

کاربرد مدل پویایی سیستم برای پیش‌بینی اثرات اجرای سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر ساختار اکولوژیک سیمای منظر حوضه حبله‌رود

ابراهیم کریمی سنگچینی^{۱*}، مجید اونق^۲، امیر سعدالدین^۳، ناصر طهماسبی پور^۴ و حسین رضائی^۵

^۱ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ استاد گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳ دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۴ استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان و ^۵ استادیار گروه علوم اقتصاد، دانشگاه پیام نور واحد دامغان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۱۵

چکیده

در این تحقیق، کاربرد مدل پویایی سامانه برای پیش‌بینی اثرات اجرای سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر ساختار اکولوژیک سیمای منظر بررسی شد. رودخانه حبله‌رود در استان‌های سمنان و تهران قرار گرفته است. سناریوهای مدیریتی مورد بررسی شامل حفظ وضع موجود، ترانس‌بندی، تاغ‌کاری، بهبود پوشش گیاهی جوامع رودخانه، علوفه-کاری، کپه‌کاری، کنتورفارو، درخت‌کاری، قرق، بذریاشی، بذرکاری، باغ‌کاری و آگروفارستری می‌باشند. برای پیش‌بینی اثرات ساختار اکولوژیک با مدل پویایی سامانه، از شاخص‌های میانگین وزنی اندازه لکه پوشش گیاهی (WMPSI)، شاخص وزنی مساحت پوشش گیاهی (WLCAI) و نسبت جوامع حاشیه رودخانه (RPI) استفاده شد. عدم قطعیت شاخص‌ها با روش بوت‌استرپ بررسی شد. اثرات اکولوژیک سناریوهای مدیریتی با استفاده از شاخص‌های فوق پیش‌بینی شد و سناریوهای برتر با استفاده از مدل پویایی سامانه انتخاب شدند. نتایج مدل اکولوژیک ساخته شده با مدل پویایی سامانه نشان داد، در شاخص WMPSI، درخت‌کاری و تاغ‌کاری، در شاخص WLCAI، بذریاشی و بذرکاری و در شاخص RPI، بهبود پوشش گیاهی جوامع رودخانه و تاغ‌کاری سناریوهای برتر هستند. سناریوهای بهبود پوشش گیاهی جوامع رودخانه و بذریاشی بالاترین اولویت را در ترکیب شاخص‌ها به خود اختصاص دادند. شاخص‌های WLCAI و RPI به ترتیب با ضریب تغییرات ۰/۲۸ و ۰/۴۵، دارای کمترین و بیشترین عدم قطعیت هستند. مدل‌های پویایی سامانه قادرند، اثرات اجرای سناریوهای مدیریتی مختلف را پیش‌بینی کنند. بدین ترتیب اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری و مدیریت در مقیاس آبخیز فراهم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اثرات اکولوژیک، سناریو برتر، شاخص‌های اکولوژیک، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، رودخانه حبله‌رود

مقدمه

شناخت دقیق عناصر متشکله این سامانه‌ها آشکار می‌شود. از سوی دیگر سامانه‌های اکولوژیک سامانه‌هایی پویا هستند که حالت آن‌ها با زمان و طی یک رفتار پیچیده تغییر می‌کنند. بنابراین، درک و تعیین

هدف اصلی تحلیل‌های اکولوژیک درک چگونگی عملکرد بوم‌سازگان و چگونگی تاثیر تغییرات در طی زمان بر آن می‌باشد (Bell, ۱۹۹۹). در نتیجه نیاز به

میانگین وزنی اندازه لکه پوشش گیاهی و اتصال جنگل اثرات منفی داشته، شاخص وزنی مساحت پوشش گیاهی و شاخص نسبت جوامع حاشیه رودخانه را بهبود داده است. Chang و همکاران (۲۰۰۸)، مدل پویایی سامانه‌ای را بر پایه سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری به کار بردند. این مدل، برای مدیریت پایدار جزایر مرجانی در ناحیه ساحلی کنتینگ، تایوان توسعه داده شد. این مدل، چهار راهبرد مدیریت ضروری شامل توسعه سرزمین، کنترل آب‌های زائد، نرخ مصرف ماهی‌های بومی و مسائل اقتصادی را شناسایی کرد و به کاربران یک واسط کاربر-پسند را ارائه داد. همچنین، چندین سناریو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نهایت به این نتیجه رسیدند که می‌تواند استراتژی‌های مدیریت پایدار برای بوم‌سازگان صخره‌های مرجانی با استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم توسعه یابند و در آینده نزدیک به کار گرفته شوند.

Mavrommati و همکاران (۲۰۱۳)، پایداری در سامانه‌های ساحلی شهری را با تجزیه و تحلیل پویایی سامانه عملیاتی کردند. از رویکرد پویایی سامانه برای توسعه پایداری اکولوژیکی در سواحل شهر آتن استفاده کردند. مدل پویایی سامانه در این تحقیق، بار آلودگی حاصله از فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی را با شرایط اکولوژیکی سامانه‌های ساحلی بررسی و ارتباط داد. نتایج نشان داد که تفکر سیستمی در نشان دادن روابط پیچیده میان اجزای سامانه در پایداری اکولوژیکی مناسب می‌باشد و نتیجه‌گیری شد که تحلیل پویایی سامانه پیشنهادی می‌تواند تصمیم‌گیران را در تعریف راه‌هایی که با اصول توسعه پایداری اکولوژیکی سازگار باشند، یاری نماید. Zhang و همکاران (۲۰۱۴)، پویایی سامانه و فرایند سلسله مراتبی را برای ایجاد یک سامانه ارزیابی شاخص و یک مدل شبیه‌سازی پویایی سامانه با هم ترکیب کردند. در این مطالعه ظرفیت اکولوژیکی انتقال آب در استان ژیلین چین شبیه‌سازی شد.

روندهای توسعه ظرفیت اکولوژیکی انتقال آب در طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ شبیه‌سازی شد و تحت نقشه طرح‌ریزی ارزیابی شد. نتایج مطالعه یک مبنای علمی را برای توسعه اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی-

پیچیدگی و پویایی یک سامانه اکولوژیکی برای طراحان و برنامه‌ریزان با هدف بازیابی، ترمیم و مرمت بوم‌سازگان‌های زیان دیده حیاتی است (Rai و Madhur، ۲۰۰۴). مدل‌سازی پویایی سامانه به مجموعه‌ای از روش‌های عددی و مفهومی اشاره دارند که در فهم ساختار و رفتار سامانه‌های پیچیده استفاده می‌شوند. بر طبق نظر Forrester در سال ۱۹۶۱ (به نقل از Kelly و همکاران، ۲۰۱۳) ابداع کننده این سامانه‌ها، این روش بر سه اصل کلی تئوری کنترلی بازخوردی، فهم فرایندهای تصمیم‌گیری و استفاده از تکنولوژی بر مبنای کامپیوتر در توسعه مدل‌های شبیه‌سازی استوار می‌باشد. کاربرد این مدل‌سازی عموماً در درک سامانه‌ها و یادگیری اجتماعی می‌باشد، اما می‌توان در زمینه تصمیم‌سازی هم از این رویکرد استفاده کرد (Kelly و همکاران، ۲۰۱۳).

سیمای سرزمین مجموعه‌ای از عوامل زیستی، غیرزیستی و انسانی است (Fischer و همکاران، ۲۰۰۰؛ Xua و همکاران، ۲۰۱۴) که از لحاظ زیبایی‌شناسی ارزیابی می‌شود (Newsom و همکاران، ۲۰۰۱؛ Matsushita و همکاران، ۲۰۰۶؛ Seabrook و همکاران، ۲۰۰۶؛ Plexida و همکاران، ۲۰۱۴؛ Joorabian و Shooshtari، ۲۰۱۵). همچنین، علم میان‌رشته‌ای تلقی می‌شود که با تعاملات میان جامعه، انسان و محیط زندگی او در ارتباط است (Forman، ۱۹۹۵؛ Bajocco و همکاران، ۲۰۱۶) و با عنوان علم مبتنی بر حل بحران خوانده می‌شود (Naveh، ۲۰۰۲؛ Martín-Martín و همکاران، ۲۰۱۳). مفهوم تنوع زیستی گسترده و پیچیده است و اندازه‌گیری یا مدل‌سازی آن مشکل خواهد بود و به این دلیل بایستی از شاخص‌های مختلفی که قابلیت کمی شدن دارند، به این منظور استفاده شود (Sadoddin و همکاران، ۲۰۰۵). Sadoddin و همکاران (۲۰۰۵)، به بررسی اثرات اکولوژیکی سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی به منظور مدیریت شوری با استفاده از شبکه‌های حوضه در آبخیز لیتل‌ریور^۱ استرالیا پرداختند. آن‌ها با بررسی و ارزیابی نتایج نشان دادند که اجرای سناریوهای مدیریتی بر روی اثرات شاخص‌های

¹ Little River Catchment

دوره‌های کوتاه‌تر و ترشیری در آن قابل ملاحظه است. عمده‌ترین کاربری‌های اراضی به صورت عمده شامل مراتع و چراگاه‌های فصلی، اراضی کشاورزی دیم، باغات و اراضی بایر هستند. فرسایش غالب از نوع فرسایش آبی می‌باشد که به اشکال مختلف و درجات گوناگون موجب تخریب اراضی و در نتیجه تخریب محیط زیست و منابع تولیدی آن می‌شود (Keshtkar و همکاران، ۲۰۱۳).

انتخاب فعالیت مناسب و تدوین سناریوهای

مدیریتی: فعالیت‌های مدیریتی حفاظت خاک و آبخیزداری به سه بخش مکانیکی، بیومکانیکی و بیولوژیکی طبقه‌بندی می‌شوند، اما با توجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های اجرایی موجود (فنی، زمانی و هزینه استقرار) گزینه‌های مدیریتی پیشنهاد می‌شود. فعالیت‌های مناسب برای حوضه حبله‌رود بر اساس بازدید و مشاهده انواع فعالیت‌های اجرا شده در منطقه و همچنین، مشورت با کارشناسان واحد اجرا و دانشگاه انتخاب شدند (Sadoddin و همکاران، ۲۰۱۰). این فعالیت‌ها شامل ترانس‌بندی، تاغ‌کاری، ریپرینگ، علوفه‌کاری، کپه‌کاری، کنتورفارو، جنگل‌کاری، قرق، بذرکاری، بذرپاشی، باغ‌کاری و آگروفارستری هستند. همچنین، قواعد اجرای هر فعالیت نیز با توجه به شناخت و بازدید از منطقه و نظرخواهی از کارشناسان واحد اجرا و بخش دانشگاهی تدوین شد. قواعد ایجاد هر یک از فعالیت‌های پیشنهادی در جدول ۱ آورده شده است.

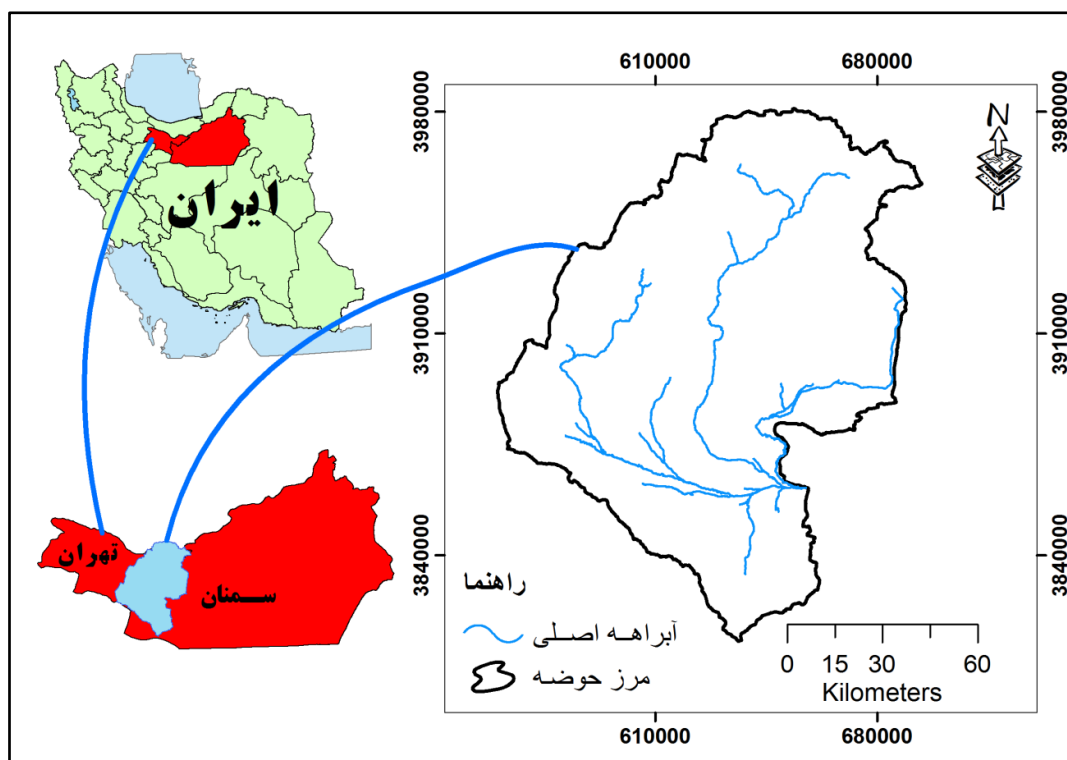
در این تحقیق اثرات اکولوژیک فعالیت‌های انتخابی در قالب ۱۳ سناریو بررسی شده است که شامل سناریوی حال با ۱۳ کاربری اولیه موجود در حوضه (زراعت، مرتع، بایر، مسکونی، اراضی شور، آیش، درخت‌زار، تاغ‌زار، پارک سنگی، ذخیره‌گاه جنگلی، نظامی، صنعتی و جاده) و سایر سناریوها که علاوه بر کاربری‌های موجود یکی از ۱۲ فعالیت تعریف شده را در بردارند، می‌باشند (جدول ۱). پراکنش مکانی فعالیت‌های مدیریتی در سطح آبخیز حبله‌رود با استفاده از لایه‌های ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی، عمق خاک، عرض حریم رودخانه و با در نظر گرفتن قواعد سناریوسازی مشخص شد (شکل ۲).

محیط زیستی استان ژیلین ارائه کرد. Bai و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهش خود به بررسی اثرات اجرای سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی و فعالیت مدیریتی بر ساختار اکولوژیکی سیمای سرزمین در آبخیز چهل-چای استان گلستان پرداختند. آن‌ها با استفاده از شاخص‌های مثل میانگین وزنی اندازه لکه پوشش گیاهی، نمایه وزنی مساحت پوشش گیاهی، مساحت کل هسته، اتصال جنگل و نسبت جوامع گیاهی حاشیه رودخانه اثرات اکولوژیک ۳۲ سناریوهای مدیریتی را بررسی نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که رویکرد مورد استفاده در آن تحقیق امکان پیش‌بینی نتایج اکولوژیک اقدامات مدیریتی را به‌خوبی فراهم می‌کند.

حوزه آبخیز حبله‌رود در طی سال‌های اخیر دچار تغییرات زیاد اکوسیستمی شده است که می‌توان به تغییر کاربری‌های فراوان از مرتع به کشاورزی و مسکونی، تخریب ذخیره‌گاه‌های جنگلی، چرای بیش از حد دام، توسعه صنعت، برداشت بیرویه آب زیرزمینی و ... اشاره نمود. با توجه به اهمیت و ضرورت مدیریت یکپارچه آب و خاک در این حوضه، لزوم بررسی اثرات سناریوهای مدیریتی بر ساختار اکولوژیکی سیمای منظر بیش از پیش نمایان می‌شود. بنابراین، هدف از این تحقیق، کاربرد مدل پویایی سامانه به‌عنوان یک رویکرد یکپارچه و تابع زمان در پیش‌بینی اثرات اجرای سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر ساختار اکولوژیک سیمای منظر در حوضه حبله‌رود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مورد مطالعه با مختصات 35° تا 36° عرض شمالی و 51° تا 53° طول شرقی و با مساحت ۱۲۶۶۲ کیلومتر مربع در دو استان سمنان و تهران واقع شده است (شکل ۱). بارندگی متوسط سالیانه این حوضه ۲۱۱ میلی‌متر و دمای متوسط سالیانه $7/8$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ارتفاع بلندترین نقطه این محدوده ۴۰۵۳ متر و پست‌ترین نقطه آن ۷۳۹ متر از سطح دریا می‌باشد. به‌طور کلی سازندهای منطقه مورد مطالعه مربوط به دوران سنوزوئیک می‌باشد که مقاطعی از سازندهای



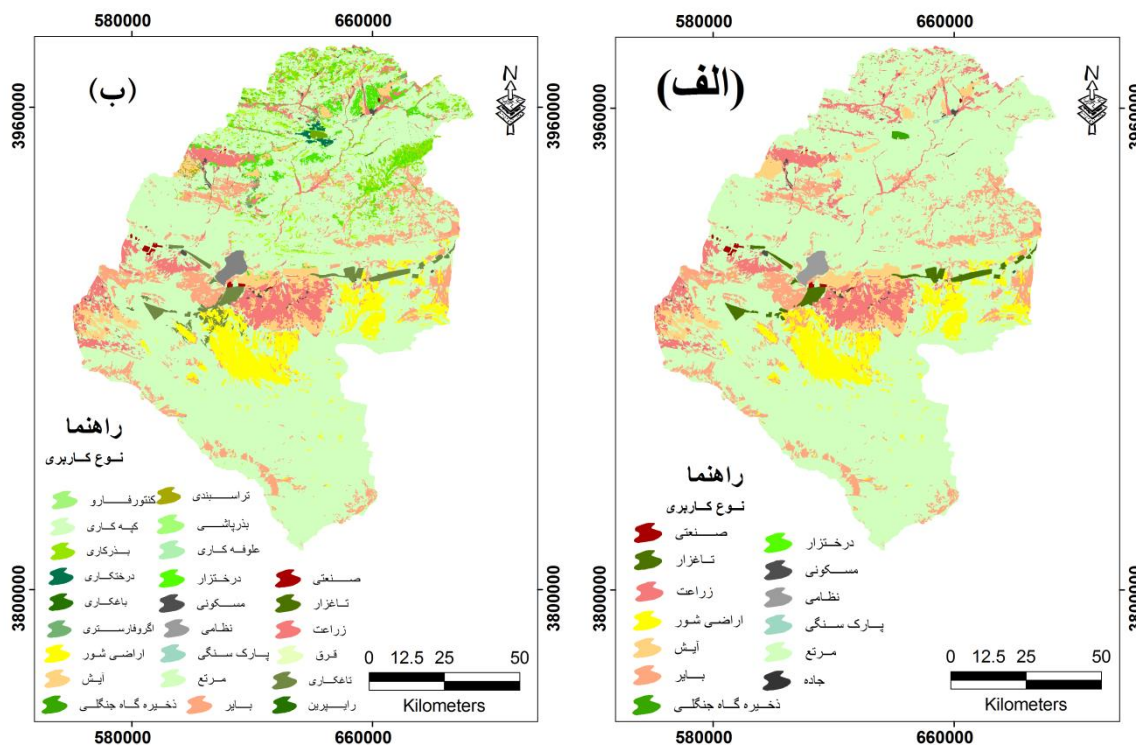
شکل ۱- موقعیت حوضه رودخانه حبله‌رود در استان‌های تهران و سمنان

جدول ۱- قواعد ایجاد سناریوهای مدیریتی پیشنهادی حوزه آبخیز حبله‌رود

ردیف	عنوان فعالیت	شرایط اجرا
۱	بذرکاری و اعمال روش‌های چرای چرخشی	مراعات با بارندگی بیش از ۳۵۰ میلی‌متر، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، با خاک عاری از سنگ و نیمه‌عمیق تا عمیق با بافت متوسط، شیب صفر تا ۱۰ درصد
۲	بذرپاشی همراه با اعمال روش‌های چرای چرخشی	مراعات با بارندگی بیش از ۳۵۰ میلی‌متر، با خاک متوسط و عمیق، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد
۳	کپه‌کاری همراه با اعمال روش‌های چرای چرخشی	مراعات با بارندگی بیش از ۳۵۰ میلی‌متر، با خاک ضعیف و کم عمق، سنگلاخی، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد
۴	قرق	مراعات با بارندگی بیش از ۲۰۰ میلی‌متر، دارای صخره سنگی و برون‌زدگی سنگی، وضعیت مرتع ضعیف تا متوسط، شیب بیش از ۶۵ درصد
۵	درخت‌کاری	کشت درختان بومی مناطق با سابقه جنگلی و جنگلی کم تراکم با شیب صفر تا ۴۵ درصد، بارش بیش از ۴۰۰ میلی‌متر، خاک عمیق-نیمه‌عمیق و ارتفاع تا ۲۶۰۰ متر
۶	علوفه‌کاری روی خطوط تراز	مناطق زراعی، شیب بیشتر از ۴۵ درصد، خاک عمیق و نیمه‌عمیق، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، ارتفاع بدون محدودیت
۷	بهبود جوامع کنار رودخانه‌ای	فقط در نواحی کنار رودخانه‌ای که مستعد (بارندگی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر) باشند
۸	تراس‌بندی	مناطق زراعی، شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد، خاک عمیق، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، ارتفاع زیر ۳۰۰۰ متر و مناطق خطر فرسایش
۹	تاغ‌کاری	مناطق با سابقه تاغ‌زار و بایر، خاک عمیق-نیمه‌عمیق، شیب صفر تا ۴۵ درصد، با بارش کمتر از ۱۲۰ میلی‌متر
۱۰	اگروفارستری	مناطق زراعی، شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، خاک نیمه‌عمیق
۱۱	احداث باغ	مناطق زراعی، شیب ۳۰ تا ۴۵ درصد، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، خاک عمیق-نیمه‌عمیق
۱۲	ایجاد کنورفارو همراه با کشت گیاهان مرتعی	مراعات با بارندگی ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، با خاک عاری از سنگ و نیمه‌عمیق تا عمیق با بافت متوسط، شیب صفر تا ۱۰ درصد

یک از فعالیتهای مدیریتی مربوطه یک هکتار در نظر گرفته شد. حذف لکه‌های کوچک‌تر از یک هکتار با توجه به اهمیت و نقش زیاد اندازه لکه‌های پوشش گیاهی نسبت به سایر ویژگی‌های ساختاری سیمای سرزمین بر عملکرد آن از اهمیت خاصی برخوردار بوده است.

در تحقیق حاضر، تمامی مناطق مستعد اجرای فعالیتهای مورد اشاره به هر فعالیت اختصاص داده شد. آنگاه مساحت‌های زیر یک هکتار از نقشه پوشش گیاهی سناریوهای مختلف حذف شد (Bai و همکاران، ۲۰۱۴). این عمل موجب شد که اثرات منفی لکه‌های خیلی کوچک پوشش گیاهی وجود نداشته باشد. به عبارت دیگر حداقل مساحت لازم برای اعمال هر



شکل ۲- نقشه کاربری فعلی (الف) و کاربری آتی به همراه ۱۲ سناریو پیشنهادی (ب) حوضه رودخانه حبله‌رود

تعریف شده، n_m تعداد لکه‌های مربوط به هر نوع پوشش زمین، $a_{k,m}$ اندازه هر لکه $(k=1, \dots, n_m)$ (Sadoddin و همکاران، ۲۰۰۵) است.

شاخص میانگین وزنی اندازه لکه پوشش گیاهی نشان‌دهنده میزان حفاظت تنوع زیستی به وسیله انواع پوشش گیاهی است. این شاخص به این دلیل انتخاب شد که مساحت لکه‌ها در گونه‌های جانوری اثر دارند و اندازه لکه معیار مهم تعیین‌کننده گونه‌های جانوری قابل زیست در سیمای زمین است. بین اندازه لکه و میزان اکوتون‌ها رابطه مستقیمی وجود دارد، بدین ترتیب که افزایش اندازه لکه، نشان‌دهنده بهبود تنوع زیستی به شمار می‌رود (Farina, ۱۹۹۸). پوشش‌های گیاهی مختلف اثرات مشابهی روی تنوع زیستی

انتخاب شاخص‌های اکولوژیکی سیمای سرزمین: ارزیابی سیمای سرزمین در حفاظت تنوع زیستی و توسعه پایدار بسیار حائز اهمیت است (Natuhara, ۲۰۰۶). شاخص‌های مربوط به وضعیت سیمای سرزمین جوامع گیاهی خشکی‌زی و جوامع گیاهی حاشیه رودخانه مورد استفاده در تحقیق حاضر عبارت‌اند از:

الف) شاخص میانگین وزنی اندازه لکه پوشش گیاهی

$$WMPSI = \sum_{m=1}^{14} \frac{a_m}{n_m} \sum_{k=1}^{n_m} a_{k,m} \quad (1)$$

که در آن، a_m مقادیر وزنی برای هر نوع پوشش زمین m شامل کاربری‌های موجود و فعالیتهای

سلولی با جنگل جوامع حاشیه رودخانه‌ای (Sadoddin و همکاران، ۲۰۰۵) است.

در این تحقیق عرض مناسب برای حریم رودخانه بر اساس برداشت‌های میدانی و نیز یافته‌های سایر محققان تعیین شد. همچنین، از بین دو نوع عرض (ثابت و متغیر) برای حریم رودخانه، حریم با عرض ثابت انتخاب شد که اجرای آن آسان‌تر است و نیازی به حضور کارشناس در زمان اجرا ندارد. عرض حریم رودخانه ۲۵ متر از محور مرکزی رودخانه برای رتبه چهار (Apan و همکاران، ۲۰۰۲) و پنج انتخاب شد. برای رودخانه با رتبه یک، دو و سه، عرض حریم رودخانه ۱۲/۵ متر در نظر گرفته شد. پس از محاسبه شاخص‌های فوق در حوزه آبخیز حبله‌رود به بررسی عدم قطعیت مقادیر این شاخص‌ها با استفاده از روش بوت‌استرپ پرداخته شده است.

رایج‌ترین روش بررسی و استانداردترین روش جهت کمی کردن و معرفی عدم قطعیت روش مونته-کارلو است. در صورتی که داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار نبوده و تعداد داده‌ها کم باشد، می‌توان از روش بوت‌استرپ به جای مونته‌کارلو استفاده کرد (Efron و Tibshirani، ۱۹۸۶). روش بوت‌استرپ اولین بار به‌وسیله Efron در سال ۱۹۷۹ (به نقل از Bai و همکاران، ۲۰۱۵) با هدف تخمین حدود اطمینان برای یک آماره با استفاده از روش‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت. با به‌کاربردن این روش، ضمن ایجاد نمونه‌های فراوان، شرایط نمونه به شرایط جامعه نزدیک می‌شود و با در نظر گرفتن تمامی حالات تشکیل نمونه، می‌توان از صحت برآورد حدود اطمینان اطلاع حاصل کرد، بدین ترتیب، این روش بسیار شبیه به روش‌های مونته‌کارلو می‌باشد، به طوری که به جای فرایند تولید داده از اطلاعات حاصل از نمونه‌گیری استفاده می‌شود که با نمونه‌گیری از جامعه، آن‌ها را به‌عنوان مقادیر حقیقی برآورد می‌نماید (Efron و Tibshirani، ۱۹۸۶).

بزرگ‌ترین مزیت روش بوت‌استرپ این است که نسبت به روش‌های سنتی به فرضیات کمتری نیاز دارد. به‌عنوان مثال لازم نیست تعداد داده‌ها زیاد باشد یا داده‌ها توزیع نرمال داشته باشند، بدین ترتیب درک بهتری از آماره مورد بررسی ممکن می‌شود (Bai و

خواهند داشت، ولی میزان این اثرات با توجه به نوع پوشش گیاهی یکسان نخواهد بود. جهت نشان دادن اثرات بالقوه انواع پوشش‌های گیاهی مختلف بر تنوع زیستی، از وزن‌دهی استفاده شد.

به‌منظور وزن‌دهی پارامتر a_m (مقادیر وزنی برای هر نوع پوشش گیاهی) از نظرات ۱۰ نفر از متخصصان که با روش دلفی^۱ استخراج شد، استفاده شد. این روش دارای انعطاف‌پذیری ذاتی است (Sandrey و Bulger، ۲۰۰۸) و از آن به‌عنوان روش سریع و کم-هزینه برای شناسایی و تعیین اولویت برتر می‌توان یاد کرد. اساس آن تکرار پرسش‌نامه است که هر بار خلاصه‌ای از نتایج قبلی ارائه می‌شود (Heathcote، ۱۹۹۸). شرکت کنندگان در تحقیق دلفی از پنج تا ۲۰ نفر را شامل می‌شوند. در شرایط آرمانی حتی گروه‌های چهار نفره هم می‌توانند عملکرد مناسبی داشته باشند. خروجی روش دلفی نظریه‌ای است که اعتبار آن به نظرات افراد شرکت کننده در فرایند بستگی دارد (Ludwig و Starr، ۲۰۰۵).

ب) شاخص وزنی مساحت پوشش گیاهی

$$WLCAI = \sum_{m=1}^{14} a_m \sum_{k=1}^{n_m} a_{k,m} \quad (2)$$

پارامترهای رابطه (۲) همان است که در رابطه (۱) ارائه شده است. این شاخص رابطه پوشش طبیعی و تغییر یافته را مشخص می‌کند و برای برآورد درجه طبیعی بودن شرایط حوزه آبخیز استفاده می‌شود. با اندازه‌گیری مساحت انواع مختلف پوشش گیاهی و با در نظر گرفتن مقادیر وزن متناظر، درجه طبیعی بودن شرایط حوزه مشخص می‌شود و در زمینه تنوع زمینی اطلاعات مفیدی برای ارزیابی میزان حفاظت فراهم می‌نماید (Newell و Parkes، ۲۰۰۳).

ج) شاخص نسبت جوامع حاشیه رودخانه

$$RPI = \frac{r_{14}}{\sum_{m=2}^{14} r_m} \quad (3)$$

که در آن، r_m تعداد شبکه‌های سلولی با پوشش گیاهی m در امتداد مسیر آبراهه، r_{14} تعداد شبکه‌های

¹ Delphi

استفاده قرار گرفت. این نرم‌افزار مجموعه‌ای از موضوعات گرافیکی با عملگرهای ریاضی آن‌ها برای نمایش آسان ساختار سامانه و توسعه کدهای کامپیوتری ارائه می‌کند. شبیه‌سازی مدل‌ها می‌تواند با استفاده از این نرم‌افزار به آسانی و سریع توسعه یابند (Wang و همکاران، ۲۰۱۱). از جمله مفاهیم مهم در مدل پویایی سامانه، قانون پیوستگی است. این روش مدل‌سازی از چهار ابزار ذخیره^۳، جریان^۴، رابطه^۵ و تبدیل‌کننده‌ها^۶ استفاده می‌کند و به‌وسیله آن‌ها ذهنیت مدل‌ساز را به نمودارهای علت و معلولی و در نهایت به نمودار ذخیره و جریان تبدیل می‌نماید. در واقع هنر مدل‌سازی به روش پویایی سامانه‌ها پوشش و نمایش فرایند بازخورد است که همراه با ساختار ذخیره و جریان، تاخیر زمانی^۷ و توابع غیرخطی^۸ دینامیک سامانه را تعریف می‌کند. همه دینامیک‌ها از دو نوع حلقه بازخوردی مثبت^۹ (خود تقویت‌کننده) و منفی^{۱۰} (خود اصلاح‌کننده) به وجود می‌آید. حلقه منفی هدف را جستجو می‌کند. این حلقه با ساختار جستجوگر خود توازن و پایداری در سامانه را تولید می‌کند (Ahmad و Simonovic، ۲۰۰۰). در سامانه به کار رفته در این تحقیق، پایداری اکولوژیکی بررسی می‌شود که حفاظت از مراتع و جنگل‌ها و اجرای فعالیت‌های مدیریتی اثر مثبت بر آن دارد. تغییر کاربری نامناسب اثر منفی بر روی این عامل دارد (شکل ۴). برای بررسی پایداری اکولوژیکی در این حوضه از شاخص ترکیبی استفاده شد که شامل دو شاخص جوامع گیاهی خشکی‌زی (شاخص وزنی مساحت (WLCAI) و شاخص میانگین وزنی اندازه لکه پوشش گیاهی (WMPSI)) و جوامع گیاهی حاشیه رودخانه (شاخص نسبت جوامع حاشیه رودخانه (RPI)) می‌شود (Sadoddin و همکاران، ۲۰۰۵).

همکاران، ۲۰۱۵). بررسی عدم قطعیت نتایج بوت-استرپ هر یک از این شاخص‌ها با استفاده از تابع توزیع احتمالاتی ضریب تغییرات انجام شد. پس از ارزیابی عدم قطعیت شاخص‌ها به ارزیابی اثرات اجرای سناریوهای مدیریتی پوشش گیاهی بر روی سیمای سرزمین و پایداری اکولوژیکی حوزه آبخیز حبله‌رود پرداخته شده است (Bajocco و همکاران، ۲۰۱۱؛ Bai و همکاران، ۲۰۱۵).

انتخاب سناریو یا سناریوهای برتر مدیریتی: در این تحقیق معیارهای ارزیابی اثرات سناریوهای مدیریتی فقط از نوع اکولوژیکی هستند. برای تعیین برترین سناریو از بین سناریوهای مورد بررسی در آبخیز حبله‌رود، مقادیر هر یک از شاخص‌های مذکور در هر سناریو مورد بررسی قرار گرفت. رویکرد پویایی سامانه به ارزیابی تصمیمات و سیاست‌های مختلف کمک می‌کند و همچنین، می‌تواند به سوالات زیادی درباره استفاده از آب، محیط زیست، اهداف جریان، طراحی و سیاست‌های برداشت و تخصیص آب پاسخ گوید (Elmahdi و همکاران، ۲۰۰۷). مراحل مدل‌سازی در روش تحلیل پویایی سامانه به ترتیب زیر است.

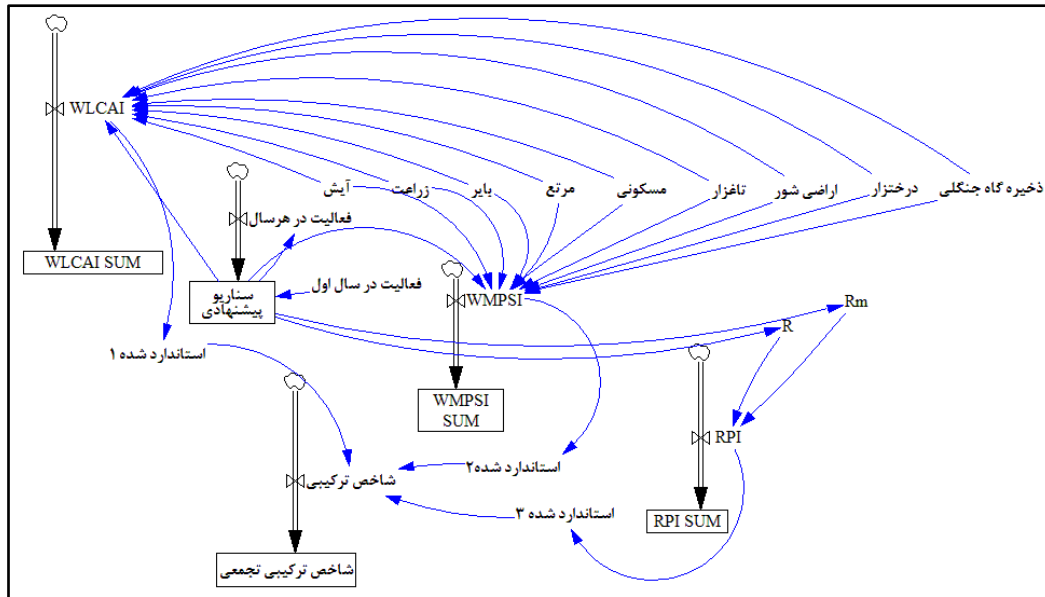
شناخت و تعریف مسئله، رسم نمودارهای مرجع^۱، نمودار مرجع به نمودار رفتارهای اصلی سامانه اطلاق می‌شود. این نمودارها لزوماً با اعداد واقعی رسم نمی‌شوند، بلکه بیانگر رفتار کلی سامانه از دید متغیرها هستند. تعریف متغیرهای اصلی در مسئله، تعریف ارتباط بین متغیرها، رسم نمودار علت و معلولی بین متغیرها، تعریف مرزهای مدل، ساخت نمودار جریان برای مدل: در این نمودار متغیرهای نرخ و سطح از هم تفکیک شده و سپس مبتنی بر نمودار علت و معلولی و ارتباط بین متغیرها شکل کاملی از مدل رسم می‌شود. در این نمودار خصوصیات مسئله مانند تأخیر^۲، رفتارهای غیرخطی، شروط و ... اعمال می‌شود، اجرای مدل (Salvitabar و همکاران، ۲۰۰۶). برای توسعه و شبیه‌سازی با مدل پویایی سامانه، نرم‌افزار Vensim PLE ورژن ۳ (Ventana Systems، ۱۹۹۸) مورد

³ Stock⁴ Flow⁵ Connectors⁶ Convertors⁷ Delay Time⁸ Nonlinear Function⁹ Positive feedback loops¹⁰ Negative feedback loops¹ Reference Modes² Delay

نتایج و بحث

مقادیر وزنی انواع پوشش (α) و مساحت فعالیت‌های تعریف شده به تفکیک سناریوها در جداول ۲ و ۶ ارائه شده است. با استفاده از الگوریتم محاسباتی شاخص میانگین وزنی اندازه لکه پوشش گیاهی (WMPSI)، شاخص وزنی مساحت پوشش گیاهی (WLCAI) و شاخص نسبت جوامع حاشیه

رودخانه (RPI)، مقادیر این شاخص‌ها برای سناریوهای مختلف محاسبه و بر اساس اولویت بیشترین به کمترین در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج حاصل از بررسی عدم قطعیت مقادیر شاخص‌ها با استفاده از روش بوت‌استرپ در شکل ۳ و جدول ۳ آورده شده است.



شکل ۴- مدل اکولوژیکی حوضه رودخانه حبله‌رود بر اساس رویکرد پویایی سیستم

جدول ۳- مقادیر ضرایب α برای کاربری‌های فعلی و پیشنهادی حوضه رودخانه حبله‌رود به روش دلفی

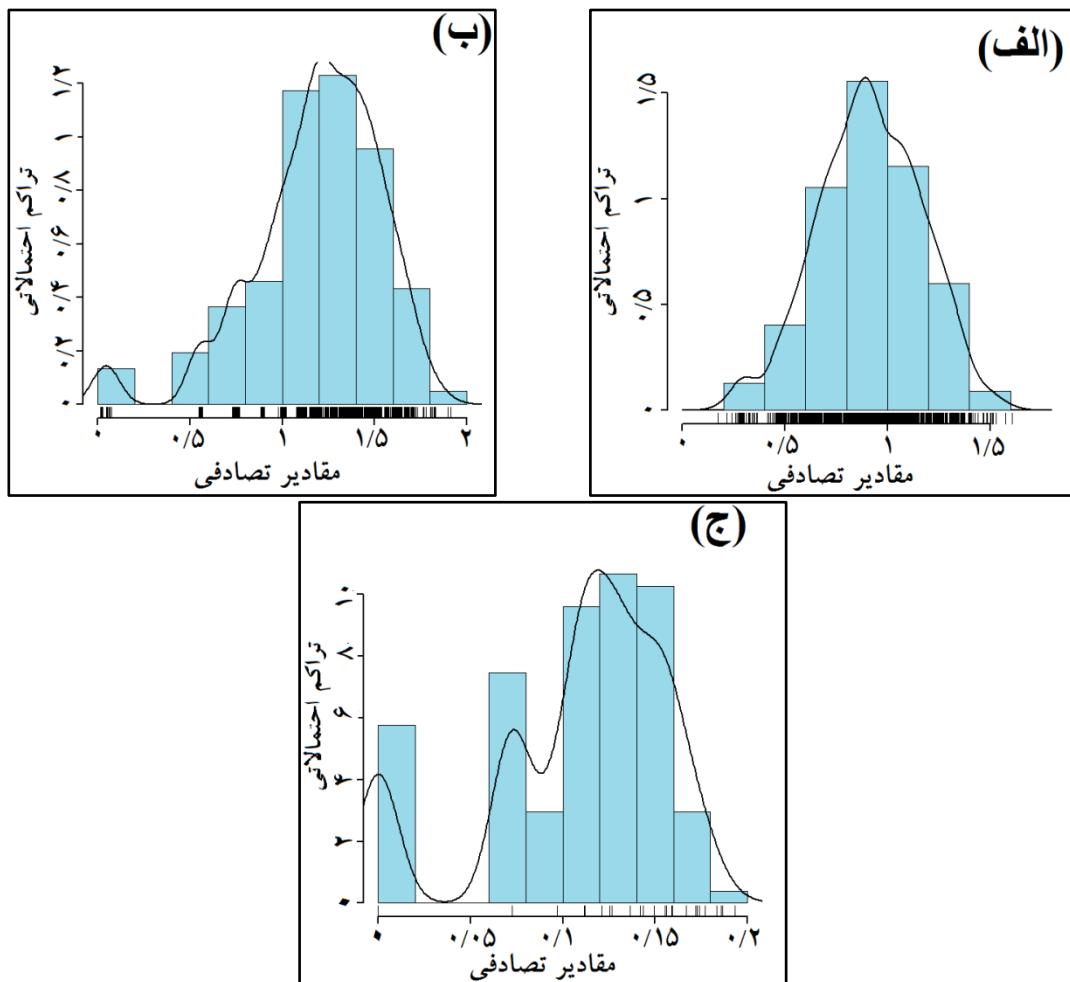
ردیف	کاربری اراضی	ضریب α	ردیف	کاربری اراضی	ضریب α
۱	ارضی شور	۰/۱۵	۹	ذخیره‌گاه جنگلی	۰/۹
۲	بایر	۰/۱	۱۰	جنگل دست‌کاشت	۰/۸
۳	مسکونی	۰/۱	۱۱	اگروفارستری	۰/۶۳
۴	آیش	۰/۳	۱۲	باغ	۰/۵۸
۵	مرتع خوب	۰/۷۵	۱۳	زراعت سنتی	۰/۳۵
۶	مرتع فقیر	۰/۵	۱۴	زراعت با تناوب کشت	۰/۴
۷	مرتع قرق شده	۰/۷	۱۵	علوفه‌کاری	۰/۵
۸	تاغزار	۰/۵۵			

جدول ۳- آماره‌های مربوط به توزیع ضریب تغییرات در شاخص‌های اکولوژیکی حوضه رودخانه حبله‌رود با استفاده از روش بوت‌استرپ

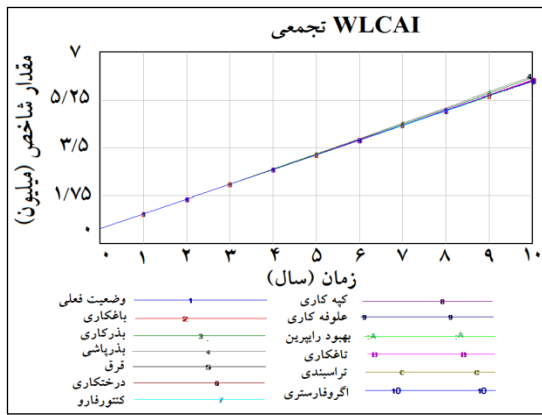
ردیف	شاخص	میانگین	انحراف معیار	کشیدگی	چولگی	ضریب تغییرات	حدود اطمینان	حدود اطمینان
۱	WMPSI	۱/۱۹	۰/۳۵	۴/۵	-۰/۹۹	۰/۲۹	۱/۷۲	۰/۰۷۳
۲	WLCAI	۰/۹۱	۰/۲۵	۲/۷۷	-۰/۱۳	۰/۲۸	۱/۳۷	۰/۳۶
۳	RPI	۰/۱	۰/۰۲	۳/۳۱	-۰/۹۹	۰/۴۵	۰/۱۷	۰

بیشترین شاخص RPI، در سناریوی احیاء جوامع حاشیه رودخانه و تاغ کاری دیده می‌شود و کمترین مقدار این شاخص مربوط به سناریوی وضعیت موجود است (شکل ۶). پس از ترکیب سه شاخص فوق مشخص شد که سناریوهای احیاء جوامع حاشیه رودخانه و بذریاشی به‌عنوان سناریوهای برتر از لحاظ اکولوژیکی شناخته شدند، کمترین مقدار این شاخص مربوط به سناریوی وضعیت موجود است (شکل ۷). مقادیر سه شاخص مورد بررسی در این مطالعه در هر سناریوی مدیریتی پوشش گیاهی باهم متفاوت هستند که نشان‌دهنده تأثیرات متفاوت سناریوهای مدیریتی بر ویژگی‌های مختلف ساختار اکولوژیک حوزه آبخیز حبله‌رود است.

بعد از بررسی عدم قطعیت شاخص‌ها، از مدل پویایی سامانه به‌منظور اولویت‌بندی سناریوهای مدیریتی استفاده شد. نرم‌افزار Vensim برای مدل‌سازی اکولوژیکی به کار برده شد. نتایج مدل ساخته شده بر اساس رویکرد پویایی سامانه، نشان داد که بیشترین شاخص WMPSI، در سناریوی درخت کاری و تاغ کاری دیده می‌شود و کمترین مقدار این شاخص مربوط به سناریوی احیاء جوامع حاشیه رودخانه است (شکل ۴). بیشترین شاخص WLCAI، در سناریوهای بذریاشی و بذرکاری دیده می‌شود و کمترین مقدار این شاخص مربوط به سناریوی وضعیت موجود است (شکل ۵).

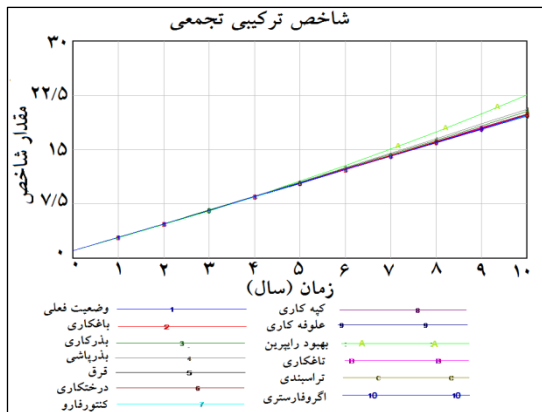


شکل ۳- نمودار توزیع ضریب تغییرات عدم قطعیت به روش بوت‌استرپ برای شاخص‌های اکولوژیک آبخیز حبله‌رود، الف) شاخص وزنی مساحت پوشش گیاهی، ب) شاخص میانگین وزنی اندازه لکه پوشش گیاهی، ج) شاخص نسبت جوامع گیاهی حاشیه رودخانه



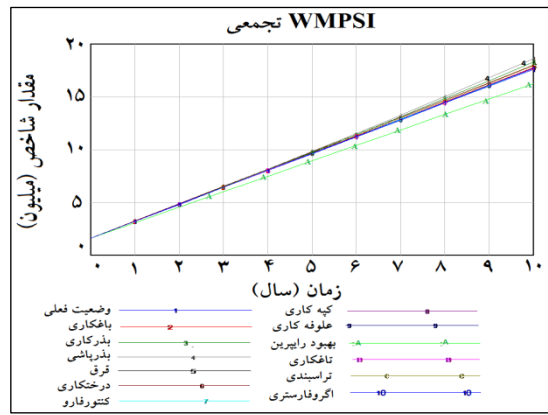
شکل ۵- بررسی سناریوهای پوشش گیاهی بر اساس شاخص

ترکیبی WLCAI



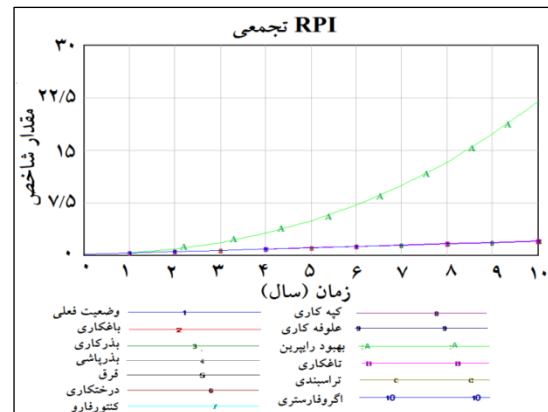
شکل ۷- بررسی سناریوهای پوشش گیاهی بر اساس شاخص

ترکیبی



شکل ۴- بررسی سناریوهای پوشش گیاهی بر اساس

شاخص ترکیبی WMPSCI



شکل ۶- بررسی سناریوهای پوشش گیاهی بر اساس شاخص

ترکیبی RPI

سامانه‌های پویا، سامانه‌هایی هستند که رفتارشان تابع زمان می‌باشد و می‌توانند پدیده‌هایی را که در طی زمان پویا و فعال هستند را شبیه‌سازی کنند. پدیده‌های اکولوژیکی به دلیل پویایی و فعال بودن در طی زمان، نیازمند یک دید پویا می‌باشند (Chang و همکاران، ۲۰۰۸؛ Mavrommati و همکاران، ۲۰۱۳). در این تحقیق، سعی شد که یک مدل پویا از فرایندهای اکولوژیکی ارائه شود و در طی ۱۰ سال آتی از تاثیر سناریوهای مختلف مدیریت پوشش گیاهی، رفتار سه شاخص اکولوژیکی بررسی و شبیه‌سازی شود. برای نیل به این منظور، یک مدل اکولوژیکی بر مبنای سه شاخص WLCAI، WMPSCI و RPI و با به-کارگیری روش و رویکرد پویایی سامانه در محیط نرم-افزار Vensim طراحی شد. سپس مدل اجرا و شبیه-سازی صورت پذیرفت. پس از بررسی سناریوها با مدل پویایی سامانه مشخص شد که اجرای فعالیت‌های مدیریتی باعث افزایش مقدار شاخص وزنی مساحت

نتیجه‌گیری

از آن‌جا که یکی از ابعاد مدیریتی آبخیز بعد اکولوژیکی آن است، لذا، شناخت ساختار و عملکرد آبخیز از نظر اکولوژیک ضروری است. در این مطالعه، با شاخص‌های ساختار سیمای سرزمین به بررسی اثرات اجرای سناریوهای مدیریتی بر ساختار اکولوژیکی سیمای سرزمین در حوضه حبله‌رود پرداخته شده است. با در نظر گرفتن ۱۲ فعالیت مدیریتی بیولوژیک، ۱۳ سناریوی مدیریتی تدوین شد و مقادیر سه شاخص اکولوژیکی که هر یک به جنبه مختلفی از ساختار سیمای سرزمین مربوط می‌شود، تعیین شد. تغییرات مقادیر سه شاخص مورد بررسی در بین سناریوی مدیریتی یکسان نیست که خود، متفاوت بودن تأثیر سناریوهای مدیریتی بر ویژگی‌های مختلف ساختار اکولوژیک حوضه حبله‌رود را نشان می‌دهد که این مطلب با یافته‌های Bai و همکاران (۲۰۱۴) هم‌راستا است.

مربوط به فعالیت جنگل کاری است. هر چقدر اندازه لکه پوشش گیاهی بزرگتر باشد، باعث بقای بیشتر جمعیت موجودات می شود (Farina, ۱۹۹۸؛ Parkes و Newell, ۲۰۰۳). هرگاه از اندازه لکه صحبت می شود، در نظر گرفتن تنوع زیستی نیز در کنار آن مهم است، به طوری که افزایش اندازه لکه، افزایش تنوع زیستی را به دنبال خواهد داشت (Forman, ۱۹۹۵). اما این رابطه همیشه خطی نیست. در این تحقیق، شاخص ترکیبی از میانگین سه شاخص فوق حاصل شده است. پس از شبیه سازی مشخص شد که سناریوهای بهبود جوامع کنار رودخانه ای و بذریاشی به عنوان سناریوهای برتر انتخاب شدند. انتخاب سناریو بهبود جوامع کنار رودخانه ای به دلیل آن است که امتیاز بالایی را در شاخص RPI در مقایسه با سایر شاخص ها به خود اختصاص داد و نشان از اهمیت این فعالیت از نظر پایداری اکولوژیکی و افزایش تنوع زیستگاه ها دارد. همچنین، سناریوی وضعیت موجود به عنوان سناریو در پایین ترین اولویت شناخته شد که نشان از کاهش تنوع زیستی و افزایش تکه تکه شدن زیستگاه ها دارد که با نتایج Xua و همکاران (۲۰۱۴) و Plexida و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که مدل پویایی سامانه می تواند امکان پیش بینی اثرات اکولوژیکی سیمای منظر اقدامات مدیریتی مختلف را برای مدیران و تصمیم گیران در طی زمان فراهم کند. با بررسی بعد اکولوژیکی آبخیز در کنار سایر ابعاد فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی و انتخاب سناریوهای مدیریتی برتر، رویکردی همه جانبه و فرابخشی برای رسیدن به اهداف مدیریت جامع حوزه های آبخیز و در نتیجه توسعه پایدار فراهم خواهد شد.

لکه پوشش گیاهی (WLCAI) شده است، به طوری که فعالیت حال (وضعیت موجود و بدون فعالیت) کمترین مقادیر این شاخص را دارد. میزان تأثیر فعالیت های بذریاشی و بذریاشی بر این شاخص بیشتر از فعالیت های دیگر است.

از بین این دو، فعالیت بذریاشی به دلیل بیشتر بودن مساحت، مؤثرتر تلقی می شود. افزایش مقدار این شاخص نشان دهنده نزدیک تر شدن شرایط آبخیز به شرایط طبیعی و بیانگر بهبود ساختار اکولوژیکی است (Sadoddin و همکاران، ۲۰۰۵). افزایش شاخص نسبت جوامع گیاهی حاشیه رودخانه (RPI) بیانگر بهبود شرایط اکولوژیکی آبخیز حله رود است. از جمله مزایای وجود جوامع گیاهی در حاشیه رودخانه می توان به حفظ کیفیت آب، تنوع زیستی، کاهش اثر آلودگی آب، تأمین مواد غذایی، حفظ زیستگاه های ماهیان و حیات وحش (Newsom و همکاران، ۲۰۰۱)، کنترل دمای آب، تثبیت کانال آب، کنترل فرسایش به وسیله تنظیم ذخیره رسوب، کاهش دبی اوج و تغذیه آب های زیرزمینی (Fischer و همکاران، ۲۰۰۰) اشاره نمود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد، به جز سناریوی بهبود جوامع رودخانه ای و تاغ کاری، به دلیل تأثیر مساحت مؤثر این فعالیت ها بر این شاخص، سایر سناریوها تأثیر معناداری بر روی شاخص ندارند. نتایج بررسی با مدل پویایی سامانه نشان می دهد که اجرای فعالیت هایی که منجر به افزایش تعداد لکه می شود، اثر منفی بر مقدار شاخص میانگین وزنی اندازه لکه پوشش گیاهی (WMPSI) دارد، لذا نتایج این تحقیق با تحقیقات انجام شده به وسیله Sadoddin و همکاران (۲۰۰۵) و Matsushita و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. در این تحقیق مؤثرترین فعالیت بر این شاخص،

منابع مورد استفاده

1. Apan, A.A., S.R. Raine and M.S. Paterson. 2002. Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer valley catchment, Queensland, Australia. *Landscape and Urban Planning*, 24: 43-57.
2. Bai, M., A. Sadoddin and A.R. Salman Mahini. 2014. Prediction of the effects of implementing ecological management scenarios on landscape structure for Chehel-Chai Watershed in Golestan province of Iran. *Journal of Geographic Space*, 13(44): 19-46 (in Persian).
3. Bai, M., A. Sadoddin and A.R. Salman Mahini. 2015. Uncertainty analysis in predicting ecological impacts of management scenarios in the Chehl-Chai Watershed, Gorganrood River Basin. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(10): 77-89 (in Persian).
4. Bajocco, S., G.B. Pezzatti, A. de Angelis, M. Conedera and C. Ricotta. 2011. Bootstrap-ping wildfire selectivity for the forest types of canton Ticino (Switzerland). *Earth Interact*, 15: 1-11.

5. Bajoccoa, S., T. Ceccarelli, D. Smiragliaa, L. Salvatic and C. Ricotta. 2016. Modeling the ecological niche of long-term land use changes: The role of biophysical factors. *Ecological Indicators*, 60: 231-236.
6. Bell, S. 1999. *Landscape: pattern, perception and process*, E and F SPON, London.
7. Chang, Y.C., F.W. Hong and M.T. Lee. 2008. A system dynamic based DSS for sustainable coral reef management in Kenting coastal zone, Taiwan. *Ecological Modeling*, 211: 153-168.
8. Efron, B. and R. Tibshirani. 1986. Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals and other measures of statistical accuracy. *Statistical Science*, 1(1): 54-77.
9. Elmahdi, A., H. Malano and T. Etchells. 2007. Using system dynamics to model water-reallocation. *Environmentalist*, 27: 3-12.
10. Farina, A. 1998. *Principles and methods in landscape. Ecology*, Chapman and Hall, Imprint of Thomson Science, 10: 223-236.
11. Fischer, R.A., O.Ch. Martin and J.C. Fisichenich. 2000. Improving riparian buffer strips and corridors for water quality and wildlife. *International Conference on Riparian Ecology and Management in Multi-land use Watersheds American, Water Resources Association*, 1-15.
12. Forman, R.T.T. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10(3): 133-142.
13. Heathcote, I.W. 1998. *Integrated watershed management*. John Wiley and Sons, Inc.
14. Joorabian Shooshtari, S. and M. Gholamalifard. 2015. Scenario-based land cover change modeling and its implications for landscape pattern analysis in the Neka Watershed, Iran. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 1: 1-19.
15. Kelly, R.A., A.J. Jakeman, O. Barreteau, M.E. Borsuk, S. Elsawah, S.H. Hamilton, K. Sakari, R.M. Holger, A.E. Rizzoli, H. van Delden and A.A. Voinov. 2013. Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management. *Environmental Modelling and Software*, 47: 159-181.
16. Keshtkar, A.R., A. Salajegheh, A. Sadoddin and M.G. Allan. 2013. Application of Bayesian networks for sustainability assessment in catchment modeling and management, case study: the Hablehrood river catchment. *Ecological Modeling*, 268: 48- 54.
17. Martín-Martín, C., R.G. Bunce, S. Saura and R. Elena-Rosselló. 2013. Changes and inter-actions between forest landscape connectivity and burnt area in Spain. *Ecological Indicators*, 33: 129-138.
18. Mavrommati, G., K. Bithas and P. Panayiotidis. 2013. Operationalizing sustainability in urban coastal systems: a system dynamics analysis. *Water Research*, 1-16.
19. Matsushita, B.Xu. and M.T. Fukushima. 2006. Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset. *Landscape and Urban Planning*, 10: 241-250.
20. Natuhara, Y. 2006. *Landscape evaluation for ecosystem planning*. International Consortium of Landscape and Ecological. Engineering and Springer-Verlag, 9: 3-11.
21. Naveh, Z. 2002. Foreword. In: Bastian, O. and U. Steinhardt (Eds.) *Development and perspectives of landscape ecology*. Kluwer Academic Publisher. Boston.
22. Newsom, A., C. Hershner and D. Schatt. 2001. *Riparian forest buffer restoration targeting for the Rappahannock River Watershed*. Virginia Institute of Marine Science.
23. Parkes, D. and G. Newell. 2003. Assessing the quality of native vegetation the habitat hectares approach. *Ecological Management and Restoration*, 4(1): 29-38.
24. Plexida, S.G., A.I. Sfougaris, I.P. Ispikoudis and V.P. Papanastasis. 2014. Selecting landscape metrics as indicators of spatial heterogeneity- a comparison among Greek landscapes. *International Journal of Applied Earth Observation*, 26: 26-35.
25. Rai, V. and A. Madhur. 2004. Is dynamic complexity of ecological systems quantifiable? *International Journal of Ecology and Environmental Science*, 30: 123-130.
26. Sadoddin, A., R.A. Letcher, A.J. Jakeman and L.T.H. Newham. 2005. A Bayesian decision network (BDN) approach for assessing the ecological impacts of salinity management. *Mathematics and Computers in Simulation*, 69: 162-176.
27. Sadoddin, A., V. Sheikh, R. Mostafazadeh and M.Gh. Halili. 2010. Analysis of vegetation based management scenarios using MCDM in the Ramian Watershed, Golestan, Iran. *International Journal of Plant Production*, 4(1): 51-62.
28. Salvitabar, A., M. Zarghami and A. Abrishamchi. 2006. System dynamic model in Tehran Urban water management. *Journal of Water and Wastewater*, 59:12-28 (in Persian).
29. Sandrey, A.M. and M.S. Bulger. 2008. The Delphi method: An approach for facilitating evidence based practice in athletic training. *Athletic Training Education Journal*, 8: 1-13.

30. Seabrook, L., C. McAlpine and R. Fensham. 2006. Cattle, crops and clearing: regional drivers of landscape change in the Brigalow Belt, Queensland, Australia. *Landscape and Urban Planning*, 78: 373-385.
31. Simonovic, S.P. and S. Ahmad. 2000. System dynamics modeling of reservoir operation for flood management. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14(3): 190-199.
32. Ventana Systems, Inc. 1998. Vensim PLE Software Version 3.0. Ventana Systems, Inc., Massachusetts.
33. Wang, X.J., J.Y. Zhang, J.F. Liu., G.Q. Wang, R.M. He, A. Elmahdi and S. Elsayah. 2011. Water resources planning and management based on system dynamics: a case study of Yulin city. *Environment, Development and Sustainability*, 13: 331-351.
34. Xua, J., R.E. Grumbine and P. Beckschäfer. 2014. Landscape transformation through the use of ecological and socioeconomic indicators in Xishuangbanna, Southwest China. *Mekong Region, Ecological Indicators*, 36: 749-756.
35. Zhang, Z., W.X. Lu, Y. Zhao and W.B. Song. 2014. Development tendency analysis and evaluation of the water ecological carrying capacity in the Siping area of Jilin Province in China based on system dynamics and analytic hierarchy process. *Ecological Modelling*, 275: 9-21.