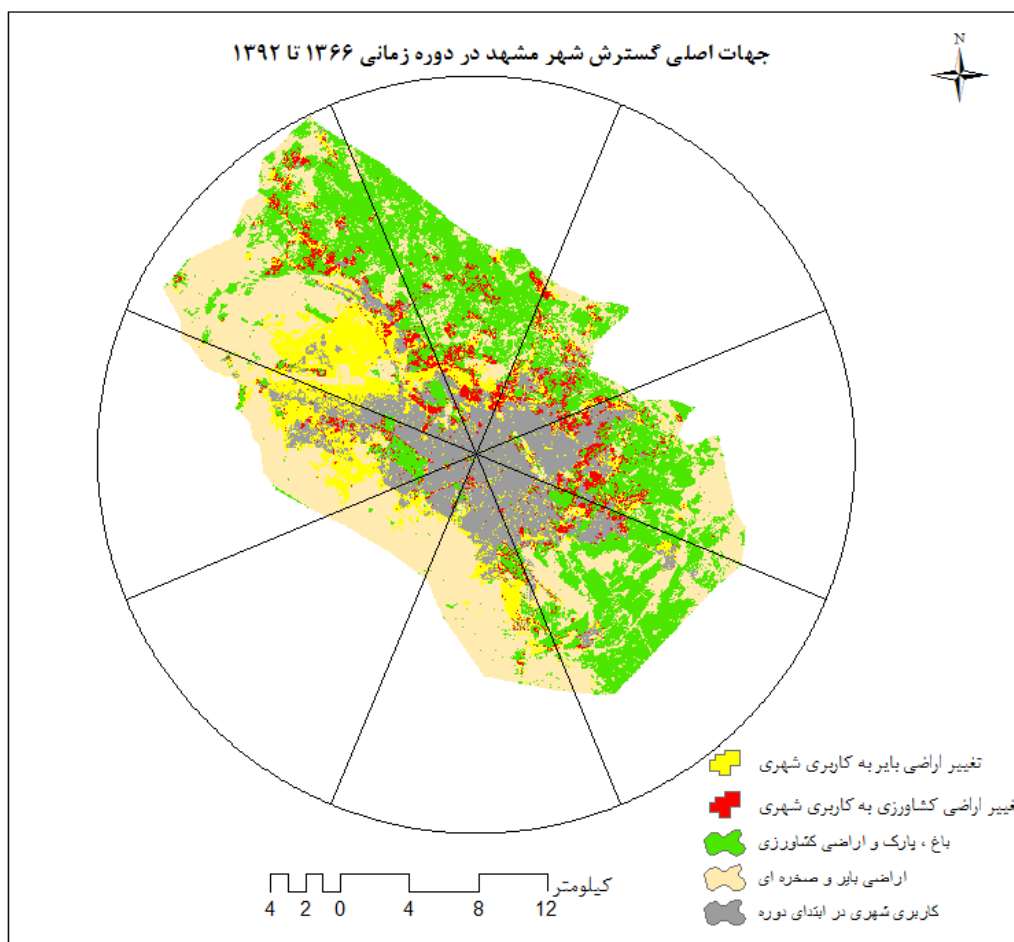
تغییرات ذکرشده در قالب نقشه تغییرات در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که در راهنمای نقشه آمده، بخش‌هایی که با رنگ قرمز مشخص شده، تغییرات اراضی کشاورزی به کاربری شهری و نقاط زرد رنگ تغییرات اراضی بایر به کاربری شهری را نشان می‌دهد.



شکل ۳. تغییرات اراضی کشاورزی و اراضی بایر به کاربری شهری در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲

شناسایی جهات اصلی گسترش شهر مشهد در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲ با استفاده از تکنیک آمار منطقه‌ای

در قسمت قبل میزان گسترش شهر مشهد در اراضی بایر و اراضی کشاورزی بر اساس نتایج روش کشف تغییرات، به صورت کلی ارائه شد. اما تعیین میزان گسترش شهر در جهات جغرافیایی مختلف نیز از مسائلی است که می‌تواند برای آگاهی از جهات اصلی رشد شهر در آینده مفید باشد. در این قسمت با استفاده از روش آمار منطقه‌ای، میزان کلی گسترش شهر و همچنین میزان گسترش شهر در اراضی کشاورزی و اراضی بایر در جهات جغرافیایی مختلف تعیین خواهد شد. نحوه کار این روش به این صورت است که محدوده مورد نظر به چند منطقه تقسیم می‌شود، سپس اطلاعات آماری مختلف برای هر منطقه استخراج می‌گردد. برای تعیین میزان گسترش شهر در جهات مختلف، محدوده تحت نظر باید بر اساس جهات جغرافیایی به چند منطقه تقسیم شود. بدین ترتیب، ابتدا مرکز هندسی شهر برای نواحی ساخته شده سال ۱۳۶۶ به دست آمد، سپس محدوده تحت نظر به ۸ منطقه در شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب و شمال غرب با زوایای ۴۵ درجه تقسیم شد. منطقه‌بندی مذکور و پراکنش تغییرات در شکل ۴ در قالب نقشه نمایش داده شده است.



شکل ۴. گسترش شهر در جهات جغرافیایی مختلف در دوره زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲

میزان گسترش شهر در جهات جغرافیایی مختلف در جدول ۴ آمده است. بر اساس اطلاعات این جدول، در دوره زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲، بیشترین میزان رشد در جهت شمال غرب بوده است. شهر در این جهت به میزان ۳۸۳۷/۱۵ هکتار گسترش یافته است. پس از آن بیشترین میزان رشد با ۱۸۲۱/۶۹ و ۱۰۴۹/۶۷ هکتار افزایش، به ترتیب در غرب و شرق است. از سوی دیگر، در جنوب غرب به دلیل اینکه وجود اراضی صخره‌ای و کوهستانی رشد شهر را محدود کرده است، کمترین میزان رشد اتفاق افتاده است. میزان رشد در این جهت ۲۵۱/۱۹ هکتار بوده است، اما مهم‌تر از میزان رشد کلی شهر، ماهیت اراضی‌ای است که شهر در آنها گسترش یافته است. بر اساس نتایج، جهاتی که شهر بیشترین گسترش را در اراضی کشاورزی داشته است، به ترتیب شمال غرب، شرق و شمال بوده است. میزان تغییر اراضی کشاورزی به کاربری شهری در این جهات به ترتیب ۹۱۰/۴۴، ۶۳۵/۸۵ و ۵۷۸/۳۴ هکتار است. در مقابل جنوب غرب و جنوب جهاتی‌اند که کمترین میزان تغییر اراضی کشاورزی به کاربری شهری را داشته‌اند که به ترتیب ۴۵/۰۹ و ۱۵۹/۳ هکتار بوده است. وضعیت گسترش شهر در اراضی بایر در جهات مختلف نیز بدین شرح است: در شمال غرب میزان ۲۹۶۴/۱۱ هکتار، در غرب ۱۶۰۰/۵۶ هکتار و در جنوب ۶۰۰/۸۴ هکتار از این اراضی به کاربری شهری تغییر یافته است. جنوب غرب و شمال شرق با ۲۰۶/۱ و ۳۶۸/۱ هکتار، جهاتی‌اند که کمترین میزان تغییر اراضی بایر به کاربری شهری را داشته‌اند.

جدول ۴. میزان گسترش شهر در اراضی بایر و اراضی کشاورزی (به هکتار)

جهت جغرافیایی	تغییر اراضی بایر به کاربری شهری	تغییر اراضی کشاورزی به کاربری شهری	گسترش کلی شهر
شمال	۴۲۳	۵۷۸/۳۴	۱۰۰۱/۳۴
شمال شرق	۳۶۸/۱	۴۸۵/۱۹	۸۵۳/۲۹
شرق	۴۱۳/۸۲	۶۳۵/۸۵	
جنوب شرق	۴۲۴/۹۸	۳۰۹/۳۳	۷۳۴/۳۱
جنوب	۶۰۰/۸۴	۱۵۹/۳۰	۷۶۰/۱۴
جنوب غرب	۲۰۶/۱	۴۵/۰۹	۲۵۱/۱۹
غرب	۱۶۰۰/۵۶	۲۲۱/۱۳	۱۸۲۱/۶۹
شمال غرب	۲۹۲۶/۷۱	۹۱۰/۴۴	۳۸۳۷/۱۵
جمع کل	۶۹۶۴/۱۱	۳۳۴۴/۶۷	۱۰۳۰۸/۷۸

مقایسه میزان تراکم و پراکندگی کاربری ساخته شده شهر مشهد در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲

به طور کلی، الگوی رشد یک شهر می‌تواند به دو صورت اتفاق بیفتد؛ الگوی رشد فشرده^۱ و الگوی رشد افقی یا پراکنده^۲. فشرده یا پراکنده بودن الگوی رشد یک شهر را می‌توان به کمک معیارهایی نظیر تراکم، پراکندگی یا پیوستگی رشد، ترکیب کاربری‌ها و... تعیین کرد (رهنما و عباس‌زاده، ۱۳۸۵: ۱۰۷-۱۰۳ و قرخلو و زنگنه، ۱۳۸۷: ۲۳ به نقل از Glaster et al, 2001). با استفاده از اطلاعات این مطالعه می‌توان میزان تراکم و نحوه پراکندگی رشد شهر مشهد را بررسی کرد. جدول زیر میزان تراکم جمعیت در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۲ را برای شهر مشهد نشان می‌دهد. از آنجا که تصویر سال

1. Compact growth pattern

2. Sprawl growth pattern

۱۳۶۶ مربوط به اوایل سال است، می‌توان از جمعیت سال ۱۳۶۵ برای محاسبه میزان تراکم استفاده کرد. همچنین با توجه به اینکه جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۰ بر اساس اطلاعات سرشماری ۲۷۷۲۲۸۷ نفر بوده است و بر اساس گزارش استانداری خراسان رضوی جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۳ حدود ۳ میلیون نفر بوده است، می‌توان با اگماض جمعیت این شهر را در سال ۱۳۹۲، ۲۹۰۰۰۰۰ نفر در نظر گرفت و برای محاسبه تراکم استفاده کرد. بر این اساس، میزان تراکم جمعیت در شهر مشهد برای سال ۱۳۶۶، ۱۶۱/۳۵ نفر در هکتار بوده است. در حالی که در سال ۱۳۹۲ تراکم جمعیت در این شهر ۱۵۳/۴۵ نفر در هکتار شده است. ناگفته نماند که در محاسبه میزان تراکم، مساحت کاربری ساخته شده شهری شامل ساختمان‌ها و خیابان‌ها بدون احتساب فضای سبز داخل شهر و اراضی ساخته نشده در محدوده شهری، در نظر گرفته شده و اعداد ذکر شده ممکن است با آمارهای ارائه شده از سوی سازمان‌ها تفاوت داشته باشد. با توجه به آنچه ذکر شد، در این بازه زمانی میزان تراکم جمعیت در شهر مشهد کاهش یافته است و گسترش شهر الگوی رشد پراکنده را نشان می‌دهد.

جدول ۵. تراکم جمعیت در شهر مشهد در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۲

سال	مساحت شهر (هکتار)	جمعیت	تراکم
۱۳۶۶	۹۰۷۰/۳۸	۱۴۶۳۵۰۸ (۱۳۶۵)	۱۶۱/۳۵
۱۳۹۲	۱۸۸۹۸/۱۱	۲۷۷۲۲۸۷ (۱۳۹۰) ۲۹۰۰۰۰۰ (۱۳۹۲)	۱۵۳/۴۵

نحوه پراکندگی رشد شهر موضوع دیگری است که با مشاهده نقشه‌های ارائه شده می‌توان به آن پی برد. با توجه به نقشه‌های ۲ و ۴ مشاهده می‌شود که در بازه زمانی مورد نظر، مراکز جمعیتی در حاشیه‌های شهر به ویژه در شمال، شمال غرب، شرق و شمال شرق رشد زیادی داشته‌اند. اگرچه بعضی از این مراکز ممکن است در محدوده شهر قرار نگرفته باشند، ولی به طور قطع تحت تأثیر جاذبه‌ها و امکانات این شهر در اطراف توسعه یافته‌اند. نکته اساسی این است که این مراکز در واقع هسته‌های اولیه سکونتگاه‌های روستایی با کارکرد عمدتاً کشاورزی‌اند که در دشت مشهد وجود داشته‌اند و در دهه‌های اخیر رشد کرده‌اند. مشاهده نقشه‌های موجود نشان می‌دهد که این مراکز جمعیتی به صورت پراکنده و ناپیوسته در اطراف شهر گسترش یافته‌اند. بدین ترتیب، نحوه پراکنش شهر در بازه زمانی تحت نظر از الگوی رشد پراکنده پیروی کرده است.

نتیجه گیری

مرور مطالعات انجام گرفته در رابطه با گسترش شهر مشهد نشان می‌دهد که از قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در مطالعه رشد و گسترش این شهر کمتر استفاده شده است. مطالعه اثرات گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری نشان داد که اثرات غیرمستقیم گسترش شهر در داخل حوضه‌های آبریز منتهی به شهر و اثرات مستقیم آن بر الگوی زهکشی طبیعی در محدوده گسترش بافت فیزیکی باعث تشدید شرایط سیل خیزی در این شهر و آسیب‌پذیری بخش‌های وسیعی از بافت آن شده است. بررسی تأثیر گسترش شهر مشهد بر منابع آب نشان می‌دهد که

گسترش این شهر در دهه‌های اخیر سبب نابودی منابع آبی پایدار از جمله چشمه‌ها و قنات‌ها شده و این شهر را با بحران کم‌آبی مواجه کرده است. گسترش این شهر در اراضی کشاورزی از سال ۱۳۸۵-۱۳۳۵، ۲۷۷۴۷ هکتار از خاک‌های با درجات مختلف مرغوبیت کشاورزی را برای همیشه از چرخه تولید خارج کرده است. با توجه به قابلیت‌های تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های GIS در بررسی رشد و گسترش شهری، این مطالعه با هدف بررسی میزان گسترش شهر مشهد و تعیین جهات اصلی رشد آن انجام گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که از سال ۱۳۶۶ تا سال ۱۳۹۲ میزان ۳۳۴۴/۶۷ هکتار از اراضی کشاورزی اطراف شهر به کاربری ساخته‌شده شهری تبدیل شده است. علاوه بر آن، در همین بازه زمانی ۶۹۶۴/۱۱ هکتار از اراضی بایر به کاربری شهری تبدیل شده است. این در صورتی است که مساحت کاربری ساخته‌شده در ابتدای دوره (۱۳۶۶)، ۹۰۷۰/۳۸ هکتار بوده است. به عبارتی، وسعت شهر در این بازه زمانی حدود ۲ برابر شده است.

جهت اصلی گسترش شهر مشهد در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲، به ترتیب شمال غرب، غرب و شرق بوده است. شمال غرب، شرق و شمال جهاتی‌اند که بیشترین میزان تغییر اراضی کشاورزی به کاربری شهری در آنها اتفاق افتاده است. در حالی که در شمال غرب، غرب و جنوب، تبدیل اراضی بایر به کاربری شهری بیشتر از جهات دیگر بوده است. مقایسه میزان تغییر اراضی کشاورزی و اراضی بایر به کاربری شهری در یک جهت خاص نشان می‌دهد که در شمال، شمال شرق و شرق، گسترش شهر در اراضی کشاورزی بیشتر از اراضی بایر بوده است. در صورتی که در جهات دیگر گسترش شهر در اراضی بایر بیشتر بوده است. از سوی دیگر، مقایسه میزان تراکم جمعیت در دو سال ۱۳۶۶ و ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که تراکم جمعیت در این شهر کاهش یافته و از ۱۶۱/۳۵ به ۱۴۵/۴۵ نفر در هکتار رسیده است. همچنین بررسی نحوه پراکنش شهر در این بازه زمانی نشان‌دهنده رشد افقی و پراکنده شهر در هسته‌های اولیه سکونتگاه‌های روستایی اطراف شهر بوده است. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که گسترش شهر مشهد از الگوی رشد افقی و پراکنده پیروی کرده است. با ادامه روند گسترش شهر در آینده می‌توان پیش‌بینی کرد که مراکز پراکنده مذکور گسترش یابند و به یکدیگر و در نهایت به بدنه اصلی شهر متصل گردند. نکته حائز اهمیت این است که مراکز در حال رشد مذکور، عمدتاً در شمال غرب، شمال، شمال شرق و شرق واقع شده‌اند. اینها جهاتی‌اند که بیشترین اراضی کشاورزی در آنجا واقع شده‌اند و در صورت ادامه روند گسترش شهر در این جهات، مساحت زیادی از این اراضی به کاربری شهری تبدیل می‌شود. با توجه به نکته‌های ذکر شده، نتایج و نقشه‌های ارائه‌شده و تصاویر ماهواره‌ای شهر مشهد می‌توان نتیجه گرفت که مناسب‌ترین جهت برای رشد آینده این شهر جهت شمال غرب است. زیرا در این قسمت نسبت اراضی بایر به اراضی کشاورزی در مقایسه با جهات دیگر بیشتر است و همچنین مانع طبیعی محدودکننده‌ای در این جهت وجود ندارد. اگرچه در جنوب، جنوب غرب و غرب اراضی کشاورزی محدودی وجود دارد، رشد شهر در این جهات به دلیل وجود مناطق کوهستانی محدود شده است. در جهات دیگر نیز، یعنی شمال، شمال شرق، شرق و جنوب شرق، به دلیل مسطح بودن منطقه و وجود شرایط مناسب برای کشاورزی، اراضی کشاورزی در مقایسه با اراضی بایر نسبت بیشتری از اراضی اطراف شهر را در بر می‌گیرد. بنابراین، برای جلوگیری از تبدیل اراضی کشاورزی به کاربری شهری می‌توان گسترش شهر را در این جهات محدودتر کرد و به جای آن رشد شهر را به صورت ویژه در جهت شمال غرب هدایت کرد.

منابع

- آ. م.، چاندر؛ س. ک.، گوش؛ (۱۳۹۱). سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، ترجمه سید کاظم علوی‌پناه و مسلم لدنی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- پوراحمد، احمد؛ حسینی، سید علی؛ حسینی، سید محمد؛ نصیری، محمد؛ (۱۳۹۳). بررسی گسترش افقی شهر مشهد در چند دهه اخیر و تأثیر آن بر منابع آب، مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۶، شماره ۳، ۴۸۵-۵۰۴.
- توماس م.، لیلند؛ رالف و.، کيفر، (۱۳۸۷). سنجش از دور و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، ترجمه جعفر اولادی فادیکالایی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه مازندران، بابل.
- جعفری، حمیدرضا؛ حمزه، محمد؛ نصیری، حسین؛ رفیعی، یوسف؛ (۱۳۹۰). توسعه مدل مفهومی مبتنی بر الگوریتم Decision Tree و داده‌کاوی به منظور آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده TM و داده‌های کمکی (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان بویراحمد)، نشریه علوم محیطی، سال هشتم، شماره ۳، ۲۰-۱.
- رهنما، محمد رحیم؛ عباس‌زاده، غلام‌رضا؛ (۱۳۸۵). مطالعه تطبیقی سنجش تراکم پراکنش / فشردگی در کلان‌شهرهای سیدنی و مشهد، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۶، ۲۸-۱۰۱.
- حسین‌زاده، سید رضا؛ جهادی طرقي، مهناز؛ (۱۳۸۶). اثرات گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۱، ۱۵۹-۱۴۵.
- سالنامه آماری مشهد، ۱۳۹۱
- علوی‌پناه، سید کاظم؛ (۱۳۹۲). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- فاطمی، سید باقر؛ رضایی، یوسف؛ (۱۳۸۹). مبانی سنجش از دور، چاپ دوم، انتشارات آزاده، تهران.
- فرویدی، رحمت‌الله؛ پورموسوی، سید موسی؛ حسینی، سید علی؛ حسینی، سید محمد؛ (۱۳۹۳). تحلیلی بر گسترش افقی شهر مشهد در چند دهه اخیر (۱۳۳۵-۱۳۸۵) و تأثیر آن بر منابع خاک، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره ۵۰، ۲۸۰-۲۵۹.
- فیضی‌زاده، بختیار؛ جعفری، فیروز؛ نظم‌فر، حسین؛ (۱۳۸۷). کاربرد داده‌های سنجش از دور در آشکارسازی تغییرات کاربری‌های اراضی شهری (مطالعه موردی فضای سبز شهر تبریز)، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۴، ۲۴-۱۷.
- مرکز آمار ایران، ۱۳۹۳.
- Alavi panah, S.K.; Ehsani A. H.; (2005). Change detection and desertification based on geographic information system and multi-spectral satellite data (Case study: damghan playa), Geographical research quarterly, 51, 143-155.
- Bhatta, S.B.; Saraswati, D.; (2010). Quantifying the degree-of- freedom, degree of sprawl, and degree of goodness of urban growth from remote sensing data, Applied Geography, 30, 96-111.
- Coppin, P.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B.; (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring, International Journal of RemoteSensing, 25 (9), 1565-1596.
- Imbernon, J.; (1999). Changes in agricultural practice and landscape over a 60 year period in North Lampung Sumatra, Agriculture, Ecosystems and Environment, 76(1), 61-66.
- Jensen, J. R.; (2005). Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (3rd Edn), Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

- Lu, D.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Moran, E.; (2004). Change detection techniques, *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2407.
- Munroe, D. K.; Croissant, C.; York, A. M.; (2005). Land use policy and landscape fragmentation in an urbanizing region: assessing the impact of zoning, *Applied Geography*, 25(2), 121-141.
- Abd El-Kawy, O. R.; Rod, J.K.; Ismail, H. A.; Suliman, A.S.; (2011). Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data, *Applied Geography*, 31, 483-494.
- Shalaby A.; Tateishi R.; (2007). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt, *Applied Geography*, 27(1), 28-41.
- Shi, z.; Wang, R.; Huang, MX.; (2002). Detection of Coastal Saline Land Uses with Multi-Temporal Landsat Images in Shangyu City China, *Environmental Management*, 30, 142-150.
- Singh, A.; (1989). Digital change detection techniques using remotely-sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 10 (6), 989-1003.
- Stavros, K.; Chrysostomos, D. S.; (2013). Identification of land cover/land use changes in the greater area of the Preveza peninsula in Greece using Landsat satellite data, *Applied Geography*, 40, 150-160.
- Wyman, M. S.; Stein, T.V.; (2010). Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize, *Applied Geography*, 30(3), 329-342.
- Yuan, F.; Sawaya, K. E.; Loeffelholz, B.; Bauer, M. E.; (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multi temporal Landsat remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 98, 317-328.