



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال ششم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۳
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.6, No. 2, Summer 2014

۹۹-۱۱۱

ارزیابی دقت زنجیره مارکوف در پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی

وحید راهداری*^۱، سعیده ملکی^۲، علیرضا سفیانیان^۳، سیما فاخران^۴

۱ و ۲. مربی دانشگاه زابل، دانشجوی دکتری محیط زیست - آمایش سرزمین، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه محیط‌زیست

۴. استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه محیط‌زیست

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۱

چکیده

زنجیره مارکوف مدلی است که از آن برای پیش‌بینی وضعیت آینده براساس نرخ تغییرات گذشته استفاده می‌شود. این روش براساس احتمال تبدیل یک نوع پوشش زمین به نوع دیگر است. این احتمالات براساس تغییرات گذشته تولید می‌شوند و برای پیش‌بینی آینده به کار می‌روند. هدف مقاله حاضر ارزیابی مدل مارکوف برای شبیه‌سازی تغییرات درصد تاج‌پوشش گیاهی است. برای تهیه نقشه پوشش گیاهی تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۳۶۸، سال ۱۳۷۷ و سنجنده LISS III ماهواره IRS برای سال ۱۳۸۵ از پناهگاه حیات‌وحش موته استفاده شد. به‌منظور پیش‌بینی وضعیت پوشش گیاهی در سال ۱۳۸۵ از مدل زنجیره مارکوف به‌وسیله نقشه‌های تهیه‌شده مربوط به سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ و در بازه زمانی ۹ ساله استفاده شد. دقت تمامی نقشه‌های تهیه‌شده در پژوهش ارزیابی شد. نقشه تهیه‌شده از تصویر سال ۱۳۸۵ برای مقایسه با نقشه تهیه‌شده از طریق مدل به کار گرفته شد. ضریب کاپا برای نقشه پیش‌بینی‌شده از زنجیره مارکوف در حد متوسط ۵۳ درصد بود. برای بررسی مناطق درست پیش‌بینی‌شده و قسمت‌هایی که باعث ایجاد خطای پیش‌بینی‌شده گردیدند، از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. نتایج نشان دادند به‌علت کاهش شدید درصد تاج‌پوشش گیاهی در اکثر مناطق و افزایش آن در مناطق قرق، این روش نتوانسته است با دقت مناسبی پیش‌بینی کند. اما این روش در مقیاس‌های کوچک، برای درک کلی از وضعیت آینده ارزشمند است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره مارکوف، تصاویر ماهواره، بررسی تغییرات، دقت پیش‌بینی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، دفتر ریاست دانشکده، تلفن: ۰۹۳۸۷۲۷۹۳۳۴

۱- مقدمه

کاربری اراضی در طول زمان قلمداد می‌شود. مدل‌های تغییر کاربری را می‌توان به سه گروه عمده مدل‌های تخمینی تجربی^۱، مدل‌های شبیه‌سازی پویا^۲، و مدل‌های شبیه‌سازی مبتنی بر قاعده^۳ تقسیم کرد (Falahatkar et al., 2011). مدل زنجیره مارکوف، از نوع مدل تخمین تجربی است (Zare Garizi et al., 2012).

زمانی که توصیف تغییرات بسیار سخت است، آنالیز مارکوف روش مناسبی برای بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی قلمداد می‌شود. افزون بر این، توانایی بالای این روش به‌خوبی می‌تواند تغییرات آینده را پیش‌بینی کند و پایه تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های آینده شود. هر فرایند مارکوف در جایی به‌کار گرفته می‌شود که بتوان وضعیت آینده یک سیستم را براساس وضعیت پیشین آن به‌طور کلی مدل‌سازی کرد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات زمین را از یک دوره به دوره دیگر بیان می‌کند و آن را به‌عنوان پایه‌ای برای پیش‌بینی تغییرات آینده به‌کار می‌گیرد. این کار با استفاده از تهیه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری و پوشش سرزمین از دوره‌ای به دوره دیگر انجام می‌شود، که از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی دوره‌های زمانی آینده استفاده خواهد شد. زنجیره مارکوف دنباله‌ای از فرایندهای تصادفی است که در آن نتیجه هر فرایند در هر زمان فقط به نتیجه فرایند در زمان مجاور آن بستگی دارد (Norris, 1997; Peterson et al., 2009).

مدل کومارکوف شبکه خودکار عاملی است که توانایی تغییر وضعیتش را براساس به‌کارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان می‌دهد، دارد. همچنین از فیلتر CA برای ایجاد یک فاکتور وزن‌دهی مجاورت مکانی به‌منظور تغییر وضعیت سلول‌ها براساس وضعیت همسایه‌اش استفاده خواهد شد (Balzter, 2000).

با توجه به اهمیت پوشش و کاربری اراضی به‌عنوان عاملی پویا و مؤثر بر شرایط زیستی، لازم است همواره اطلاعات کمی و کیفی دقیقی از آن تهیه و تغییرات مربوط به آن در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت تعیین شود. مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی، اطلاعات ارزشمندی را برای درک بهتر فرایند تغییر، تعیین عوامل مؤثر و پیش‌بینی مناطق در معرض تغییر فراهم می‌آورد (Kityuttachai et al., 2013).

تغییرات کاربری و پوشش اراضی از عوامل مهم در تغییر رژیم هیدرولوژیک، فرایندهای فرسایشی و وضعیت تنوع زیستی هستند. با پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مؤثر می‌توان هم‌سو با هدایت اکوسیستم به‌سمت مطلوب گام برداشت. تغییر کاربری و پوشش اراضی فرایند پویا و پیچیده‌ای است که از تلاقی سامانه‌های طبیعی و انسانی به‌دست می‌آید و اثرهای مستقیمی بر آب، خاک و هوا دارد (Rahdari et al., 2011).

در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع طبیعی و محیط‌زیست، آگاهی از نسبت تغییرات کاربری و پوشش اراضی و عوامل ایجادکننده آن ضروری قلمداد می‌شود. در این زمینه داده‌های سنجش از دور به‌دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند پوشش وسیع، بهنگام‌بودن، تکراری بودن، توان تفکیک طیفی، رادیومتریک و مکانی بالا، فرمت رقومی، و امکان پردازش رایانه‌ای قابلیت بالایی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و کاربری اراضی دارند (Jensen, 2007).

افزون بر مطالعه تغییرات، پیش‌بینی تغییرات آینده نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های آینده دارد. روش‌های گوناگونی برای مدل‌سازی تغییرات آینده کاربری اراضی و پوشش گیاهی وجود دارد (Memarian and Balasundram, 2012).

استفاده از مدل‌های تغییر کاربری و پوشش اراضی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی الگوی مکانی تغییرات

1. Empirical estimation
2. Dynamic models
3. Rule-base simulation models

ونگ (۲۰۰۱) نقشه پوشش گیاهی کوه‌های جیو جیو را در ۴ دوره تهیه کرد و در نهایت با استفاده از آنالیز مارکوف تغییرات زمانی و مکانی را برای آینده پیش‌بینی کرد. آنها نتیجه گرفتند که روش مارکوف برای مدل‌سازی پیش‌بینی تغییرات مناسب‌تر از سایر روش‌هاست (Weng, 2001).

فلاح‌تکار و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های MSS, TM and ETM+ تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان را برای سال‌های ۱۹۵۵، ۱۹۷۲، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ بررسی کردند و با استفاده از آنالیز کومارکوف تغییرات را برای آینده پیش‌بینی کردند (Falahatkar et al., 2011).

در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی روش مارکوف در پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی، از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده TM و LISS III استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

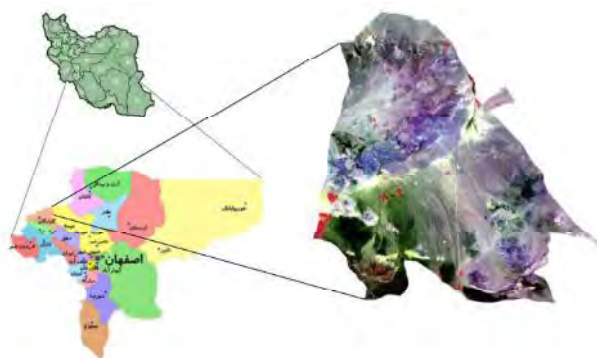
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

پناهگاه حیات‌وحش موته با ویژگی‌های طبیعی و غنای گیاهی و جانوری خاص خود در استان اصفهان به مساحت ۲۰۴۰۰۰ هکتار واقع شده است. این پناهگاه از شمال غربی به شهرستان میمه و از جنوب غربی به شهر دلیجان محدود می‌شود که در $98^{\circ} 44'$ تا $81^{\circ} 35'$ طول شرقی و $36^{\circ} 91'$ و $37^{\circ} 04'$ عرض شمالی قرار گرفته است. اقلیم منطقه به روش دومارتن، نیمه‌خشک قلمداد می‌شود. متوسط بارندگی منطقه ۲۶۳ میلی‌متر برآورد شده است. این منطقه از دو نوع زیستگاه کوهستانی در مرکز و جنوب منطقه و دشتی هموار تشکیل شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده را نشان می‌دهد. جدول ۱ برخی جوامع گیاهی اصلی پناهگاه حیات‌وحش موته را نشان می‌دهد.

روش CA شامل چهار مؤلفه N، S، L و F است. مؤلفه L مربوط به شبکه سلولی است که از سلول‌های منفرد تشکیل شده است و اجزای آن می‌توانند هر شکل هندسی‌ای داشته باشد ولی مهم‌ترین و پرکاربردترین شکل آن شبکه مربعی معمولی است. مؤلفه S مجموعه‌ای متناهی از مقادیر منتسب به سلول‌هاست که بیانگر وضعیت سلول‌ها در زمان مشخص است (مثلاً طبقات مختلف نقشه کاربری در یک سال معین). مؤلفه N مجموعه‌ای از سلول‌های همسایه تأثیرگذار بر سلول در حال بررسی است. مؤلفه F بیانگر تابع انتقال وضعیت است، که وضعیت سلول‌ها را قبل و بعد از بهنگام‌شدن با توجه به شرایط همسایگی تعیین می‌کند (Zare Garizi et al., 2012; Azarmehr et al., 2010).

مدل کومارکوف تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی (MOLA) است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی به‌کار می‌رود. ابتدا با به‌کارگیری مدل زنجیره مارکوف احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی انجام شده بین زمان T0 و T1 محاسبه می‌شود. خروجی مدل مارکوف (ماتریس تغییر وضعیت کاربری‌ها) از نظر ماهیت غیرمکانی است، یعنی در آن هیچ دانشی و آگاهی‌ای در خصوص موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین وجود ندارد. برای پیش‌بینی موقعیت مکانی کاربری‌های نقشه (پوشش و کاربری اراضی) در زمان T+1 تکنیک سلول‌های خودکار به همراه این مدل به‌کار گرفته می‌شود. بدین صورت که نقشه آینده کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های شایستگی تبدیل^۲ پوشش و کاربری با اعمال فیلتر مجاورت^۳ و طی فرایند تخصیص چندمنظوره اراضی تهیه می‌شود (Adhikari & Southworth, 2012). در واقع مدل کومارکوف مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر را در خصوص توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها، به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند (Falahatkar et al., 2011).

1. Multi-Allocation Objective Land
2. Transition suitability maps
3. Filter Contiguity



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
منبع: Rahdari, 2006

جدول ۱. جوامع اصلی پناهگاه حیات وحش موته

| | | | |
|-------------|----------|------------|------------|
| Acantolimon | Atriplex | Eremurus | Noaea |
| Alhagi | Carex | Euphorbia | Pteropyrum |
| Anabasis | Cousinia | Halocnemum | Peganum |
| Artemisia | Dorema | Hertia | Scariola |
| Astragalos | Ephedra | Limonium | Stipa |

منبع: Rahdari, 2006

گیاهی، با پلات به روش اندازه‌گیری دو قطر اصلی تاج پوشش گیاهی انجام گردید. با توجه به وسعت هر تیپ، دست کم ۵ پلات به فاصله ۱۰۰ متر از هم انداخته شد و کوشش شد که پلات‌ها از عوارضی مانند جاده‌ها، مناطق مسکونی و آبراه‌ها دست کم ۲۰۰ متر فاصله داشته باشند. ابعاد پلات‌ها با استفاده از روش حداقل مساحت مؤثر، ($3m \times 7m$) در نظر گرفته شد. مختصات مرکز هر پلات با استفاده از دستگاه GPS برداشت شد. اطلاعات هر پلات شامل: درصد تاج پوشش گیاهی برای تمام گونه‌های موجود در پلات، درصد سنگ و سنگ‌ریزه، خاک لخت برای ۲۹۰ پلات در اواخر اردیبهشت و اوایل خردادماه، اندازه‌گیری و یادداشت گردید. ۸۰ پلات برای بررسی نقشه‌های تهیه‌شده کنار گذاشته شدند.

۲-۲- داده‌های استفاده‌شده

در پژوهش حاضر از تصویر سنجنده LISS III ماهواره IRS-P6 مربوط به سال ۱۳۸۵ و تصاویر TM ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ استفاده شد. با توجه به وضعیت مناسب پوشش گیاهی در فصل بهار و ضرورت همزمان بودن نمونه‌برداری میدانی با برداشت تصویر از منطقه، به صورت برنامه‌ریزی شده برای محدوده زمانی نیمه اول خرداد سفارش داده شدند. در مطالعه حاضر از مدل رقومی ارتفاعی^۱ (DEM) ۲۵۰۰۰:۱ منطقه و در برداشت‌های میدانی از پوشش گیاهی منطقه استفاده شد.

۲-۳- نمونه‌برداری میدانی

در پژوهش حاضر مناطق مناسب برای برداشت اطلاعات صحرائی روی پوشش گیاهی با استفاده از تجربیات مطالعات گذشته و بازدیدهای میدانی مشخص شدند. هم‌زمان با برداشت تصویر نمونه‌برداری از پوشش

1. Digital Elevation Model

۲-۴- پیش‌پردازش تصویر

در پژوهش حاضر ابتدا تصحیح هندسی روی تصاویر LISS III با دقت مناسب و میانگین خطای مربعات (RMSe) کمتر از ۰/۸ پیکسل انجام شد؛ به این ترتیب که تصویر با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۴۰ نقطه کنترل با پراکنش مناسب زمین مرجع گردید، سپس سایر تصاویر به آن ثبت داده شدند. هنگام ثبت تصویر LISS III اندازه پیکسل‌های این تصویر به ۳۰ متر تغییر داده شدند. برای کنترل دقت تصحیح هندسی، موقعیت برخی عوارض مانند تقاطع جاده‌ها و آبراه‌ها روی تصویر و زمین کنترل شد. با توجه به کوهستانی بودن قسمتی از منطقه، تصحیح توپوگرافی با استفاده از DEM منطقه و اطلاعات همراه تصویر^۱ روی آنها اعمال گردید و تصحیح اتمسفریک روی تصویر انجام شد.

۲-۵- تهیه نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی

به منظور تهیه نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای موجود، شاخص‌های گیاهی $MSAVI_1$ ، $TSAVI_1$ ، PVI_1 ، $WDVI$ ، DVI و $SAVI$ بررسی شدند.

در تهیه شاخص‌های گیاهی $MSAVI_1$ ، PVI_1 ، PVI_{1-3} ، $WDVI$ ، $TSAVI_1$ و DVI از مفهوم خط خاک استفاده شد. برای این منظور ابتدا با توجه به برداشت‌های میدانی، تفکیک تاری روی شاخص $NDVI$ اعمال شد و لایه خاک از تصویر جدا گردید. سپس با استفاده از لایه خاک و انجام رگرسیون خطی بین باندهای قرمز به‌عنوان متغیر مستقل (X) و مادون قرمز نزدیک به‌عنوان متغیر وابسته (Y)، معادله خط خاک برای تولید شاخص‌های $MSAVI_1$ ، PVI_3 ، PVI_2 تهیه شد (رابطه ۱):

$$Y = 0.38 X + 0.72 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، X باند قرمز و Y باند مادون قرمز نزدیک هر تصویر است.

برای تهیه شاخص‌های $MSAVI_1$ ، $WDVI$ ، DVI ،

PVI_1 ، PVI رگرسیون خطی بین باندهای قرمز به‌عنوان متغیر وابسته و باند مادون قرمز نزدیک به‌عنوان متغیر مستقل انجام شد و معادله خط خاک تهیه گردید (رابطه ۲):

$$Y = 0.71 X + 0.23 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، X باند مادون قرمز نزدیک و Y باند قرمز هر تصویر است.

با استفاده از شیب خط^۲ و عرض از مبدأ^۳ معادلات خاک تهیه شده، اقدام به تولید شاخص‌های گیاهی مذکور با استفاده از دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک شد. همچنین شاخص $SAVI$ با اعمال ضریب خاک برابر ۰/۵ تهیه شد.

به منظور بررسی میزان همبستگی درصد تاج‌پوشش هر پلات با شاخص‌های گیاهی، تحلیل رگرسیون خطی ساده بین درصد تاج‌پوشش پلات‌ها به‌عنوان متغیر وابسته و مقادیر متناظر هر پلات در شاخص‌های گیاهی به‌عنوان متغیر مستقل انجام شد و ضریب توصیف (R^2) و همبستگی (r) آنها محاسبه و مدل‌های درصد تاج‌پوشش تهیه گردید. بین شاخص‌های گیاهی، شاخص $SAVI$ دارای بیشترین مقدار ضریب توصیف درصد تاج‌پوشش در منطقه بود، بنابراین برای تهیه نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی از این شاخص استفاده شد.

از آنجاکه امکان نسبت‌دادن مستقیم مقادیر نمونه‌برداری‌های تاج‌پوشش سال ۱۳۸۵ به سال‌های گذشته نبود، برای به‌دست‌آوردن معادله و تهیه نقشه پوشش گیاهی سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۶۸ فرض شد که این شاخص دارای همبستگی بالا با درصد تاج‌پوشش گیاهی در زمان‌های ذکر شده نیز هست. لذا تهیه نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی در سال‌های گفته شده با استفاده از شاخص $SAVI$ تهیه شده از تصاویر سال

1. Header File
2. Slope
3. Intercept

نیروهای مسلح و تصاویر کاذب رنگی استفاده شد. برای نقشه ۱۳۶۸ با استفاده از تفسیر بصری و تجربیات مردم محلی، مناطق کنترل مناسب روی تصویر FCC، به منظور تعیین دقت نقشه مشخص شدند. برای تمامی نقشه‌های تولیدشده، دقت کلی، شاخص کاپا و خطاهای کومیسسیون و اومیسسیون نیز محاسبه شد. نقشه پیش‌بینی شده نیز با استفاده از پلات‌های مشخص شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲-۷- پیش‌بینی وضعیت پوشش گیاهی

آنالیز مارکوف به منظور تهیه احتمال تغییر بین وضعیت‌ها استفاده شد. به این منظور ابتدا نقشه پوشش گیاهی سال ۱۳۶۸ به عنوان تصویر پایه و تصویر سال ۱۳۷۷ به عنوان تصویر دوم داده شد و با توجه به فاصله زمانی این دو تصویر در مدل مرتبط، فاصله بین تصاویر ۹ سال داده شد و با توجه به فاصله تصویر دوم از تصویر سال ۱۳۸۵ برای ۸ سال بعد، مقدار احتمال تغییر هر طبقه پوشش تهیه شد. سپس با استفاده از نتایج زنجیره مارکوف پردازش کومارکوف انجام گرفت. در این مرحله از یک فیلتر ۵ در ۵ هم استفاده شد و در نهایت تصویر پیش‌بینی شده برای سال ۱۳۸۵ تهیه گردید. مقایسه نقشه تهیه شده از پردازش کومارکوف و نقشه پوشش گیاهی تهیه شده از تصویر ماهواره در سال ۱۳۸۵ با بررسی مقدار مساحت‌های به دست آمده برای هر طبقه پوشش انجام شد. همچنین به منظور بررسی اختلافات، نقشه پیش‌بینی شده و واقعیت میدانی نقشه‌ها روی یکدیگر قرار داده شدند و تغییرات بین آنها به صورت بررسی تغییرات پس از طبقه‌بندی انجام شد.

۳- نتایج

در پژوهش حاضر به منظور کاهش اثر بازتاب خاک، از شاخص‌هایی استفاده شد که در آنها اثر خاک کاسته می‌شود. به این منظور شاخص‌های فاصله‌مبنا^۱ با تهیه معادله خاک و همچنین شاخص SAVI تهیه شدند.

۱۳۸۵، این گونه انجام شد که درصد تاج پوشش گیاهی در مناطق امن - که به دلیل حفاظت تاج پوشش تخریب نشده بودند و تفاوت چندانی با نتایج نمونه برداری سال ۱۳۸۵ ندارند - و همچنین مناطقی که دارای پوشش گیاهی نسبتاً ثابت مانند گز و نی بودند، به عنوان مقادیر بالای تاج پوشش انتخاب شدند. با مقایسه تصویر SAVI و FCC مربوط به تصویر سال ۱۳۸۵ و SAVI و FCC تصاویر زمان‌های مورد نظر، تاج پوشش آنها تخمین زده شد. سپس مقادیر متناظر نقاط انتخاب شده در شاخص گیاهی SAVI به دست آمد و با انجام آنالیز رگرسیون مشابه مرحله قبل، مدل‌های پوشش گیاهی برای هر تصویر تهیه شد.

با توجه به دامنه درصد تاج پوشش گیاهی که در نمونه برداری‌های میدانی از منطقه به دست آمد و مقادیر صفر تا ۱۰۰ را در مزارع کشاورزی شامل می‌شد، و با توجه به فراوانی مقادیر به دست آمده از نمونه برداری میدانی، مقادیر درصد تاج پوشش گیاهی به ۴ طبقه (۰ تا ۱۰٪، ۱۰ تا ۲۰٪، ۲۰ تا ۴۰٪ و بیش از ۴۰٪ درصد) تقسیم شدند. با استفاده از مدل تهیه شده از شاخص SAVI، آستانه بالای هر کلاس در شاخص گیاهی محاسبه شد. نقشه پوشش گیاهی با استفاده از آستانه‌های به دست آمده و اعمال کلاس بندی مجدد روی شاخص SAVI تهیه شد.

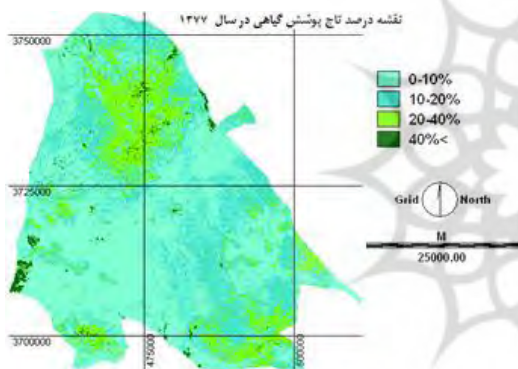
۲-۶- بررسی دقت نقشه‌های تهیه شده

بعد از تولید نقشه‌های پوشش و کاربری اراضی، برای سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۶۸، ۱۳۸۵ اقدام به بررسی میزان دقت نقشه‌های تولید شده با واقعیت زمینی شد. برای سال ۱۳۸۵ با رعایت حداقل فاصله زمانی از تاریخ برداشت تصویر، با انجام بازدید میدانی در بیش از ۸۰ پلات که به صورت سیستماتیک - تصادفی مشخص شده بودند، درصد تاج پوشش گیاهی اندازه گیری شد و موقعیت جغرافیایی نقاط کنترل زمینی برای هر کاربری با استفاده از GPS مجدداً ثبت شد. نواحی کنترل برای نقشه سال ۱۳۷۷ با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ چاپ دوم سال ۱۳۷۹ سازمان جغرافیایی

1. Distance Based

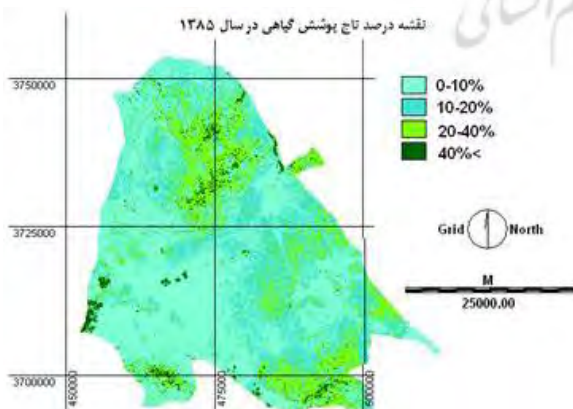
جدول ۲. مدل‌های تولیدشده با استفاده از شاخص‌های گیاهی

| Kappa.C | ضریب توصیف R ² | مدل پوشش گیاهی | نام شاخص گیاهی |
|---------|---------------------------|------------------------|--------------------|
| ۰/۷۹ | **۰/۷۸ | $66/7X + 64/Y = 392$ | SAVI |
| ۰/۷۸ | **۰/۷۷ | $89/3X + 24/Y = 179$ | NDVI |
| ۰/۷۵ | **۰/۷۶ | $43/41X + 125/Y = -97$ | RVI |
| ۰/۱۶ | **۰/۷ | $72X - 7/7/Y = 0$ | DVI |
| ۰/۲۱ | **۰/۶۹ | $Y = 1/26X - 7$ | PVI ₁ |
| ۰/۰۱۵ | **۰/۶۷ | $Y = 1/11X + 30/17$ | PVI ₂ |
| ۰/۰۸۷ | **۰/۶۳ | $Y = 0/89X - 14/46$ | PVI ₃ |
| ۰/۲۵ | **۰/۷ | $Y = 1/26X + 7/02$ | PVI |
| ۰/۷۸ | **۰/۷۷ | $Y = 164/97 + 33$ | TSAVI ₁ |
| ۰/۷۱ | **۰/۴۹ | $Y = 0/44X + 400$ | WDVI |
| ۰/۷۱ | **۰/۶۳ | $Y = 11/3-32/7$ | MSAVI ₁ |

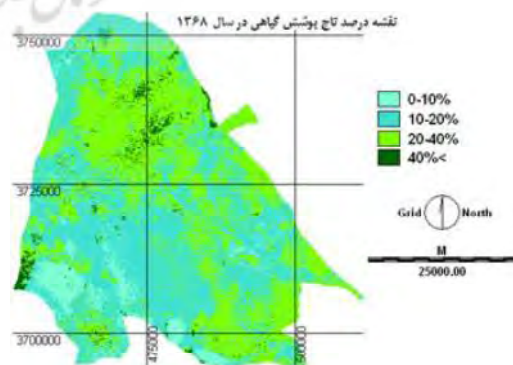


شکل ۳. نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی در سال ۱۳۷۷

جدول ۲، مدل پوشش گیاهی تهیه‌شده با استفاده از شاخص‌های گیاهی تهیه‌شده از تصویر LISS III را نشان می‌دهد. در این جدول، Y درصد تاج‌پوشش گیاهی و X مقدار عددی پلات در شاخص گیاهی است. در نهایت، نقشه پوشش گیاهی برای هر سه تصویر با استفاده از شاخص‌های گیاهی SAVI که دارای بیشترین ضریب توصیف درصد تاج‌پوشش گیاهی و بیشترین همبستگی با درصد تاج‌پوشش گیاهی بود، تهیه شد. شکل‌های ۲ تا ۴ به ترتیب نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۵ را نشان می‌دهند.



شکل ۴. نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی در سال ۱۳۸۵



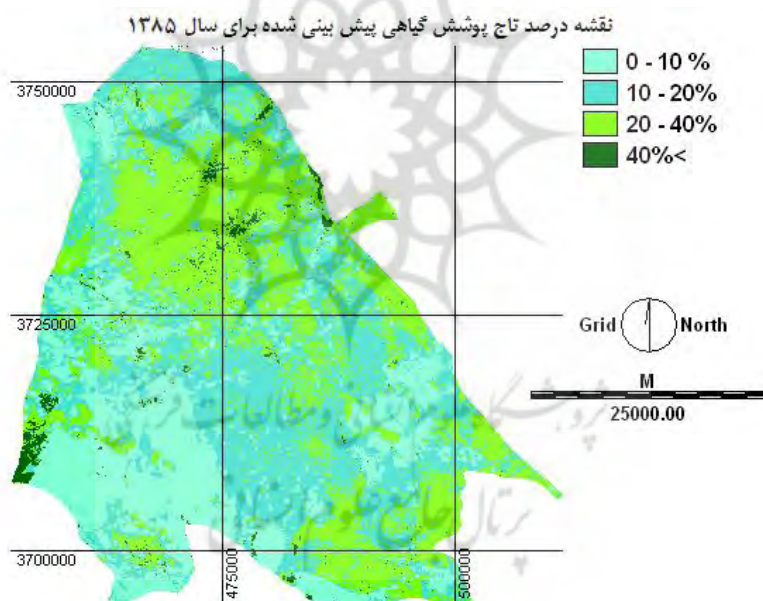
شکل ۲. نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی در سال ۱۳۶۸

سپس با انجام آنالیز کومارکوف و به‌کارگیری ماتریس تغییرات تهیه‌شده و با استفاده از یک فیلتر ۵ در ۵ نقشه پوشش گیاهی برای سال ۱۳۸۵ پیش‌بینی شد که در شکل ۵ نشان داده می‌شود. جدول ۴ مساحت هر طبقه تاج‌پوشش گیاهی برای نقشه‌های تهیه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای و آنالیز کومارکوف را نشان می‌دهد.

با استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ ابتدا با انجام آنالیز مارکوف ماتریس احتمال تغییرات به همراه احتمال تغییر هر پوشش به پوشش دیگر تهیه شد. جدول ۳، ماتریس احتمال تغییرات تهیه‌شده را با استفاده از نقشه پوشش گیاهی سال ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ به‌منظور پیش‌بینی نقشه پوشش گیاهی سال ۱۳۸۵ نشان می‌دهد.

جدول ۳. ماتریس احتمال تغییر پوشش اراضی تا سال ۱۳۸۵

| پوشش | پوشش | پوشش | پوشش | پوشش |
|----------------|---------------|---------------|-------------|-----------------------|
| صفر تا ۱۰ درصد | ۱۰ تا ۲۰ درصد | ۲۰ تا ۴۰ درصد | ۴۰ تا بیشتر | پوشش بیشتر از ۴۰ درصد |
| ۰/۹۶۷۹ | ۰/۰۰۹۴ | ۰/۰۲۱۲ | ۰/۰۰۱۵ | پوشش صفر تا ۱۰ درصد |
| ۰/۶۴۰۹ | ۰/۰۴۴۸ | ۰/۳۱۱۴ | ۰/۰۰۲۹ | پوشش ۱۰ تا ۲۰ درصد |
| ۰/۱۲۵۳ | ۰/۳۷۲۱ | ۰/۴۹۲۲ | ۰/۰۱۰۵ | پوشش ۲۰ تا ۴۰ درصد |
| ۰/۰۵۳۷ | ۰/۵۰۵۸ | ۰/۰۲۵۱ | ۰/۴۱۵۵ | پوشش بیشتر از ۴۰ درصد |



شکل ۵. نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی پیش‌بینی‌شده با استفاده از زنجیره مارکوف برای سال ۱۳۸۵

جدول ۴. مساحت طبقات تاج‌پوشش گیاهی برای نقشه‌های تهیه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای و آنالیز کومارکوف برحسب هکتار

| پیش‌بینی‌شده | سال ۱۳۸۵ | سال ۱۳۷۷ | سال ۱۳۶۸ | پوشش |
|--------------|----------|----------|----------|-----------------------|
| ۵۵۹۲۹ | ۹۶۲۲۶ | ۱۰۳۳۱۱ | ۱۳۰۰۶ | پوشش صفر تا ۱۰ درصد |
| ۷۸۵۷۴ | ۶۴۳۲۴ | ۶۵۲۵۳ | ۱۰۵۰۴۵ | پوشش ۱۰ تا ۲۰ درصد |
| ۶۶۱۶۸ | ۳۷۸۹۳ | ۳۲۹۲۹ | ۸۱۴۸۶ | پوشش ۲۰ تا ۴۰ درصد |
| ۳۸۵۱ | ۵۹۴۷ | ۲۹۰۰ | ۴۸۵۵ | پوشش بیشتر از ۴۰ درصد |

۳-۱- دقت نقشه‌های تهیه‌شده

بررسی دقت نقشه‌های تهیه‌شده با محاسبه ماتریس خطا انجام شد. جدول‌های ۵ و ۶ به ترتیب ماتریس خطای محاسبه‌شده برای نقشه سال ۱۳۸۵ و همچنین نقشه پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد. در مرحله بعد به منظور بررسی منابع خطا و میزان

خطا در نقشه پیش‌بینی‌شده، نقشه واقعی سال ۱۳۸۵ روی نقشه به‌دست‌آمده از زنجیره کومارکوف قرار داده شد و مکان خطاهای ایجادشده و مقدار آنها برحسب هکتار مشخص گردید. جدول ۷، مساحت مناطق صحیح پیش‌بینی‌شده و خطاهای موجود در نقشه پیش‌بینی‌شده را برحسب هکتار نشان می‌دهد.

جدول ۵. ماتریس خطای نقشه تهیه‌شده با استفاده از داده سنجنده LISS III برای سال ۱۳۸۵

| خطای کمسیون | مجموع | بیشتر از ۴۰ درصد | ۲۰ تا ۴۰ درصد | ۱۰ تا ۲۰ درصد | صفر تا ۱۰ درصد |
|--------------|--------|------------------|---------------|---------------|----------------|
| ۰/۱۴۴۲ | ۹۲۸۰۸ | ۱۸ | ۷۲ | ۱۳۲۹۱ | ۷۹۴۲۷ |
| ۰/۱۹۳۶ | ۴۲۴۴۵ | ۱۰۹ | ۵۰۰۱ | ۳۴۲۲۹ | ۳۱۰۶ |
| ۰/۰۸۷۹ | ۳۶۰۳۸ | ۹۲۳ | ۳۲۸۷۲ | ۱۸۸۶ | ۳۵۷ |
| ۰/۰۴۰۱ | ۲۲۵۱۴ | ۲۱۶۱۱ | ۸۷۸ | ۲۱ | ۴ |
| مجموع | ۱۹۳۸۰۵ | ۲۲۶۶۱ | ۳۸۸۲۳ | ۴۹۴۲۷ | ۸۲۸۹۴ |
| خطای اومسیون | ۰/۱۳۲۴ | ۰/۰۴۶۳ | ۰/۱۵۳۳ | ۰/۳۰۷۵ | ۰/۰۴۱۸ |

KAPPA= 0/80

جدول ۶. ماتریس خطای نقشه تهیه‌شده برای نقشه پوشش پیش‌بینی‌شده برای سال ۱۳۸۵

| خطای کمسیون | مجموع | بیشتر از ۴۰ درصد | ۲۰ تا ۴۰ درصد | ۱۰ تا ۲۰ درصد | صفر تا ۱۰ درصد |
|--------------|--------|------------------|---------------|---------------|----------------|
| ۰ | ۷۷۵۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۷۷۵۱ |
| ۰/۶۷۹۰ | ۱۹۷۸ | ۰ | ۰ | ۶۳۵ | ۱۳۴۳ |
| ۰/۶۲۴۳ | ۶۸۷۳ | ۲۱ | ۴۶۰۲ | ۲۰۴۳ | ۱۰۷ |
| ۰/۰۰۹۰ | ۱۲۲۱ | ۱۲۱۰ | ۰ | ۳ | ۸ |
| مجموع | ۱۷۸۲۳ | ۱۲۳۱ | ۲۵۸۲ | ۴۸۰۱ | ۹۲۰۹ |
| خطای اومسیون | ۰/۳۱۶۷ | ۰/۰۱۷۱ | ۰ | ۰/۸۶۷۷ | ۰/۱۵۸۳ |

KAPPA= 0/53

جدول ۷. مقایسه نقشه به‌دست‌آمده از زنجیره کومارکوف و نقشه واقعی میدانی سال ۱۳۸۵

| پوشش ۱۰ تا ۲۰ درصد | پوشش ۲۰ تا ۴۰ درصد | پوشش ۱۰ تا ۲۰ درصد | پوشش ۲۰ تا ۴۰ درصد | پوشش ۴۰ تا ۱۰ درصد |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| ۴۶۰۲۲ | ۳۸۶۱۱ | ۱۱۱۸۲ | ۳۷۰ | پوشش ۱۰ تا ۲۰ درصد |
| ۷۴۱۴ | ۲۹۳۵۱ | ۲۷۱۸۰ | ۳۵۵ | پوشش ۲۰ تا ۴۰ درصد |
| ۲۱۶۴ | ۹۹۲۹ | ۲۴۸۲۵ | ۹۵۳ | پوشش ۴۰ تا ۲۰ درصد |
| ۳۰۹ | ۶۴۳ | ۲۹۵۱ | ۲۰۳۹ | پوشش بیشتر از ۴۰ درصد |

۴- بحث و نتیجه‌گیری

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی مرتعی منطقه با پلات و به‌روش اندازه‌گیری دو قطر اصلی انجام شد. مساحت پلات‌ها در هر منطقه و تیپ گیاهی با استفاده از روش حداقل مساحت مؤثر انتخاب گردید. راهداری و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور بررسی پوشش گیاهی تالاب هامون از روش مشابهی برای تعیین اندازه پلات استفاده کردند. در این مطالعه کوشش شد از عوارضی مانند آبراه‌ها و جاده‌ها که تغییرات شدید و ناگهانی در وضعیت پوشش گیاهی ایجاد می‌کنند، حداقل فاصله ۲۰۰ متری از آنها رعایت شود (Rahdari et al., 2011). برای ایجاد همبستگی بین قدرت تفکیک مکانی سنجنده و برداشت‌های میدانی، نمونه‌برداری در تیپ گیاهی با درصد تاج‌پوشش همگن انجام شد. با رعایت این نکته، واریانس میزان درصد تاج بین پلات‌ها در هر محل نمونه‌برداری به حداقل رسید. بدین ترتیب این امکان فراهم شد که درصد تاج‌پوشش پلات‌های نمونه‌برداری شده به سطح وسیع‌تری از قدرت تفکیک مکانی ماهواره نسبت داده شود. خواجه‌الدین (۱۹۹۵) در مطالعات خود بر تناسب روش نمونه‌برداری و قدرت تفکیک مکانی سنجنده تأکید کرده است (Khajeddin, 1995).

با توجه به اینکه پناهگاه حیات‌وحش مونه در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع است، استفاده از شاخص‌هایی که از اثر بازتابش خاک پس‌زمینه می‌کاهند، باعث افزایش دقت نقشه‌های پوشش گیاهی تولیدشده گردید.

در این مطالعه پس از بررسی شاخص‌های مختلف گیاهی، از شاخص SAVI برای تهیه نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی برای سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۵ استفاده شد که دارای بیشترین ضریب توصیف درصد تاج‌پوشش گیاهی بود. با استفاده از مدل‌های به‌دست‌آمده برای تهیه نقشه درصد تاج‌پوشش گیاهی، نقشه درصد تاج‌پوشش منطقه در ۴ طبقه درصد تاج‌پوشش گیاهی به‌دست آمد. مسعود و همکاران

(۲۰۰۶) برای بررسی شورشدن خاک با استفاده از داده‌های +ETM و TM در منطقه‌ای بیابانی در نزدیکی دریای مدیترانه با استفاده از روش بررسی تغییرات پوشش زمین، اقدام به تهیه نقشه کاربری اراضی کردند. آنها برای تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه مطالعه‌شده و با توجه به بیابانی بودن منطقه، از شاخص SAVI به‌منظور کاهش اثر پس‌زمینه خاک استفاده کردند (Masoud et al., 2006). انتخاب طبقات با درصد تاج‌پوشش کمتر از ۱۰ درصد، ۱۰ تا ۲۰ درصد، ۲۰ تا ۴۰ درصد و بیش از ۴۰ درصد با توجه به تکرارپذیری این اعداد در نمونه‌های برداشت‌شده از درصد تاج‌پوشش گیاهی منطقه صورت گرفت.

با توجه به اینکه اطلاعات مربوط به سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ وجود نداشت، برای بررسی دقت نقشه‌ها از روش مقایسه بصری نقشه‌های تهیه‌شده با واقعیت میدانی سال ۱۳۸۵ و مقایسه تصاویر رنگی کاذب با ترکیب باندهای FCC: blue, green, red و همچنین مصاحبه با افراد محلی استفاده شد. راهداری و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند با توجه به دردسترس نبودن اطلاعات کافی از وضعیت گذشته منطقه، برای بررسی دقت نقشه‌های تولیدشده، از تصاویر رنگی کاذب سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۷۹، بررسی نقشه‌های توپوگرافی، و اطلاعات افراد بومی منطقه استفاده کردند (Rahdari et al., 2011). همچنین برای این منظور در ۴ درصد سطح منطقه نمونه‌برداری انجام شد. درویش‌صفت (۱۹۹۹)، حداقل مقدار پذیرفتنی برای بررسی نقشه‌های تهیه‌شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را ۴ درصد بیان کرد (Darvishsefat, 1999).

دقت نقشه‌های تهیه‌شده، از طریق ماتریس خطا، محاسبه ضریب کاپا و همچنین از طریق دقت کلی، خطای کمیسیون و اومسیون بررسی شد. در ماتریس خطا، عناصر روی قطر اصلی پیکسل‌هایی هستند که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند و تعداد پیکسل‌های با طبقه‌بندی صحیح روی قطر اصلی ماتریس خطا قرار گرفته‌اند. بررسی شاخص‌های محاسبه‌شده برای دقت

یکی از روش‌های بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی، روش مقایسه پس از طبقه‌بندی است. از مزایای روش مذکور این است که در آن علاوه بر نقشه تغییرات، ماتریس تغییرات هم تهیه می‌شود که در آن مناطق تغییر یافته و بدون تغییر با مساحت بیان می‌شود. ماتریس تغییرات، روند تغییرات را نیز نشان می‌دهد (Kamusoko & Aniyay, 2006). در پژوهش حاضر، نقشه واقعیت میدانی در سال ۱۳۸۵ و نقشه پیش‌بینی شده روی هم‌گذاری شدند. در ماتریس به‌دست آمده از این روی هم‌گذاری مناطق بدون تغییر، قسمت‌هایی هستند که در نقشه به‌دست آمده از زنجیره کومارکوف به‌درستی پیش‌بینی شده‌اند. این قسمت‌ها روی قطر اصلی ماتریس قرار گرفته‌اند. سایر قسمت‌های ماتریس مربوط به نواحی‌ای است که به‌اشتباه پیش‌بینی شده‌اند. در این ماتریس قسمت‌هایی که خطای نقشه پیش‌بینی شده را بالا می‌برند، مشخص شده‌اند.

بررسی جدول ۷ نشان می‌دهد که از نظر وسعت، تاج‌پوشش صفر تا ۱۰ درصد بیشترین شباهت را با واقعیت میدانی دارد. بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد که نقشه پیش‌بینی شده توانسته است تا ۵۱ درصد مساحت تاج‌پوشش طبقه اول را پیش‌بینی کند. اما جدول ۷ بیان می‌کند که فقط ۴۷ درصد از طبقه اول به‌درستی پیش‌بینی شده و ۴ درصد باقی‌مانده مربوط به طبقات دیگر تاج‌پوشش است که به‌اشتباه به پوشش گیاهی کمتر از ۱۰ درصد نسبت داده شده‌اند. همچنین ۴۰ درصد از مساحت طبقه اول در نقشه پیش‌بینی شده به طبقه دوم و ۱۱ درصد به طبقه سوم تاج‌پوشش نسبت داده شده بود. طبقه دوم تاج‌پوشش گیاهی ۲۲ درصد بیشتر از واقعیت میدانی پیش‌بینی شده است. جدول‌های ۵ و ۸ نشان می‌دهند که در این نقشه فقط ۴۵ درصد از پوشش گیاهی ۱۰ تا ۲۰ درصد به‌درستی و در محل صحیح خود و ۴۲ درصد از مساحت طبقه دوم تاج‌پوششی گیاهی به‌اشتباه به پوشش گیاهی ۲۰ تا ۴۰ درصد نسبت داده شده بود. همچنین ۶۵ درصد

نقشه‌ها نشان می‌دهد که آنها دقت مناسبی دارند. درویش‌صفت (۱۹۹۹)، ضریب کاپای ۸۵ درصد را مقدار پذیرفتنی برای نقشه‌های تهیه‌شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بیان می‌کند (Darvishsefat, 1999).

در ماتریس خطای نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۱۳۸۵، عناصر قطر اصلی مربوط به پیکسل‌هایی هستند که به‌درستی پیش‌بینی شده‌اند و سایر عناصر ماتریس، پیکسل‌هایی هستند که به‌اشتباه پیش‌بینی شده‌اند.

بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد که در سال ۱۳۶۸ بیشترین مقدار درصد تاج‌پوشش گیاهی مربوط به تاج‌پوشش طبقه دوم و در مرحله بعد مربوط به طبقه سوم درصد تاج‌پوشش گیاهی است که نشان از وضع نسبتاً مناسب مراتع در این دوره دارد. در سال ۱۳۷۷ بیشترین مقدار مساحت درصد تاج‌پوشش گیاهی به‌ترتیب مربوط به طبقات اول و دوم بود که نشان از روند تخریب مراتع و کاهش درصد تاج‌پوشش گیاهی بین سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ دارند. در سال ۱۳۸۵ هرچند بیشترین مقدار مساحت درصد تاج‌پوشش گیاهی به‌ترتیب مربوط به طبقات اول و دوم است، اما درمقایسه با پوشش گیاهی سال ۱۳۷۷ مقدار درصد تاج‌پوشش طبقه دوم کاهش یافته اما به مساحت طبقه سوم درصد تاج‌پوشش گیاهی افزوده شده است؛ که نشان از روند احیای مراتع در برخی از قسمت‌های پناهگاه و به‌خصوص در قسمت‌های قرق و چرامنوع دارد.

در نقشه پیش‌بینی شده با استفاده از زنجیره کومارکوف مقدار درصد تاج‌پوشش گیاهی بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی شده است. بررسی جدول ۷ نشان می‌دهد که در این نقشه بیشترین درصد تاج‌پوشش گیاهی منطقه، مربوط به طبقه دوم و در مرحله بعد طبقه سوم و طبقه اول و در آخر طبقه چهارم درصد تاج‌پوشش گیاهی است. در این نقشه پوشش گیاهی با تاج‌پوشش بیش از ۴۰ درصد کمتر از واقعیت میدانی برآورد شده است.

می‌دهد که پردازش کومارکوف و نقشه‌های تهیه‌شده با این روش نتایج نسبتاً خوبی را برای درک کلی از وضعیت احتمالی منطقه در اختیار مدیران قرار می‌دهند. در اینجا می‌توان به تأثیر مقیاس، وقوع پدیده‌هایی مانند خشکسالی، و تأثیرات انسانی روی نتایج زنجیره مارکوف اشاره کرد؛ که دقت پردازش زنجیره مارکوف را در این مطالعه کاهش داده‌اند.

۵- منابع

Adhikari, S., Southworth, J., 2012, **Simulating Forest Cover Changes of Bannerghatta National Park Based on a CA-Markov Model: A Remote Sensing Approach**, Remote Sensing, 4(10), PP. 3215-3243.

Azarmehr, M.R., Mesgary, M.S., Karimi, M., 2010, **Using GIS and CA Method in Spatio-temporal Simulation of Malaria Propagation**, Proceedings of Geomatics 89 (National Conference & Exhibition), 10 p.

Balzter, H., 2000, **Markov Chain Models for Vegetation Dynamics**, Ecological Modelling, 126, PP. 139-154.

Darvish Sefat, A., 1999, **Thematic GIS Data Based Maps Accuracy Assessment**, 5th Geographic Information System conference.

Falahatkar, S., Soffianian, A.L., Khajeddin, S.J., Ziaee, H.R., Ahmadi Nadoushan, M., 2011, **Integration of Remote Sensing Data and GIS for Prediction of Land Cover Map**, International Journal of Geomatics and Geoscience, 1, (4), PP. 74-83

Jensen, J.R., 2007, **Remote Sensing of The Environment: An Earth Resource Perspective**, Pearson Prentice Hall, 592p.

از طبقه سوم تاج‌پوشش گیاهی به‌درستی پیش‌بینی شده و ۲۶ درصد به طبقه دوم تاج‌پوشش نسبت داده شده بود. بنابراین بررسی صحت نقشه با توجه به مساحت‌های تهیه‌شده برای هر طبقه در مقایسه با واقعیت میدانی چندان صحیح به‌نظر نمی‌رسد، زیرا مساحت‌های نشان‌داده شده در هر طبقه ممکن است در اثر نسبت اشتباه یک طبقه به طبقه مورد نظر محاسبه شده باشد.

جدول ۷ نشان می‌دهد که بیشترین اشتباهات در پیش‌بینی نقشه در نسبت‌دادن پوشش طبقه اول به طبقه دوم و نسبت‌دادن پوشش طبقه دوم به طبقه سوم تاج‌پوشش گیاهی بوده است. بررسی نقشه‌های مربوط به سال ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ و همچنین جدول ۴ نشان می‌دهد یکی از دلایل بیشتر دیدن پوشش گیاهی در مدل مارکوف، زیاد بودن مساحت پوشش در طبقات دوم و سوم سال ۱۳۶۸ است. این مسئله باعث شد که پوشش گیاهی منطقه در طبقات دوم و سوم بیشتر پیش‌بینی شود، اما کم‌بودن نسبی مساحت طبقه چهارم تاج‌پوشش گیاهی در سال ۱۳۶۸ و کاهش بیشتر آن در سال ۱۳۷۷ باعث شد که تاج‌پوشش گیاهی در طبقه چهارم در نقشه پیش‌بینی شده کمتر از واقعیت باشد.

فلاح‌تکار و همکاران (۲۰۱۲) کاربرد این زنجیره را برای مناطق با مساحت چند هکتار با دقت بالا بیان کرده‌اند. زارع و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای برای پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه چهل‌چای استان گلستان با مساحت ۲۵۶۸۰ هکتار، از داده‌های ماهواره‌ای برای تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی استفاده کردند و به پیش‌بینی تغییرات با استفاده از زنجیره کومارکوف پرداختند و نتایج به‌دست‌آمده را مناسب توصیف کردند (Falahatkar et al., 2011).

در این مطالعه هرچند دقت نقشه پیش‌بینی شده برحسب شاخص کاپا ۵۳ درصد است - که عدد نسبتاً کمی به‌شمار می‌آید - بررسی جداول ۵ و ۶ و ۷ نشان

- Kamusoko C., Aniya, M., 2006, **Landuse/cover Change and Landscape Fragmentation Analysis in the Bindura District Zimbabwe**, Land Degradation & Development, 24, PP. 389-401
- Khajeddin, S.J., 1995, **Asurvey of the Plant Communities of the Jazmorian, IRAN**, Using Landsat MSS Data, university of reading.
- Kityuttachai, K., Kumar Tripathi, N., Tipdecho, T., 2013, **CA-Markov Analysis of Constrained Coastal Urban Growth Modeling: Hua Hin Seaside City, Thailand**, Sustainability journal, 5, PP. 1480-1500.
- Masoud, A.A., K., Koike, 2006, **Arid Land Sanilization Detected by Remotely-sensed Land Cover Changes: A case Study in the Siwa Region, NW Egypt**, Arid Environment, 66, PP. 151-167.
- Memarian, H., Balasundram, S.K., 2012, **Validation of CA-Markov for Simulation of Land Use and Cover Change in the Langat Basin, Malaysia**, Journal of Geographic Information System, 4, PP. 542-554.
- Norris, J.R., 1997, **Markov Chains**, Cambridge University Press, 237 p.
- Peterson, L.K., Bergen, K.M., Brown, D.G., Vashchuk, L. and Blam, Y., 2009, **Forested Land-cover Patterns Andtrends over Changing Forest Management Eras in the Siberian Baikal Region**, Forest Ecology and Management, 257, PP. 911-922.
- Rahdari, V., 2006, **Land Use/cover Change Detection in Mouteh Wildlife Refuge Using RS and GIS**, M.Sc. thesis, Isfahan University of Technology.
- Rahdari, V., Maleki, S., Afsari, K., Abtin, E., Piri, H., 2011, **Land Use and Land Cover Change Detection During 1987 to 2009 in Hamoun Wildlife Refuge Using Remote Sensing Data and Geographic Information System**, Iranian Remote Sensing & GIS, 3, (2), PP. 59-70.
- Shahidul Islam, M.D., Ahmed, R., 2011, **Land Use Change Prediction in Dhaka City Using GIS Aided Markov Chain Modeling**, journal of Life Earth Sci, 6, PP. 81-89.
- Zare Garizi, A., Sheikh, V., Sadoddin, A., Mahiny, A.R., 2012, **Simulating the Spatiotemporal Changes of Forest Extent for the Chehelchay Watershed (Golestan Province)**, using integrated CA-Markov model, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20 (2), PP. 89-98.
- Weng, Q., 2001, **Land use Change Analysis in the Zhujiang Delta of China Using Satellite Remote Sensing, GIS and stochastic modeling**, 64, PP. 273–284.