

حساسیت‌پذیری اکوریژن‌های خراسان رضوی به بیابان‌زایی بر پایه ارزیابی چرخه حیات

مینا شیروی - دانشجوی کارشناسی‌ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد
عادل سپهر* - استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
ابوالفضل مساعدی - استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
ناصر پرویان - کارشناس‌ارشد محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۱/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۳۰

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی درجه حساسیت اکوریژن‌های خراسان رضوی، یکی از استان‌های مستعد شرایط تخریب و بیابانی شدن اراضی، به پدیده بیابان‌زایی با استفاده از الگوی ارزیابی چرخه حیات (LCA) است. اکوریژن‌ها مناطقی با شرایط اقلیمی تقریباً یکسان و تحت ماکرواقلیم‌ها با فرم غالب پوشش گیاهی است. ابتدا نقشه اکوریژن‌های منطقه مطالعاتی تهیه و در کلاس فراخشک سرد، خشک بیابانی فراسرد، خشک بیابانی سرد، خشک بیابانی معتدل، نیمه خشک فراسرد و نیمه خشک سرد طبقه‌بندی شد. سپس شش شاخص اصلی ضریب خشکی، کاربری اراضی، فرسایش بادی، فرسایش پذیری خاک، شوری و پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک دلفی در منطقه مطالعاتی انتخاب و ارزیابی شد. درجه اهمیت هر شاخص با استفاده از الگوریتم آنتروپی برآورد شد. در نهایت، نقشه حساسیت‌پذیری بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از میانگین‌گیری هندسی تهیه شد. نتایج نشان داد که بیشترین درجه تأثیر مربوط به شاخص خشکی و پس از آن فرسایش بادی به ترتیب به میزان ۰/۳۷ و ۰/۲۲ است. همچنین، نتایج پژوهش مشخص کرد که در خراسان رضوی، اکوریژن خشک بیابانی معتدل دارای بیشترین میزان حساسیت‌پذیری به بیابان‌زایی است.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی چرخه حیات، اکوریژن، آنتروپی، حساسیت‌پذیری بیابان‌زایی، خراسان رضوی.

مقدمه

در دهه‌های اخیر بیابان‌زایی^۱ نمود عینی تخریب در اکوسیستم‌های خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب از چالش‌های مهم جهانی محسوب می‌شود. بخش وسیعی از اراضی کشور ایران، حدود ۷۵٪ از مساحت ایران، را محیط‌های خشک و نیمه خشک آسیب‌پذیر به خطر بیابانی شدن احاطه کرده است (سپهر و پرویان، ۱۳۹۲). آثاری چون خشک شدن دریاچه‌های داخلی، توفان‌های ماسه، گردوغبار و تشدید فرسایش بادی، جلوه بارزی از نرخ رو به رشد بیابانی شدن در سال‌های اخیر در کشور است. از آنجا که اکوسیستم‌های شکننده از ژرفای ارتجاع‌پذیری^۲ (تاب‌آوری) کمتری در برخورد با تغییرات محیطی برخوردار است، حساسیت بیشتری نسبت به اغتشاشات محیطی دارد و پاسخ آن‌ها

* E- mail: adelsepehr@um.ac.ir

1. desertification
2. resilience

به این آشوب‌ها با ظهور چشم‌اندازهای بیابانی، نمودی از حالت تعادلی بروز می‌کند (سپهر، ۱۳۹۲). در سال‌های اخیر، تغییرات کاربری اراضی و فعالیت‌های غیراصولی انسان دامنه ارتجاع‌پذیری اکوسیستم‌ها را در بسیاری از نقاط ایران تا حد ممکن تقلیل داده است (سپهر و پرویان، ۱۳۹۲). شناخت درجه حساسیت اکوسیستم و آگاهی از توان محیطی منطقه، این امکان را فراهم می‌آورد، تا بر پایه درجه بردباری و آسیب‌پذیری اکوسیستم‌ها، نسبت به استفاده و بهره‌برداری اصولی اقدام شود. متأسفانه، بسیاری از روش‌هایی که تاکنون در زمینه ارزیابی بیابانی‌شدن اراضی ارائه شده است، از نوع تجربی و ایستا و بر پایه دانش کارشناسی و عموماً دارای ساختار شاخص‌های توصیفی - عددی است (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰). در بسیاری از این مدل‌ها به درجه حساسیت‌پذیری و میزان بردباری اکوسیستم‌ها به پدیده بیابانی‌شدن کمتر توجه شده است. تکنیک ارزیابی چرخه حیات^۱ (LCA) از جمله فنون محیط‌زیستی است که بر مبنای وضعیت کاربری اراضی یکی از عوامل تعیین‌کننده درجه تحمل و توان اکوسیستم است و در سنجش میزان آسیب‌پذیری اکوسیستم نسبت به پدیده بیابان‌زایی استفاده می‌شود. ارزیابی چرخه حیات رویکردی است که به کمک آن تمام جنبه‌های محیط‌زیستی مرتبط با محصول، فرایند یا خدمات در تمام طول حیات آن بررسی می‌شود. رویکرد حاکم بر انجام مطالعه چرخه حیات از گهواره تا گور است (ستاک^۲، ۱۹۹۱). اولین بار این روش را مجمع سم‌شناسی محیط‌زیست و شیمی (ستاک) مطرح کرد. پس از آن سازمان بین‌المللی استاندارد (ایزو)^۳ ارزیابی چرخه حیات را مستندسازی و به صورت دستورالعمل‌های ISO14040 تا ISO14044 ارائه کرد. مرحله تجزیه و تحلیل سیاهه یا سیاهه‌نویسی چرخه حیات (LCI) شامل جمع‌آوری داده‌ها و انتخاب روش‌های محاسباتی مناسب به منظور کمی‌سازی درون داده‌ها و برون داده‌های مرتبط با سیستم مورد مطالعه است. روش‌های اجرایی جمع‌آوری داده و کمی‌سازی داده‌ها باید به گونه‌ای باشد که دستیابی به اهداف مطالعه را امکان‌پذیر سازد. مرحله ارزیابی پیامد چرخه حیات (LCIA) مرحله‌ای از ارزیابی چرخه حیات است که در آن بزرگی و اهمیت پیامدهای بالقوه محیط‌زیستی برای سیستم در سراسر چرخه حیات آن بررسی می‌شود و هدف از آن تهیه اطلاعات بیشتر به منظور کمک به ارزیابی نتایج LCI سیستم است، به گونه‌ای که اطلاعات و داده‌های متنوع و زیادی که در مرحله سیاهه‌نویسی به دست آمده است به شاخص‌ها و طبقات کمتری تنزل یابد. در این مسیر می‌توان از الگوریتم‌های مختلف تصمیم‌گیری و اعمال روش‌های مبتنی بر نظریه تصمیم و نظریه مطلوبیت بهره برد تا تفسیر این اطلاعات آسان‌تر شود و نتایج روشن‌تری در اختیار تصمیم‌گیران و مدیران قرارگیرد. در مرحله آخر ارزیابی چرخه حیات نیز نتایج حاصل در ارتباط با هدف تحقیق تفسیر شد و راهکارهای مدیریتی ارائه خواهد شد.

امروزه، بر نقش کاربری اراضی در مطالعات اکوسیستم با استفاده از ارزیابی چرخه حیات تأکید زیادی شده است، اما همچنان توافقی بر عوامل در نظر گرفته شده و روش مورد استفاده، به‌ویژه در زمان فقدان داده‌های مورد نیاز وجود ندارد (کاول و لیندجر، ۲۰۰۰). تحقیقات زیادی به منظور شناسایی مشکلات محتمل و مطرح کردن راه‌حل‌های مناسب برای در نظر گرفتن کاربری اراضی در مطالعات LCA صورت گرفته است.

بلانک و همکاران (۱۹۹۷) روشی تحلیلی برای ارزیابی تخریب اکوسیستم را با مطالعات چرخه حیات پیشنهاد

1. Life Cycle Assessment

2. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)

3. ISO (International Standard Organization)

کردند. این روش شامل تعریف مسئله، انتخاب معیارهای مناسب و ایجاد چارچوب سازمان‌یافته‌ای از معیارها برای انتخاب روش مدیریتی مناسب است. کاول و کلیفت (۲۰۰۰) کمیت و کیفیت خاک را با روش LCA مطالعه کردند. فاکتورهای در نظر گرفته شده در این مطالعه شامل جرم خاک، مواد مغذی، علف‌های هرز، عوامل بیماری‌زا، شوری، pH، ماده آلی، بافت و ساختمان خاک بوده است. ویجن‌دراپ و همکاران (۲۰۰۶) چارچوبی ترمودینامیکی به منظور گزینش معیارهای مناسب برای ارزیابی اثر کاربری اراضی در ارزیابی چرخه حیات پیشنهاد کردند. براساس نظریه‌های ترمودینامیکی، هدف اصلی اکوسیستم طبیعی، رسیدن به حداکثر بی‌نظمی (آنترپی) است. با این حال فعالیت‌های انسانی از طریق ساده‌سازی فرایندها موجب کاهش سطح این بی‌نظمی‌ها می‌شود. کولنر و اسپولز (۲۰۰۷) مدلی را برای توصیف و کمی کردن اثر تخریب ناشی از دگرگونی^۱ و تصرف^۲ در سرزمین ارائه کردند. ویژگی اصلی این مدل ارزیابی آثار مرتبط با کاربری اراضی از طریق زمان مورد نیاز برای احیای است. میلکانالز و همکاران (۲۰۰۷) چارچوبی برای ارزیابی آثار محیط‌زیستی مرتبط با کاربری اراضی با استفاده از روش LCA پیشنهاد کردند. در این پژوهش انتخاب مسیرهای اثر و چگونگی مرتبط کردن آثار کاربری با پارامترهای موجود در فاز سیاهه چرخه حیات بررسی شد. گارریگیوس و همکاران (۲۰۱۲) پس از مروری کلی بر مفهوم کیفیت خاک و بررسی روش‌های به کار گرفته شده در زمینه مطالعات کیفیت خاک در ارزیابی چرخه حیات، چالش‌های موجود را بررسی کردند.

در رابطه با پدیده بیابان‌زایی با استفاده از چارچوب ارزیابی چرخه حیات تنها نونز و همکاران (۲۰۱۰) مطالعه کرده‌اند. در این مطالعه با استفاده از روش LCA درجه حساسیت‌پذیری اکوریژن‌ها به بیابان‌زایی در مقیاس جهانی بررسی و مدلی در این رابطه ارائه شد. در این پژوهش چهار عامل خشکی، فرسایش آبی، برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی و ریسک آتش‌سوزی در سطح جهانی بررسی شده است. براساس این مطالعه، بیشترین ریسک بیابان‌زایی مربوط به اکوریژن‌های بیابان‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است.

هدف از مقاله حاضر، سنجش حساسیت‌پذیری بیابان‌زایی خراسان رضوی بر پایه چارچوب LCA است. این مدل بازتابی از عوامل مؤثر در تخریب سرزمین^۳، به‌ویژه عوامل تأثیرگذار بر بیابانی‌شدن در اکوریژن‌های آسیب‌پذیر استان خراسان رضوی است. در این مقاله سعی شده است تا بر پایه چارچوب LCA، توان تحمل هر اکوریژن سنجش شود.

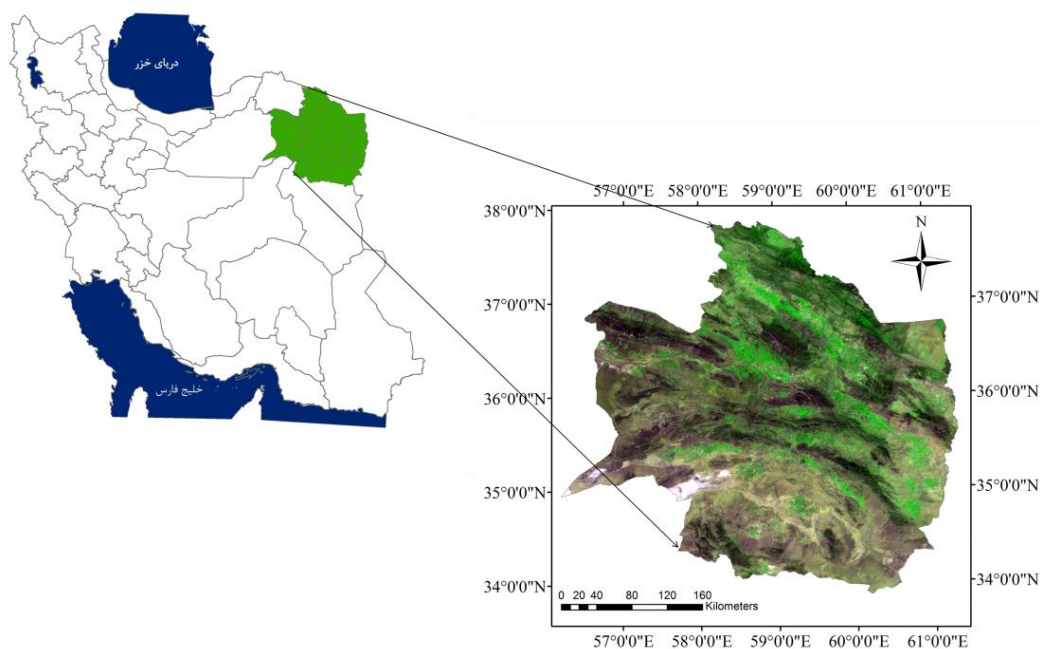
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی با وسعتی حدود ۱۱۷۷۶۹ کیلومترمربع در شمال شرقی کشور و در محدوده مختصات ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. استان خراسان رضوی به سبب وسعت زیاد از نظر شرایط طبیعی بسیار متنوع و هر یک از نواحی مختلف آن دارای

1. transformation
2. occupation
3. land degradation

ویژگی‌های اقلیمی خاص است. براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، این استان جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود. براساس آمار اداره هواشناسی، شهرستان قوچان با ۱۷۷/۸ و شهرستان سبزوار با ۶۵/۶ میلی‌متر بارش سالانه به ترتیب بیشترین و کمترین میزان بارش سالانه در سال ۱۳۹۲ را به خود اختصاص داده است. در سال‌های اخیر، بیابان‌زایی، بخش‌های وسیعی از اکوسیستم‌های خراسان رضوی را به علت شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی، موقعیت خاص جغرافیایی و فعالیت‌های انسانی از جمله تخریب منابع آبی، خاکی و گیاهی، همچنین روند توسعه شهرنشینی تهدید کرده است. موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی

روش کار

در این پژوهش با توجه به هدف مطالعه به منظور تعیین درجه حساسیت‌پذیری بیابان‌زایی اکوسیستم‌های خراسان رضوی در سه مرحله مطالعات صورت گرفت: مرحله اول، شامل تهیه نقشه اکوریژن‌های استان به منزله نقشه واحد کاری؛ مرحله دوم، انتخاب شاخص‌های ارزیابی و تجزیه و تحلیل داده‌ها در چارچوب LCA؛ مرحله سوم، تهیه نقشه و ارزیابی درجه حساسیت‌پذیری بیابان‌زایی. مراحل و نحوه انجام تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است.



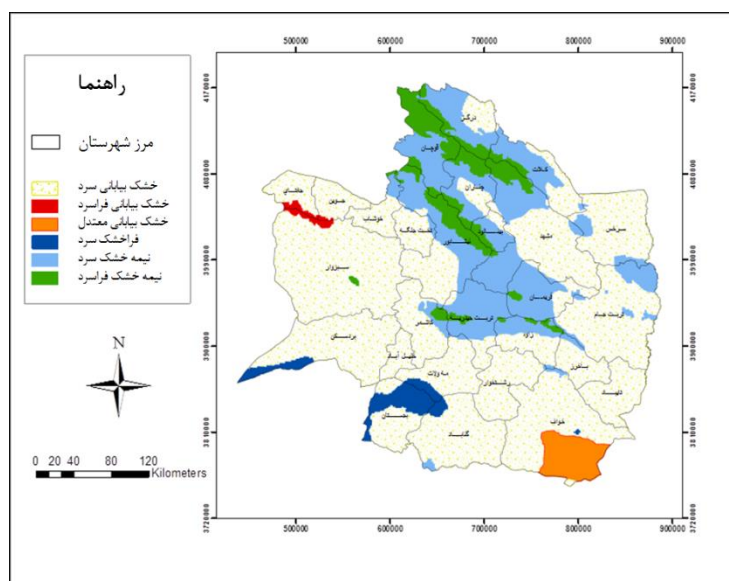
شکل ۲. دیاگرام مراحل انجام پژوهش

گام اول، تهیه نقشه واحد کاری (اکوریژن)

با توجه به روش بیلی (۱۹۹۶)، در این پژوهش، نقشه واحد کاری بر مبنای اکوریژن‌های منطقه مطالعاتی بر پایه تفاوت‌های اقلیمی و به تبع آن درجه حساسیت‌پذیری متفاوت اکوسیستم به تغییرات محیطی پایه‌ریزی و انتخاب شده است. منظور از واحد کاری کمی‌سازی عملکرد سیستم برای استفاده از آن به منزله واحد مرجع است (ایزو، ۲۰۰۶). به بخش‌های وسیعی از سطح زمین که در آن اکوسیستم‌ها دارای ویژگی مشترک است، منطقه اکولوژیکی یا اکوریژن اطلاق می‌شود (بیلی، ۲۰۱۴). تغییرات اقلیمی همواره موجب تغییر در چرخه هیدرولوژیکی، فرسایش و چرخه زیستی می‌شود. به همین علت اقلیم مهم‌ترین عامل در تعیین مرزهای اکولوژیکی است (بیلی، ۱۹۹۶). به عبارتی، مناطق با ویژگی‌های اقلیمی متفاوت، جوامع اکولوژیکی متفاوت را بروزمی‌دهد. از آنجا که در این پژوهش، مطالعات در سطح اکوریژن‌های (مرزهای اکولوژیکی) استان متمرکز شده است و هدف تعیین درجه حساسیت آن‌ها به بیابانی‌شدن است، در ابتدا با استفاده از شاخص اقلیمی دومارتن اصلاح شده (رابطه ۱) بر مبنای شاخص‌های خشکی (A_i) و حرارتی (m_i)، نقشه اکوریژن‌های استان خراسان رضوی تهیه شد. بر این اساس، خراسان رضوی به شش اکوریژن خشک بیابانی فراسرد، نیمه‌خشک فراسرد، فراخشک سرد، خشک بیابانی سرد، نیمه‌خشک سرد و خشک بیابانی معتدل تقسیم می‌شود (شکل ۳).

$$A_i = p / T + 10 \quad (1)$$

در این رابطه A_i شاخص خشکی، P میزان بارندگی سالانه به میلی‌متر و T دمای نرمال سالانه است. با توجه به احتمال وقوع بیابانی شدن اراضی (بیابان‌زایی)، طبق تعریف (UNCCD (1994)، در تمامی مناطق اکولوژیکی (اکوریژن‌ها) تفکیک‌شده، هر شش اکوریژن مبنای محاسبه شاخص حساسیت‌پذیری اکوسیستم به بیابان‌زایی قرار گرفت.



شکل ۳. نقشه اکوریژن‌های خراسان رضوی

گام دوم، محاسبه شاخص‌های مؤثر در حساسیت‌پذیری

در مرحله سیاهه‌نویسی چرخه حیات- شامل جمع‌آوری، کمی‌سازی و سنجش شاخص‌ها و داده‌ها در واحد کاری- کاربری اراضی مبنای ارزیابی حساسیت‌پذیری اکوسیستم به بیابان‌زایی (پتانسیل بیابان‌زایی) ملاک عمل قرار گرفت. ورودی‌ها باید با مصرف منابع و فشار وارده بر آن‌ها مرتبط و بازتاب‌دهنده عوامل تأثیرگذار بر بیابان‌زایی باشد (نونز، ۲۰۱۱). در انتخاب متغیرهای پژوهش، ارتباط معیارها با حساسیت‌پذیری به بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه، درجه همبستگی با واحدهای کاری، دقت بالا و امکان برآورد با داده‌های موجود در مقیاس محلی بررسی شده است. در این مرحله شش متغیر ضریب خشکی، کاربری اراضی، شاخص درصد تراکم پوشش گیاهی (EVI)، ریسک فرسایش واقعی خاک، فرسایش بادی و شوری خاک با توجه به شرایط منطقه تحت مطالعه و با کمک تکنیک دلفی انتخاب شد. آماده‌سازی تمامی لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از نرم‌افزار Erdas نسخه ۲۰۱۳ و ArcGIS (10.2) صورت گرفت. محاسبه شاخص‌های بیابان‌زایی به صورت زیر صورت گرفته است. شایان ذکر است که نقشه‌های تولیدشده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، پس از بازدید

میدانی در منطقه مورد مطالعه کنترل شد. نتایج کار با نقشه‌های تولیدی دیگر مقایسه شد. همچنین، در نهایت با مقایسه در عرصه طبیعی، نتایج و نقشه‌های تولیدی کالیبره شده است.

شاخص خشکی

در این مطالعه پس از تعیین محدوده مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌های اقلیمی مورد نیاز شامل متوسط بارش و دمای ماهیانه ایستگاه‌های سینوپتیکی خراسان رضوی طی دوره‌ای پنج ساله از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳، ابتدا با استفاده از روش تورنت وایت (معادله‌های ۲، ۳، ۴ و ۵) و داده‌های متوسط دمای ماهیانه، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه، سپس با استفاده از داده‌های متوسط بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه، شاخص خشکی (فائو-یونپ)^۱ ایستگاه‌های خراسان رضوی با رابطه (۶) محاسبه و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10 و تابع IDW^۲ درون‌یابی شد.

$$i_m = (T_m / 5)^{1/5} \quad (2)$$

در این رابطه i_m نمایه حرارتی ماهیانه و T_m متوسط دمای ماهانه ($^{\circ}\text{C}$) است. اگر T_m منفی باشد، نمایه حرارتی برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. نمایه حرارتی سالیانه از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$I = \sum_{m=1}^{12} i_m \quad (3)$$

سپس با استفاده از رابطه (۵)، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل هر ماه محاسبه شد. در این رابطه N_m مقادیر ضریب اصلاحی برای عرض‌های مختلف جغرافیایی در ماه‌های مختلف و مقدار ضریب a از رابطه (۶) قابل محاسبه است.

$$ET_m = 16N_m (1 \cdot T_m / I)^a \quad (4)$$

$$a = (6/75 \times 10^{-7})I^7 - (7/71 \times 10^{-5})I^2 + (1/792 \times 10^{-2})I + 0/492 \quad (5)$$

$$Ai = p / ETP \quad (6)$$

در این رابطه p متوسط بارش و ETP متوسط تبخیر و تعرق سالیانه بر حسب میلی‌متر است. در نهایت، شاخص خشکی با توجه به شرایط منطقه در چهار کلاس خشک (۰/۲-۰/۰۵)، نیمه‌خشک شدید (۰/۲۵-۰/۲۰)، نیمه‌خشک متوسط (۰/۳-۰/۲۵) و نیمه‌خشک خفیف (۰/۴۵-۰/۳) طبقه‌بندی شد.

شاخص کاربری اراضی

در این پژوهش با استفاده از داده‌های سنجنده^۳ TM و^۴ ETM⁺، نرم‌افزار IDRISI نسخه Taiga و الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه‌بندی نظارت‌شده، نقشه کاربری اراضی استان در سال ۲۰۱۲ تهیه و به شش کلاس بیابان، اراضی بایر، اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی، اراضی مرتعی و اراضی جنگلی طبقه‌بندی شد.

1. FAO-UNEP

2. Inverse distance weighted

3. Thematic Mapper

4. Enhanced Thematic Mapper plus

شاخص فرسایش بادی

به‌منظور در نظر گرفتن تأثیر عامل فرسایش بادی در میزان حساسیت‌پذیری اکوریژن‌های منطقه مورد مطالعه از نقشه کانون‌های بحرانی استان خراسان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی در سال ۲۰۰۸ استفاده شد. این نقشه مناطق را در سه کلاس با فرسایش زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی کرده است و سایر مناطق بدون فرسایش در نظر گرفته شد.

شاخص فرسایش پذیری خاک

برای تخمین میزان فرسایش واقعی خاک، از نقشه فرسایش واقعی خاک (مدل کورین) محاسبه‌شده سپهر و همکاران (۲۰۱۴) استفاده شد. نقشه فرسایش واقعی خاک در این روش از ترکیب نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک و پوشش گیاهی حاصل می‌شود. نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک از اطلاعات فرسایش‌پذیری خاک، فرسایش‌دهندگی بارش و شیب منطقه قابل محاسبه است.

شاخص شوری خاک

شوره‌زایی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر روند تخریب خاک و بیابان‌زایی است، که بر اثر فرایندهای طبیعی یا انسانی ایجاد می‌شود. برای محاسبه این شاخص از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس، لایه ۴ (باند قرمز) و لایه ۶ (باند آبی) ماهواره ترا (MOD13Q1) با تفکیک زمانی ماهانه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر آگوست ۲۰۱۳ استفاده شد. پس از تهیه موزاییک، برش و تفکیک لایه‌های مورد نظر، میزان شوری خاک با استفاده از رابطه (۷) (خان و همکاران، ۲۰۰۵) در منطقه مورد نظر محاسبه و در سه کلاس شوری کم (< 0.17)، شوری متوسط ($0.17 - 0.2$) و شوری زیاد (> 0.2) طبقه‌بندی شد (مهتا و همکاران، ۲۰۱۲).

$$SI = \sqrt{BLUE * RED} \quad (7)$$

شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته (EVI)

از آنجا که شاخص EVI وضعیت پوشش گیاهی را از طریق سیگنال‌های بازتابی از تاج پوشش گیاهان بررسی می‌کند و مشکل شاخص NDVI را در مناطقی با تراکم پوشش اندک ندارد، از این شاخص برای محاسبه درصد تراکم پوشش گیاهی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با پوشش کمتر از ۴۰٪ استفاده شده است. برای محاسبه این شاخص از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس^۱، ماهواره ترا^۲ (MOD13Q1) و داده‌های شاخص EVI (رابطه ۸) با تفکیک زمانی ماهانه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر ماه‌های می، ژوئن و جولای سال ۲۰۱۳ استفاده شد. پس از تهیه موزاییک،

1. MODIS
2. TERRA

برش و ادغام تصاویر، نقشه شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته منطقه تهیه شد. در نهایت، شاخص پوشش گیاهی در چهار کلاس پوشش نسبتاً کم ($<0/04$)، کم ($0/1-0/04$)، متوسط ($0/2-0/1$) و زیاد ($>0/2$) طبقه‌بندی شد.

$$EVI = 2/5(NIR - R) / (NIR + 6R - 7/5BLUE + 1) \quad (8)$$

در این رابطه EVI شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته، NIR، R و BLUE به ترتیب باند مادون قرمز نزدیک (۵)، قرمز (۴) و آبی (۶) تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس است.

گام سوم، ارزیابی درجه حساسیت‌پذیری بر پایه آثار LCA

فاز ارزیابی آثار (LCIA) شامل انتخاب گروه‌های اثر، طبقه‌بندی و شناسایی آثار محیط‌زیستی بر اساس ارزیابی سیاهه چرخه حیات با در نظر گرفتن هدف و دامنه مطالعه است. گروه اثر اصلی در این مطالعه بیابان‌زایی است. ارزیابی این اثر به وسیله معیارهای محاسبه شده ضریب خشکی، وضعیت پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شوره‌زایی، فرسایش واقعی خاک و فرسایش بادی در گام قبل محاسبه شده است. در فاز LCIA، شاخص‌های معرف^۱ (CF_s) برای هر متغیر فاز LCI و هر اکوریژن با استفاده از داده‌های موجود، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تابع zonal statistic محاسبه شد. پس از محاسبه ارزش رقومی شاخص‌های هر اکوریژن (CF_s)، وزن هر شاخص با استفاده از روش آنتروپی شانون^۲ محاسبه شد. در این روش بر اساس پراکندگی موجود در مقادیر یک شاخص، وزن و درجه اهمیت آن شاخص تعیین می‌شود. آنتروپی در نظریه اطلاعات معیار عدم اطمینان است که با توزیع احتمال مشخص p_i بیان می‌شود (مؤمنی، ۱۳۸۵). اوزان شاخص‌ها از طریق گام‌های زیر برآورد می‌شود.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$p_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^m a_{ij} \quad (13) \text{ محاسبه } p_{ij}$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [p_{ij} \ln p_{ij}] \quad (14) \text{ محاسبه مقدار آنتروپی } E_j$$

$$d_j = 1 - E_j \quad (15) \text{ محاسبه مقدار عدم اطمینان } d_j$$

$$W_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j \quad (16) \text{ محاسبه اوزان } W_j$$

در رابطه (۱۳) a_{ij} درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری، به عبارت دیگر مقدار شاخص توصیفی برای معیار و اکوریژن مشخص را نشان می‌دهد. به کمک روابط (۱۴) و (۱۵) به ترتیب، درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس و مقدار آنتروپی هر یک از شاخص‌ها محاسبه شده است. مقدار آنتروپی هر یک از شاخص‌ها مقداری بین صفر و یک است. درجه انحراف اطلاعات موجود در هر یک از شاخص‌ها از مقدار آنتروپی آن شاخص را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه کرد. در نهایت، به کمک رابطه (۱۶) مقدار اوزان هر یک از شاخص‌ها قابل محاسبه است.

شاخص‌های محاسبه‌شده در گام دوم در فاکتور وزن دهی آن شاخص ضرب و ارزش نهایی هر شاخص در این مرحله تعیین شد (شکل ۴). سپس، با استفاده از میانگین‌گیری هندسی (رابطه ۱۷) مقدار شاخص توصیفی کل برای هر اکوریژن برآورد شد.

$$CF_T = [(w_1 cf_1) * (w_2 cf_2) * \dots * (w_n cf_n)]^{1/n} \quad (17)$$

در این رابطه CF_T مقدار شاخص معرف کل، cf_i مقدار هر شاخص برای هر اکوریژن و w_i وزن و میزان تأثیر هر شاخص در میزان حساسیت‌پذیری منطقه به بیابان‌زایی است. در نهایت، درجه کیفی و کمی حساسیت‌پذیری اکوریژن به بیابان‌زایی براساس جدول ۱ در سه کلاس کیفی طبقه‌بندی شد.

جدول ۱. طبقه‌بندی کمی و کیفی حساسیت‌پذیری بیابان‌زایی به مناطق

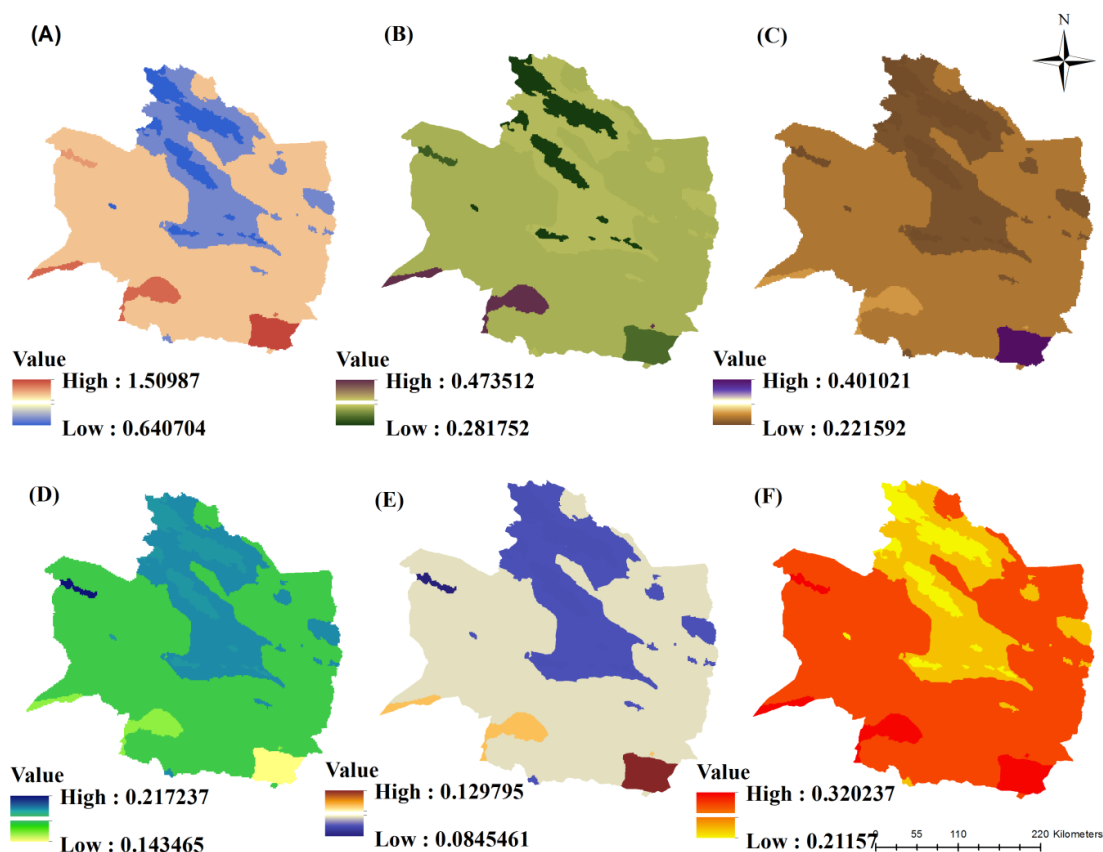
درجه کیفی	کمی	CF_T
حساسیت‌پذیری کم	I	$0/25 >$
حساسیت‌پذیری متوسط	II	$0/25 - 0/29$
حساسیت‌پذیری زیاد	III	$0/29 <$

یافته‌های پژوهش

در منطقه مورد مطالعه بیشترین و کمترین میزان متوسط سالیانه تبخیر و تعرق در دوره آماری پنج ساله (۲۰۰۹-۲۰۱۳) به ترتیب مربوط به ایستگاه سرخس با ۱۱۳۱ میلی‌متر، فریمان با ۷۰۰ و پس از آن قوچان با ۷۱۰ میلی‌متر است. همچنین، بیشترین و کمترین میزان متوسط سالیانه بارش به ترتیب مربوط به ایستگاه قوچان با ۳۲۷ و ایستگاه گناباد با ۱۰۵ میلی‌متر است. در نتیجه، ایستگاه گناباد با ضریب خشکی ۰/۱۰۲ خشک‌ترین و ایستگاه قوچان با ضریب ۰/۴۶ مرطوب‌ترین ناحیه استان خراسان رضوی است. طبق تعریف کمیته ملی، مقابله با بیابان‌زایی (UNCCD، ۱۹۹۴) مناطق مرطوب و نیمه مرطوب در خطر بیابان‌زایی نیست. از آنجا که اقلیم حاکم بر منطقه مورد مطالعه اقلیم خشک و نیمه خشک است، تمامی اکوریژن‌های محاسبه‌شده در استان، مستعد خطر بیابان‌زایی است.

در منطقه مورد مطالعه، مقدار شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته بین ۰ تا ۰/۷۱ متغیر بود و تقریباً در ۶۰٪ استان مقدار این شاخص کمتر از ۰/۱ است. به عبارت دیگر، بیش از نیمی از استان دارای پوشش گیاهی کم است. میزان شاخص شوری در سطح استان بین ۰ تا ۰/۳ متغیر است و در حدود ۸۰٪ استان در کلاس شوری کم قرار گرفته است.

نتایج مطالعات مهتا و همکاران (۲۰۱۲)، جبار (۲۰۱۲) و آلبد و کومار (۲۰۱۳) تأییدکننده کارایی شاخص شوری به‌کاررفته در پژوهش حاضر در تفکیک میزان شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. براساس نقشه کانون‌های بحرانی استان خراسان رضوی بخش‌هایی از شهرستان‌های سرخس، گناباد، نیشابور، خواف، خلیل‌آباد، بردسکن، سبزوار و تایباد در کانون بحرانی فرسایش بادی قرار گرفته است.



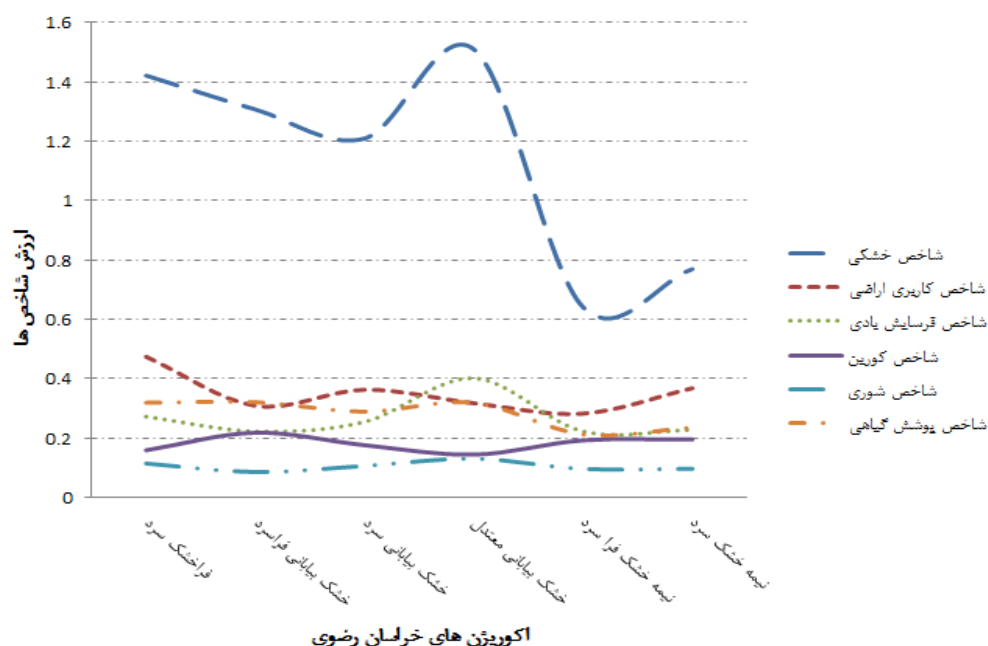
شکل ۴. مقادیر شاخص‌های معرف (CF): (a) خشکی، (b) کاربری اراضی، (c) فرسایش بادی، (d) فرسایش‌پذیری خاک، (e) شوری و (f) پوشش گیاهی

نتایج حاصل از ترکیب و روی هم‌اندازی لایه اکوریژن‌ها و شش شاخص مورد بررسی در این مطالعه در جدول ۲ آمده است. بررسی میزان CF محاسبه شده برای هر اکوریژن نشان داد که اکوریژن خشک بیابانی معتدل دارای بیشترین میزان CF برای شاخص خشکی، فرسایش بادی و شوری به ترتیب با ارزش ۴، ۱/۸ و ۱/۵ است و از نظر این سه شاخص در قیاس با سایر اکوریژن‌ها حساسیت‌پذیری بالاتری به بیابان‌زایی دارد. اکوریژن فراخشک سرد به علت واقع شدن کاربری بیابان در آن دارای بیشترین مقدار شاخص CF در کاربری اراضی است. همچنین، بیشترین میزان CF برای شاخص فرسایش‌پذیری خاک و پوشش گیاهی مربوط به اکوریژن خشک بیابانی فراسرد است. میزان تأثیر شاخص خشکی، کاربری اراضی، فرسایش بادی، فرسایش‌پذیری خاک، شوری و پوشش گیاهی در فرایند بیابان‌زایی به ترتیب

۰/۳۷۷، ۰/۱۳۰، ۰/۲۲۲، ۰/۰۸۰، ۰/۰۸۴ و ۰/۱۰۷ است. میزان انحراف معیار CFهای محاسبه شده برای شاخص‌های خشکی، کاربری اراضی، فرسایش بادی، فرسایش پذیری خاک، شوری و پوشش گیاهی به ترتیب ۰/۰۳۲، ۰/۰۴۳، ۰/۰۲۵، ۰/۰۲۶ و ۰/۰۲۸ است. با توجه به انحراف معیار CF شاخص‌ها، شاخص خشکی و فرسایش بادی در استان خراسان رضوی، بیشترین تأثیر را در درجه حساسیت‌پذیری اکوسیستم‌های استان به بیابان‌زایی عهده‌دار است. همچنین، با تحلیل تغییرات شاخص‌ها در اکوریزن‌های مطالعه شده (شکل ۵)، می‌توان اذعان داشت که اکوریزن خشک بیابانی معتدل با توجه به پراکندگی شاخص‌های خشکی، فرسایش بادی و شوری، بیشترین میزان حساسیت‌پذیری به بیابان‌زایی را داراست.

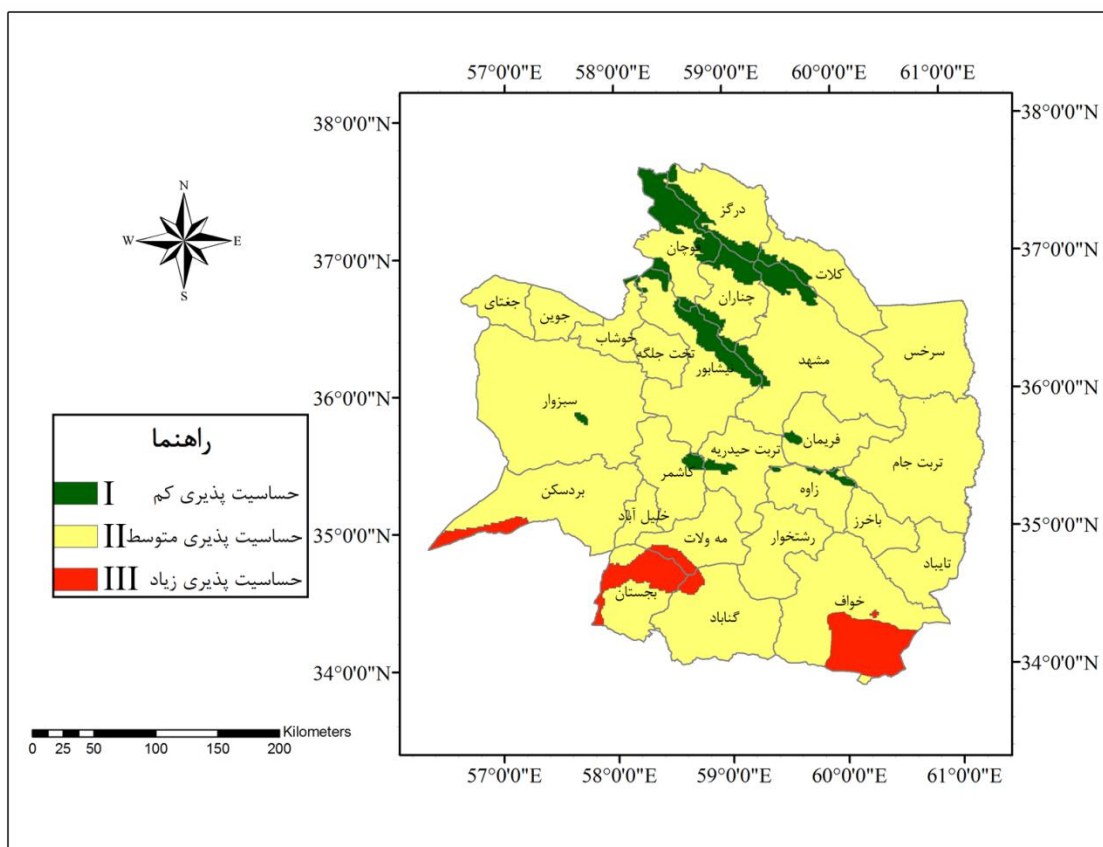
جدول ۲. مقدار شاخص توصیفی برای اکوریزن‌های مختلف

شاخص	شاخص خشکی	شاخص کاربری اراضی	شاخص فرسایش بادی	شاخص پذیرش خاک	شاخص فرسایش شوری	شاخص پوشش گیاهی
فراخشک سرد	۳/۷۶۵	۳/۶۴۹	۱/۲۲۶	۱/۹۸۳	۱/۳۴۶	۲/۹۷۷
خشک بیابانی فراسرد	۳/۴۶۲	۲/۳۷۳	۱	۲/۷۲۲	۱/۰۰۱	۲/۹۹۵
خشک بیابانی سرد	۳/۲۰۳	۲/۷۹۱	۱/۱۴۶	۲/۱۹۷	۱/۲۴۸	۲/۶۹۶
خشک بیابانی معتدل	۴	۲/۴۴۲	۱/۸۱۰	۱/۷۹۸	۱/۵۳۷	۲/۹۷۷
نیمه‌خشک فراسرد	۱/۶۹۷	۲/۱۷۱	۱	۲/۴۰۱	۱/۱۲۸	۱/۹۷۹
نیمه‌خشک سرد	۲/۰۳۶۷	۲/۸۳۰	۱/۰۲۴	۲/۴۳۴	۱/۱۳۲	۲/۱۹۶



شکل ۵. روند تغییرات شاخص‌های بیابان‌زایی در اکوریزن‌های خراسان رضوی

همچنین، نتایج مدل نهایی حاصل از میانگین‌گیری هندسی ارزش CF شاخص‌ها مشخص کرد که اکوریژن خشک بیابانی معتدل دارای بیشترین میزان حساسیت‌پذیری به بیابان‌زایی در سطح استان است. پس از آن اکوریژن فراهشک سرد و خشک بیابانی سرد در کلاس حساسیت‌پذیری زیاد و نسبتاً زیاد و اکوریژن نیمه‌خشک فراسرد در کلاس حساسیت‌پذیری ناچیز قرار گرفت (شکل ۶).



شکل ۶. نقشه نهایی حساسیت‌پذیری بیابان‌زایی اکوریژن‌های خراسان رضوی

نتیجه‌گیری

دامنه کاربرد LCA به هدف و موضوع مورد مطالعه بستگی دارد که تعیین‌کننده مرز سیستم و جزئیات مورد مطالعه است. منظور از دامنه کاربرد، پاسخگویی به سؤال‌های چه مواردی باید تحلیل شود و چگونگی تحلیل است. در این مرحله، واحد کارکردی^۱ و مقیاس معین برای نظام تعریف و آثار محیط‌زیستی مربوط به تفکیک گروه‌های اثر^۲ در این واحدها محاسبه می‌شود. در انتخاب مقیاس مطالعه به دو عامل باید توجه داشت: دسترسی به داده‌های مورد نیاز برای دوره زمانی مناسب

1. functional unit
2. impact category

در منطقه مورد مطالعه و امکان استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور برای دستیابی به اطلاعات (DESERTLINKS)، داشتن هدف و راهبرد اصلی‌ترین بخش ارزیابی چرخه حیات است، به گونه‌ای که بدون داشتن هدف و چارچوب مشخص و مدون امکان استناد به داده‌های خروجی وجود نخواهد داشت. در این مطالعه سعی شد درجه حساسیت‌پذیری اکوریژن‌های خراسان رضوی به بیابان‌زایی با استفاده از چارچوب ارزیابی چرخه حیات (LCA) مدل‌سازی شود. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، لایه‌های اطلاعاتی اکوریژن‌ها و شاخص‌های مورد نیاز تهیه شد. نتایج حاصل از تعیین ضریب وزنی شاخص‌ها نشان داد که ضریب خشکی دارای بیشترین تأثیر و درجه اهمیت در تعیین میزان آسیب‌پذیری مناطق به بیابان‌زایی و شاخص فرسایش‌پذیری خاک دارای کمترین تأثیر در منطقه مورد مطالعه است. اکوریژن خشک بیابانی معتدل بیشترین میزان حساسیت‌پذیری را در منطقه مورد مطالعه دارد. این اکوریژن در بخش جنوب‌شرقی استان خواف واقع شده است. پس از آن اکوریژن فراخشک سرد دارای حساسیت‌پذیری بیشتری نسبت به سایر مناطق است. قسمت اعظم این اکوریژن‌ها در شهرستان بجستان و بردسکن واقع شده است و کمترین میزان حساسیت‌پذیری به بیابان‌زایی مربوط به اکوریژن نیمه‌خشک فراسرد است. با توجه به نقشه حساسیت‌پذیری اکوریژن‌ها به بیابان‌شدن (شکل ۶)، بخش وسیعی از استان خراسان رضوی را شرایط حساسیت متوسط نسبت به بیابان‌زایی دربرگرفته است. این امر لزوم مدیریت صحیح و بهره‌برداری اصولی از این اکوسیستم‌ها را نشان می‌دهد، چرا که کوچک‌ترین تغییرات و فشارهای انسانی نادرست حساسیت‌پذیری این اکوسیستم‌ها را افزایش و شرایط بحرانی را در بسیاری از مناطق اکولوژیکی استان رقم می‌زند. نتایج این پژوهش، یافته‌های تحقیقات سپهر و پرویان (۱۳۹۲)، سپهر و همکاران (۲۰۱۵) و ترون و همکاران (۲۰۱۵) را تأیید می‌کند. بر پایه این پژوهش‌ها، بخش وسیعی از استان خراسان رضوی نسبت به پدیده بیابان‌زایی در شرایط آسیب‌پذیر است.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پژوهش‌های پایان‌نامه کارشناسی ارشد (طرح پژوهشی ۳-۳۱۵۰۸) و تحت حمایت معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد است.

منابع

- اختصاصی، م.ر. و سپهر، ع. (۱۳۹۰). روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی، انتشارات دانشگاه یزد.
- سپهر، ع. (۱۳۹۲). تعادل ترمودینامیکی و فروپاشی کاتاستروفیک اکوسیستم: بیابان‌شدن و گذرهای بحرانی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۵(۲): ۱۱۹-۱۳۲.
- سپهر، ع. و پرویان، ن. (۱۳۹۲). تهیه نقشه آسیب‌پذیری بیابان‌زایی و اولویت‌بندی راهبردهای مقابله در اکوسیستم‌های استان خراسان رضوی بر پایه الگوریتم نارتبه‌ای پرامسه، مجله پژوهش‌های دانش‌زمین، ۲(۸): ۵۸-۷۱.
- مومنی، م. (۱۳۸۵). مباحث نوین تحقیق در عملیات، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
- Allbed, A. and Kumar, L. (2013). Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology, *Advances in Remote Sensing*, 2: 373-385.

- Bailey, R.G. (2014). *Ecoregions*, Springer Science, New York.
- Bailey, R.G. (1996). *Ecosystem geography*, Springer, New York.
- Blonk, H.; Lindeiger, E. and Broers, J. (1997). Towards a Methodology for Taking Physical Degradation of Ecosystems into Account in LCA, 6th SETAC-Europe Meeting, 2: 91-98.
- Cowell, S.J. and Clift, R. (2000). A methodology for assessing soil quantity and quality in life cycle assessment, *Journal of Cleaner Production*, 8(4): 321-331.
- Cowell, S.J. and Lindeijer, E. (2000). Impacts on ecosystems due to land use: biodiversity, life support, and soil quality in life cycle assessment, In *Agricultural data for life cycle assessment*, 8(4): 313-319.
- DESERTLINKS (2004). *Desertification Indicator System for Mediterranean Europe (DIS4ME)*. European Commission, Contract EVK2-CT-2001-00109, <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/> (last accessed date August 5, 2008).
- Ekhtesasi, M.R. and Sepehr, A. (2011). *Methods and Models of Desertification Assessment and Mapping*, Yazd University.
- Garrigues, E.; Corson, M.S.; Angers, D.A.; Werf, H. and Walter, C. (2012). Soil quality in Life Cycle assessment: Towards development of an indicator, Elsevier, 18: 434-442.
- ISO, 2006a. ISO 14040 International Standards. In: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jabbar, M.T. (2012). Assessment of Soil Salinity Risk on the Agricultural Area in Basrah Province, Iraq: Using Remote Sensing and GIS Technique, *Journal of Earth Science*, 23(6): 881–891.
- Khan, M.N.; Rastoskuev, V.V.; Sato, Y. and Shiozawa, S. (2005). Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators, Elsevier, 77(1-3): 96-109.
- Koellner, T. and Scholz, R. (2007). Assessment of Land Use Impacts on the Natural Environment, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(1): 32-48.
- Mehta, M.; Anh, V.Le.; Saha, S.K. and Agrawal, Sh. (2012). Evaluation of Indices and Parameters Obtained from Optical and Thermal Bands of Landsat 7 ETM+ for Mapping of Salt- Affected Soils and Water-Logged Areas, *Asian Journal of Geoinformatics*, 12(4): 9-16.
- Mila i Canals, L.; Bauer, C.; Depestele, J.; Dubreuil, A.; Freiermuth Knuchel, R.; Gaillard, G.; Michelsen, O.; Muller-Wenk, R. and Rydgren, B. (2007). Key elements in framework for land use impact assessment within LCA, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(1): 5–15.
- Momeni, M. (2007). *New Issues of Operation Research*, Univercity of Tehran.
- Nunez, M. (2011). *Modelling Location-dependent environmental impacts in Life Cycle Assessment: Water use, desertification and soil erosion*. Doctoral thesis, Dr. Assumpcio Anton Vallejo, Environmental Science and Technology, Univercity Autonoma de Barcelona, 203p.
- Nunez, M.; Civit, B.; Muñoz, P.; Arena, A.P.; Rieradevall, J. and Antón, A. (2010). Assessing potential desertification environmental impact in life cycle assessment, *Int J Life Cycle Assess*, 15(1): 67–78.
- Sepehr, A. (2014). *Thermo dynamic Equilibrium and Catastrophic Collapse: Desertification and Critical Transition*, *Geography and Environmental Planning*, 25(2): 119-132.
- Sepehr, A. and Parvian, N. (2014). Desertification vulnerability mapping and Developing Combating Strategies in the Ecosystem of Khorasan Razavi Province using PROMETHEE Algorithm, *Journal of Earth Science researchers*, 2(8): 58-71.
- Sepehr, A.; Zucca, Cl. and Nowjavan, M.R (2014). Desertification Inherent Status Using Factors Representing Ecological Resilience, *British Journal of Environment & Climate Change*, 4(3): 279-291.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) and SETAC Foundation for Environmental Education Inc. (1991). 'A Technical Framework for Life-cycle Assessment', Washington, DC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry and SETAC Foundation for Environmental Education Inc. (Workshop held in Smugglers Notch, Vermont, August 18-83, 1990).
- Tervonen, T.; Sepehr, A. and Kadzinski, M. (2015). Regional anti-desertification management with a multi-criteria inference approach, *Journal of Environmental Management*, 162: 9-19.

United Nations (1994). United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa.

Wagendrop, T.; Gulinck, H.; Coppin, P. and Muys, B. (2006). Land use impact evaluation in life cycle assessment based on ecosystem thermodynamics, *Elsevier*, 31(1): 112-125.