

۱، بهار ۱۳۸۶

مدلسازی عدم اطمینان در آشکارسازی تغییرات براساس طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای

عباس علیمحمدی^۱، حمیدرضا ربیعی^۲، پرویز ضیائیان^{۳*}

- ۱- استادیار دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه
نصیر طوسی
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه
تربیت مدرس
۳- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت‌معلم

پذیرش: ۸۳/۶/۲۰

دریافت: ۸۲/۱۱/۱۹

چکیده

تهیه نقشه تغییرات کاربری و پوشش اراضی از نیازهای اساسی برای مدیریت و نظارت محیطی است. این نقشه‌ها در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیریهای مختلف استفاده می‌شوند، بنابراین تعیین قابلیت اعتماد و صحت این نقشه‌ها اهمیت زیادی دارد. در این مطالعه از یک روش جدید برای مدلسازی عدم اطمینان در آشکارسازی تغییرات استفاده شد. در این روش علاوه بر اطلاعات احتمالاتی، از ویژگیهای مکانی شامل فاصله، همسایگی، وسعت و نوع تغییر نیز استفاده به عمل آمد.

ابتدا تصاویر Landsat TM منطقه شهری اصفهان در سالهای ۱۹۹۸ و ۱۹۹۰ م. با استفاده از توابع چند جمله‌ای درجه اول هم‌مختصات شدند. سپس با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی، حداکثر مشابهت (MLC) در ده کلاس کاربری و پوشش اراضی طبقه‌بندی و ویژگیهای احتمالاتی نشان‌دهنده عضویت پیکسلها در کلاسهای مختلف محاسبه شدند. در مرحله بعد اطلاعات مکانی لازم برای مدلسازی عدم اطمینان در تغییر کاربری کشاورزی به مسکونی استخراج شد. آنگاه ویژگیهای مکانی و احتمالاتی به کمک رگرسیون لاجیستیک ترکیب شدند و لایه نشان‌دهنده عدم اطمینان مربوط به تغییر

E-mail:

*نویسنده مسئول مقاله

Parviz8@hotmail.com

1. maximum likelihood classification



در ...

اراضی کشاورزی به مسکونی تهیه شد. از شاخص (ROC)^۱ نیز برای ارزیابی کیفیت مدل تهیه شده، استفاده شد. مقدار آن برابر ۰/۹۹۴۴ محاسبه شد که نشان‌دهنده دقت بالای مدل عدم اطمینان به دست آمده است. با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده و توسعه از این مدل برای برآورد و ارزیابی عدم اطمینان در آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: مدلسازی، عدم اطمینان، آشکارسازی تغییرات، اصفهان، لندست TM.

۱- مقدمه

آشکارسازی تغییرات از نیازهای اساسی در مدیریت و ارزیابی منابع طبیعی است. نقشه‌های آشکارسازی تغییرات بر اساس تصاویر چند زمانه سنجش از دور تهیه می‌شوند؛ اما روشهای ارزیابی عدم اطمینان این نقشه‌ها جوابگوی نیازهای موجود نیستند و توسعه روشهای مفیدتر و مؤثرتر در این زمینه ضروری است [۱]. به دلیل اینکه تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان نقشه‌ها، خسارات ناشی از تصمیم‌گیریهای غلط بر اساس داده‌های نامطمئن را کاهش می‌دهد، بنابراین در آشکارسازی تغییرات علاوه بر نقشه تغییرات، تجزیه، تحلیل و ارزیابی عدم اطمینان خروجی نیز بسیار مهم است. عدم اطمینان در آشکارسازی تغییرات غالباً ناشی از خطاهای موجود در تصاویر اولیه یا از نظر رادیومتریک و هندسی خطاهای ناشی از پردازش، طبقه‌بندی تصاویر و خطاهای ناشی از روشهای استفاده شده در تعیین تغییرات است. به عنوان مثال، مهمترین خطاهای ناشی از طبقه‌بندی عبارتند از:

- خطاهای حاصل از انتخاب و جمع‌آوری نمونه‌های آموزشی؛
- خطاهای حاصل از فرضیه‌های ساده‌سازی توزیع داده‌ها؛
- خطاهای مربوط به الگوریتمهای استفاده شده در طبقه‌بندی؛

- خطاهای ناشی از تشابه طیفی کلاسها.
در این تحقیق عدم اطمینان موجود در نقشه تغییرات کاربری و پوشش اراضی با تأکید بر تغییر کاربری اراضی کشاورزی به کاربری شهر در اصفهان بررسی شده است.

1. relative operating characteristics

۲- سوابق تحقیق

در زمینه بازیابی تغییرات با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه، تحقیقات زیادی صورت گرفت. برای مثال به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: گنگ از ترکیب مؤلفه‌های اصلی و مجموعه‌های فازی اقدام به بازیابی تغییرات در بخشی از شهر انتاریو^۱ کانادا کرد. او با این روش اطلاعات مربوط به تغییرات را که در چند مؤلفه پراکنده بود، در يك تصویر نمایش داد [۲، صص ۲۲-۲۹].

ضیائیان فیروزآبادی با استفاده از داده‌های تصاویر سالهای ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴. ماهواره IRS هند و با به‌کارگیری منطق فازی و (PCD)^۲ در شهر مدرس و منطقه ساحلی پیرامون آن در کشور هند، نقشه مناطق تغییر یافته/ نیافته و درجه‌های عضویت (شدت و نوع تغییرات) آنها را ارائه کرد [۳].

غیاثوند از روشهای تحلیل مؤلفه اصلی و تفریق تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست در تهیه نقشه تغییرات کاربری (در جنوب شهر تهران) استفاده کرد. او به این نتیجه رسید که ایجاد و تولید تصاویر باقیمانده^۳ در نتیجه تحلیل رگرسیون قبل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر واریانس مناطق تغییر و عدم تغییر تأثیر داشته و در آشکارسازی اطلاعات تغییرات نیز در چند مؤلفه اول مؤثر است [۴].

نشاط از روشهای تحلیل مؤلفه اصلی و تقسیم و تفریق تصاویر ETM, TM برای تهیه، ارزیابی و تحلیل تغییرات کاربری در شهر گرگان استفاده کرد. او با استفاده از روش طبقه‌بندی (SAM)^۴ و مقایسه پس از طبقه‌بندی، اقدام به تهیه نقشه تغییرات کاربری و پوشش با دقت بالاتری کرد [۵].

شی و اهلرز^۵ با بررسی عدم اطمینان و انتشار آن در آشکارسازی تغییرات (بر مبنای طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای) بردار حداکثر احتمال در طبقه‌بندی برای هر تصویر را ارائه کردند و از آنجا شاخص $\text{Max}(VT_i) - 1$ را به عنوان شاخصی برای عدم اطمینان در طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات پیشنهاد کردند [۶، صص ۲۷۲۹-۲۷۴۱]. در

1. Ontario
2. Principal Component Difference
3. residual
4. Spectral Angel Mapper
5. Shi and Ehlers



در ...

این شاخص VT_i حداکثر احتمال مربوط به پیکسل از طبقه i در زمان T است. متأسفانه شاخص فوق علی‌رغم استفاده از قوانین احتمالات به علت در نظر نگرفتن اطلاعات مکانی و موقعیت پیکسلها نمی‌تواند کارایی خوبی داشته باشد. شاخص پیشنهادی شی و اهلرز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

عدم اطمینان مربوط به طبقه‌بندی در نرم‌افزار Idrisi بر اساس مدل بیزین^۱ و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۷].

رابطه ۱:

$$Change - =Max () -Max Pt , () - Max Pt_r) \\ Uncertainty$$

که در این رابطه:

- Max Pt_1 : حداکثر احتمال پسین طبقه‌بندی در زمان t_1 ؛
- Max Pt_r : حداکثر احتمال پسین طبقه‌بندی در زمان t_r .

رابطه ۲:

$$Classification - Uncertainty = 1 - \frac{Max - \frac{Sum}{n}}{1 - \frac{1}{n}}$$

Classification - Uncertainty: عدم اطمینان طبقه‌بندی؛

Max: مقدار حداکثر احتمال وقوع کلاس برای پیکسل؛

Sum: مجموع مقادیر احتمال کلاسها برای پیکسل؛

n: تعداد کلاسها.

این مقدار با فرض احتمال اولیه مساوی برای تمام کلاسها محاسبه می‌شود و بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند. همچنین این مقدار به عنوان شاخص احتمالاتی،

۱، بهار ۱۳۸۴

نشان‌دهنده عدم اطمینان ناشی از اعمال الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر مشابهت برای هر پیکسل است.

۳- مواد و روشها

۳-۱- منطقه مطالعه شده

شهر اصفهان در مرکز استان اصفهان به مختصات ۵۲° طول جغرافیایی و ۱۹° ۳۹° عرض جغرافیایی در منطقه جلگه‌ای حاشیه زاینده‌رود قرار گرفته است. جمعیت شهرستان اصفهان در سال ۱۳۷۷ حدود یک میلیون و ششصد و ده هزار نفر برآورد شد [۸].

در سالهای اخیر این شهر تاریخی دستخوش تغییرات فراوانی شد و جمعیت آن به دلیل وجود مراکز تولیدی و صنعتی متعدد افزایش یافت و منطقه مسکونی شهر رشد چشمگیری پیدا کرد. متأسفانه این توسعه همراه با تبدیل اراضی کشاورزی و باغهای موجود به شهر بود. در این تحقیق با توجه به اهمیت بررسی نوع اراضی استفاده شده، خصوصاً اراضی کشاورزی برای رشد شهر از نظر توسعه پایدار، آشکارسازی اراضی کشاورزی و فضای سبز تبدیل شده به شهر و مدلسازی عدم اطمینان مربوط به آن مورد توجه قرار گرفت.

۳-۲- روشهای تحقیق (مراحل تحقیق)

این تحقیق با استفاده از تصاویر سنجنده TM اخذ شده در سالهای ۱۹۹۸ و ۱۹۹۰م. انجام شد. مراحل پردازش و طبقه‌بندی تصویر در زیر توضیح داده می‌شود.

با توجه به تاریخهای تصویربرداری و اختلاف موجود در زوایای تابش خورشید بعد از نرمالسازی رادیو متریک تصاویر دو زمانه اقدام به بهبود مغایرت و واضح سازی تصاویر شد.

عملیات زمین مرجع کردن تصاویر با استفاده از ۱۱ نقطه کنترل انتخاب شده روی نقشه توپوگرافی و تصویر و با استفاده از معادلات چند جمله‌ای درجه اول و روش درونیابی نزدیکترین همسایه انجام شد. در مرحله بعد تصویر TM_{۹۸} با استفاده از ۲۴ نقطه کنترل انتخاب شده روی تصاویر TM_{۹۰} و معادلات چند جمله‌ای درجه اول و روش درونیابی نزدیکترین همسایه با تصویر TM_{۹۰} با RMS برابر ۰/۳۸ پیکسل (معادل ۱۱ متر) تصحیح و هم مختصات شد.

از تصاویر تصحیح شده هم مختصات (تصاویر به دست آمده از TM_{۹۰} و TM_{۹۸}) پنجره‌هایی به ابعاد ۷۰۰*۷۰۰ پیکسل (حدود ۲۱ در ۲۱ کیلومتر) که کل منطقه جغرافیایی مطالعه



در ...

شده (شهر و محیط پیرامون) را پوشش می‌دهند، انتخاب شد و در مراحل بعدی مطالعه استفاده گردید.

۳-۳- طبقه‌بندی

با استفاده از تفسیر بصری در عکسهای هوایی منطقه و تصاویر ماهواره‌ای TM90 و TM98 اقدام به انتخاب و جمع‌آوری نمونه‌های آموزشی از ۱۰ کلاس کاربری و پوشش اراضی به شرح جدول ۱ شد (نقشه‌های ۱، ۲).

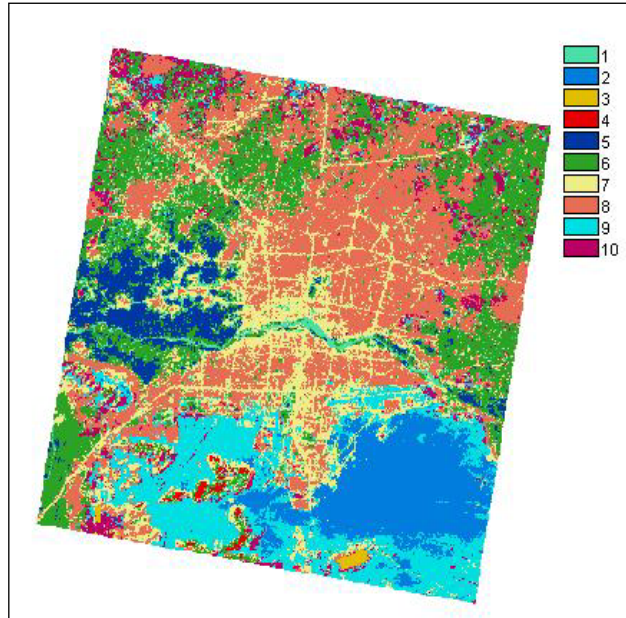
جدول ۱ کلاسهای استفاده شده در طبقه‌بندی

آب	۱
مرتع	۲
تاسیسات	۳
سایه	۴
پوشش گیاهی (مراکم - درختی)	۵
مزارع کشاورزی	۶
جاده	۷
مسکونی	۸
اراضی بایر	۹
اراضی کشاورزی پوشش بدون (آب)	۱۰

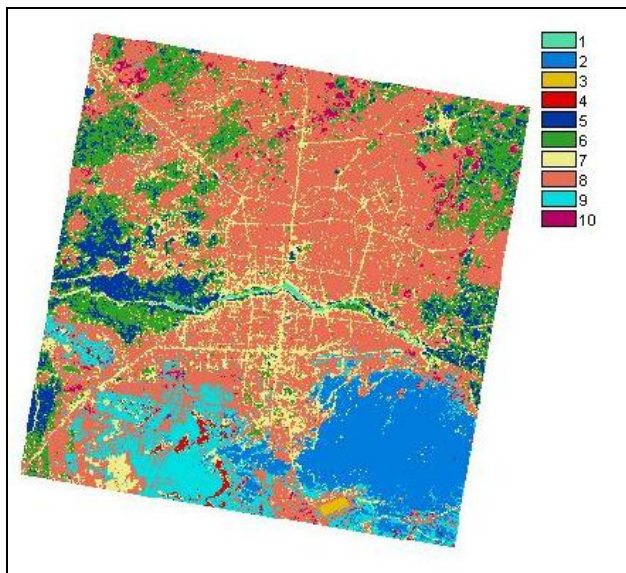
دو تصویر با استفاده از نمونه‌های آموزشی تعریف شده و با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر مشابهت به صورت فازی^۱ طبقه‌بندی شدند؛ سپس احتمال پسین مربوط به هر کلاس با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (نقشه ۳).
رابطه ۳:

$$p(h|e) = \frac{p(e|h) * p(h)}{\sum_i p(e|h_i) * p(h_i)}$$

- $P(h|e)$: احتمال وقوع کلاس h به شرط e ؛
 $P(e|h)$: احتمال وقوع e به شرط کلاس h ؛
 $P(h)$: احتمال وقوع کلاس h در منطقه.



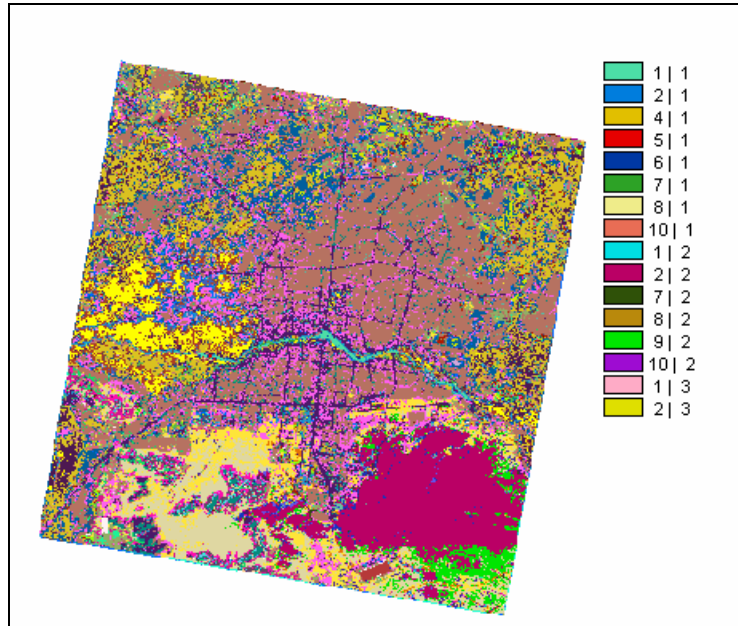
نقشه ۱ نقشه کاربری و پوشش اراضی از طبقه‌بندی تصویر TM سال ۱۹۹۰ م.





در ...

نقشه ۲ نقشه کاربری و پوشش اراضی حاصل از طبقه‌بندی تصویر TM سال ۱۹۹۸ م.



نقشه ۳ نقشه حاصل از مقایسه طبقه‌بندیها

۳-۴- مدلسازی عدم اطمینان

در مدل طراحی شده در این تحقیق علاوه بر احتمال پسین، از هم‌پوشی و تشابه طیفی بین کلاسها و مشخصات مکانی از جمله همسایگی و فاصله استفاده شد (نمودار ۱). در این روش که برای مدلسازی عدم اطمینان مربوط به تغییر یک کلاس (i) به کلاس دیگر (j) (مثلا کشاورزی به مسکونی) بر حسب ترکیبی از پارامترهای احتمالاتی و مکانی طراحی شد، از دو عبارت P_{ij} (احتمالاتی) و S_{ij} (مکانی) برای مدلسازی عدم اطمینان (U_{ij}) در تبدیل کلاس i به j (مثلا کشاورزی به شهر) به شرح زیر استفاده شد.

رابطه ۴:

$$U_{ij} = f(P_{ij}, S_{ij})$$

که P_{ij} از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۵:

$$P_{ij} = \frac{Pe(i|j)}{Pc(i|j)}$$

که :

$Pe(i|j)$: احتمال خطای طبقه‌بندی بین i و j ؛
 $Pc(i|j)$: احتمال تغییر i به j ؛
 S_{ij} نیز با استفاده از تابع زیر مدلسازی می‌شود.

رابطه ۶ :

$$S_{ij} = f(d_{ij}, R_{ij}, \bar{P}_{ij}, N_{ij})$$

که در این رابطه :

d_{ij} : فاصله i از نزدیکترین j (مکانی) در زمان t_1 ؛

R_{ij} : اندازه تبدیل نواحی i به j ؛

\bar{P}_{ij} : متوسط احتمال تغییر i به j در ناحیه R_{ij} ؛

N_{ij} : تعداد j موجود در مجاورت i در زمان t_1 .

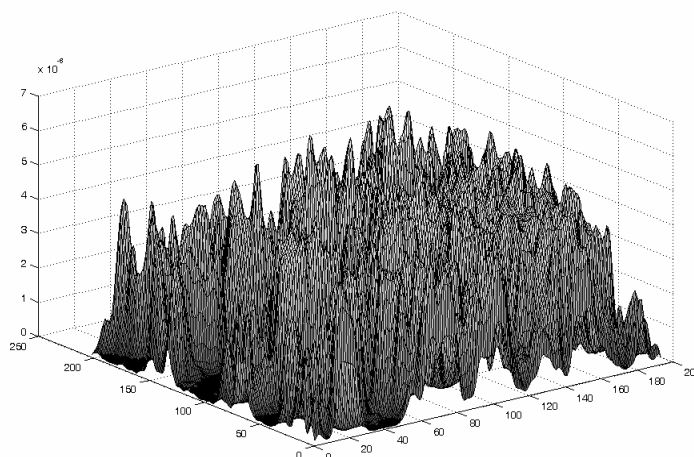
با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده مربوط به زمانهای ۱۹۹۸ و ۱۹۹۰ م. ضمن محاسبه شاخصهای مکانی ذکر شده، شاخص احتمالاتی زیر محاسبه شد و از آن برای مدلسازی عدم اطمینان استفاده گردید.

۹۰ - $P\text{-veg}$: احتمال تعلق به کلاس کشاورزی در سال ۱۹۹۰ م.

۹۸ - $P\text{-residential}$: احتمال تعلق به کلاس مسکونی در سال ۱۹۹۸ م.

۹۰ - $Un\text{-clas}$: عدم اطمینان طبقه‌بندی - تصویر سال ۱۹۹۰ م.

۹۸ - $Un\text{-clas}$: عدم اطمینان طبقه‌بندی - تصویر سال ۱۹۹۸ م.



نمودار ۱ احتمال پسین کلاس مسکونی- سال ۱۹۹۰م.

اگر چه امکانات و روشهای متعددی برای تعریف دقیق اجزای توابع U_{ij} و S_{ij} به منظور ترکیب P_{ij} و S_{ij} در رابطه ۴ وجود دارد، اما در این تحقیق از مدل همبستگی لاجیستیک استفاده شد.

۳-۵- رگرسیون لاجیستیک^۱

در همبستگی لاجیستیک متغیر وابسته به طور ذاتی دوگانه است که فقط شامل صفر و یک می‌باشد و معمولاً در توسعه یک مدل (که رابطه بین یک یا چند متغیر مستقل را نسبت به

متغیر وابسته دو گانه بیان می‌کند) استفاده می‌شود.

در این احتمال حضور متغیر $(y=1)$ مورد بررسی شده از رابطه ۸ قابل محاسبه است.
رابطه ۸ :

$$P(y=1|X) = \frac{\exp(\sum BX)}{1 + \exp(\sum BX)}$$

که در آن :

P : احتمال اینکه متغیر وابسته یک باشد

X : متغیرهای مستقل، $(x_i=1)$ ؛ $X = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_k)$

B: پارامترهای برآورد شده، $B = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_k)$ ، با استفاده از بررسی بصري طبقه‌بندیها، تصاویر رنگی، عکسهای هوایی، ترکیب نتایج طبقه‌بندیها و مطالعات میدانی اقدام به تعریف نقاط نمونه از مناطق تغییر و عدم تغییر کلاسه‌های بررسی شده (اراضی کشاورزی و شهر) به منظور استفاده در مدلسازی آماری شد. شاخصهای احتمالاتی و مکانی با توجه به متغیرهای مورد نیاز در روابط ۶، ۷ و ۸ برای پیکسل و نواحی نمونه انتخاب شد؛ آنگاه در هر دو طبقه‌بندی TM۹۸، TM۹۰ محاسبه انجام گردید. برای بررسی دقت مدلسازی از شاخص (ROC) استفاده شد [۹]. مقدار ROC برابر ۰/۵ نشان می‌دهد که متغیر وابسته به صورت اتفافی نسبت به متغیرهای مستقل برازش شده است و مقدار ROC برابر یک، بیان کننده برازش کامل است.

۴- نتایج

نتایج حاصل از رگرسیون لاجیستیک در مدلسازی عدم اطمینان به شرح زیر است:

ضرایب رگرسیون لاجیستیک	
متغیر	ضرایب
Intercept	۳/۰۵۸۷۷۸۵۱
P-veg-۹۰	۰/۰۶۲۶۰۱۸۱
P-residential-۹۸	-۳/۴۵۴۹۷۴۶۹
Un-clas-۹۰	۰/۰۰۱۷۷۲۸۵
Un-clas-۹۸	-۰/۰۰۶۳۸۳۶۸
P_{ij}	۰/۰۰۲۳۳۲۹۸
d_{ij}	۰/۰۰۳۸۲۰۰۲
N_{ij}	۰/۰۰۳۵۶۰۸
r_{ij}	-۰/۰۰۱۵۶۶۲۱

با توجه به نتایج ذکر شده مشاهده می‌شود که عدم اطمینان در تغییر کلاس کاربری کشاورزی به مسکونی با ویژگیهای احتمالاتی از جمله احتمال پسین به دست آمده از طبقه‌بندی و همینطور ویژگیهای مکانی تشریح شده همبستگی دارد. در این بین، ضریب منفی همسایگی کلاس کشاورزی و مسکونی قابل توجه است. این نکته نشان‌دهنده این مسأله است: در مناطقی که اراضی با کاربری کشاورزی در همسایگی اراضی با کاربری مسکونی وجود دارد، احتمال تغییر



در ...

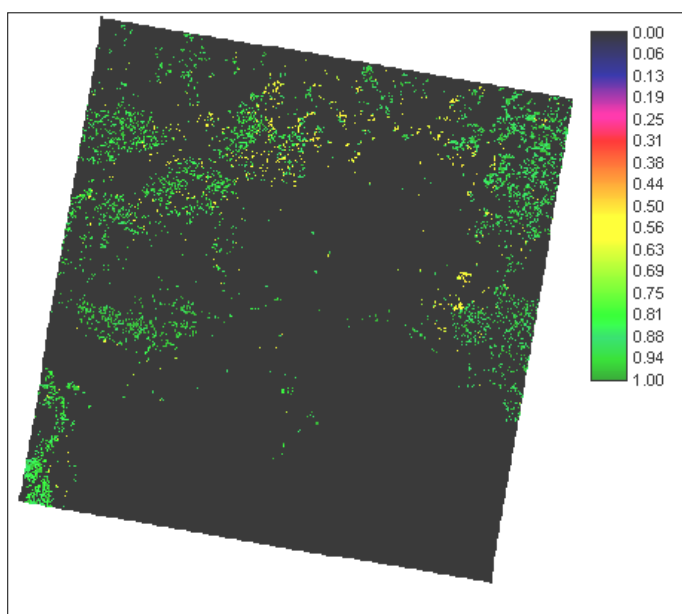
کاربري از کلاس کشاورزي به مسکوني زياد است و در نتیجه سطح عدم اطمینان مربوط به تغییر کاهش پیدا می‌کند. ضریب منفي احتمال پسین طبقه‌بندی برای کلاس مسکوني در سال ۱۹۹۸ م. نشان می‌دهد که بالا بودن سطح این احتمال با عدم اطمینان تغییرات رابطه معکوس دارد. به عبارت دیگر هر چقدر سطح اطمینان در طبقه‌بندی کلاس در سال ۱۹۹۸ م. بالاتر باشد، آشکارسازی تغییرات با سطح اطمینان بیشتری امکانپذیر خواهد بود.

True Positive = % ۹۹ / ۵۳۰

False Positive = % ۰

در برآزش عدم اطمینان آشکارسازی تغییرات در این تحقیق ROC برابر با ۰/۹۹۴۴ به دست آمد که می‌تواند نشانگر قابل قبول بودن مدل به دست آمده برای عدم اطمینان باشد.

اطلاعات حاصل از مدلسازی عدم اطمینان در آشکارسازی تغییرات بر مبنای ویژگیهای مکانی و احتمالاتی در نقشه ۴ ارائه می‌شود. در این شکل مناطق با درجه‌های روشنایی بالاتر، نشان‌دهنده عدم اطمینان بالا و مناطق با درجه روشنایی پایین، نشان‌دهنده آشکارسازی تغییرات با سطح اطمینان بالاتر است. ملاحظه می‌شود در منطقه حاشیه شهر اصفهان، عدم اطمینان در تغییر کلاس کاربري کشاورزي به مسکوني پایینتر است که با مطالعات میدانی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای تطابق دارد. به نظر می‌رسد در نظر گرفتن ویژگیهای مکانی بخصوص عامل همسایگی و همچنین شاخصهای احتمالاتی در مدلسازی عدم اطمینان در مقایسه با استفاده از شاخصهای احتمالاتی، نتایج بهتر و دقیقتری ارائه می‌دهد.



نقشه ۴ خروجی مدل عدم اطمینان در تبدیل پوشش گیاهی به اراضی شهری (درجه‌های روشنایی زیاد نشان‌دهنده عدم اطمینان بالا می‌باشند.)

۵- نتیجه گیری

استفاده توأم از اطلاعات مکانی و شاخصهای احتمالاتی منجر به تولید اطلاعات مفید درباره عدم اطمینان در آشکارسازی تغییرات می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مجاورت و موقعیت مکانی، نقش عمده‌ای در تبدیل انواع کاربریها ایفا می‌کنند و اراضی کشاورزی و باغهای واقع در مجاورت شهرها، در صورت عدم حمایت قانونی، در معرض خطر تبدیل قرار دارند. ضمناً یک رابطه معکوس بین قابلیت تفکیک طیفی و قابلیت تشخیص تغییر وجود دارد و آشکارسازی تغییرات دو کلاس با ویژگیهای طیفی مشابه با عدم اطمینان بیشتری همراه است؛ در نقطه مقابل، تغییرات مربوط به دو کلاس متمایز از نظر طیفی با سطح اطمینان بیشتری قابل بارسازی می‌باشد.



در ...

مدل به کار گرفته شده برای تهیه نقشه‌های عدم اطمینان در آشکارسازی تغییرات، قابلیت‌های جالب توجهی نشان می‌دهد که انجام تحقیقات و بررسی‌های بیشتر در این زمینه ضرورت دارد.

۶- منابع

- [1] Ross S., Lunetta; Remote sensing change detection; 1999.
- [2] Gong, P.; "Change detection using principal component analysis and fuzzy set theory"; *Can. J. Remotesens*, No. 1(1) , 1993.
- [3] Firouzabadi, P.; Digital approaches for change detection in urban environment using remote sensing data, 1997.
- [۴] غیاثوند، غلامرضا؛ «تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌های چند زمانه»؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران: دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۷.
- [۵] نشاط، عبدالمجید؛ «تجزیه و تحلیل و ارزیابی تغییرات کاربری و پوشش زمین با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در استان گلستان»؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران: دانشگاه تربیت مدرس، زمستان ۱۳۸۱.
- [6] Shi, W. Z. & Ehlers, M.; "Determining uncertainties and their propagation in dynamic change detection based on classified remotely-sensed images"; *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 17 No. 14 1996
- [7] Classification of remotely sensed imagery chapter in volume 2 of the IDRISI guide to GIS and image processing.
- [۸] اصفهان، ناشر: شهرداری اصفهان، ۱۳۷۶.
- [9] Pontius, GR, RG & L. Schneider; Land-Cover change model validitate by Roc method, "Agriculture, Ecosystems & Enviroments"; 2001