

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شهر ساری با استفاده از سنجش از دور^۱

دکتر کریم سلیمانی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵

چکیده:

رشد روزافزون جمعیت و در پی آن گسترش افقی شهرها منجر به تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه در استان مازندران شده که افزایش قیمت زمین و تخریب اکوسیستم‌های شهری را در پی داشته است. تبدیل اراضی باغی و شالیزاری به مسکونی که در طی چند دهه گذشته رشد فزاینده‌ای را در مازندران نشان می‌دهد می‌تواند از عوامل مهم در تشدید سیلاب شهری باشد. بطوری که در اثر تخریب پوشش گیاهی پیامدهایی نظیر سیلابهای شهری را شاهدیم. علاوه بر آن تغییر کاربری اراضی یکی از چالش‌های عمده در آینده بوده و به نظر می‌رسد بسیاری از زنجیره‌های حیاتی و امنیت منطقه‌ای را تحت تأثیر خود قرار دهد. در این پژوهش داده‌های یک بازه سی ساله از ماهواره‌های لندست سالهای ۱۹۷۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۳ شهر ساری و اطراف آن مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از محیط GIS از مدل LCM پیش‌بینی تغییرات اراضی تا سال ۲۰۱۸ انجام گردید. در این راستا از سه سناریوی A-B-C و برای هر کدام شش متغیر و ۱۰ نقشه پتانسیل انتقال پیش‌بینی تغییرات انجام شد. ضریب کاپا و دقت کلی نقشه‌ها برای سال ۱۳۶۶ به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۶/۸۷، برای ۱۳۸۰، ۰/۸۹ و ۰/۸۷/۴۲ و برای سال ۱۳۹۰ این ضریب ۰/۹۰ و ۰/۸۸/۸۹ محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سطح اراضی کشاورزی روند کاهشی شدید و به همان نسبت اشغال اراضی مسکونی روند افزایشی را داراست.

کلمات کلیدی: تحلیل زمانی، کاربری اراضی، لندست و شهر ساری

^۱ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری است.

^۲ استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
k.solaimani@sanru.ac.ir

^۲ استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۱. مقدمه

نظر به فقدان داده‌های مناسب استفاده از سنجش از دور می‌تواند با تحلیل زمانی تغییرات کاربری اراضی به دست‌اندرکاران کمک شایانی نماید. بدون در نظر گرفتن توان اکولوژیک سرزمین تغییرات کاربری اراضی می‌تواند در بلندمدت منجر به ایجاد ناپایداری محیط زیستی، به‌ویژه در مناطق جلگه‌ای و ساحلی شود (Areendran et al., 2017; Kaliraj et al., 2017; Xiuwan, 2002). برنامه‌ریزان ملی و محلی و مدیران شهری اغلب در این مورد با دغدغه‌هایی مواجه‌اند. در نتیجه تحلیل کاربری اراضی با استفاده از داده‌های دورسنجی در محیط GIS قادر است تا شناخت مناسبی از وضعیت موجود ارائه نماید و به پیش‌بینی این تغییرات در آینده بپردازد (Mendoza et al., 2011). از مدل‌های رایج در پیش‌بینی و تحلیل تغییر کاربری اراضی علاوه بر LCM می‌توان به مدل‌های Cellular, GEOMOD, ATCHOICE, CA-Markov Automata و زنجیره مارکوف اشاره نمود. در زمینه استفاده از این مدل‌ها چالش‌های زیادی مطرح است و در نتیجه، انتخاب یک مدل با دقت بالا دشوار به نظر می‌رسد (Olemedo et al, 2015).

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

با توجه به تعدد مدل‌ها و نظر به هم‌خوانی و انطباق نتایج یک مدل با واقعیت‌های زمین لازم است از قبل بررسی و دقت لازم صورت گیرد. با توجه به ماهیت داده‌های مورد استفاده در این تحقیق و اهداف مورد نظر در تحلیل تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری در این میان مدل LCM به‌عنوان یکی از مدل‌های رایج در مطالعات کاربری اراضی مدنظر است (Areendran et al., 2017). ماهینی و غلامعلی فرد (۲۰۰۷) مدل‌سازی توسعه شهری در شهر گرگان را با استفاده از روش مدل‌سازی شبکه خودکار و با بهره‌گیری از مدل SLEUTH¹ زیرمدل توسعه شهری را ایجاد نمودند و متغیر شیب را دارای اهمیت نسبی کم و متغیر فاصله از جاده‌ها را مؤثرترین متغیر در توسعه شهر گرگان نشان دادند. علی‌محمدی و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین طی ۲۴ سال در حومه شهر تهران را بررسی نمود. نتایج حاکی از گسترش بی‌رویه مناطق ساخته‌شده و تخریب شدید اراضی کشاورزی در منطقه است. پرزوغا و همکاران^۲ (۲۰۱۱) از مدل LCM برای مدل‌سازی تخریب و احیای جنگل‌های خزان‌کننده گرمسیری مکزیک بهره‌جسته و مدل‌سازی نیروی انتقال را با شبکه عصبی مصنوعی انجام داده‌اند و در زیرمدل احیا، زیرمدل جنگل‌زدایی و زیرمدل اختلال به‌ترتیب به صحت ۳۵٪/۲،۵۹٪/۲ و ۵۹٪/۶ به دست آمد. هایبو^۳ و همکاران (۲۰۱۱) پیش‌بینی کاربری اراضی را بر اساس سنجش از دور و مدل زنجیره مارکف انجام دادند. نتایج حاصل نشان داد که در منطقه مورد

¹ Slope, Landuse, Exclusion, Urban Extent, Transportation and Hillshade

² Perez-vega et al

³ Haiho

مطالعه تغییرات کاربری اراضی با توسعه صنعت به سرعت صورت می‌گیرد. لوردسا و همکاران^۱ (۲۰۱۱)، با استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک به شبیه‌سازی دینامیک پوشش اراضی در حوضه رودخانه دولسی آرژانتین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که به علت کاهش پوشش علفزار و تخریب اکوسیستم‌ها در اثر تشدید کشاورزی و چرای بیش از حد، شبیه‌سازی مجدد سناریوهای جایگزین می‌تواند به برنامه‌ریزی کاربری اراضی به‌منظور تولید و حفاظت اکوسیستم‌ها کمک کند. اولانی و همکاران^۲ (۲۰۱۲)، تغییرات کاربری اراضی ساحلی منطقه سلانگور مالزی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که عمدتاً فعالیت‌های کشاورزی باعث تغییر کاربری اراضی ساحلی بوده‌اند. تفری و همکاران^۳ (۲۰۱۳)، با استفاده از سنجش از دور و GIS به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در بالای حوزه آب‌خیز نیل در مصر پرداختند. نتایج نشان داد که ۴۶٪ از منطقه مورد مطالعه در طول ۵۲ سال گذشته انتقال پیدا کرده که بیشترین انتقال مربوط به تبدیل علفزار به کشتزار (۱۴/۱۸) و به‌دنبال آن تبدیل پوشش گیاهی چوبی و تالاب به مرتع (۳/۹ درصد) است. چن و همکاران^۴ (۲۰۱۳)، با استفاده از شاخص NDVI به‌دست آمده از تصاویر نشان دادند که روند تغییرات تیپ پوشش گیاهی در دو بازه زمانی مختلف متفاوت است.

در یک جمع‌بندی می‌توان دریافت که توسعه فیزیکی شهرها به‌صورت اجتناب‌ناپذیر است که استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و مدل‌های بررسی تغییر کاربری اراضی می‌تواند به برنامه‌ریزان کمک کند که آهنگ رشد شهرها را منطبق با اکوسیستم‌ها لحاظ کنند.

۳. مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

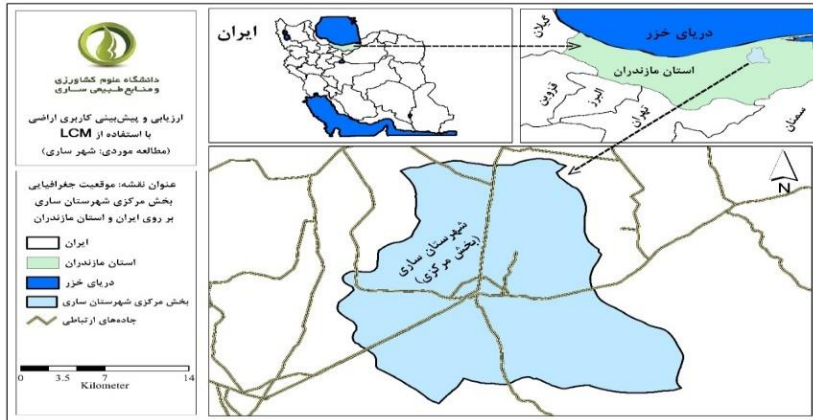
شهر ساری با مختصات ۵۲ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی به‌عنوان مرکز استان مازندران، از شمال به دریای مازندران، شرق به شهرستان میانرود، از جنوب و غرب به شهرستان‌های جویبار، قائمشهر و سوادکوه محدود است (شکل ۱).

^۱ Lourdesa et al

^۲ Olaniyi et al

^۳ Teferi et al

^۴ Chen et al



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهر ساری بر روی ایران و مازندران

تصاویر مورد استفاده

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده مطابق جدول ۱، تصویر سنجنده TM از ماهواره لندست ۵ مربوط به سال ۱۳۶۶، تصویر سنجنده TM از ماهواره لندست ۷ مربوط به سال ۱۳۸۰ و تصویر سنجنده TM از ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۲ هستند.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ردیف	ماهواره	سنجنده	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی	قدرت تفکیک مکانی (متر)	محل اخذ
۱	لندست ۵	TM	۱۳۶۶/۰۳/۲۴	۱۹۸۷/۰۶/۱۴	۳۰	سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا
۲	لندست ۷	TM	۱۳۸۰/۰۴/۲۹	۲۰۰۱/۰۷/۱۹	۳۰	سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا
۳	لندست ۸	TM	۱۳۹۲/۰۵/۰۸	۲۰۱۳/۰۷/۳۰	۳۰	سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا

تصحیح اتمسفری

برای رفع خطای اتمسفری در تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+ از ماژول تصحیح اتمسفری QUAC¹ در نرم‌افزار ENVI 5.1 استفاده شد. این ماژول با استفاده از شاخص‌های زمان و مکان و شاخص‌های فیزیکی دیگر، اقدام به تولید یک مدل انتقال تابشی با استفاده از MODTRAN4

¹ Quick Atmospheric Correction

می‌کند. از آنجا که این ماژول بر مبنای مدلی فیزیکی است، نسبت به مدل‌های تصحیح اتمسفری دیگر دقت بهتری دارد (خیرخواه زرکش و همکاران، ۱۳۹۲).

انتخاب باندها جهت ایجاد ترکیب رنگی کاذب و طبقه‌بندی نهایی

سنجندهای TM و ETM+ هر کدام با داشتن چندین باند در بخش مرئی و مادون قرمز تصاویر رنگی کاذب زیادی را ارائه می‌دهند و این تصاویر قابلیت زیادی در شناخت عوارض و پدیده‌های مختلف زمینی دارند (سلیمانی، ۱۳۹۸). به منظور صحت سنجی نقشه‌های تولیدی از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی با استفاده از ضریب کاپا و ضریب صحت کلی استفاده شد.

طبقه‌بندی تصاویر (Image Classification)

مرحله بعد انتخاب الگوریتم مناسب برای طبقه‌بندی است که از مراحل مهم در طبقه‌بندی است. در این تحقیق از الگوریتم حداکثر احتمال (Maximum Likelihood) استفاده شد (Richards, 1999). طبقه‌بندی حداکثر احتمال یکی از معروف‌ترین روش‌های آماری طبقه‌بندی است که جزء روش‌های پیکسل‌های پایه قرار می‌گیرد. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال در اکثر موارد دارای دقت بیشتری نسبت به طبقه‌بندی با الگوریتم‌های حداقل فاصله (Minimum Distance) و متوازی‌السطوح (Parallelepiped) است (Singh 1989). تعداد نمونه‌های تعلیمی برای هر کدام از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰، ۱۳۹۲ ۱۸۲ نمونه بودند، که ۷۰ درصد داده‌ها برای مرحله واسنجی و ۳۰ درصد آنها برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

ارزیابی نتایج طبقه‌بندی

پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، به شش کلاس کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، اراضی جنگلی اراضی مرتعی، باغات و اراضی مسکونی با توجه به ترکیب باندی مناسب انتخاب شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال، نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۲ به دست آمده و این نقشه‌ها با نقشه واقعی زمینی و عملیات‌های میدانی و نقشه‌های توپوگرافی و پرس و جوی محلی ارزیابی شده و پس از تشکیل ماتریس خطا^۱، ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی بر اساس معیارهای صحت کلی^۲، ضریب کاپا^۳، صحت تولیدکننده^۴ و صحت کاربر^۵ صورت گرفت (Van, 2007). از نظر تئوری احتمالات، دقت کلی نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی باشد. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه زیر به دست می‌آید (علوی‌پناه، ۱۳۸۶).

¹ Confusion Matrix

² Overall Accuracy

³ Kappa coefficient

⁴ Producers Accuracy

⁵ User Accuracy

$$OA = \frac{1}{N} \sum R_{ii} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه؛

OA = دقت کلی، N = تعداد پیکسل‌های آزمایشی، $\sum P_{ii}$ = جمع عناصر قطر اصلی ماتریس

به دلیل ایرادات وارد بر دقت کلی اغلب در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مدنظر است از شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد. شاخص کاپا از رابطه زیر محاسبه می‌شود (برادلی، ۱۹۹۷).

$$K = \frac{N \sum_k X_{kk} - \sum_k X_{k\Sigma} X_{\Sigma k}}{N^2 - \sum_k X_{k\Sigma} X_{\Sigma k}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در رابطه بالا؛

K = ضریب کاپا، N = تعداد کل پیکسل‌ها در تمام کلاس‌های حقیقت، $\sum_k X_{kk}$ = مجموع قطرهای ماتریس خطا و $\sum_k X_{k\Sigma} X_{\Sigma k}$ = مجموع پیکسل‌های حقیقت در یک کلاس ضرب در مجموع پیکسل‌های طبقه‌بندی شده در آن کلاس جمع شده با تمام کلاس‌ها.

در بخش مدل‌سازی، نیروی انتقال از یک کاربری (مثل جنگل) به کاربری دیگر (مانند کشاورزی) با توجه به متغیرهای توضیحی (مثل شیب، نزدیکی به جاده)، مدل می‌شود. به این مفهوم که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر چقدر پتانسیل دارد. در این مرحله سه سناریو طی دوره‌ها، متغیرها و همچنین نقشه‌های پتانسیل‌های مختلف در نظر گرفته شد. این سناریوها به ترتیب شامل سناریوی A طی دوره ۱۳۸۰-۱۳۶۶ با شش متغیر (مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، شیب، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جنگل، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه) و همچنین دارای ۱۰ نقشه پتانسیل‌های انتقال است. سناریوی B نیز طی دوره ۱۳۸۰-۱۳۹۰ با شش متغیر (مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، شیب، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جنگل، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه) و همچنین دارای ۱۰ نقشه پتانسیل‌های انتقال است. درنهایت، سناریوی C نیز طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۶۶ با شش متغیر (مدل رقومی ارتفاعی^۱ (DEM)، شیب، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جنگل، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه) و همچنین دارای ۱۰ نقشه پتانسیل‌های انتقال است (جدول ۲). هنگامی که متغیرهای مدل برای هر سناریو انتخاب شدند، هر انتقال با استفاده از رگرسیون لجستیک مدل‌سازی شد. نتیجه در هر یک از موارد یک نقشه پتانسیل برای هر انتقال است که بیان‌کننده زمان خاصی برای تغییر است. درنهایت، خروجی این قسمت یک نقشه پتانسیل تغییرات برای هر تغییر به‌عنوان بیانی از پتانسیل وابسته به زمان برای تغییرات است. همچنین جدولی را به‌دست می‌دهد که شامل ضرایب تمام متغیرها و مقدار (ROC^2) است. مقدار ROC بین ۰/۵ تا ۱ است و هم‌بستگی بین انتقال‌ها و متغیرها را نشان

^۱ Digital Elevation Model

^۲ Relative Operating Characteristic

می‌دهد. مقدار ROC به صورت کیفی شامل ۰/۹-۱ عالی، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط، ۰/۵-۰/۶ ضعیف است (Bradley, 1997). جدول (۲) سناریوهای مختلف جهت پیش‌بینی کاربری اراضی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- سناریوهای مختلف جهت پیش‌بینی کاربری اراضی

سناریو	تعداد متغیر	تعداد نقشه‌های پتانسیل انتقال
A	۶	۱۰
B	۶	۱۰
C	۶	۱۰

به طور کلی برای انتخاب متغیرهای مناسب برای ورود به مدل بایستی ابتدا متغیرهایی که گمان می‌رود می‌توانند ارتباط بین تغییرات را به خوبی توضیح دهند، تست شوند و در نهایت با توجه به ضریب هم‌بستگی کرامر به دست آمده از هر یک از متغیرها مناسب‌ترین متغیرها انتخاب شود. متغیرهای به کاررفته در این مطالعه عبارت‌اند از: ۱- مدل رقومی ارتفاع ۲- شیب ۳- فاصله از رودخانه ۴- فاصله از جاده ۵- فاصله از مناطق مسکونی ۶- فاصله از مناطق جنگلی. متغیر مدل رقومی ارتفاع، شیب، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از رودخانه به صورت متغیرهای استاتیک در نظر گرفته شدند و فاصله از مناطق از اراضی جنگلی، اراضی مسکونی و فاصله از جاده به صورت متغیر دینامیک (پویا با زمان) وارد مدل شدند (جوارییان شوشتری و همکاران، ۱۳۹۰). در نهایت از ضریب کرامر برای نشان‌دهنده ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی استفاده است (جدول ۳).

جدول ۳- نقشه‌های انتقال تهیه شده در سناریوهای مختلف

ردیف	انتقال	سناریو		
		A	B	C
۱	اراضی کشاورزی به اراضی مسکونی	✓	✓	✓
۲	اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی	✓	✓	✓
۳	اراضی کشاورزی به اراضی جنگلی	✓	✓	✓

صحت‌سنجی مدل پیش‌بینی‌کننده برای سناریوهای مختلف

ارزیابی و صحت‌سنجی مدل را برای سناریوهای مختلف با استفاده از آماره‌های کاپا شامل Kno، Klocation و Kstandard به ترتیب مربوط به مقادیر کاپای کلی، کاپای مطابق با مکان، کاپای مطابق با مقدار انجام شد. خطا و صحت پیش‌بینی مدل بر اساس نقشه‌های پوشش اراضی ۱۳۹۲ واقعیت زمینی، و ۱۳۹۲ حاصل از پیش‌بینی برای سناریوهای A، B و C برآورد شد و مقادیر پارامترهای صحت‌سنجی برای هر کدام از این سناریوها به دست آمدند. در نهایت، سناریویی که

بالاترین ضرایب مورد نظر را ارائه داد، به‌عنوان سناریوی مورد نظر جهت پیش‌بینی کاربری اراضی آینده انتخاب شد (یوان و همکاران ۲۰۰۵ و ۱۹۹۹).

۴. یافته‌ها و بحث

برای تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی کاربری‌های اراضی مسکونی، اراضی کشاورزی و اراضی جنگلی در محدوده‌ی مرکزی شهرستان ساری در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. به‌منظور ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدشده از معیارهای ضریب کاپا و ضریب صحت کلی استفاده شد. نتایج صحت‌سنجی نقشه‌ها در جدول (۴) ارائه شده داد.

جدول ۴- ضریب کاپا و دقت کلی مربوط نقشه‌ی تولیدشده

نام سنجنده	سال	باندهای مورد استفاده	الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)
TM	۱۳۶۶	۷-۱	حداکثر احتمال	۰/۸۸	۸۶/۷۸
TM	۱۳۸۰	۷-۱	حداکثر احتمال	۰/۸۹	۸۷/۴۲
TM	۱۳۹۲	۷-۱	حداکثر احتمال	۰/۹۰	۸۸/۱۸

مطابق جدول (۵) روند افزایش در کاربری اراضی مسکونی و روند کاهش در کاربری اراضی کشاورزی دیده می‌شود.

جدول ۵- مساحت طبقات کاربری‌های اراضی

سال	۱۳۶۶		۱۳۸۰		۱۳۹۲	
نام کاربری	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد
اراضی کشاورزی	۳۸۰/۵۷	۷۶/۳۹	۳۷۶/۵۵	۷۵/۶۲	۳۵۹/۹۲	۷۲/۲۶
اراضی جنگلی	۸۹/۳۳	۱۷/۹۳	۸۸/۴۵	۱۷/۷۶	۸۷/۵۳	۱۷/۵۷
اراضی مسکونی	۲۸/۳۰	۵/۶۸	۳۲/۹۴	۶/۶۲	۵۰/۶۴	۱۰/۱۷
کلی	۴۹۸/۲۰	۱۰۰/۰۰	۴۹۸/۲۰	۱۰۰/۰۰	۴۹۸/۲۰	۱۰۰/۰۰

ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی

در مرحله ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی نتایج صحت‌سنجی در جدول (۶) ارائه شده است (فاطمی و رضایی ۱۳۸۵). با توجه به این جدول مشخص می‌شود که بیشترین مقادیر صحت و پیرو آن کمترین مقادیر خطا مربوط به تصویر سال ۱۳۹۲ است. به‌طوری‌که مقادیر پارامترهای دقت کاربری، دقت تولیدکننده، خطای حذف‌شده و خطای گماشته‌شده برای تک‌تک کاربری‌های نسبت با سال‌های دیگر در کاربری‌های متناظر مقادیر بهتری را نشان می‌دهند.

جدول ۶- ارزیابی صحت طبقه بندی کننده الگوریتم حداکثر احتمال

سال	کاربری	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	خطای حذف شده	خطای گماشته شده
۱۳۶۶	اراضی مسکونی	۹۱/۱۶	۸۹/۰۰	۸/۸۴	۱۱/۰۰
	اراضی کشاورزی	۹۲/۳۷	۸۸/۱۳	۷/۶۳	۱۱/۸۷
	اراضی جنگلی	۹۲/۰۰	۸۹/۳۸	۸/۰۰	۱۰/۶۲
۱۳۸۰	اراضی مسکونی	۸۷/۱۲	۸۸/۷۴	۱۲/۸۸	۱۱/۲۶
	اراضی کشاورزی	۸۸/۹۸	۸۹/۲۱	۱۱/۰۲	۱۰/۷۹
	اراضی جنگلی	۹۰/۰۹	۹۰/۳۱	۹/۹۱	۹/۶۹
۱۳۹۲	اراضی مسکونی	۹۲/۱۴	۸۷/۰۰	۷/۸۶	۱۳/۰۰
	اراضی کشاورزی	۹۱/۸۰	۸۹/۱۳	۸/۲۰	۱۰/۸۷
	اراضی جنگلی	۹۱/۰۰	۹۱/۶۵	۹/۰۰	۸/۳۵

مدل سازی پتانسیل انتقال با رگرسیون لجستیک

پس از انتخاب زیرمدل‌ها و متغیرهای مناسب متغیرهای مدل رقومی ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده به صورت استاتیک و فاصله از جنگل، فاصله از اراضی مسکونی، به صورت دینامیک وارد مدل شدند و برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال از رگرسیون لجستیک استفاده شد. نتایج مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌های گوناگون به یکدیگر با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰ و برای دوره‌ها و یا سناریوهای مختلف زمانی در جدول (۷) نشان داده شده است. مطابق این جدول هم‌بستگی بین انتقال‌ها و متغیرها در دامنه ۰/۸۳۰۵ تا ۰/۸۶۹۲ برای سناریوی اول، ۰/۷۲۱۲ تا ۰/۸۸۳۴ برای سناریوی دوم و برای سناریوی سوم بین ۰/۷۰۱۰ تا ۰/۸۸۷۱ به دست آمد که نشان‌دهنده ارتباط بالا بین انتقال‌ها و متغیرهاست.

جدول ۷- رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی پتانسیل انتقال در دوره‌های مختلف

سناریو	انتقال	مقدار ROC
۱۳۶۶-۱۳۸۰	اراضی کشاورزی به اراضی مسکونی	۰/۸۶۹۲
	اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی	۰/۸۳۰۵
	اراضی کشاورزی به اراضی جنگلی	۰/۸۴۵۵
۱۳۸۰-۱۳۹۰	اراضی کشاورزی به اراضی مسکونی	۰/۸۸۳۴
	اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی	۰/۷۷۳۵
	اراضی کشاورزی به اراضی جنگلی	۰/۷۲۱۲
۱۳۶۶-۱۳۹۰	اراضی کشاورزی به اراضی مسکونی	۰/۸۸۷۱
	اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی	۰/۷۰۱۰
	اراضی کشاورزی به اراضی جنگلی	۰/۷۱۱۱

ارزیابی صحت مدل

به‌منظور ارزیابی و صحت‌سنجی مدل LCM، از نقشه‌ی کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده توسط مدل برای سال ۱۳۹۰ و نقشه‌ی واقعیت زمینی سال ۱۳۹۰ استفاده شده و سه فاکتور مهم کاپای کلی، کاپای تطابق ناشی از مکان و مقدار) محاسبه شدند نتایج مربوط به این بخش در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول (۸) ارزیابی صحت رگرسیون لجستیک در دوره‌های واسنجی مختلف

سناریو	دوره	تطابق ناشی از مکان (Klocation)	تطابق ناشی از مقدار (Kno)	کاپای کلی (Kstandard)
A	۱۳۸۰-۱۳۶۶	۰/۸۰	۰/۷۵	۰/۷۲
B	۱۳۹۰-۱۳۸۰	۰/۸۷	۰/۸۱	۰/۸۴
C	۱۳۹۰-۱۳۶۶	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۲

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

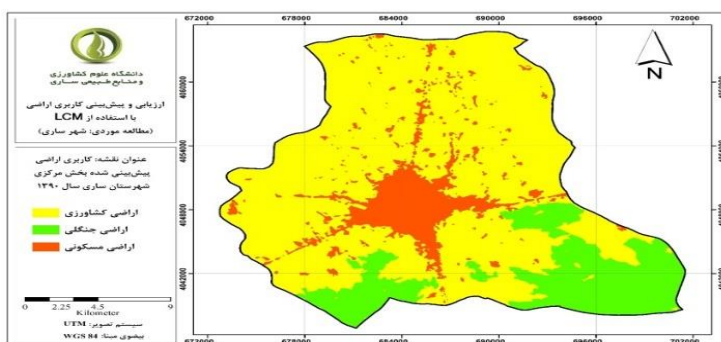
در این مرحله احتمال انتقال هر کاربری به سایر کاربری‌ها از سال مبدأ (سال‌های مربوط به ابتدای هر دوره یا سناریو، که شامل سال ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰ هستند) به سال پیش‌بینی (سال ۱۳۹۰) با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف در دوره‌های واسنجی مختلف (۱۳۶۶-۱۳۹۰، ۱۳۶۶-۱۴۰۴، ۱۳۹۰-۱۴۱۸ و ۱۳۹۰-۱۳۹۰) محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۹) آمده است. با توجه به جدول زیر مشخص می‌شود که احتمال انتقال از هر کاربری به سایر کاربری‌ها خیلی کمتر از احتمال انتقال هر کاربری به خود است. به‌عنوان مثال، احتمال انتقال اراضی کشاورزی از سال ۱۳۶۶ به اراضی کشاورزی سال ۱۳۹۰ برابر با ۰/۹۹۷۳ است. درحالی‌که احتمال انتقال همین کاربری در دوره‌ی مشابه به کاربری مسکونی برابر با ۰/۰۰۲۷ است. لازم به ذکر است که احتمال انتقال در مدل LCM با استفاده از زنجیره‌ی مارکف محاسبه می‌شود (Coppedge et al.).

جدول ۹- احتمال انتقال محاسبه‌شده با زنجیره‌ی مارکوف برای دوره‌های مختلف

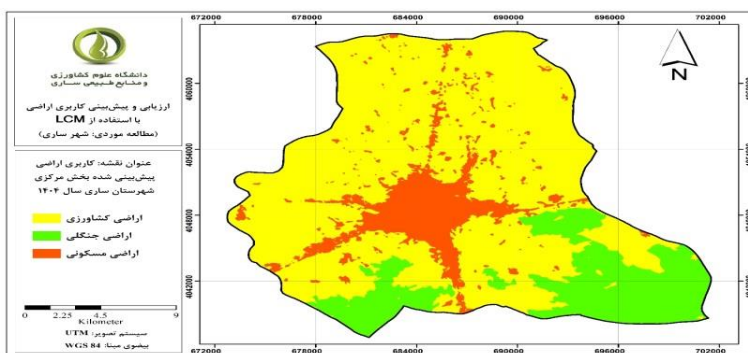
دوره ۱۳۶۶-۱۳۹۰			
اراضی کشاورزی	اراضی جنگلی	اراضی مسکونی	
۰/۹۹۷۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۲۷	اراضی کشاورزی
۰/۰۰۰۸	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۰۰	اراضی جنگلی
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	اراضی مسکونی
دوره ۱۳۹۰-۱۴۰۴			
اراضی کشاورزی	اراضی جنگلی	اراضی مسکونی	

۰/۰۳۴۷	۰/۰۰۰۰	۰/۹۶۵۳	اراضی کشاورزی
۰/۰۰۰۰	۰/۹۸۸۴	۰/۰۱۱۶	اراضی جنگلی
۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	اراضی مسکونی
دوره ۱۳۹۰-۱۴۱۸			
اراضی مسکونی	اراضی جنگلی	اراضی کشاورزی	
۰/۰۶۸۳	۰/۰۰۰۰	۰/۹۳۱۷	اراضی کشاورزی
۰/۰۰۰۱	۰/۹۷۷۰	۰/۰۲۳۰	اراضی جنگلی
۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	اراضی مسکونی

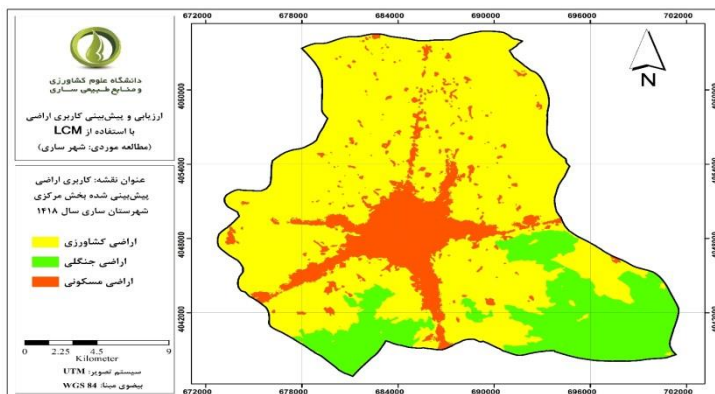
نتایج مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت برای سال ۱۳۹۰، ۱۴۰۴ و ۱۴۱۸ در اشکال ۳ تا ۵ نشان داده شده است. همچنین جدول (۱۰) نتایج حاصل از مساحت و درصد مساحت هر کدام از کاربری‌های موجود در نقشه‌های در دوره‌های مختلف زمانی را نشان می‌دهد. با توجه اشکال مذکور مشخص می‌شود که در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۸ روند افزایش در کاربری مسکونی و روند کاهشی در کاربری کشاورزی رخ خواهد داد.



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده مربوط به سال ۱۳۹۰



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده مربوط به سال ۱۴۰۴



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده مربوط به سال ۱۴۱۸

جدول ۱۰- مساحت کاربری‌های مختلف اراضی در دوره‌های مختلف آینده

۱۴۱۸		۱۴۰۴		۱۳۹۰*		سال
درصد	کیلومترمربع	کیلومترمربع	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	نام کاربری
۶۹/۸۳	۳۴۶/۸۸	۷۱/۰۴	۳۵۲/۹۰	۷۲/۲۱	۳۵۸/۷۲	اراضی مسکونی
۱۷/۵۷	۸۷/۲۸	۱۷/۵۷	۸۷/۲۸	۱۷/۵۷	۸۷/۲۸	اراضی جنگلی
۱۲/۶۰	۶۲/۶۲	۱۱/۳۹	۵۶/۵۹	۱۰/۲۲	۵۰/۷۸	اراضی کشاورزی
۱۰۰/۰۰	۴۹۸/۲۰	۱۰۰/۰۰	۴۹۸/۲۰	۱۰۰/۰۰	۴۹۸/۲۰	کلی

* کاربری این سال مربوط به کاربری پیش‌بینی شده با استفاده از مدل LCM است.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش پتانسیل‌سنجی توسعه فیزیکی شهر ساری با تأکید بر فاکتورهای مؤثر محیطی بررسی شد. این فاکتورها عبارت از نقشه شیب، نقشه مدل ارتفاع رقومی، نقشه فاصله از رودخانه، نقشه فاصله از جاده، نقشه فاصله از اراضی مسکونی و نقشه فاصله از اراضی جنگلی بودند. بدین ترتیب، با توجه به استخراج نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ می‌توان گفت که به‌طور کلی و با در نظر گرفتن این شش فاکتور مؤثر، کاربری اراضی و به‌طور دقیق‌تر، محدوده شهری ساری مربوط به سال‌های ۱۴۰۴ و ۱۴۱۸ پیش‌بینی شد. تغییرات مربوط به کاربری اراضی طی سال‌های مورد نظر با استفاده از مدل LCM پیش‌بینی گردید. از یافته‌های این پژوهش برمی‌آید که توسعه فیزیکی شهر ساری بیشترین سهم خود را از اراضی کشاورزی داشته است. لذا با توجه به استراتژیک بودن کشت برنج و نقش باغات در کنترل رواناب ناشی از بارش‌های تشدید می‌تواند ممکن است این روند از تغییرات مطابق پیش‌بینی‌های انجام‌شده تا سال ۱۴۱۸ امنیت کشاورزی و ساکنان شهری را با مخاطراتی مواجه سازد. از این رو می‌توان بیان داشت با توجه به

روند گسترش محدوده شهر ساری، این امکان برای برنامه‌ریزان و متولیان امور، از جمله شهرداری ساری فراهم می‌شود تا با داشتن لایه‌های اطلاعاتی و خروجی از مدل مورد استفاده، برنامه‌ریزی‌های خود را در جهت بهتر شدن و براساس خواسته مطلوب اجرا و مدیریت کنند. در مطالعه حاضر، آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در محدوده مرکزی شهر ساری با استفاده از رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکوف انجام پذیرفت که نتایج به دست آمده نشان از انطباق با واقعیت‌های زمینی دارد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مساحت اراضی کشاورزی به طور قابل ملاحظه‌ای روند کاهشی داشته که در پی آن منجر به افزایش سطح کاربری مسکونی با آهنگ رشد افزایش بوده است. یافته‌های این پژوهش با نتایج بسیاری از محققان، از جمله علی محمدی (۱۳۸۸)، پرزوغا و همکاران (۲۰۰۱)، رفیعی و همکاران (۲۰۰۹)، زانون و همکاران (۲۰۱۳)، ژوانگ و همکاران (۲۰۱۰)، هاهینی و غلامعلی فرد (۲۰۰۷)، سان و همکاران (۲۰۰۷)، پینتو و مارتینس (۲۰۱۳)، نوروژی همکاران (۱۳۹۱) و ماریاما (۲۰۱۱) هم‌خوانی خوبی را نشان داده است.

منابع

۱. جورابیان شوشتری، شریف؛ اسماعیلی ساری، عباس؛ حسینی، سید محسن و غلامعلی فرد، مهدی. (۱۳۹۲). کاربرد رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین شرق استان مازندران، *نشریه محیط زیست طبیعی*، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۶(۴): ۳۰۱-۳۶۳.
۲. خیرخواه زرکش، میر مسعود؛ درویشی، مهدی؛ آبکار، علی اکبر و احمدی، غلام رضا (۱۳۹۲) برآورد شاخص‌های پوشش گیاهی برنج با تصاویر چندزمانه راداری و اپتیک. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی* ۴۵ (۴): ۸۵-۹۶.
۳. سلیمانی کریم (۱۳۹۸). *اصول فیزیک سنجش از دور*. جزوه درسی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۴. علوی‌پناه، سید. کاظم؛ احسانی، امیر هوشنگ و امید، پرویز (۱۳۸۶). بررسی بیابان‌زایی و تغییرات کاربری اراضی پلاهای دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و چندطیفی، *مجله بیابان،* جلد ۹، شماره ۱، صص ۱۴۳-۱۵۴.
۵. علی‌محمدی سراب، عباس؛ موسیوند علی جعفر و شایان سیاوش (۱۳۸۸). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ای مارکوف. *مدرس علوم انسانی برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره چهاردهم، ۳، ۱۱۸-۱۳۰.
۶. فاطمی، سیدباقر و رضایی، یوسف (۱۳۸۵). *مبانی سنجش از دور* انتشارات آزاده ۲۵۷ صفحه.
۷. نوروزی، ملیحه؛ سلیمانی، کریم؛ شعبانی، مرتضی و وهاب زاده، قربان. (۱۳۹۱). *ارزیابی و بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM در حوضه آب‌خیز تجن و سیاهرود*. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. ۷۹-۸۰.
8. Areendran, G; Raj, K; Mazumdar, S & Sharma, A (2017). Land use and land cover change analysis for Kosi River wildlife corridor in Terai Arc Landscape of Northern India: Implications for future management. **Tropical Ecology**. 58 (1): 139-149.
9. Bradley, A.P. (1997), "The use of the area under the ROC Curve in the evaluation of machine learning algorithms," **Pattern Recognition**, 30, 1145-1159.
10. Chen H., Pontius Jr, R. G. (2013). Diagnostic tools to evaluate a spatial land change projection along a gradient of an explanatory variable. **Landscape Ecology**, 25(9):1319-1331.
11. Coppedge B. R., Engle D. M., Fuhlendorf S. D. (2007). Markov models of land cover dynamics in a southern Great Plains grassland region. **Landscape Ecology**, 22(9):1382-1393.
12. Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., and Lambin E. (2004). Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, 2(9): 1565-1596.
13. Haibo Y., Longjiang D., Hengliang G. and Jie, Z. (2011). Tai'an land use Analysis and Prediction Based on RS and Markov Model. **Procedia Environmental Sciences** 10:2625-2630.
14. Kaliraj, S; Chandrasekar, N; Ramachandran, K; Srinivas, Y & Saravanan, S. (2017) Coastal landuse and land cover change and transformations of Kanyakumari coast, India

using remote sensing and GIS. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**. 2: 169-185. <http://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.04.003>.

15. Lourdesa Li., Karinac Z., Pedrob La., Héctora M. and Néstorc M. (2011). A dynamic simulation model of land cover in the Dulce Creek Basin, Argentina dynamic in the Dulce Creek Basin. **Procedia Environmental Sciences** 7: 194–199.

16. Mahiny, A. S. and M. Gholamalifard. (2007). Dynamic Spatial Modeling of Urban Growth through Cellular Automata in a GIS Environment. **International Journal of Environmental Research** 1(3), 272-279.

17. Mendoza M.E., Eralopez G., Davide G., Diego R. and Vicent S. (2011). Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003). **Applied Geography**, 31 (1) : 250-237

18. Olaniyi A.O., Abdullah A.M., Ramli M.F. and Alias M.S. (2012). Assessment of drivers of coastal land use change in Malaysia. **Journal of Ocean & Coastal Management**, Vol. 67:113-123.

19. Olemedo, M. T. C; Pontius, R. G; Paegelow, M & Mas, J. F. (2015) Comparison of simulation models in terms of quantity and allocationof land change. *Environmental Modelling & Software*, 69:214-221. <https://doi.org/1016/j.envsoft.2015.03.003>.

20. Perez-Vega A., Mas J. and Ligmann-Zielinska A. (2012). Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. **Environmental Modelling & Software** 29 (1): 11-23.

21. Pinto, R. and F.C. Martins (2013), "The Portuguese National Strategy for Integrated Coastal Zone Management as a spatial planning instrument to climate change adaptation in the Minho River Estuary (Portugal NW-Coastal Zone)", **Environmental Science and Policy**, 33: 76-96.

22. Rafiee R., Salman Mahiny A. and Khorasani N (2009a) Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 11: 431-438.

23. Rafiee R., Salman Mahiny A., Khorasani N., Darvishsefat A.A. and Danekar A. (2009b). Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model (UGM). **Cities** 26(1):19-26.

24. Richards, J.A. (1999). **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Verlag. Berlin. pp 240.

25. Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely-senseddata, **International Journal of Remote Sensing**, 10, 989–1003.

26. Sun H., Forsythe W. and Waters N. (2007). Modeling Urban Land Use Change and Urban Sprawl: Calgary, Alberta, Canada. **Networks and Spatial Economics**, 7(4): 353-376.

27. Teferi E., Bewket W., Uhlenbrook S. And Wenninger, J. (2013). Understanding recent land use and land cover dynamics in the source region of the Upper Blue Nile. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 165(15): 98-117.

28. Van, P.A.J. (2007). Interpreting the change detection error matrix. **Remote Sensing of Environment**. 108 (1), 1-8.

29. Xiuwan, C. (2002) Using remote sensing and GIS analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development. *International Journal of Remote Sensing*, 23: 107-124. <https://doi.org/10.1080/01431160010007051>.
30. Yuan D., Elvidg C. and Lunetta R. (1999). Survey of multispectral methods for landcover change analysis. Remote Sensing change detection: **Environmental Monitoring Methods and Application**, 21-39.
31. Yuan F., Sawaya K. E., Loeffelholz B. C. and Bauer Bauer M.E. (2005). Land cover multitemporal Landsat remot sensing. **Remote Sensing of Environment**, 98(2-3): 317-328.
32. Zanon, B. and S. Verones (2013). Climate change, urban energy and planning practices: Italian experiences of innovation in land management tools. **Land Use Policy**, Vol. 32, pp. 343-355.
33. Zhang L., Chen X., Cai X. and Salim H. (2010). Spatial-temporal changes of NDVI and their relations with precipitation and temperature in yangtze river basin from 1981 to 2001. **Geo –spatial Information Science**, 13(3);186-190.