

شبیه‌سازی یک الگوی مناسب پوشش گیاهی برای حفاظت و احیاء حوزه آبخیز تجن با استفاده از AHP و TOPSIS

فاطمه رجائی^{۱*}، عباس اسماعیلی ساری^۲، عبدالرسول سلمان ماهینی^۳، مجید دلاور^۴، علی‌رضا مساح بوانی^۶ و مصطفی قلی‌پور^۵

^۱ دانش آموخته دکتری محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

^۲ استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

^۳ دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

^۴ استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۵ دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۶ دانشجوی دکتری گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۲۶

چکیده

تغییر و تخریب طبیعت تحت تأثیر فعالیت‌های انسان افزایش یافته است که از نتایج عمده آن می‌توان به تغییرات سیمای سرزمین اشاره کرد. این تحقیق با هدف تعیین بهترین سناریو حفاظتی و احیا تغییرات کاربری اراضی آینده با تأکید بر اتصال لکه‌های پوشش گیاهی طبیعی در حوزه تجن انجام شد. پیش‌بینی اثرات اکولوژیکی هر یک از سناریوهای مدیریتی بر اساس مقادیر سنج‌ها تعیین و سپس بهترین سناریو بر اساس راه‌حل عکس ایده‌آل (TOPSIS) انتخاب گردید. نتایج سنج‌های سیمای سرزمین نشان داد اجرای بهترین سناریوی حفاظتی و احیا در آبخیز تجن باعث کاهش تعداد لکه از ۹۹۰۰ لکه به ۴۶۵۷ لکه در پوشش گیاهی طبیعی گردیده است که نشانه‌ای از کاهش تجزیه و تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین است. رویکرد مورد استفاده در این مطالعه امکان پیش‌بینی نتایج اکولوژیکی تغییرات کاربری اراضی جهت دستیابی به اهداف ارزیابی و مدیریت یکپارچه مناسب‌تر در آبخیز را فراهم می‌نماید.

کلید واژه‌ها: اتصال لکه‌های پوشش گیاهی، روش TOPSIS، سنج‌های سیمای سرزمین، سناریو سازی

مقدمه

جنگل‌ها در کره زمین در طول چند دهه گذشته به شدت در حال کاهش هستند. این تغییرات در پوشش جنگلی تأثیرات مختلفی در ارائه خدمات اکوسیستم از جمله، تنوع زیستی، تغییر آب و هوا، رفاه انسان و غیره داشته است

(Cabrer et al., 2014, p 6). بنابراین، درک پویایی کاهش جنگل‌ها برای برنامه‌ریزی و حفاظت از اکوسیستم و تنوع زیستی بسیار مهم است. از طرف دیگر جمعیت جهان به سرعت در حال رشد است که منجر به یک تقاضای بی‌سابقه برای منابع در آینده خواهد شد. مطالعات مختلف در ایران نشان داده است در دهه‌های اخیر تبدیل کاربری جنگل به کاربری کشاورزی در ایران روند شدیداً افزایشی داشته است و انتظار می‌رود در آینده ادامه و حتی تسریع گردد به طوری که، بررسی‌ها بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۴ در جنگل‌های شمال ایران نشان داد که ۱۲۱۵۲ هکتار جنگل در این دوره نابود گردیده است و نرخ جنگل‌زدایی ۸۱۰۱ هکتار در سال برآورد شده است (جورابیان شوشتری، ۲۰۱۲، ص ۶).

از طرف دیگر، یکی از ویژگی‌های هر حوزه آبخیز که تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی قرار می‌گیرد بعد یکپارچگی اکوسیستم‌های آن است. به نظر می‌رسد اتصال و نزدیکی پوشش‌های گیاهی طبیعی یکی از مهم‌ترین عناصر فراهم کننده خدمات اکوسیستم باشد و از دست دادن اتصال لکه‌های پوشش گیاهی یکی از تهدیدات مهم برای از دست دادن تنوع زیستی در اکوسیستم‌های طبیعی است (Pirnat & Hladnik, 2016, p 2). بنابراین برنامه‌ریزی منسجم در منابع طبیعی با هدف کنترل، احیاء و حفاظت یکپارچگی اکوسیستم‌ها ضروری است، که از اهداف مهم در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود و می‌تواند افقی برای اطلاع از اولویت‌های استراتژیک مکانی و پیش‌بینی نتایج مخرب آن‌ها بر سرزمین برای دستیابی مؤثر به اهداف محیط زیستی فراهم آورد (Krosby et al., 2015, p 1).

مفهوم یکپارچگی اکوسیستم گسترده‌تری و پیچیدگی خاصی را در بر می‌گیرد که اندازه‌گیری و مدل‌سازی آن را با مشکلات عدیده‌ای مواجه می‌سازد به همین دلیل از شاخص‌های کمی در راستای تسهیل ارزیابی در این زمینه استفاده می‌گردد (بای و همکاران، ۲۰۰۳، ص ۳). قابلیت کمی‌سازی تغییرات سیمای سرزمین پیش شرط مطالعه کارکرد اکوسیستم‌ها و تغییرات حاصل از فعالیت‌های انسان به شمار می‌رود.

تا کنون مطالعات مختلفی در ارتباط با اثرات تغییر کاربری اراضی انجام شده است. سعدالدین و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی اثرات اکولوژیکی سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی به منظور مدیریت شوری با استفاده از شبکه‌های تصمیم‌بیزین^۱ در آبخیز لیتل ریور استرالیا پرداختند. ارزیابی نتایج نشان داد که اجرای سناریوهای مدیریتی، اثرات منفی بر شاخص میانگین وزنی^۲ اندازه لکه‌پوشش گیاهی و شاخص اتصال^۳ جنگل دارد. در تحقیقی دیگر که توسط ماتسوشیما^۴ و همکاران (۲۰۰۶) در خصوص شناسایی تغییرات ساختار سیمای سرزمین در آبخیز دریاچه کاسومی‌گوآرا ژاپن انجام شد، به این نتیجه رسیدند که افزایش تعداد لکه‌ها و کاهش میانگین اندازه لکه‌ها نشان می‌دهد مهم‌ترین عامل تغییر در سیمای سرزمین، جداسازی سیمای سرزمین در آن منطقه می‌باشد. در مطالعه هرماندز^۵ و همکاران (۲۰۱۵) با افزایش سریع تخریب سرزمین توسط انسان در سیمای مدیرانه در شیلی پویایی سیمای سرزمین و اثرات آن بر اتصال لکه‌های پوشش گیاهی در طی دوره ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۱ بررسی شد. با استفاده از شاخص‌های اتصال لکه‌های

¹ Bayesian Decision Network (BDN)

² Weighted Mean Patch Size Index (WMPSI)

³ Connectivity Index (CI)

⁴ Matsushita

⁵ Hernndez

پوشش گیاهی لکه‌هایی که بیشترین سهم را در حفظ اتصال لکه‌های پوشش گیاهی شناسایی شدند. همچنین بیان کردند اتصال لکه‌های پوشش گیاهی به دلیل رهاسازی زمین‌های کشاورزی و تبدیل شدن به اسپینا (*Acacia Caven*) افزایش یافته است. در مطالعه بورتلت^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در برزیل تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین با هدف حفاظت و بازسازی جنگل‌های قطعه قطعه شده و نیز برقراری اتصال دوباره در آن‌ها صورت گرفت. از یک مدل ریاضی براساس شاخص درجه کیفیت زیستگاه و فاصله میان لکه‌ها برای یافتن لکه‌های مناسب برای بازسازی سیما استفاده شد. سلمان ماهینی و همکاران (۱۳۸۵) در یک تحقیق جهت ارزیابی اثرات طرح‌های توسعه در مناطق مختلف استرالیا و استان گیلان از نمایه‌های معیارهای سیمای سرزمین شامل اندازه لکه، شکل لکه، چین‌خوردگی^۲ و نسبت محیط به مساحت^۳ بودند. در نتیجه این بررسی پیشنهاد شد که از این معیارها به همراه مدل فرسایش خاک به عنوان نمایه‌هایی برای ارزیابی سریع اثرات توسعه استفاده شود. هم‌چنین در مطالعه آرخی^۴ و همکاران (۲۰۱۱) با تجزیه و تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین افزایش تعداد لکه‌ها و کاهش میانگین مساحت، شاخص مهم تجزیه بوده و روند تخریب و تجزیه سیمای سرزمین به صورت افزایشی بوده است. کامیاب و سلمان ماهینی (۱۳۹۱) در تحقیقی در شهر گرگان اذعان داشتند که در طول دوره ۱۴ ساله اخیر، الگوی توسعه شهری در شهر گرگان به سمت ایجاد لکه‌های بزرگ‌تر با اشکال ساده‌تر و با پیچیدگی کمتر سوق پیدا کرده است.

ناکارآمد بودن نگرش تک بعدی و لزوم جامع‌نگری در اتخاذ بهترین تصمیم‌ها و شیوه‌های مدیریتی و بهره‌گیری از تخصص‌های مختلف براساس معیارهای چندگانه کمی و کیفی، ارایه گزینه‌ها و سناریوهای مدیریتی مناسب را ضروری ساخته است. استفاده از فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره، با توجه به وجود اثرات مختلف سناریوهای مدیریتی و تفاوت در ماهیت معیارها، به اتخاذ تصمیمات مناسب در این زمینه کمک می‌نماید (Godsipour, 2003, p 4). در این تحقیق با استفاده از شاخص‌های ساختار سیمای سرزمین به بررسی اثرات اجرای سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی در حوزه آبخیز تجن در آینده محتمل پرداخته شد تا امکان موازنه نتایج سناریوها و انتخاب سناریوهای برتر با رویکرد مدیریت جامع فراهم گردد. هدف از این پژوهش استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره در تعیین بهترین سناریو حفاظتی و احیا تغییرات کاربری اراضی آینده آبخیز تجن با تاکید بر اتصال لکه‌های پوشش گیاهی طبیعی است.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، حوزه آبخیز رودخانه تجن (حدود ۴۰۰۰ کیلومتر مربع) است که توسط کوه‌های البرز در جنوب و دریای خزر در شمال احاطه شده است. این منطقه شامل جنگل‌های هیرکانی دست نخورده است و هشتاد گونه از درختان و درختچه‌ها با تنوع زیستی بالا را شامل می‌شود (Mohammadi & Shataee, 2011).

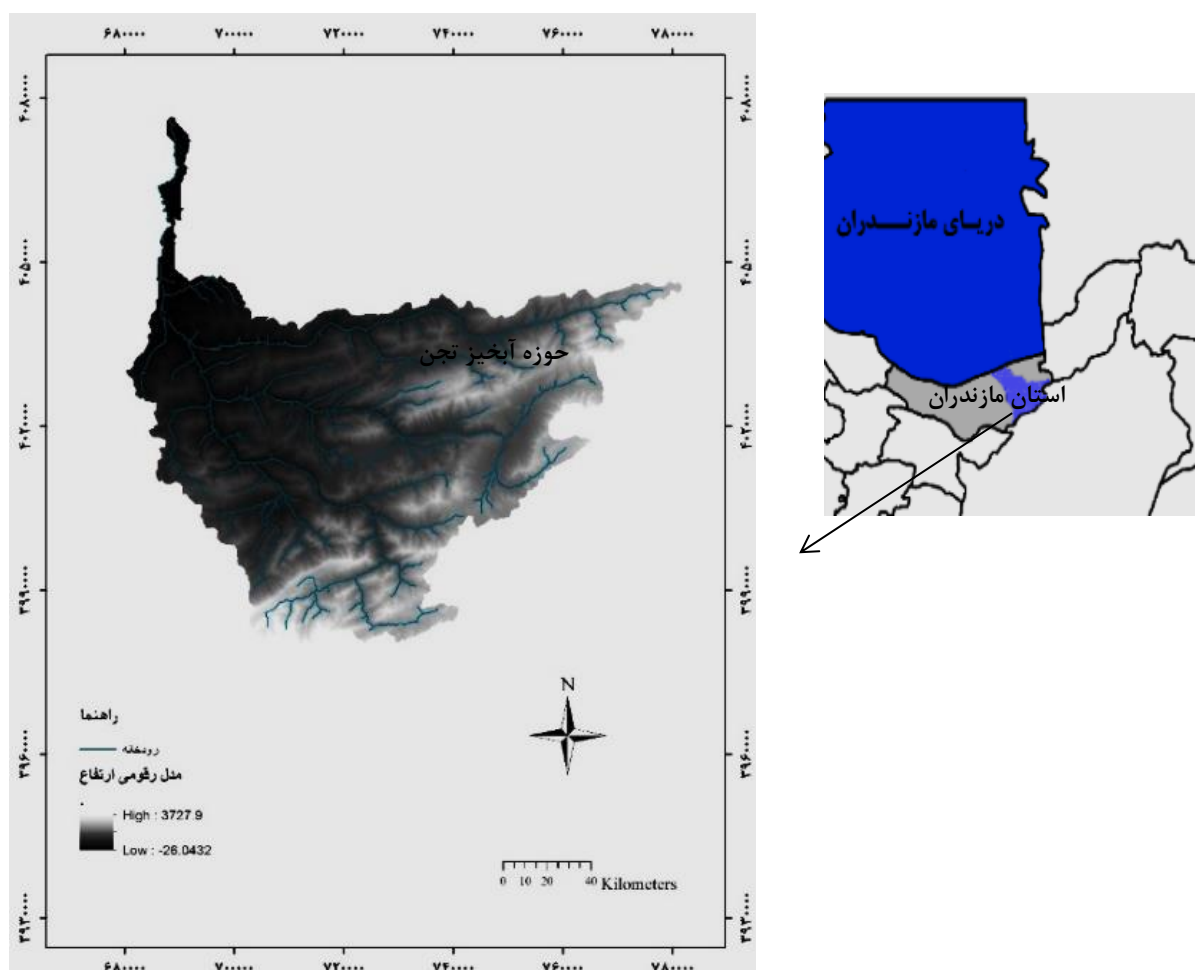
¹ Borteletto

² Fractal dimension (FRAC)

³ Perimeter/Area (PARA)

⁴ Arekhi

2 (p, 2010). منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی $53^{\circ} 04' 57''$ تا $53^{\circ} 18' 26''$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 17' 09''$ - $36^{\circ} 29' 49''$ واقع شده است (شکل ۱). قسمت عمده اراضی حوزه آبخیز تجن در استان مازندران و بخشی در استان سمنان واقع شده است. مرتفع‌ترین نقطه حوزه آبخیز تجن در جنوب شرقی حوزه با ارتفاع ۳۶۷۰ متر و پست‌ترین نقطه در خروجی حوزه با ارتفاع ۲۶- متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین سالانه دما حدود ۱۵ درجه سلسیوس با آب و هوای معتدل و مرطوب و میانگین بارش ۸۳۴ میلی‌متر در سال است. همچنین مناطق حفاظت شده دودانگه، چهاردانگه و پارک ملی بولا در این محدوده واقع شده‌اند که نشان از اهمیت حفظ زیستگاه‌های طبیعی این حوزه آبخیز دارد.



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز تجن

تهیه نقشه کاربری اراضی

تصویر ماه جولای سال ۲۰۰۱ از ماهواره لند ست ۵ تهیه و سپس تصاویر تصحیح هندسی و نیز تصحیح اتمسفریک صورت پذیرفت. طبقه‌بندی نظارت‌شده الگوریتم حداکثر احتمال (MLA) برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. ۸ کلاس کاربری از جمله جنگل، کشاورزی، مسکونی، مراتع، آب، زمین بایر، رودخانه و جاده در منطقه مشخص شد. طبقه‌بندی تصویر در نرم‌افزار IDRISI Selva ۱۷/۲ انجام شد. ارزیابی دقت نقشه

پوشش زمین توسط ماتریس تجزیه و تحلیل خطا^۱ انجام گردید (شریف جورابیان و همکاران، ۱۳۹۱، ص ۴). نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۴ و سال ۲۰۱۰ تهیه شده توسط ماهینی و همکاران در سال ۱۳۹۰ استفاده گردید (سلیمان ماهینی و فاضلی، ۱۳۸۵، ص ۶).

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی آینده حوضه با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین (سناریو تداوم)

مدل‌ساز تغییر سرزمین^۲ (LCM)، شرایطی را فراهم می‌سازد که بتوان پس از بارزسازی و تجزیه و تحلیل تغییرات، به طرح‌ریزی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری‌ها و پوشش اراضی در آینده پرداخت. مراحل اصلی آن شامل: ۱- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی ۲- تجزیه و تحلیل و بارزسازی تغییرات (آنالیز تغییرات) ۳- مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها ۴- پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی ۵- ارزیابی صحت مدل‌سازی (صحت‌سنجی) ۶- مدل‌سازی پتانسیل انتقال و پیش‌بینی تغییرات سال ۲۰۴۰ است. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی دوره آینده حوضه به تفصیل توسط وفایی و همکاران در سال ۱۳۹۲ ارائه شده است (وفایی و همکاران، ۱۳۹۲، ص ۳).

انتخاب برترین سناریو حفاظتی و احیا براساس روش ارزیابی تصمیم‌گیری چند معیاره

برای انتخاب برترین سناریو حفاظتی و احیاء در گام اول براساس کاهش ۵۰ درصد تغییرات در پهنه‌های محتمل تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۴۰، نه سناریوی مدیریتی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز تجن تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱: سناریوهای تعریف شده و میزان تغییرات مساحت در هر کاربری

سناریو	توضیحات
۱	۳۴ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به کشاورزی-۳۴ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به مرتع ۳۴- درصد کاهش احتمال تغییرات مرتع به کشاورزی
۲	کاهش احتمال ۱۰۰ درصد تغییرات مرتع به کشاورزی
۳	۵۰ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به کشاورزی- ۵۰ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به مرتع
۴	۶۸ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به مرتع- ۳۴ درصد کاهش احتمال تغییرات مرتع به کشاورزی
۵	۶۸ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به کشاورزی- ۳۴ درصد کاهش احتمال تغییرات مرتع به کشاورزی
۶	۱۰۰ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به کشاورزی
۷	۱۰۰ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به مرتع
۸	۱۷ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به کشاورزی- ۵۰ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به مرتع- ۳۴ درصد کاهش احتمال تغییرات مرتع به کشاورزی
۹	۵۰ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به کشاورزی- ۱۷ درصد کاهش احتمال تغییرات جنگل به مرتع- ۳۴ درصد کاهش احتمال تغییرات مرتع به کشاورزی

^۱ Error Matrix

^۲ Land Change Modeler

سپس بهترین سناریو با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین و تاکید بر اتصال لکه‌های پوشش گیاهی انتخاب گردید. به منظور انتخاب برترین سناریو ابتدا سنج‌های سیمای سرزمین انتخاب شده، با روش فرایند سلسله مراتبی وزن‌دهی شدند. در ادامه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره بهترین سناریو حفاظتی و احیا تغییرات کاربری اراضی محتمل آینده حوزه آبخیز تجن انتخاب شد که در ادامه به تفصیل توضیح داده شده است.

وزن‌دهی سنج‌های سیمای سرزمین به روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP)

ساختار سیمای سرزمین به تعداد و توزیع مکانی لکه‌ها مربوط می‌شود درحالی‌که عملکرد سیمای سرزمین به فرایندهای اکولوژیکی مانند پویایی جمعیت، چرخه آب و مواد مغذی و غیره برمی‌گردد. تکه‌تکه شدن و کاهش اتصال لکه‌های پوشش‌های گیاهی طبیعی ساختار و عملکرد سیمای سرزمین را متاثر می‌سازد. با توجه به تغییرات عمده‌ای که در منطقه رخ داده است برای حفاظت بیشتر از اکوسیستم‌های طبیعی حوضه دو رویکرد کاهش تخریب آبی پوشش‌های طبیعی و اتصال بیشتر لکه‌های پوشش گیاهی ضروری است. از سنج‌های مهم در بررسی میزان تکه‌تکه شدن و جداسازی^۲ پوشش‌های طبیعی شاخص پیوستگی^۳ (COHESION) اتصال لکه‌های پوشش‌های گیاهی (CONNECT) و شاخص نزدیکی (PROX) است. وقتی که لکه‌های پوشش گیاهی نزدیک یکدیگر قرار دارند میزان یکپارچگی اکوسیستم بیشتر و در نتیجه کیفیت محیط زیست افزایش خواهد یافت. هر چند فقط اندازه‌گیری اتصال میان قطعات پوشش‌های طبیعی نمی‌تواند پاسخ کاملی در این رابطه در اختیار گذارد بنابراین، همراه این دو سنج می‌بایست سنج‌های دیگر نیز به طور هم‌زمان مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق، برای بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر شکل و ساختار سیمای سرزمین در سناریوهای مورد بررسی، تعدادی سنج سیمای سرزمین با توجه به نظر کارشناسان (۱۵ کارشناس)، مرور منابع و نیز با تاکید بر اتصال لکه‌های پوشش گیاهی انتخاب و وزن‌دهی شدند. در سطح کلاس سنج‌های تعداد لکه (NP)، تراکم حاشیه (ED)، نسبت محیط به مساحت لکه (PARA)، بعد چین خوردگی (FRAC)، مساحت (AREA)، شاخص بزرگ‌ترین لکه^۴ (LPI)، نزدیکی لکه‌ها^۵ (PROX)، پیوستگی لکه‌ها (COHESION) و اتصال (CONNECT) انتخاب شد. برای وزن‌دهی این سنج‌ها از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود که در این پژوهش از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی هر سنج سیمای سرزمین در نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد.

جدول ۲: ارزش‌گذاری متغیرهای زبانی ارائه شده توسط ساعتی

اهمیت دو متغیر نسبت با همدیگر	برابر	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	فوق‌العاده زیاد	اهمیت‌های بینابین
ارزش	۱	۳	۵	۷	۹	۲، ۴، ۶ و ۸

^۱ Analytical Hierarchy process

^۲ Isolation

^۳ Patch Cohesion Index

^۴ Largest Patch Index

^۵ Proximity Index

در این روش نخست ماتریس‌های مقایسه زوجی مشخص شد. سپس ماتریس‌های مقایسه‌ای زوجی سنجه‌ها با توجه به جدول ۲ تعیین و با تلفیق ماتریس‌های به دست آمده وزن سنجه‌ها مشخص شد (Godsipour, 2003, p 4).

انتخاب بهترین روش مدیریتی بر اساس روش مبتنی بر نقطه ایده‌آل^۱ (TOPSIS)

تدوین سناریوهای مدیریتی یکی از راهکارهای مناسب با توجه به گزینه‌های مدیریتی متنوع است. در این خصوص با ارائه و تدوین سناریوهای مختلف، زمینه بررسی و ارزیابی مدیریت این منابع از دیدگاه‌های مختلف و شرایط متنوع فراهم می‌شود. بنابراین در این مطالعه به منظور الویت بندی سناریوها و انتخاب بهترین سناریو از روش TOPSIS استفاده شد. این روش یکی از مناسب‌ترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی، باید کم‌ترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیش‌ترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد. این فن به خصوص برای زمانی که تعداد گزینه‌ها و معیارهای مؤثر بر گزینه‌ها زیاد باشد بسیار مناسب است.

مراحل حل مسئله با استفاده از این روش عبارت‌اند از (Godsipour, 2003, p 3):

بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم‌گیری

- وزندهی گزینه‌های تصمیم‌گیری

- تشکیل ماتریس استاندارد شده وزنی

$$V = N * W_{n \times n}$$

تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت V_j^+ : بزرگ‌ترین مقدار برای شاخص‌های مثبت و کوچک‌ترین مقدار برای شاخص‌های منفی.

تعیین راه‌حل ایده‌آل منفی V_j^- : بزرگ‌ترین مقدار برای شاخص‌های منفی و کوچک‌ترین مقدار برای شاخص‌های مثبت.

محاسبه فاصله هر گزینه تا راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i=1,2,\dots,m$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i=1,2,\dots,m$$

$$CL_i^* = d_i^- / (d_i^- + d_i^+)$$

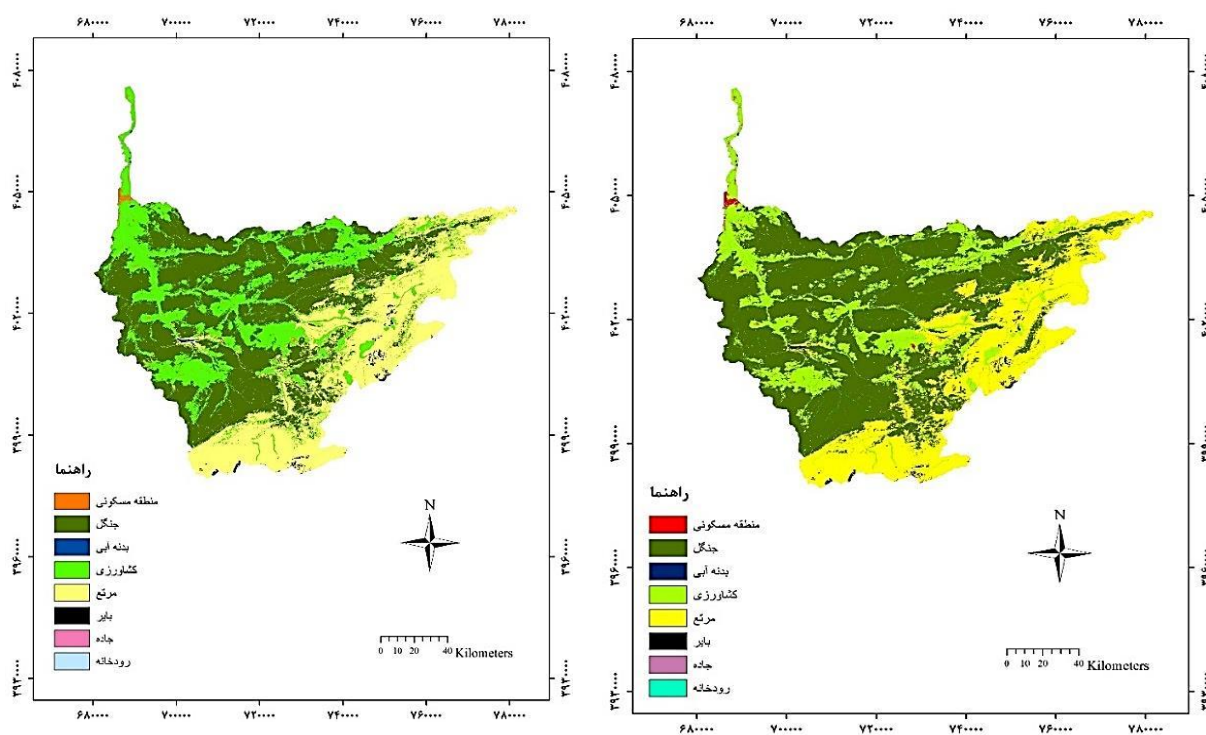
تعیین نزدیکی نسبی یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل

در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس CL بزرگ‌تر

¹ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

یافته‌های تحقیق

نتایج تحقیق نشان داد تغییرات مهمی بین سه کاربری عمده منطقه جنگل، مرتع و کشاورزی بین کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ و کاربری پیش‌بینی شده سال ۲۰۴۰ (سناریو تداوم) در حوزه آبخیز تجن رخ داده است (شکل ۳ و ۲). تجزیه و تحلیل تغییر کاربری در حوزه آبخیز مطالعاتی یک روند کاهشی مداوم در پوشش جنگلی را نشان داد به طوری که در طول دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۴۰، کاربری جنگلی ۳۴۷۳۹ هکتار کاهش و کاربری مرتع، کشاورزی ۷۶۶۸ و ۲۷۰۷۱ هکتار افزایش خواهد داشت. همچنین در این مطالعه سنجه‌های مختلف سیمای سرزمین به‌عنوان شاخص‌هایی برای یکپارچگی و ثبات سیمای سرزمین در دوره‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۴۰ نشان داد که در طی تغییرات محتمل آبی میزان شاخص نزدیکی پوشش‌های گیاهی طبیعی از ۱۴۱ هزار به ۲۷ هزار کاهش و تعداد لکه‌ها از ۶ هزار به ۹۹۰۰ هزار لکه در پوشش جنگلی افزایش خواهد یافت.



شکل ۳: نقشه کاربری سال ۲۰۴۰

شکل ۲: نقشه کاربری سال ۲۰۱۰

همان‌طور که در قسمت مواد و روش‌ها ذکر شده برای به‌دست آوردن وزن هر یک از سنجه‌ها از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. نتایج وزندهی سنجه‌های سیمای سرزمین مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: وزن‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Expert choice

شاخص	شاخص	شاخص	شاخص محیط به	شاخص چین	شاخص	شاخص	شاخص	تعداد
پیوستگی	اتصال	نزدیکی	مساحت	خوردگی	مساحت	حاشیه	بزرگترین لکه	لکه
۰/۱۵۵	۰/۲۵۷	۰/۱۲	۰/۰۹۳	۰/۰۹۴	۰/۰۵۹	۰/۰۸۲	۰/۰۳۷	۰/۱

بعد از محاسبه وزن هر یک از سنجه‌های سیمای سرزمین و نیز محاسبه مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین در هر سناریو با استفاده از نرم افزار Fragstats (جدول ۴)، اولویت‌بندی سناریوها با استفاده از روش TOPSIS صورت گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده از انجام این پژوهش و در نهایت اولویت‌بندی سناریوها، مشخص گردید که سناریوی ۵ اولویت نخست و سناریوی ۸ اولویت آخر را به خود اختصاص داده است (جدول ۵).

جدول ۴: مقدار سنجه‌های به دست آمده از سناریوهای مختلف برای لکه‌های پوشش گیاهی

سناریو	تعداد لکه	شاخص بزرگترین لکه	تراکم حاشیه	درصد مساحت	چین خوردگی	نسبت محیط به مساحت	شاخص نزدیکی	شاخص اتصال	شاخص پیوستگی
سناریو ۱	۵۳۶۳	۲۵/۰۳	۱۳/۹۴	۵۶/۴۶	۱/۰۳۵	۱۰۹۰/۸۱	۲۹۱۸۱۷/۶	۰/۰۳۴	۹۵/۹۶۱۷
سناریو ۲	۵۱۶۱	۲۵/۴۰	۱۱/۲۴	۵۹/۴۹	۱/۰۳۶	۱۰۸۸/۵۸	۲۸۰۵۰۶/۸	۰/۰۳۴۹	۹۵/۹۵۹۴
سناریو ۳	۵۶۵۴	۲۵/۹۷	۱۵/۵۲	۵۳	۱/۰۳۵	۱۰۸۷/۷۱	۳۴۹۸۱۷/۶	۰/۰۳۴۴	۹۵/۹۶۵۹
سناریو ۴	۶۱۱۴	۲۴/۶۷	۱۴/۷۱	۴۸/۸۳	۱/۰۳۵	۱۰۹۷/۷۷	۲۸۵۵۰۰/۲	۰/۰۳۰۹	۹۵/۹۶۰۴
سناریو ۵	۴۶۵۷	۲۶/۶۶	۱۴/۷۴	۶۵/۹۴	۱/۰۳۷	۱۰۶۵/۳۲	۳۸۴۸۱/۸	۰/۰۴۰۸	۹۵/۹۶۷۵
سناریو ۶	۴۸۲۳	۲۶/۶۸	۱۳/۳۱	۶۳/۶۷	۱/۰۳۶	۱۰۷۷/۶۵	۳۳۹۵۸۵/۵	۰/۰۳۷۷	۹۵/۹۶۶۷
سناریو ۷	۷۴۴۹	۲۳/۲۰	۱۷/۲۵	۳۸/۹۵	۱/۰۳۵	۱۱۰۶/۲۳	۲۷۱۰۳۱	۰/۰۲۶۹	۹۵/۹۶۶۳
سناریو ۸	۵۶۸۷	۲۴/۸	۱۴/۳۲	۵۲/۸۷	۱/۰۳۶	۱۰۹۳/۲۴	۲۸۶۶۵۳/۴	۰/۰۳۲۷	۹۵/۹۶۰۹
سناریو ۹	۵۰۸۷	۲۶/۴۹	۱۳/۵۸	۵۹/۹۵	۱/۰۳۵	۱۰۸۴/۳۹	۳۳۳۳۰۹/۵	۰/۰۳۵۶	۹۵/۹۶۶۳

جدول ۵: ارزش بی‌بعد حاصل از روش ارزیابی TOPSIS

شماره سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
ارزش سناریو	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۹	۰/۳۱	۰/۷۶	۰/۶۴	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۵۵

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه با توسعه روز افزون شهری و فعالیت‌های کشاورزی حفظ یکپارچگی اکوسیستم‌های طبیعی حیاتی می‌باشد. سنجه‌های سیمای سرزمین، شکل و ساختار کاربری اراضی را در اختیار قرار می‌دهند بنابراین برای ارزیابی اثرات بالقوه گسترش زیرساخت‌های انسانی و فعالیت‌های کشاورزی در دوره محتمل آینده، استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین یک راه اساسی برای توضیح تغییرات سیمای سرزمین است. چنان که نتایج تغییرات کاربری اراضی نشان داد تغییرات چشم‌گیری در اراضی حوزه آبخیز تجن طی ۲۶ سال اخیر رخ داده است به طوری که در دوره ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰، مناطق جنگلی هیرکانی شدیداً کاهش و عمدتاً به کاربری کشاورزی و مرتع تبدیل شده‌اند. بیش‌ترین میزان تخریب در حوزه آبخیز تجن در اطراف زمین‌های کشاورزی قبلی به علت در دسترس بودن آن‌ها رخ داده است (Foley et al., 2005, p 7). فعالیت‌های کشاورزی اغلب محرک اصلی در پویایی سیمای سرزمین و سبب کاهش یکپارچگی اکوسیستم‌های طبیعی بوده است. از افزایش سنجه تعداد لکه‌ها و افزایش پاره شدگی پوشش‌های گیاهی

طبیعی در دوره آتی در حوزه آبخیز تجن می‌توان استنباط کرد که حوضه تجن خیلی متفاوت‌تر از حال حاضر خواهد شد. این تغییرات پیامدهای عمیق و فراتر از کاهش جنگل دارند به طوری که با تأثیر بر عملکرد اکوسیستم به دلیل از دست دادن اتصال لکه‌ها مانع از جریان ژن، انرژی و انتشار گونه‌ها و غیره می‌شوند. بنابراین، اهمیت نیاز به کاهش تأثیر تغییرات در استفاده از سرزمین و مدیریت لازم برای رسیدن به اهداف محیط زیستی آشکار شده است و به وضوح ضرورت استراتژی‌های مختلف برای مدیریت پایدار آینده را نشان می‌دهد.

بنابراین، در این تحقیق بررسی یکپارچگی آتی حوضه در ۹ سناریو با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین از جمله شاخص‌های اتصال، شاخص‌های شکل سیما و شاخص‌های تجمع با تأکید بر اتصال لکه‌های پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان یکپارچگی پوشش‌های طبیعی در تغییرات محتمل آتی را افزایش داد. بنابراین، در این مطالعه با استفاده از سنج‌های مورد بررسی و وزن دهی آن‌ها، سناریو‌ها الویت دهی شدند که کدامیک می‌تواند سبب افزایش پیوستگی بیشتر اکوسیستم در دوره تغییرات محتمل آتی گردد. استفاده از سنج‌های مورد استفاده در تحقیق امکان الویت‌بندی سناریو‌ها با تأکید بر اتصال بیشتر پوشش‌های گیاهی را فراهم کرد به طوری که افزایش شاخص‌هایی مانند شاخص اتصال و شاخص نزدیکی و پیوستگی می‌تواند نشانی از افزایش یکپارچگی منطقه باشد و مانع از تخریب عملکرد سیمای سرزمین و افزایش ارتباط گونه‌های گیاهی و حیوانی گردد و نیز برای فرایندهای اکولوژیکی به ویژه جا به جایی گونه‌ها، اتصال سیمای سرزمین بسیار حیاتی است.

از بین سناریوهای مدیریتی پوشش گیاهی آبخیز، برترین سناریو با تأکید بر بیش‌ترین پتانسیل در بهبود پیوستگی و اتصال لکه‌های پوشش گیاهی و کاهش اثرات تخریب محیط زیست انتخاب شد. در روش TOPSIS سناریویی که در اولویت قرار می‌گیرد، نتیجه تعامل بین راه‌حل ایده‌آل و عکس ایده‌آل است. به عبارت دیگر، این سناریو دارای کم‌ترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل و یا دارای بیش‌ترین فاصله از راه‌حل عکس ایده‌آل است. این روش، روش متفاوتی است که تحت تأثیر گزینه‌های مختلف است و خود نیاز به تدوین و تنظیم سناریوهای مختلف مدیریتی را در شرایط متنوع ایجاد نموده است (Krosby et al., 2015, p 9).

مقادیر سنج‌های سیمای سرزمین در سناریوهای مدیریتی مورد بررسی در این مطالعه با هم متفاوت بودند که نشان دهنده تأثیرات متفاوت سناریوهای مدیریتی بر ویژگی‌های مختلف ساختار اکولوژیک آبخیز است. نتایج سنج‌های سیمای سرزمین نشان داد اجرای بهترین سناریوی حفاظتی و احیا در آبخیز تجن باعث کاهش تعداد لکه و پیوستگی بیشتر پوشش گیاهی گردیده است به طوری که امروزه پاره پاره شدن زیستگاه‌ها با توسعه وسیع شهرها و جاده‌ها بسیار مطرح است به طوری که مطالعه سورا^۱ و همکاران (۲۰۱۱) و آیرام^۲ و همکاران (۲۰۱۷) به طور ویژه‌ای به این امر پرداخته است. همچنین مطالعات لیو^۳ و همکاران (۲۰۱۴) نیز توسعه زیرساخت‌های انسانی به ویژه جاده‌ها را عاملی در تخریب سیمای سرزمین و کاهش اتصال لکه‌های پوشش گیاهی طبیعی معرفی کرده‌اند. بررسی سنج‌های سیمای سرزمین سناریوی حفاظتی و احیا انتخابی و سناریو تداوم سال ۲۰۴۰ نشان داد شاخص LPI در سناریو حفاظتی و احیا انتخابی سال ۲۰۴۰ در مقایسه با سناریو تداوم سال ۲۰۴۰ بیشتر است. این روند

¹ Saura

² Ayram

³ Liu

نشان دهنده افزایش مساحت کاربری جنگل در سناریو حفاظتی و احیا انتخابی است. با افزایش شاخص بزرگ‌ترین لکه پوشش گیاهی، لکه‌های بزرگ‌تر ایجاد می‌شود و در نتیجه انرژی و مواد غذایی و گونه‌های بیش‌تری از موجودات را نسبت به لکه‌های کوچک‌تر در بر می‌گیرند (Sadoddin et al., 2009, p 5). همچنین سنجه شاخص نزدیکی (PROX) در کاربری جنگل و مرتع در بهترین سناریوی حفاظتی و احیا نسبت به سناریو تداوم سال ۲۰۴۰ افزایش داشته است. که نشان دهنده اتصال و همگرایی بیشتر کاربری جنگل نسبت به سناریو تداوم است. از سوی دیگر، تعداد لکه‌ها در کلاس جنگل در سناریو حفاظتی و احیا کاهش یافته است که نشانه‌ای از کاهش تجزیه و تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین در منطقه مورد مطالعه است، به طوری که کاهش تعداد لکه‌ها در جنگل تا حد زیادی ارزش بسیاری از لکه‌های جنگل باقی‌مانده برای حفاظت از تنوع زیستی را افزایش و نابودی گونه‌ها را کاهش می‌دهد (Arekhi et al., 2011, p 2). این مطالعه به طور واضحی اثرات توسعه کشاورزی و زیرساخت‌های انسانی در تخریب سیمای سرزمین و کاهش یکپارچگی سیما را نشان می‌دهد. در تحقیقات دیگر نیز محققان به نتایج مشابه این تحقیق دست یافته‌اند به طوری که در مطالعه‌ای تغییرات اتصال پوشش جنگلی در حومه شهر لیویلیانا در طی سال‌های ۱۹۷۵ و ۲۰۱۲ توسط یک مدل فضایی براساس نظریه گراف بررسی گردید نتایج کاهش شدید اتصال لکه‌های پوشش گیاهی و نیاز به افزایش اتصال میان هسته‌های اصلی جنگل‌ها را نشان داد (Saura et al., 2011, p 8). همچنین مطالعه Hernandez و همکاران (۲۰۱۵) در طی سال‌های ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۱ نشان داد می‌توان با افزایش کاشت جنگل اتصال لکه‌های جنگلی را افزایش داد.

نتایج حاصل از تغییرات شدید سنجه‌های سیمای سرزمین و کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۴۰ نشان داد اگر این روند تداوم یابد مشکلات محیط زیستی مانند از دست دادن تنوع زیستی و کاهش در بهره‌وری در درآمدت تجمع پیدا خواهد کرد و اثرات تجمعی در مقیاس‌های منطقه‌ای خواهد داشت. بنابراین بر اهمیت نیاز به کاهش تغییرات در استفاده از سرزمین و مدیریت لازم برای رسیدن به اهداف محیط زیستی را نشان می‌دهد. بنابراین این مطالعه در راستای اهداف پیش‌بینی تاثیر سناریوهای مدیریتی حفاظتی و احیا آبخیز بر اتصال لکه‌های پوشش گیاهی طبیعی حوزه آبخیز تجن در دوره آینده صورت پذیرفت. در این تحقیق، با فرض کاهش ۵۰ درصد تغییرات محتمل کاربری اراضی آینده، تعدادی سناریوی مدیریتی تدوین گردید مقادیر سنجه‌های سیمای و نیز وزن هر یک از سنجه‌های انتخابی تعیین و در انتها با استفاده از روش TOPSIS سناریو برتر حفاظتی و احیا برای حوضه پیشنهاد شد. با توجه به نتایج این مطالعه، استراتژی استفاده سازگار از جمله بهینه‌سازی شکل مکانی کاربری‌ها و کاهش تغییرات پوشش گیاهی طبیعی باید به سرعت توسعه یابد و نیز حفظ اتصال پوشش گیاهی در مقیاس سیمای سرزمین باید به‌دقت در برنامه‌ریزی‌های حفظ زیستگاه، عملکرد طبیعی و افزایش ظرفیت‌های تولید سیمای سرزمین در نظر گرفته شود (Ernst, 2014, p 6).

فهرست منابع

- ۱- بای، محبوبه، سلمان ماهینی، عبدالرسول، ۸۲، سناریوی پیش‌گویی اثرات مدیریت پوشش گیاهی و فعالیت‌های مدیریتی حوزه آبخیز براساس اکولوژی سیمای سرزمین در حوزه چهل‌چای، فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۱۳، ص ۱۶-۴۶.
- ۲- سلمان ماهینی، عبدالرسول، ۱۳۹۰، معیار کاربری اراضی و فرسایش به عنوان دو معیار برای ارزیابی اثرات توسعه، فصلنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۵۷، ص ۱۳۷-۱۴۹.
- ۳- کامیاب، حمید رضا، سلمان ماهینی، عبدالرسول، ۲۰۰۲، الگوی تغییرات مکانی زمانی سیمای سرزمین و توسعه شهری (مطالعه موردی: شهر گرگان)، مجله سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سال سوم، شماره ۲، ص ۵۹-۶۹.
- ۴- جورابیان شوشتری، شریف، حسینی، محسن، اسماعیلی ساری، عباس، ۱۳۹۰، پایش تغییرات کاربری اراضی، تخریب و بازسازی جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران (۱۹۷۷-۲۰۱۰)، مجله علوم محیطی، سال سوم، شماره ۳، ص ۱۰۳۸-۱۰۵۶.
- ۵- سلمان ماهینی، عبدالرسول، فضلی، حمید، ۱۳۸۵، زون بندی و تعیین میزان حساسیت اکولوژیکی در مناطق ساحلی ۲۳۱ ص.
- ۶- وفایی، ساراف درویش صفت، حمید، پیروکار، محمد، ۱۳۹۲، چایش و پایش گویی روند کاربری اراضی با استفاده از LCM مطالعه موردی: مریوان، سال ۵، شماره ۳، ص ۳۳۶-۳۲۳.
- 7- Arekhi, S (2011): Modeling spatial pattern of deforestation using GIS and logistic regression: a case study of northern Ilam forests, Ilam province. Iran. African Journal of Biotechnology, Vol. 72, pp.16236-16249.
- 8- Ayram, C., Mendoza, M., Etter, A (2017): Impact on habitat connectivity: A multidimensional human footprint index evaluated in a highly bio diverse landscape of Mexico Camilo. Ecological Indicators, Vol. 72, pp 895-909.
- 9- Bortoleto, L., Figueir, C., Dunning, J., Rodgers, J., Silva, A (2016): Suitability index for restoration in landscapes: An alternative proposal for restoration projects. Ecological Indicators, Vol. 60, pp 724-735.
- 10- Cabrera, S., Bodinb, O., Saura, S (2014): Indicators of the impacts of habitat loss on connectivity and related conservation priorities: Do they change when habitat patches are defined at different scales. Ecological Indicators, Vol. 45, pp 704-716.
- 11- Ernst, W (2014): Quantifying connectivity using graph based connectivity response curves in complex landscapes under simulated forest management scenarios. Forest. Ecology and Management, Vol. 321, pp 94-104.
- 12- Foley, JA., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R, et al (2005): Global consequences of land use. Science, Vol. 309, pp 570-574.
- 13- Godspour, H (2003): The El Nino-southern oscillation (ENSO) and seasonal flooding Bangladesh. Theoretical and Applied Climatology, Vol 76 , pp 105-124.
- 14- Hernndeza, A., Miranda, M., Arellanoa, E., Saurac, S., Ovalle, C (2015): Landscape dynamics and their effect on the functional connectivity of a Mediterranean landscape in Chile. Ecological Indicators, Vol. 48, pp 198-206.
- 15- Krosby, M., Breckheimer, I., Pierce, D (2015): Singleton P, Hall S, Halupk K, Schuett Hames J. Focal species and landscape naturalness corridor models offer complementary approaches for connectivity conservation planning. Landscape Ecol, Vol. 30 (10), pp 2121-2132.

- 16- Liu, Sh., Dong, Y., Denga, L., Liua, Q., Zhao, H., and Dong, Sh (2014): Forest fragmentation and landscape connectivity change associated with road network extension and city expansion: A case study in the Lancang River. *Ecological Indicators*, Vol. 36, pp 160-168.
- 17- Mohammadi, J., Shataee, S (2010): Possibility investigation of tree diversity mapping using Landsat ETM_p data in the Hyrcanian forests of Iran. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 114, pp 1504-1512.
- 18- Matsushita, B., Xu, M., Fukushima, T (2006): Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset". *Landscape and Urban Planning*, Vol. 10, pp 241- 250.
- 19- Pirnat, J., Hladnik, D (2016): Connectivity as a tool in the prioritization and protection of sub-urban forest patches in landscape conservation planning. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 153, pp 129-139.
- 20- Sadoddin, A., Letcher, R. A., Jakeman, A. J, Newham, L.T. A (2005): bayesian decision network approach for assessing the ecological impacts of salinity management". *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 15, pp 162-176.
- 21- Saura, S., Estreguil, C., and Mouton, C., Rodríguez-Freire, M (2011): Network analysis to assess landscape connectivity trends: application to European forests (1990-2000). *Ecological Indicator*, Vol. 11, pp 407-416.
- 22- Sadoddin, A.R., Letcher, A.J., Jakeman, B., Newham, L.T (2009): Bayesian network modelling for assessing the biophysical and socio-economic impacts of dry land salinity management. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia.