

پیش‌بینی روند تغییرات پوشش اراضی منطقه سیستان در سناریوهای مختلف آبیگری تالاب با استفاده از روش مارکوف - سلول‌های خودکار

مصطفی سالاری^۱، وحید راهداری^{۱*}، سعیده ملکی^۱ و رقیه کرمی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۲)

چکیده

تالاب بین‌المللی هامون شامل تالاب‌های سه‌گانه هامون هیرمند، صابری و پوزک و به‌صورت مشترک بین کشورهای ایران و افغانستان هستند. از سال ۱۳۷۸ و با دخالت‌های انسانی مانند سدسازی و توسعه کشاورزی، دوره طولانی‌مدت خشکسالی در این منطقه شروع شده است. هدف پژوهش حاضر، پیش‌بینی وضعیت تالاب هامون در سناریوهای همراه و بدون دخالت انسان در آبیگری تالاب با استفاده از مدل مارکوف - سلول‌های خودکار، برای سال ۱۳۹۸ و چهل سال آینده است. برای این منظور نقشه پوشش اراضی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM برای سال ۱۳۶۶ به‌عنوان سال نرمال و سال ۱۳۷۰ به‌عنوان ترسالی و سنجنده OLI برای سال ۱۳۹۸ به‌عنوان یک سال خشک و با اثر دخالت‌های انسان تهیه شد. سپس برای پیش‌بینی وضعیت سال ۱۳۹۸ بر اساس لایه‌های سال ۱۳۶۶ و ۱۳۷۰، در چهار سناریو مدل‌های پیش‌بینی تغییرات در مدت چهل سال در حالت‌های نرمال، ترسالی و خشکسالی تهیه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در صورت ادامه روند طبیعی آبیگری تالاب، در سال ۱۳۹۸، حدود ۳۶۲۷۳۵ هکتار از اراضی تالاب در زیر آب قرار داشت، درحالی‌که بر اساس نقشه پوشش اراضی در سال ۱۳۹۸، کمتر از ۵۰۰۰۰ هکتار از اراضی تالاب هامون، دارای آب بوده‌اند. با ادامه روند کنونی و اثر دخالت‌های انسان، ۱۱۲۳۰ هکتار از منطقه دارای آب بوده و این مقدار با مدل سال ۱۳۹۸ و در صورت ادامه روند طبیعی تالاب برابر با ۳۷۳۳۱۱ هکتار شد. نتایج تحقیق نشان‌دهنده وضعیت کاملاً متفاوت تالاب هامون در صورت عدم دخالت انسان در آبیگری این تالاب در سال ۱۳۹۸ و مدل چهل سال آینده است.

واژه‌های کلیدی: تالاب هامون، رودخانه هیرمند، دخالت انسان، خشکسالی

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، سیستان و بلوچستان، ایران.

۲. گروه اکوسیستم‌های طبیعی، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، پژوهشگاه زابل، سیستان و بلوچستان، ایران.

*. مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vahid_rahdari@yahoo.com

مقدمه

تالاب‌ها یکی از بارزترین و حاصلخیزترین اکوسیستم‌ها با تنوع زیستی زیاد در دنیا هستند که در اثر پدیده تغییر اقلیم، خشکسالی و دخالت‌های انسانی صدمات زیادی به منابع اکولوژیک بارز آن‌ها وارد شده است (۳ و ۲۰). بررسی وضعیت تالاب‌ها و مدل‌سازی تغییرات منابع اکولوژیک آن‌ها، می‌تواند توسط مدیران برای درک روند تغییرات پوشش اراضی و اتخاذ تصمیمات مؤثر انجام شود (۲ و ۴).

مدل‌سازی روشی است که با استفاده از آن، چارچوب علمی آنالیز سیستم‌های تغییر کاربری و پوشش اراضی از حالت توصیفی به کمی تغییر پیدا می‌کند (۱۰، ۱۶، ۱۵ و ۲۰). امروزه روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی وضعیت آینده کاربری و پوشش اراضی مانند مدل‌های مارکوف، آماری، سیستم‌های خبره و ترکیبی وجود دارد (۱۹ و ۲۷). ترکیب مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov)، یکی از مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی آینده تغییرات سطح زمین است (۱۲ و ۲۶). مدل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند (۸، ۱۴، ۱۷ و ۲۳). مدل سلول‌های خودکار با افزودن مشخصه مجاورت مکانی به مدل تصادفی زنجیره مارکوف، کاربری اراضی را برای سال‌های آینده را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل قادر به استفاده از خصوصیات مکانی و زمانی سطح زمین برای مدل‌سازی آینده است (۱۱، ۲۴ و ۲۸). در روش زنجیره مارکوف، پیش‌بینی آینده بر اساس وضعیت گذشته و روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی تا شرایط حال انجام می‌شود (۷ و ۲۲). پیش‌بینی آینده با استفاده از روش مارکوف با به‌کارگیری ماتریس احتمال انتقال و محاسبه احتمال انتقال، دگرگونی‌های کاربری و پوشش اراضی از یک بازه زمانی تا بازه زمانی دیگر انجام می‌شود که از آن به عنوان پایه مدل‌سازی آینده استفاده می‌شود (۱۵ و ۳۰). در روش مارکوف، اگرچه محاسبه احتمال انتقال در کاربری‌ها از دقت زیادی برخوردار است، اما اطلاعاتی از توزیع مکانی

مربوط به کاربری‌ها ندارد (۱ و ۴). مدل تصادفی زنجیره مارکوف بدون اطلاعات وابستگی مکانی است و از سوی دیگر، شبکه خودکار عاملی است که توانایی تغییر وضعیت خودش را بر پایه به‌کارگیری قانونی که وضعیت جدید را طبق وضعیت قبلی و وضعیت همسایه‌هایش نمایش می‌دهد و برای توسعه دارای یک فاکتور CA است (۲۴ و ۲۸). همچنین از فیلتر وزن‌دهی - مجاورت مکانی برای تغییر دادن وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌هایش استفاده می‌شود (۲۴).

داده‌های ماهواره‌ای به دلیل برداشت دوره‌ای تصویر در تهیه مدل زنجیره مارکوف استفاده می‌شود (۲۱ و ۲۹). اسماعیلی و اشکنجعی (۵)، حیدری‌زادی و محمدی (۱۱)، راهداری و همکاران (۲۶) و فتحی‌زاده و همکاران (۶)، در مطالعات خود با استفاده از سری تصاویر ماهواره‌ای و مدل CA-Markov، وضعیت به‌روز منطقه مطالعه خود را مدل‌سازی کردند و با مقایسه با نقشه کاربری و پوشش اراضی تهیه شده، اقدام به صحت‌سنجی مدل‌های تهیه شده کردند. آن‌ها به توانایی این روش در مدل‌سازی آینده سرزمین اشاره کردند. اسکندری و همکاران (۴) برای بررسی وضعیت آینده دریاچه ارومیه از مدل CA-Markov استفاده کردند. نتایج آن‌ها علاوه بر تأیید دقت این مدل در پیش‌بینی آینده، افزایش سطح اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی و کاهش سطح آب دریاچه را نشان داده است. در پژوهش‌های مرتبط با موضوع آینده‌پژوهی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، انتخاب مناسب و هدفمند داده‌ها دارای اهمیت است (۱۸، ۲۵ و ۲۶). راهداری و همکاران (۲۶) به نقش انتخاب مناسب تصاویر بر اساس هدف مطالعه در مدل‌سازی آینده با استفاده از روش مارکوف اشاره کرده‌اند.

تالاب هامون در جنوب شرق ایران، به عنوان بزرگترین تالاب نیمه شرقی ایران و بزرگترین تالاب آب شیرین کشور، یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های پرندگان آبی بوده و برای انسان منافع دارد. با توجه به تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی در بالادست رودخانه‌های تأمین‌کننده آب این تالاب، تغییرات زیادی در ساختار و کارکرد آن ایجاد شده است

تصویر سنجنده OLI در سال ۱۳۹۸ که بخش زیادی از تالاب در آن سال خشک بوده‌است، برای زمان پس از ایجاد سازه‌های آبی و اثر گذاری انسانی انتخاب شد (۲۰) (جدول ۱). همچنین با انجام مطالعات میدانی، از پوشش اراضی منطقه نمونه برداری شد و موقعیت آن‌ها ثبت شد. به علاوه از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه مربوط به سال ۱۳۹۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نتایج مصاحبه با افراد مطلع از وضعیت منطقه که در مجاور تالاب و مرز زندگی می‌کرده‌اند، داده‌های بارندگی از سال ۱۳۶۳ الی ۱۳۹۸ که از اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان تهیه شده بود، استفاده شد.

تهیه نقشه پوشش اراضی

برای تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای برای سنجنده TM با استفاده از ترکیب باندهای قرمز، سبز، آبی (RGB): باندهای ۳، ۴ و ۲ برای تصویر سنجنده OLI از ترکیب باندهای ۳، ۴، ۵ استفاده شد. برای تهیه مناطق تعلیمی برای طبقه بندی تصاویر ارزیابی دقت نقشه‌های تهیه شده، از بررسی بصری تصاویر استفاده شد. نقشه پوشش اراضی با اعمال طبقه بندی نظارت شده به روش بیشترین شباهت و استفاده از شاخص‌های گیاهی (NDVI) و به روش طبقه بندی ترکیبی برای تصاویر تهیه شده تولید شد. برای تهیه نقشه دقیق، همزمان با برداشت تصویر در سال ۱۳۹۸ با انجام بازدیدهای میدانی، ابتدا انواع پوشش اراضی منطقه شناسایی شد. سپس با حضور در بخش‌های مختلف تالاب، حداقل از ۴٪ سطح منطقه و از پوشش‌های اراضی در مناطق با پوشش همگن و به صورت سیستماتیک - تصادفی، نمونه برداری میدانی انجام شد و موقعیت هر کاربری یا پوشش با استفاده از GPS ثبت شد (۲۶). دقت نقشه‌های تهیه شده با محاسبه ضریب کاپا و صحت کلی برآورد شد. برای این منظور برای تصویر سال ۱۳۹۸، از نتایج مطالعات میدانی و برای سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۰، از بررسی نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ منطقه، مصاحبه با افراد محلی مطلع از گذشته منطقه در زمینه محیط زیست و تهیه تصویر رنگی کاذب و تفسیر بصری استفاده شد.

(۲۰). هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی وضعیت آینده تالاب هامون و منابع اکولوژیک آن در دو حالت با دخالت‌های انسان و بدون دخالت‌های انسانی با استفاده از مدل ترکیبی CA-Markov است.

مواد و روش

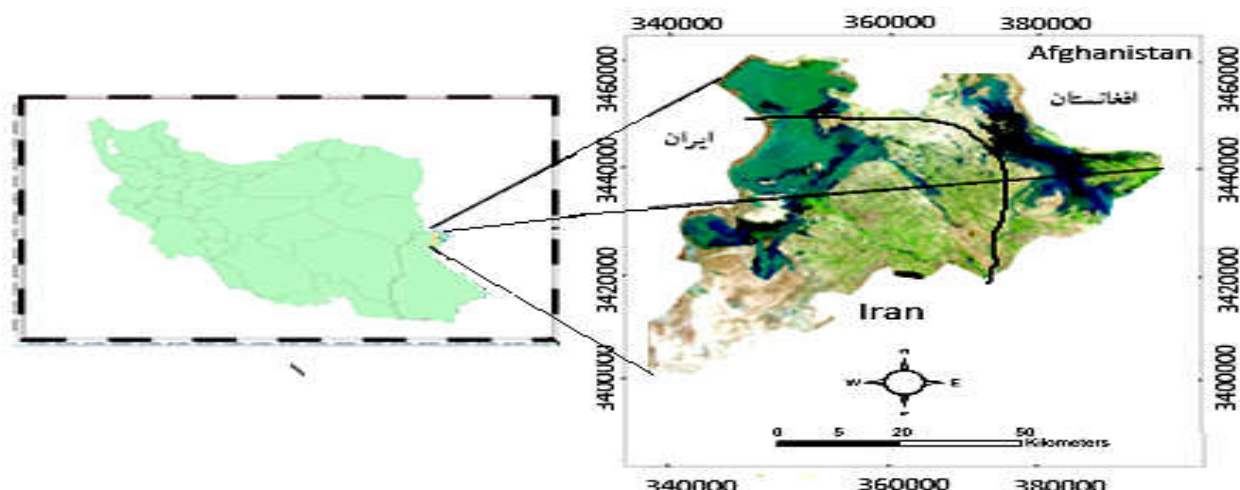
منطقه مورد بررسی

این مطالعه در هامون‌های سه گانه پوزک، صابری و هیرمند در گستره جغرافیایی ۶۰° ۵۶' تا ۶۱° ۴۳' طول شرقی و ۳۳° ۳۰' تا ۳۱° ۴۴' عرض شمالی در شمال استان سیستان و بلوچستان و غرب کشور افغانستان صورت گرفته است و منبع تأمین آب آن، رودخانه هیرمند و فراه رود است که منشأ آن‌ها در کشور افغانستان است. متوسط بارندگی منطقه کمتر از پنجاه میلیمتر و اقلیم آن به روش دومارتن، فوق خشک است. مهمترین عامل تهدید کننده این تالاب، کاهش ورودی رودخانه هیرمند به تالاب هامون و خشکسالی هیدرولوژیک است که در پی آن، فرسایش خاک و در نتیجه طوفان‌های گرد و غبار رخ می‌دهد (۲۰). از سال ۱۳۷۸، در اثر دخالت‌های انسانی در بالادست رودخانه هیرمند و ایجاد سازه‌های آبی و توسعه کاربری کشاورزی در بالادست، با کاهش ورودی آب رودخانه هیرمند به منطقه خشکسالی رخ داده است و پس از آن، تالاب هامون هرگز به صورت کامل آبیگری نشده است (۲۰). شکل ۱، منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش کار

داده‌های مورد استفاده

برای دستیابی به اهداف پژوهش حاضر، تصاویر سنجنده TM منطقه مربوط به اول فروردین ماه برای سال ۱۳۶۶ که منطقه دارای شرایط نرمال (نه خشک و نه کامل دارای آب) است، تصویر TM سال ۱۳۷۰ که تالاب به صورت کامل آبیگری شده است و سیل رخ داده در منطقه به عنوان تصاویری از وضعیت عدم مداخله انسان در آبیگری تالاب در نظر گرفته شده است و



شکل ۱. تالاب هامون در شمال استان سیستان و بلوچستان و جنوب غرب افغانستان

جدول ۱. مشخصات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده (۱۳)

سال	ماهواره	سنجنده
فروردین ۱۳۶۶	Landsat 4	TM
فروردین ۱۳۷۰	Landsat 5	TM
فروردین ۱۳۹۸	Landsat 8	OLI

شد اثرات تغییرات با منشاء انسانی در سیستم هیدرولوژیک رودخانه هیرمند بر روی تالاب هامون بررسی شود.

سناریوی اول: استفاده از لایه‌های پوشش اراضی سال ۱۳۶۶ که در آنها تالاب دارای شرایط نرمال (نه خشک و نه کاملاً آبیگری شده و لایه پوشش اراضی سال ۱۳۷۰ که در آن تالاب کاملاً آبیگری شده، برای پیش‌بینی سال ۱۳۹۸ به عنوان یک سال نرمال است.

سناریوهای دوم: پیش‌بینی سال آینده: این سناریوها در ۴ حالت انجام شدند که در حالت اول، برای نشان دادن اثر خشکسالی با شدت زیاد، از لایه‌های پوشش اراضی سال ۱۳۶۶ و لایه پوشش اراضی سال ۱۳۹۸ استفاده شد. در حالت دوم، نشان دادن خشکسالی با شدت کمتر که از لایه‌های پوشش اراضی سال ۱۳۷۰ (به‌عنوان یک تصویری که تالاب کاملاً دارای آب است) و تصویر حالت واقعی سال ۱۳۹۸ منطقه استفاده شد. در حالت سوم، از لایه‌های پوشش اراضی سال ۱۳۶۶ و لایه

مدل‌سازی آینده دشت سیستان با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار

در پژوهش حاضر برای مکان‌دار کردن تغییرات از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده شد. همچنین از نقشه‌های پوشش اراضی به عنوان ورودی مدل مارکوف به منظور پیش‌بینی موقعیت مکانی نقشه کاربری اراضی در آینده استفاده شد. با اعمال مدل ترکیبی مارکوف - سلول‌های خودکار، نقشه سال ۱۳۹۸ و نیز نقشه چهل سال آینده منطقه در چند سناریو پیش‌بینی شد. برای مدل‌سازی آینده، با توجه به اثرات تغییرات انسان در بالادست رودخانه هیرمند مانند توسعه اراضی کشاورزی و سازه‌های کنترل آب، حالت‌های مختلفی از جمله منطقه بدون بروز خشکسالی و بدون اثر دخالت‌های انسانی بر مقدار ورودی آب رودخانه هیرمند و منطقه با بروز خشکسالی و با اثر نقش انسان در ورودی آب رودخانه هیرمند، در سه سناریو در نظر گرفته شد. با طراحی این سناریوها، سعی

شکل ۵ نتیجه مدل‌سازی سال ۱۳۹۸ با استفاده از نقشه سال ۱۳۶۶ به‌عنوان سالی با شرایط معمول (نه خشکسالی و نه ترسالی) و سال ۱۳۷۰ به‌عنوان سالی که در منطقه سیل رخ داده است را نشان می‌دهد. در نهایت شرایط منطقه مورد مطالعه برای سال ۱۳۹۸ تحت شرایط نرمال و در صورتی که عوامل انسانی دخیل نباشد، پیش‌بینی شد که مساحت‌های هر یک از طبقات آن در جدول ۳ ارائه شده است.

سناریوهای مدل‌سازی ۴۰ سال آینده

شکل ۶-الف، نقشه پوشش اراضی منطقه در چهل سال آینده بر اساس شرایط ترسالی سال ۱۳۷۰ و شرایط فعلی در سال ۱۳۹۸ منطقه و همچنین شکل ۶-ب، نقشه پوشش اراضی منطقه در چهل سال آینده بر اساس خشکسالی فعلی و شرایط سال ۱۳۶۶، شکل ۶-پ، نقشه پوشش اراضی بر اساس شرایط ترسالی سال ۱۳۷۰ و مدل تهیه شده برای سال ۱۳۹۸ و شکل ۶-ت، نقشه پوشش اراضی بر اساس تصویر سال ۱۳۶۶ و مدل تهیه شده برای سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. جدول ۴، مساحت هر یک از طبقات کاربری و پوشش اراضی را در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد.

در نقشه‌های مدل‌سازی شده برای چهل سال آینده (جدول ۴)، بیشترین مقدار آب مربوط به مدل به‌دست آمده از نقشه پوشش اراضی تالاب در سال ۱۳۷۰ و خروجی مدل پیش‌بینی ۱۳۹۸ (شکل ۶-پ)، معادل ۳۹۱۲۰۸ هکتار است. از طرف دیگر، کمترین مقدار آب مربوط به شرایط مدل شده منطقه برای چهل سال آینده با استفاده از لایه پوشش اراضی سال ۱۳۶۶ و سال ۱۳۹۸، برابر ۱۱۲۳۰ هکتار است که نشان‌دهنده احتمال وقوع خشکسالی در چهل سال آینده است. از طرفی، بیشترین مقدار اراضی زیر کشت، مربوط به مدل تهیه شده از شرایط آنگیری کامل تالاب در سال ۱۳۷۰ و سال ۱۳۹۸ است. این پیش‌بینی با توجه به وابستگی کشاورزی منطقه به آب هیرمند و فراهم بودن زمین‌هایی برای کشاورزی که به زیر آب نرفته‌اند، منطبق با واقعیت است. کمترین مقدار کشاورزی

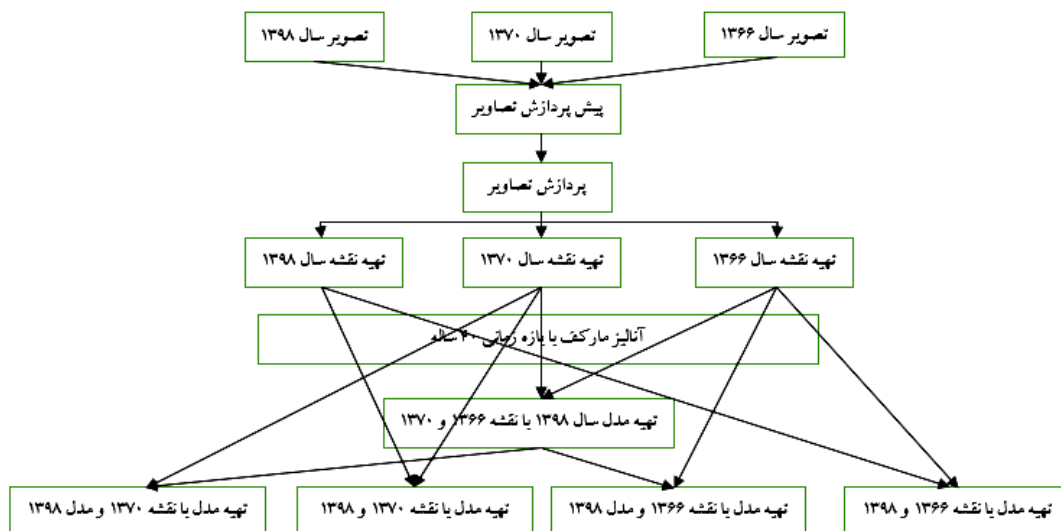
مدل‌شده سال ۱۳۹۸، برای نشان‌دادن حالت طبیعی منطقه و بدون دخالت انسان و در حالت چهارم از لایه‌های پوشش اراضی سال ۱۳۷۰ و تصویر مدل‌شده سال ۱۳۹۸ به‌عنوان حالت ایده آل و در شرایط ترسالی منطقه استفاده شد و در تمام حالت‌ها مدل برای چهل سال آینده، تهیه شد. مراحل انجام پژوهش حاضر در شکل ۲ نشان داده شده است.

نتایج و بحث

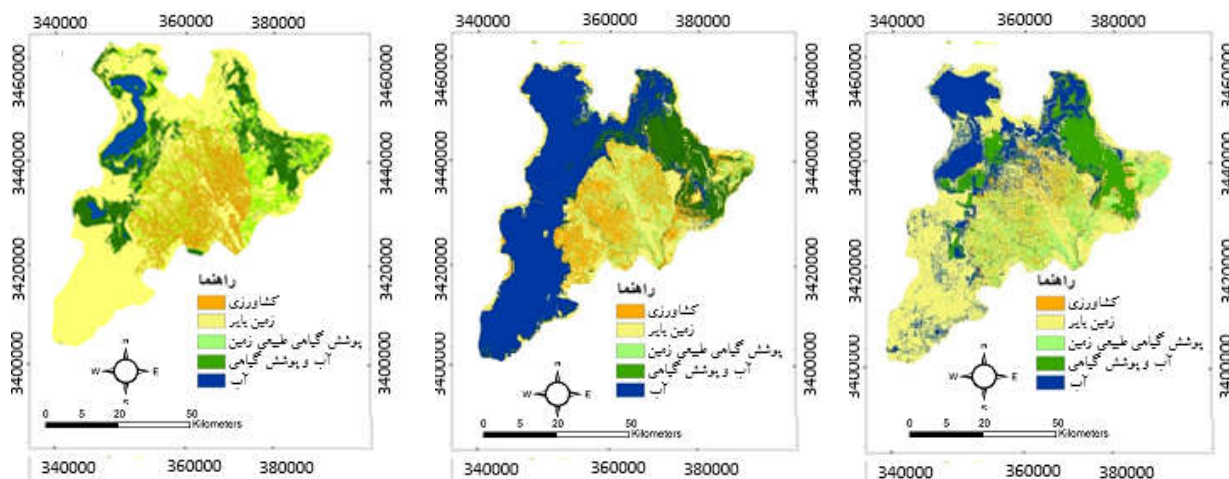
در این پژوهش، نقشه‌های پوشش اراضی با روش بیشترین شباهت تهیه شد که در شکل‌های ۳-الف برای سال ۱۳۶۶، ۳-ب برای سال ۱۳۷۰ و شکل ۳-پ برای سال ۱۳۹۸ نشان داده شده است. بررسی نقشه‌های پوشش اراضی تهیه شده نشان می‌دهد، در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۸ با ادامه روند خشکسالی، تالاب دارای کمترین مقدار آب بین سایر نقشه‌های تهیه شده است (شکل ۳). در نقشه‌های تهیه شده برای سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۰، به دلیل زیاد بودن ارتفاع آب، سطح پوشش گیاهی درون آب که در بستر تالاب هامون وجود دارد، در مقایسه با سال ۱۳۹۸ اندکی کمتر بوده است. نقشه پوشش اراضی سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۰ و ۱۳۹۸ در پنج طبقه پوشش اراضی شامل آب، پوشش گیاهی طبیعی زمین، آب و پوشش گیاهی، اراضی بایر و کشاورزی تهیه شد. نقشه‌های پوشش اراضی برای سال ۱۳۶۶، سال ۱۳۷۰ و سال ۱۳۹۸ به ترتیب در شکل‌های ۳-الف، ب و پ ارائه شده است. مساحت محاسبه شده هر یک از طبقات پوشش اراضی در سال‌های مطالعه نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲، ماتریس خطای تهیه شده برای نقشه سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد.

با مقایسه جدیدترین نقشه مربوط به سال ۱۳۹۸ با واقعیت میدانی، ضریب کاپای برابر ۰/۸۱ و صحت کلی برابر ۸۵٪ بدست آمد. نقشه تهیه شده از سایر تصاویر با مقایسه نقشه تهیه شده با تصاویر رنگی کاذب و نقشه‌های تهیه شده انجام شد که در هر دو نقشه سال ۱۳۶۶ و ۱۳۷۰، ضریب کاپای ۰/۸۲ و صحت کلی بیش از ۸۵٪ و ۸۷٪ محاسبه شد.



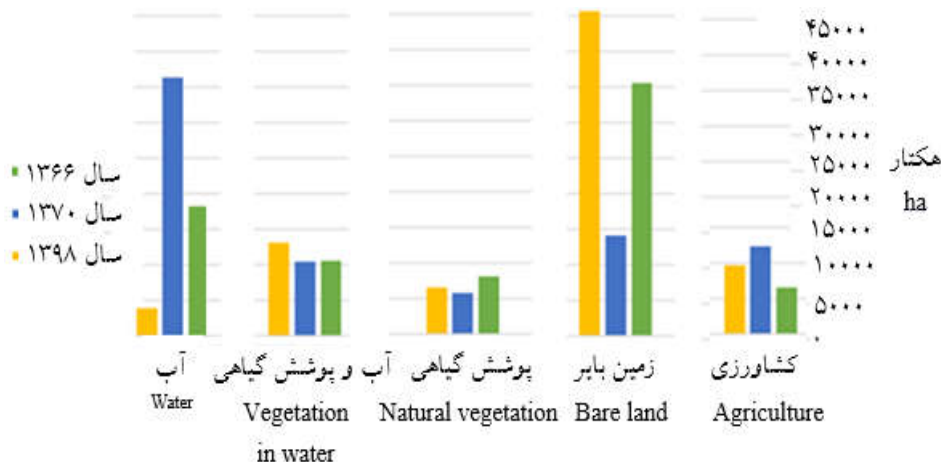
شکل ۲. مراحل انجام پژوهش حاضر



شکل ۳-ب. نقشه پوشش اراضی ۱۳۹۸

شکل ۳-ب. نقشه پوشش اراضی ۱۳۷۰

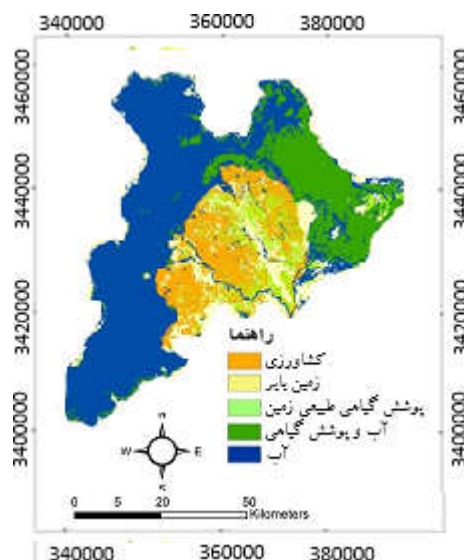
شکل ۳-الف. نقشه پوشش اراضی ۱۳۶۶



شکل ۴. مساحت هر یک از پوشش‌های اراضی

جدول ۲. ماتریس خطای نقشه کاربری و پوشش اراضی برای سال ۱۳۹۸

مجموع	آب	آب و پوشش گیاهی	پوشش گیاهی طبیعی	زمین بایر	کشاورزی		
۳۷۷۳	۰	۰	۷۳۹	۴۶۴	۲۵۷۰	کشاورزی	
۷۱۴۵	۰	۰	۲۱۰۰	۴۸۹۶	۱۴۹	زمین بایر	
۷۹۲۶	۸۱۷	۴۲۹	۵۳۱۷	۱۲۹۲	۱	پوشش گیاهی طبیعی	
۱۰۶۰۶	۰	۱۰۶۰۳	۳	۰	۰	آب و پوشش گیاهی	
۱۲۶۱۸	۱۲۶۱۸	۰	۰	۰	۰	آب	
۴۳۰۷۷	۱۳۵۰۵	۱۱۰۳۲	۸۱۵۹	۶۶۵۲	۲۷۲۹	مجموع	
					۸۵٪	صحت کلی:	۰/۸۱



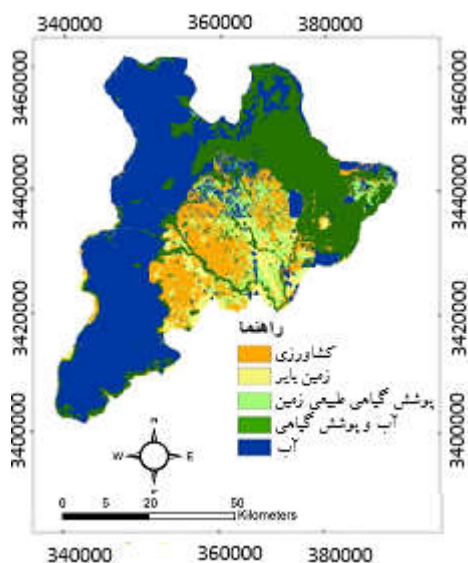
شکل ۵. نقشه مدل‌سازی پوشش اراضی پیش‌بینی شده برای سال ۱۳۹۸ (بدون خشکسالی)

جدول ۳. مساحت هر یک از طبقات پوشش اراضی پیش‌بینی شده برای سال ۱۳۹۸ بدون خشکسالی

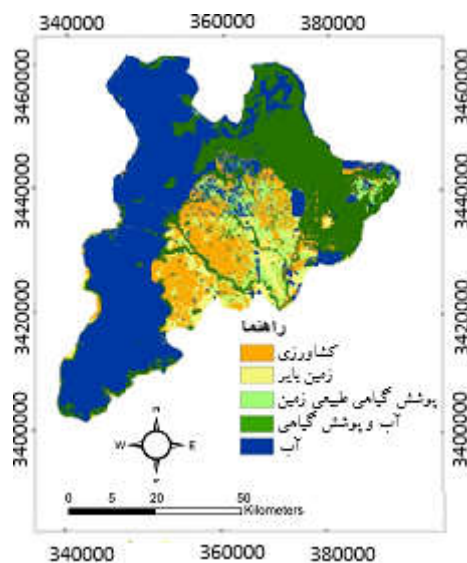
آب	آب و پوشش گیاهی	پوشش گیاهی طبیعی	زمین بایر	کشاورزی	طبقات کاربری و پوشش اراضی
۳۶۲۷۳۵	۱۰۴۵۲۱	۵۷۵۰۰	۱۴۰۳۶۶	۱۲۳۴۸۴	مساحت (هکتار)

مربوط به مدل‌سازی ۴۰ سال آینده، توسط نقشه ترسالی منطقه در سال ۱۳۶۶ و مدل سال ۱۳۹۸ و به دلیل ورود آب و احیا شدن پوشش گیاهی در سطح منطقه است با این تفاوت که مقدار آب در مقابل مدل به‌دست آمده از نقشه سال ۱۳۷۰ و مدل

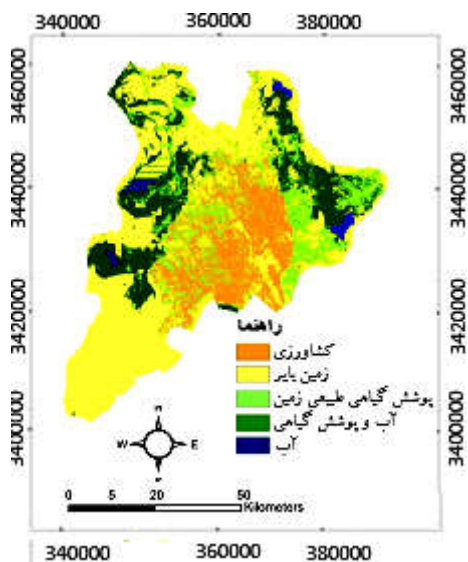
مربوط به مدل‌سازی ۴۰ سال آینده با شرایط آبیگری تالاب در سال ۱۳۷۰ و مدل پیش‌بینی ۱۳۹۸ برابر با ۱۰۰۲۰۹ هکتار است که دلیل آن، زیر آب بودن بسیاری از اراضی در اثر آبیگری و وقوع سیل در منطقه است. بیشترین مقدار آب و پوشش گیاهی



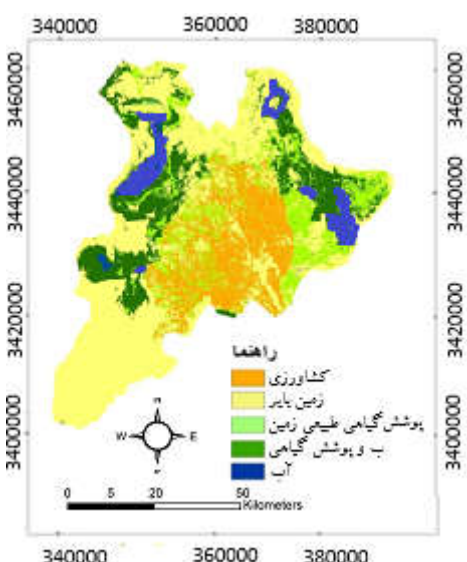
شکل ۶-ب. مدل بر اساس نقشه سال ۱۳۶۶ و نقشه ۱۳۹۸



شکل ۶-الف. مدل بر اساس نقشه سال ۱۳۷۰ و نقشه ۱۳۹۸



شکل ۶-ت. مدل بر اساس نقشه سال ۱۳۶۶ و مدل ۱۳۹۸



شکل ۶-پ. مدل بر اساس نقشه سال ۱۳۷۰ و مدل ۱۳۹۸

جدول ۴. مساحت طبقات پوشش اراضی در سناریوهای مختلف (هکتار)

کشاورزی	زمین بایر	پوشش گیاهی طبیعی	آب و پوشش گیاهی	آب	طبقات کاربری
۲۳۰۸۰۹	۴۹۱۴۱۵	۶۵۵۲۴	۸۹۷۷۹	۱۱۲۳۰	ترکیب سال ۶۶ و واقعیت ۱۳۹۸
۲۴۷۵۷۲	۳۸۴۵۰۳	۹۸۵۶۶	۱۱۴۲۱۰	۴۳۷۸۰	ترکیب سال ۷۰ و واقعیت ۱۳۹۸
۱۰۵۸۰۴	۴۹۷۱۱	۴۶۱۵۸	۲۱۳۴۲۷	۳۷۳۳۱۱	ترکیب سال ۶۶ و مدل ۱۳۹۸
۱۰۰۲۰۹	۵۴۰۰۷	۴۴۴۱۸	۱۹۸۸۱۳	۳۹۱۲۰۸	ترکیب سال ۷۰ و مدل ۱۳۹۸

خشک شدن آن، لزوم پیگیری حق آبه تالاب هامون برای حفاظت از کارکردهای مهم بین‌المللی آن را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

آنالیز کاربری‌های اراضی و مدل‌سازی انتقال آن‌ها، روش کاربردی برای مطالعات اکولوژیکی زیست‌محیطی و اقتصادی - اجتماعی به‌منظور تعیین مؤلفه‌های اصلی ساختارهای اکولوژیکی و کاربری و پوشش اراضی و نیز دستیابی به پیچیدگی‌های مکانی یک منطقه هستند. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند اصول مقایسه سناریوهای کاربری و پوشش‌های مختلف در دوره‌های مختلف را فراهم کند. نتایج این پژوهش نشان داد، تلفیق داده‌های سنجش‌ازدور، داده‌های مکانی و استفاده از روش CA-Markov به‌عنوان یک ابزار قدرتمند، می‌تواند در پیش‌بینی وضعیت آینده اکوسیستم‌های آبی و خشکی مورد استفاده قرار گیرد. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر شدید فعالیت‌های انسان در بالادست تالاب هامون از طریق تغییر در رواناب‌های رودخانه هیرمند است. براین‌اساس با ادامه روند خشکسالی در ۴۰ سال آینده، مناطق دارای آب تالاب هامون بسیار محدود و آب اندک وارد شده به تالاب نیز در سطح آن پخش می‌شود و علاوه بر توسعه طبقه پوشش گیاهی به همراه آب، به دلیل سطح بالای تبخیر سالیانه منطقه سیستان، آب به سرعت تبخیر شده و در نهایت تالاب با خشکی روبرو خواهد شد و همچنین در کارکردهای تالاب از جمله تأمین زیستگاه حیات وحش و کنترل گرد و غبار مشکل ایجاد خواهد شد.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه زابل از طریق پژوهانه به شماره Uoz-gr-4211 انجام شده است.

پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۸، کمتر است و امکان رویش گیاه در بستر تالاب وجود دارد. پیش‌بینی کمترین مقدار آب و پوشش گیاهی مربوط به مدل‌سازی ۴۰ سال آینده در شرایط نرمال سال ۱۳۶۶ و محدودیت منابع آب در نقشه پوشش اراضی واقعی سال ۱۳۹۸ معادل ۸۹۷۷۹ هکتار است. از آنجایی که بخش‌هایی از نقشه در زمان محدودیت آب دارای پوشش گیاهی هستند، اما در زمان آبیگری تالاب زیر آب رفته و جزء پهنه آبی محسوب می‌شوند و به‌عنوان مناطق آب یا آب به همراه پوشش گیاهی طبقه بندی می‌گردند، مقدار پوشش گیاهی طبیعی در خشکی به نسبت آبیگری تالاب متفاوت است. در بین مدل‌ها، بیشترین مقدار پوشش گیاهی داخل خشکی، مربوط به مدل تهیه شده با استفاده از لایه پوشش اراضی سال ۱۳۷۰ و لایه پوشش اراضی سال ۱۳۹۸ است که در این مدل به دلیل فراهم بودن آب و رطوبت خاک و آبیگری تالاب، پوشش گیاهی بیشتری در اراضی خشک و بدون آب توسعه پیدا کرده‌اند. تغییرات پیش‌بینی شده، تأثیرات جدی بر عملکرد و کارکردهای تالاب هامون و بخصوص از دیدگاه زیستگاه‌های حیات وحش و تثبیت خاک، خواهد داشت.

راهداری و همکاران (۲۶) و قوش و همکاران (۹) اشاره کردند، با وجود قابلیت روش CA-Markov در مدل‌سازی مناطق طبیعی و حفاظت شده، در نواحی که فعالیت‌های انسان از نظر تصمیمات یا اقدامات مدیریتی و یا توسعه‌ای دارای خطای زیاد است، سیاست‌های توسعه‌ای دولتی و تأثیرات انسانی در مدل در نظر گرفته نمی‌شود. فتحی زاد و همکاران (۶) با استفاده از مدل مارکوف اقدام به مدل‌سازی وضعیت مراتع و جنگل‌های غرب ایران نمودند. آن‌ها با توجه به پیش‌بینی مدل تهیه شده از تخریب جنگل‌ها، اقدامات جدی برای حفاظت از جنگل‌ها پیشنهاد نموده‌اند. در پژوهش حاضر نیز، نتایج مدلی که تأثیر دخالت‌های انسانی در چهل سال آینده را نشان می‌دهد، با توجه به مقدار تخریب رخ داده در کارکردهای تالاب در اثر

منابع مورد استفاده

1. Arabi ali abad, F., M. Zare and H. Ghafarian Malamiri. 2021. Land use change prediction using markov chain compilation model and automated cells (Case study: Shirkuh). *Geography and Development*. 19(62): 251-270 (in Farsi).
2. Asadzadeh, F., A. K. Khosravi, L. Parviz, H. Ramazanpour and M. Yaghmaeian. 2018. Prediction of the land use change using markov chain and cellular automata (case study: Roze Chay basin, Uremia). *Water and Soil Resource Conservation*. 8(91): 105-116 (in Farsi).
3. Azimi, S. M., O. Bazrafshan, T. Panaopolus and E. Rafiee Sardoe. 2020. Land use change modeling using artificial neural network and markov chain (Case study: Minab esteqlal dam watershed). *Natural Environment*. 73(1): 101-114 (in Farsi).
4. Eskandari. D. H., H. Gholami, H. Khosravi, N. R. Mahdavi, A. Khorani and G. Li. 2020. Modeling spatial and temporal changes in land-uses and land cover of the Urmia lake basin applying cellular automata and Markov chain. *Geography and Environmental Sustainability* 10 (35): 57-72 (in Farsi).
5. Esmaili, A and H. Ashjaei. 2019. Land use change modeling through markov chain by using of GIS and satellite imagery, case study: Ghom province. *Geography and Territorial Spatial Arrangement* 9(31): 153-172 (in Farsi).
6. Fathizad, H., N. Rostami and M. Faramarzi. 2015. Detection and prediction of land cover changes using Markov chain model in semi-arid rangeland in western Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 187 (10): 2-12.
7. Fathizad, H., M. Zare, H. Karimi and A. Khanamani. 2018. Spatio-temporal modeling of landscape changes using Markov chain compilation model and automated cells (Case study: Arid and semi-arid area dehloran). *Arid Biome* 8(1): 11-26 (in Farsi).
8. Fu, X., X. Wang and Y. J. Yang. 2018. Deriving suitability factors for CA-Markov land use simulation model based on local historical data. *Journal of Environmental Management*. 206: 10–19.
9. Ghosh, P., A. Mukhopadhyay, A. Chanda, P. Mondal, A. Akhand, S. Mukherjee, S. K. Nayak, S. Ghosh, D. Mitra and T. Ghosh. 2017. Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling—A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 5: 64–77.
10. Halmy, M. W. A., P. E. Gessler, J. A. Hicke and B. B. Salem. 2015. Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*. 63: 101–112.
11. Heidarizadi, Z and A. Mohamadi. 2016. Predicting the land use change using Markov- Cellular automata model in Mehran plain. *Desert Ecosystem Engineering*. 5(10): 57-68 (in Farsi).
12. Huang, Y., B. Yang, M. Wang, B. Liu and X. Yang. 2020. Analysis of the future land cover change in Beijing using CA–Markov chain model. *Environmental Earth Sciences*. 79(2): 1-12.
13. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
14. Joorabian, S. S., A. Esmaili-Sari, S. M. Hosseini and M. Gholamalifard. 2014. Application logistic regression and Markov Chain in land cover change prediction in east of Mazandaran province. *Natural Environment*. 66(4): 351-363 (in Farsi).
15. Iacono, M., D. Levinson, A. El-Geneidy and A. Wasfi. 2015. A Markov chain model of land use change. *TeMA Journal of Land Use Mobility and Environment*. 8(3): 263-276.
16. Kamusoko, C and M. Aniya. 2007. Landuse/cover change and landscape fragmentation analysis in the Bindura district Zimbabwe. *Land Degradation and Development*. 18(2): 221-233.
17. Kamusoko, C., M. Aniya, B. Adi and M. Manjoro. 2009. Rural sustainability under threat in Zimbabwe—Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Applied Geography*. 29: 435–447.
18. Kumar, S., N. Radhakrishnan and S. Mathew. 2020. Land use change modelling using a Markov model and remote sensing. *Geomatics Natural Hazards and Risk*. 5(2): 145-156.
19. Mahmoodabadi, S., A. Holisaz, H. Mohammadi kangarani and H. Gholami. 2020. Forecasting land use changes and land cover in Sirjan plain using Markov-Cellular model. *Quantitative Geomorphological Research*. 9(1): 102-116 (in Farsi)
20. Maleki S., V. Rahdari and A. Soffianain. 2022. Drought impact detection on wetlands in the arid area using Synthetic Aperture Radar data. *Arabian Journal of Geosciences*. 15(919): 1-13.
21. Mathanraj, S., N. Rusli and G. Ling. 2021. Application of CA-Marcov model in land-use /land cover change prediction for urban sprawling in batticaloa municipal council, Sri lanka. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 620(1): 95-104.
22. Memarian, H., S. K. Balasundram, J. B. Talib, C. T. B. Sung, A. M. Sood and K. Abbaspour. 2012. Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia. *Journal of Geographic Information System*. 4: 542-554.

23. Mirzaeizadeh, V., A. Mahdavi, A. Karmshahi and A. Jaefarzadeh. 2015. Application of an integrated CA-Markov model in simulating spatiotemporal changes in forest cover: A Case study of Malekshahi county forests, Ilam Province. *Ecology of Iranian Forest*. 3(5):42-52 (in Farsi).
24. Mohamed, A and H. Worku. 2020. Simulating urban land use and cover dynamics using cellular automata and Markov chain approach in Addis Ababa and the surrounding. *Urban Climate*. 31: 1-17.
25. Nguyen, T. A., P. M. T. Le, T. M. Pham, H. T. T. Hoang, M. Q. Nguyen, H. Q. Ta, H. T. M. Phung, H. T. T. Le and L. Hens. 2019. Toward a sustainable city of tomorrow: A hybrid Markov-Cellular Automata modeling for urban landscape evolution in the Hanoi city (Vietnam) during 1990-2030. *Environment, Development and Sustainability*. 21: 429-446.
26. Rahdari, V., S. Maleki, A. R. Soffianian and S. Fakheran. 2014. Evaluation of Markov method in vegetation change prediction using Remote sensing. *Iranian Remote Sensing and GIS*. 6(2): 99-111 (in Farsi).
27. Risma, H., H. Zubair and M. Paharuddin. 2019. Prediction of land use and land cover (LULC) changes using CA-Markov model in Mamuju subdistrict. *Journal of Physics: Conference Series*. 1341(8).
28. Taleshi, M., H. Afrakhteh and M. Rahimpour. 2018. Monitoring and simulation of land cover pattern in rural areas of East Guilan using Markov chain model & cellular automata. *Journal of Geographic Space*. 18(61): 295-316. (in Farsi).
29. Zare, M., A. Nazari, S. Khalighi, J. Bazrafshan and M. Hasan jory. 2017. Anticipating of spatial changes trend of land uses based on the cellular Automaton-Markov model in Kessillian watershed. *Range and watershed management*. 70(2): 373-383 (in Farsi).
30. Zare Garizi, A., V. Sheikh, A. Sadoddin and A. R. Salman Mahiny. 2012. Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay watershed (Golestan province), using integrated CA-Markov model. *Forest and Poplar Research*. 20(2): 273-285 (in Farsi)

Prediction of Hamoun wetland land cover changes in different scenarios of Sistan region using Markov-automatic cellular

M. Salari¹, V. Rahdari^{1*}, S. Maleki¹ and R. Karami²

(Received: April 18-2023 ; Accepted: July 3-2023)

Abstract

Hamoun international wetland includes the three wetlands of Hamoun Hirmand, Sabri, and Pozak and is shared between the countries of Iran and Afghanistan. A long period of drought has happened in this area by human interventions after 1999. The objective of current study is to predict the Hamoun wetland situation in scenarios with and without human intervention using the Markov model-automated cellular for 2019 and the next forty years. Land cover maps of the study area using satellite images for 1987 as a normal year, 1991 as a wet year, and 2019 as a year with human effects were prepared. Then, prediction model for 2019 were prepared using 1987 and 1991 cover layers in four scenarios, prediction models were prepared for the next forty years in normal, drought, and wet conditions. If the natural process of watering of Hamoun wetland continues, lower than 362735 hectares of wetland should become watering in 2019, while, according this year land cover map, less than 50000 hectares of wetland have water. Also, by continuation of the current trend and the effect of human activities in the 40-year models, 11230 hectares of the area will be watering, and if the natural process of the wetland continued using the model of 2019 this amount was equal to 373311 hectares. The results of the research show the completely different situation of the Hamoun wetland in the case of no human intervention in the watering of this wetland in 2019 and the model of the next forty years.

Keywords: Hamoun wetland, Hirmand river, Human intervention, Drought

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resource, University of Zabol, Sistan-va-Baluchestan, Iran.

2. Department of Natural Ecosystems, Hamoun International Wetland Institute, Research Institute of Zabol, Sistan-va- Baloochestan, Iran.

*: Corresponding author, Email: vahid_rahdari@yahoo.com