جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۲۷، تابستان ۱۳۹۷
صص. ۸۷-۷۵

کاربرد شاخص‌های اکولوژی چشم‌انداز در پایش و ارزیابی بیابان‌زایی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ عمرانی گناباد)

مسعود عشقی‌زاده* - استادیار علوم و مهندسی آبخیزداری، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

وصول: ۱۳۹۶/۱۲/۱۹ **پذیرش:** ۱۳۹۷/۰۳/۲۳

چکیده

بیابان‌زایی، یکی از مهم‌ترین پدیده‌های تهدیدکننده، در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک است. تغییرات اقلیمی و فعّالیّت‌های بی‌رویهٔ انسان‌ها، سبب افزایش سرعت بیابان‌زایی و توسعهٔ بیابان در این مناطق شده است. کاربرد شاخص‌های اکولوژیکی چشم‌انداز، روشی ساده و کاربردی برای پایش و ارزیابی گسترش بیابان و بیابان‌زایی است. پژوهش حاضر با هدف بررسی توانایی این شاخص‌ها در پایش و ارزیابی بیابان‌زایی در یکی از کانون‌های اصلی بحران فرسایش بادی در منطقهٔ عمرانی شهرستان گناباد واقع در جنوب خراسان رضوی صورت گرفت. در مرحلهٔ اوّل، نقشهٔ کاربری و پوشش سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و لندست ۸ در دو مقطع زمانی ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ تهیّه و نقشهٔ عناصر چشم‌انداز آنها ترسیم شد؛ سپس مقادیر شاخص‌های تنوّع، غالبیت و تناسب عناصر چشم‌انداز منطقهٔ مورد مطالعه، برای هر یک از این سال‌ها محاسبه شد و اختلاف آنها از روش مدل ماتریس مارکو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد، سال ۱۳۹۶ نسبت به ۱۳۶۶، مقدار شاخص‌های تنوّع و تناسب به‌ترتیب، ۰/۳۱۵ و ۰/۱۳۵ افزایش و مقدار شاخص غالبیت، ۰/۳۱۵ کاهش داشته است؛ همچنین مدل ماتریس مارکو نشان داد وسعت اراضی مرتعی، ۱۰/۴٪ کاهش یافته، امّا ۱/۷٪ بر وسعت تپّه‌های ماسه‌ای و کفه‌های رسی بدون پوشش در منطقهٔ مورد مطالعه افزوده شده است که به‌طور متوسّط، مقدار ۲۰ هکتار در سال است. بر این اساس، در صورت رها شدن اراضی آبی در اثر کمبود منابع آبی، بی‌درنگ بیابان‌زایی در منطقه شدیدتر شده و اثر قوی و فزایندهٔ چشم‌اندازهای بیابانی بر روی کلّ چشم‌انداز قابل مشاهده خواهد بود.

واژگان کلیدی: بیابان‌زایی، چشم‌انداز، تناسب، تنوّع، غالبیت.

*. نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۵۵۳۳۰۴۹۶ E-mail: m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir

مقدّمه

بر اساس تعریف سازمان ملل متّحد، بیابان‌زایی عبارت است از پدیده‌ها و فرایندهای تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب، بر اثر فرایندهای مختلف تغییرات اقلیمی و فعّالیّت‌های انسانی (سازمان ملل متّحد، ۱۹۹۴). تغییرات اقلیمی سبب می‌شوند، ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های غیر بیابانی به سمت بیابانی‌شده حرکت نمایند؛ از طرف دیگر، فعّالیّت‌های بی‌رویه و غیر عقلانی انسان‌ها، سبب افزایش اثر منفی این تغییرات اقلیمی می‌شوند. بدین ترتیب، حرکت از اکوسیستم‌های غیر بیابانی، به بیابانی یا از درجه‌های کم بیابان‌زایی، به درجه‌های بالای بیابان‌زایی شتاب‌دار شده است. این وضعیّت، به‌ویژه در مناطق حدّ فاصل زمین‌های کشاورزی و مرتعی که محیط اکولوژیکی شکننده‌ای دارند، بیشتر دیده می‌شود (لی و سان[1]، ۲۰۰۰).

چشم‌انداز، به‌عنوان یک واحد پایدار طبیعی، محیط مهمّی در توسعهٔ پایدار منطقه‌ای، محیط اکولوژیکی و پروژه‌های حفاظت منابع طبیعی به‌شمار می‌رود. تجزیه و تحلیل عناصر چشم‌انداز می‌تواند برای مطالعهٔ روابط متقابل بین چشم‌انداز و فرایندهای اکولوژیکی مفید واقع شوند. مطالعات روی چشم‌انداز شامل تجزیه و تحلیل تعداد، اندازه، شکل، نوع، توزیع و ارتباط بین توده‌ها است. الگوی مکانی چشم‌انداز، به‌طور عمده با استفاده از ترکیب سامانه‌های اطّلاعات جغرافیایی و شاخص‌های الگوی مکانی چشم‌انداز اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۰۴). چشم‌اندازهایی که از نظر اکولوژیکی دارای عملکرد بالایی هستند، خروج گستردهٔ منابع موجود در آنها از قبیل آب، موادّ آلی و ذرّات خاک به بیرون چشم‌انداز صورت نمی‌گیرد. درحالی‌که چشم‌اندازهایی که دارای عناصر پراکنده و فضاهای خالی زیادی هستند، به دلیل پایین بودن عملکرد اکولوژیکی، منابع طبیعی و حیاتی موجود در آنها به‌راحتی می‌تواند به بیرون از آن جریان داشته باشد و از دسترس خارج شود (باستین[2] و همکاران، ۲۰۰۲).

به‌طور کلّی، در ارزیابی‌های بیابان‌زایی در سطح ملّی، سه جنبه از بیابان‌زایی شامل نوع کاربری، تیپ و درجهٔ بیابانی‌شدن مورد توجّه قرار می‌گیرد؛ امّا در بیشتر موارد، نوع کاربری، اساس پایش و ارزیابی بیابان‌زایی قرار می‌گیرد. با شناسایی شرایط و گرایش‌های بیابان‌زایی در انواع کاربری‌ها، می‌توان اهداف کنترل و مبارزه با بیابان‌زایی را پیاده‌سازی کرد (لی و سان، ۲۰۰۰).

کاربرد شاخص‌های اکولوژیکی، به‌طور فزاینده‌ای برای تعیین خصوصیات چشم‌انداز مرسوم شده است. تجزیه و تحلیل این شاخص‌ها، روی نقشه‌های پوشش سطح زمین و کاربری صورت گرفته که از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی تهیّه شده‌اند (مالینوسکا و اسزوماچر[3]، ۲۰۱۳). با استفاده از پایش و ارزیابی تغییرات کاربری‌ها، به‌ویژه با اندازه‌گیری از روی تصاویر سنجش از دور، می‌توان روند بیابان‌زایی را پایش کرد. برای این منظور، هر نوع کاربری می‌تواند به‌عنوان یک عنصر چشم‌انداز در نظر گرفته شده و تغییرات آن در طول زمان از نظر وسعت و اندازه تحت پایش و بررسی قرار گیرد. رابطهٔ مهمّی بین تنوّع چشم‌انداز و ناهمگنی وجود دارد؛ به‌طوری که هرچه ناهمگنی موجود در چشم‌انداز افزایش یابد، نشان‌دهندهٔ تنوّع بیشتر عناصر چشم‌انداز و تنوّع قطعات موجود در آن است (لی و همکاران، ۲۰۰۴). ناهمگنی و تنوّع چشم‌انداز، حاصل عوامل طبیعی، فعّالیّت‌های انسانی و توالی‌های طبیعی گیاهان هستند (فیو[4]، ۱۹۹۵). این عوامل، اثرات مهمّی

1- Li & Sun
2- Bastin
3- Malinowska & Szumacher
4- Fu

بر روی انتقال و تحوّل مواد، انرژی و گونه‌های چشم‌انداز دارند. بدین ترتیب، تنوّع چشم‌انداز از اجزای اصلی در تحقیقات اکولوژی چشم‌انداز به‌شمار می‌رود (لی و همکاران، ۲۰۰۴). افزون بر این، مطالعات مختلف، خواصّ ریاضی و بیولوژیکی شاخص تناسب را بررسی کرده و قابلیّت کاربرد آنها را تأیید نموده‌اند (پاین[1] و همکاران، ۲۰۰۵).

از ویژگی‌های اصلی شاخص‌های اکولوژیکی چشم‌انداز، توانایی آنها در کمّی‌سازی وضعیّت ساختاری و عملکردی اکوسیستم‌ها است. این امر، امکان پایش تغییرات کاربری‌ها و پوشش‌های سطح زمین را در طول زمان فراهم می‌سازد. لی و همکاران (۲۰۱۷)، این ویژگی را در بررسی تغییرات اکولوژیکی سواحل استان ژیژانگ چین، طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ مورد تأیید قرار دادند. محبی و همکاران (۱۳۹۵) و جعفری و همکاران (۱۳۹۳) نیز، توانایی کمّی‌سازی تغییرات ایجادشده در مراتع را با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عملکرد چشم‌انداز[2] که یکی از شاخص‌های اکولوژیکی چشم‌انداز است، تأیید نمودند؛ امّا افزون بر توانایی کمّی‌سازی، امکان ترکیب شدن با سامانه‌های اطّلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، از ویژگی‌های مهمّ شاخص‌های اکولوژیکی چشم‌انداز است که این نوع شاخص‌ها را شاخص‌های مکانی چشم‌انداز[3] می‌نامند. در این زمینه، ساین[4] و همکاران (۲۰۱۷)، در پارک ملّی راجاجی هندوستان، شاخص‌هایی از قبیل شکل، فاصله و تجزیه و تحلیل مؤلّفه‌های اصلی[5] را به‌منظور پایش و تشخیص تغییرات پوشش سطح زمین و ارزیابی الگوی قطعات مختلف آن، بررسی کردند. بر اساس نتایج آنها، تشخیص تغییرات ایجادشده در چشم‌اندازها، نیازمند به‌کارگیری روش‌های مناسب اندازه‌گیری است که شاخص‌های مکانی چشم‌انداز از این جمله هستند؛ افزون بر این، آرخی و کمکی (۲۰۱۵)، نیز با استفاده از برنامهٔ تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی، شاخص‌های مکانی چشم‌اندازی مانند شکل، محیط، مساحت، لبه، اندازه، تنوّع، همسانی، انشعاب، نزدیکی و تراکم را در منطقهٔ آینه‌خوش شهرستان دهلران مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نیز بیانگر توانایی بالای این شاخص‌ها در تشخیص تخریب اراضی و روند بیابانی‌شدن بود. بررسی سایر مطالعات انجام‌شده در این زمینه (کوچما[6] و همکاران، ۲۰۱۳؛ راماچاندرا[7] و همکاران، ۲۰۱۲؛ لی و همکاران، ۲۰۰۴) نتایج مشابهی را نشان داد.

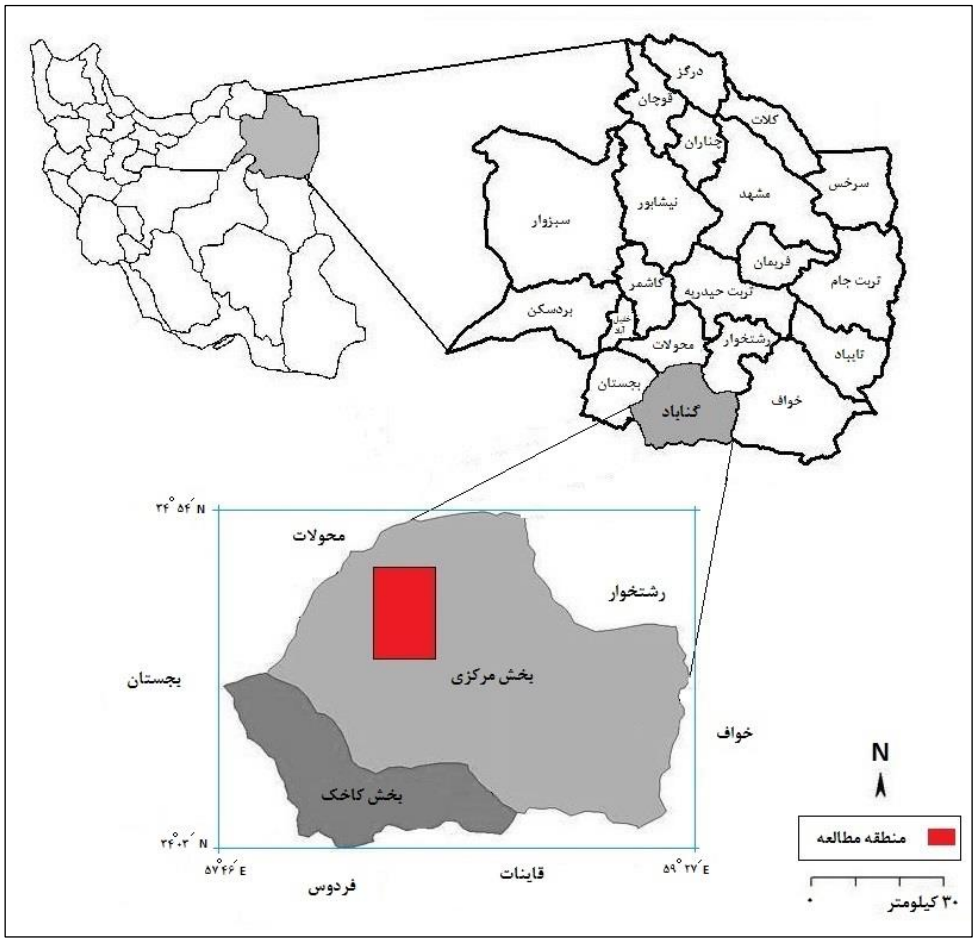
بر اساس بررسی مطالعات صورت‌گرفته، در مورد کاربرد شاخص‌های اکولوژیکی چشم‌انداز در عرصه‌های بیابانی و پایش و ارزیابی تغییرات عناصر بیابانی با استفاده از این شاخص‌ها، مطالعهٔ خاصی صورت نگرفته است. بیشتر پژوهش‌های صورت‌گرفته، بر روی تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک تمرکز داشته و روند تخریب و حرکت به سمت بیابانی‌شدن این اراضی، از روش پایش تغییرات کاربری‌های موجود در آنها توسّط شاخص‌های اکولوژیکی مختلف بررسی شده است؛ لذا هدف از این پژوهش، معرّفی و کاربرد سه شاخص تنوّع، غالبیت و تناسب چشم‌انداز و روش محاسبه و تفسیر نتایج آنها با تمرکز بر روی چشم‌اندازهای اصلی بیابان شامل تپّه‌های ماسه‌ای و کفه‌های رسی در یک منطقهٔ بیابانی است. برای این منظور، مقادیر این شاخص‌ها در منطقهٔ عمرانی شهرستان گناباد که یکی از اصلی‌ترین کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و ریزگرد شهرستان است، برای دو سال ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در پژوهش حاضر، افزون بر

1- Payne
2- Landscape Function Analysis (LFA)
3- Spatial landscape Indices
4- Singh
5- Principal Component Analysis (PCA)
6- Kuchma
7- Ramachandra

معرّفی این شاخص‌ها، روش ساده و سریعی برای محاسبه، نحوهٔ کاربرد و تفسیر نتایج آنها در پایش و ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی در مناطق بیابانی برای مقاطع زمانی مختلف ارائه شده است.

معرّفی منطقهٔ مورد بررسی

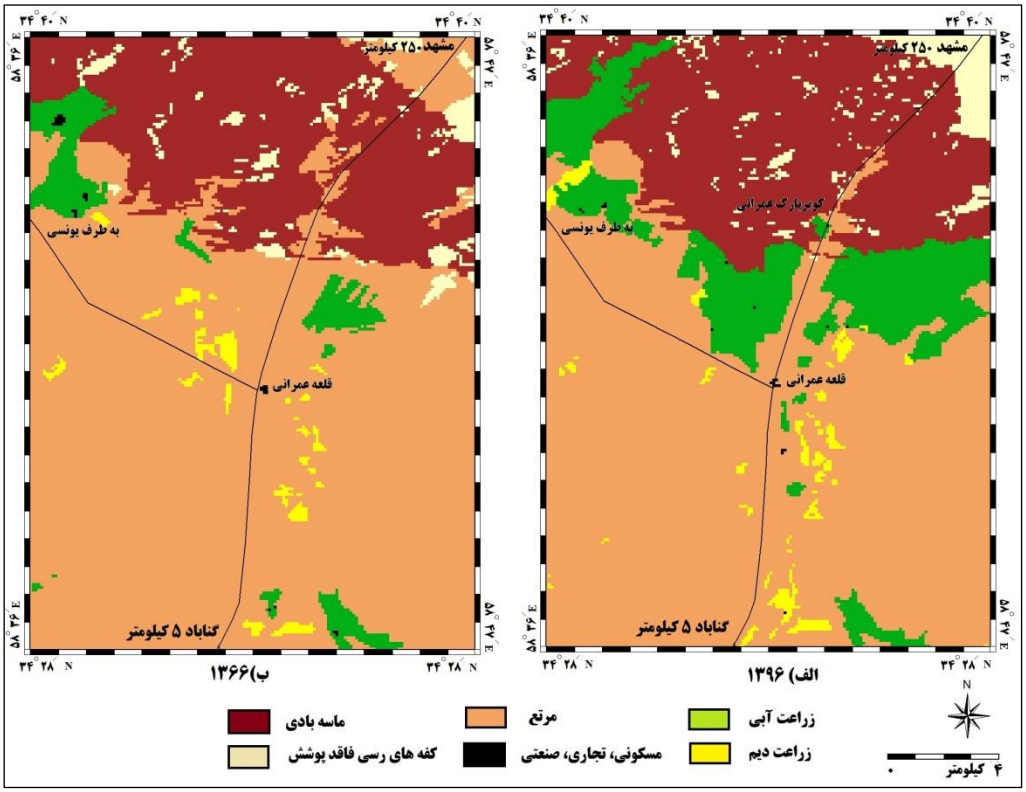
در پژوهش حاضر، پایش و ارزیابی بیابان‌زایی در منطقهٔ عمرانی شهرستان گناباد واقع در جنوب خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت. کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و اراضی که به‌طور مستقیم در معرض بیابان‌زایی قرار دارند بیش از ۲۰۰ هزار هکتار از ۵۷۰ هزار هکتار سطح اراضی این شهرستان را پوشش می‌دهند. منطقهٔ مورد مطالعه از شمال به کال‌شور و از جنوب به شهر گناباد بین عرض‌های جغرافیایی °۳۴ ′۳۰ ″۲۸ تا °۳۴ ′۴۰ ″۲۶ شمالی و طول‌های جغرافیائی °۵۸ ′۳۶ ″۴۰ تا °۵۸ ′۴۷ ″۷ شرقی محدود شده و دارای مساحت ۳۵۴۳۲ هکتار است (شکل ۱). دامنهٔ ارتفاعی این منطقه، بین ۸۳۹ تا ۱۵۰۰ متر است و شیب متوسّط منطقه جنوب به شمال و حدود ۳٪ است. بارندگی متوسّط سالانهٔ منطقه، کمتر از ۱۴۰ میلی‌متر و متوسّط دمای سالانهٔ منطقه ۱۷/۸ درجهٔ سانتی‌گراد بوده و دارای اقلیم خشک است. این منطقه، از نظر ژئومورفولوژی جزء واحد دشت‌سر و پلایا بوده و از لحاظ زمین‌شناسی، آبرفت عهد حاضر محسوب می‌شود. خاک منطقه دارای بافت ماسه لومی و لومی رسی ماسه‌ای ریز املاح‌دار است. پوشش گیاهی غالب منطقه، گونه‌های شورپسند شامل انواع علف شورها و تاغ است. افزون بر خشکی و کمبود آب، شوری و بافت سنگین خاک از عوامل اصلی محدودکنندهٔ رشد گیاهان در منطقه است.



شکل ۱. موقعیّت منطقهٔ مورد بررسی

مواد و روش‌ها

ابتدا برای محدودهٔ مورد نظر، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ برای سال ۱۳۶۶ و لندست ۸ برای سال ۱۳۹۶، نقشهٔ کاربری و پوشش سطح زمین به‌عنوان نقشهٔ عناصر چشم‌انداز در منطقهٔ مورد مطالعه تهیّه و با استفاده از عکس‌های هوایی، بازدیدهای میدانی و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، منطقه کنترل شد (شکل ۲). در پژوهش حاضر، هر نوع کاربری به‌عنوان یک عنصر چشم‌انداز در نظر گرفته شد و تغییرات آن، طی سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ از نظر وسعت و اندازه ثبت شد (جدول ۱).



شکل ۲. نقشهٔ عناصر چشم‌انداز منطقهٔ مورد مطالعه در دو سال الف: ۱۳۹۶ و ب: ۱۳۶۶

جدول ۱. تعداد، مساحت و درصد مساحت هریک از عناصر چشم‌انداز در منطقهٔ مورد مطالعه برای سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶

عناصر چشم‌انداز	سال ۱۳۶۶			سال ۱۳۹۶			اختلاف مساحت سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۶۶	
	تعداد قطعات	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	تعداد قطعات	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
زراعت آبی	۸	۱۴۶۴/۶	۴/۱	۱۳	۴۴۵۴/۶	۱۲/۶	+۲۹۹۰	+۸/۵
زراعت دیم	۲۵	۴۶۶/۹	۱/۳	۳۷	۵۵۸/۲	۱/۶	+۹۱/۳	+۰/۳
مرتع	۱۴	۲۴۲۰۳/۹	۶۸/۳	۳	۲۰۵۱۰/۶	۵۷/۹	-۳۶۹۳/۳	-۱۰/۴
مسکونی، اقتصادی، صنعتی	۶	۲۳/۸	۰/۱	۲۱	۳۱/۶	۰/۱	+۷/۸	+۰/۰۲
کفه رسی بدون پوشش	۶۴	۱۰۲۵/۹	۲/۹	۱۵۷	۱۲۶۷/۶	۳/۶	+۲۴۱/۷	+۰/۷
ماسه‌بادی	۱	۸۲۴۷/۴	۲۳/۳	۵	۸۶۰۹/۷	۲۴/۳	+۳۶۲/۳	+۱
مجموع	۱۱۸	۳۵۴۳۲/۴	۱۰۰	۲۳۶	۳۵۴۳۲/۴	۱۰۰	۰	۰

پس از تعیین عناصر چشم‌انداز منطقه برای سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶، این عناصر از طریق مدل ماتریس مارکو[1] در اکولوژی، مورد بررسی قرار گرفت (لی و سان، ۲۰۰۰). در مرحلهٔ بعد، مقدار هر یک از شاخص‌های تنوّع، غالبیت و تناسب برای هر یک از عناصر چشم‌انداز موجود در هر سال محاسبه شد. با محاسبهٔ مقدار تغییرات این شاخص‌ها بین این دو مقطع زمانی، وضعیّت بیابان‌زایی در منطقه به‌صورت زیر قابل تفسیر است.

شاخص تنوّع[2]

این شاخص، تنوّع انواع چشم‌اندازها را با استفاده از رابطهٔ ۱ نشان می‌دهد (راماچاندرا و همکاران، ۲۰۱۲؛ لی و همکاران، ۲۰۰۴؛ لی و سان، ۲۰۰۰؛ وانگ و همکاران[3]، ۱۹۹۷):

$$H=-\sum_{i=1}^{s} P_i \log_2 P_i$$ رابطهٔ ۱

در این رابطه، H: شاخص تنوّع؛ s: تعداد عنصرهای چشم‌انداز (تعداد کاربری‌ها) و p: درصد مساحت عنصر چشم‌انداز i ام است.

تغییرات این شاخص، روند تغییرات چشم‌انداز را نشان می‌دهد. تفسیر مقدار این شاخص، برای پایش و بررسی روند بیابان‌زایی با توجّه به وسعت چشم‌انداز های بیابانی مانند تپّه‌های ماسه‌ای و کفه‌های رسی بدون پوشش گیاهی تعیین می‌شود. در مناطقی که بیش از ۵۰٪ منطقه دارای چشم‌اندازهای بیابانی است، مقادیر کمتر این شاخص نشان‌دهندهٔ کاهش تنوّع و افزایش همگنی است؛ در نتیجه، کارکرد اکولوژیک منطقه کاهش یافته و گرایش و وضعیّت منطقه به سمت بیابانی‌شدن است؛ زیرا با توجّه به وسعت چشم‌اندازهای بیابانی که بیش از ۵۰٪ است، افزایش همگنی نشان‌دهندهٔ افزایش و توسعهٔ چشم‌اندازهای بیابانی نسبت به سایر عناصر چشم‌انداز است. در حالی که افزایش مقدار این شاخص، نشان‌دهندهٔ افزایش ناهمگنی و کاهش همگنی است که بر اثر توسعهٔ کاربری‌های مختلف نسبت به چشم‌اندازهای بیابانی ایجاد شده است و در نتیجه، کارکرد اکولوژیک منطقه افزایش یافته و بیابانی‌شدن، کاهش یافته است. در مناطقی که کمتر از ۵۰٪ منطقه دارای چشم‌اندازهای بیابانی است، افزایش مقدار شاخص تنوّع، نشان‌دهندهٔ کاهش همگنی و در نتیجه، بیابان‌زایی و حرکت به سمت بیابانی‌شدن کلّ چشم‌انداز است. در حالی که کاهش این شاخص، نشان‌دهندهٔ افزایش همگنی در کلّ چشم‌انداز و عدم توسعهٔ چشم‌اندازهای بیابانی است. در نتیجه، بیابانی‌شدن کاهش یافته است (آرخی و کمکی، ۲۰۱۵؛ لی و سان، ۲۰۰۰).

شاخص غالبیت[4]

این شاخص، به‌منظور اندازه‌گیری درصد غالبیت یک یا چند نوع عنصر چشم‌انداز (کاربری) در یک چشم‌انداز استفاده می‌شود و با استفاده از رابطهٔ ۲ نشان داده می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۰۴؛ وو[5]، ۲۰۰۰؛ لی و سان، ۲۰۰۰؛ لی و وو، ۱۹۹۲؛ اُنیل[6] و همکاران، ۱۹۸۸):

$$D=\log_2 s+\sum_{i=1}^{s} P_i \log_2 P_i$$ رابطهٔ ۲

در این رابطه، D: شاخص غالبیت؛ s: تعداد عنصرهای چشم‌انداز (تعداد کاربری‌ها) و p: درصد مساحت

1- Marcov matrix model
2- Diversity index
3- Wang
4- Dominance index
5- Wu
6- Oneil

عنصر چشم‌انداز i ام است.

تفسیر مقدار این شاخص، برای پایش و بررسی روند بیابان‌زایی با توجّه به وسعت چشم‌اندازهای بیابانی مانند تپّه‌های ماسه‌ای و کفه‌های رسی بدون پوشش گیاهی، تعیین می‌شود. در مناطقی که بیش از ۵۰٪ منطقه دارای چشم‌اندازهای بیابانی است، افزایش مقدار این شاخص، نشانه‌ای از توسعهٔ چشم‌اندازهای بیابانی‌شده در کلّ چشم‌انداز است و درنتیجه، گسترش بیابان‌زایی در منطقه را نشان می‌دهد؛ زیرا عناصر غالب چشم‌انداز، از عناصر بیابانی هستند که غالبیت آنها افزایش یافته است. در حالی که کاهش مقدار این شاخص، نشان‌دهندهٔ کاهش توسعهٔ چشم‌اندازهای بیابانی بوده و در نتیجه، بیابانی‌شدن کاهش یافته است. در مناطقی که کمتر از ۵۰٪ منطقه دارای چشم‌اندازهای بیابانی است، افزایش مقدار شاخص غالبیت، نشان‌دهندهٔ اثر قوی‌تر و فزایندهٔ چشم‌اندازهای غیر بیابانی بر روی کلّ چشم‌انداز بوده و درنتیجه، بیابان‌زایی متوقّف شده یا کاهش یافته است. در حالی که کاهش این شاخص، نشان‌دهندهٔ توسعهٔ چشم‌اندازهای بیابانی است؛ زیرا عناصر غالب چشم‌انداز که غیر بیابانی هستند، توسعه نیافته‌اند (لی و سان، ۲۰۰۰).

شاخص تناسب[1]

این شاخص، به‌منظور بیان توزیع انواع چشم‌اندازها در یک منطقه استفاده شده و از رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود (آرخی و کمکی، ۲۰۱۵؛ لی و همکاران، ۲۰۰۴؛ وو، ۲۰۰۰؛ لی و سان، ۲۰۰۰؛ لی و وو، ۱۹۹۲؛ روم[2]، ۱۹۸۲):

$$E = {-log_2[\sum_{i=1}^{s}(P_i)^2]}\Big/{log_2 s}$$ رابطهٔ ۳

در این رابطه، E: شاخص تناسب؛ s: تعداد عنصرهای چشم‌انداز (تعداد کاربری‌ها) و p: درصد مساحت عنصر چشم‌انداز i ام است.

تغییرات این شاخص، درصد توزیع و روند تغییرات چشم‌اندازهای بیابانی را در کلّ چشم‌انداز نشان می‌دهد. تفسیر مقدار این شاخص، برای پایش و بررسی روند بیابان‌زایی با توجّه به وسعت چشم‌اندازهای بیابانی مانند تپه‌های ماسه‌ای و کفه‌های رسی بدون پوشش گیاهی تعیین می‌شود. در مناطقی که بیش از ۵۰٪ منطقه دارای چشم‌اندازهای بیابانی است، کاهش مقادیر تناسب، نشان‌دهندهٔ توسعهٔ چشم‌اندازهای بیابانی و بیابان‌زایی در کلّ چشم‌انداز است؛ زیرا سایر عناصر غیر بیابانی چشم‌انداز، توسعه نیافته‌اند؛ در حالی که افزایش مقدار این شاخص، نشان‌دهندهٔ روند کنترلی و کاهش بیابانی‌شدن منطقه در اثر رشد و توسعهٔ عناصر غیر بیابانی است. در مناطقی که کمتر از ۵۰٪ منطقه دارای چشم‌اندازهای بیابانی است، افزایش مقدار شاخص تناسب، نشان‌دهندهٔ بیابان‌زایی در کلّ چشم‌انداز است؛ زیرا نشانهٔ توسعهٔ سایر عناصر از جمله عناصر بیابانی است در حالی که کاهش مقدار این شاخص، روند کنترلی و کاهش بیابانی‌شدن منطقه را نشان می‌دهد (آرخی و کمکی، ۲۰۱۵؛ لی و سان، ۲۰۰۰).

با توجّه به وجود عناصر چشم‌انداز بیابانی در منطقه با استفاده از شاخص‌های تنوّع، غالبیت و تناسب، می‌توان تغییرات تنوّع، غالب بودن و یا همسان بودن پدیده‌های بیابانی موجود در اکوسیستم منطقهٔ مورد مطالعه را با سایر پدیده‌های موجود در منطقه، مورد پایش قرار داد و وضعیّت توسعه یا کاهش آنها را بر اساس نتایج حاصل، بررسی کرد.

1- Evenness index
2- Rome

نتایج

مقادیر هریک از شاخص‌های تنوّع، غالبیت و تناسب، برای منطقهٔ مورد مطالعه در هریک از سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ محاسبه شد (جدول ۲). مقدار شاخص تنوّع، برای کلّ چشم‌انداز منطقهٔ مورد مطالعه از ۱/۲۹۱ در سال ۱۳۶۶ به ۱/۶۰۶ در سال ۱۳۹۶ افزایش یافته است. مقدار این شاخص، برای عناصر بیابانی چشم‌انداز در منطقهٔ مورد مطالعه نیز از ۰/۵۰۱ در سال ۱۳۶۶ به ۰/۵۵۲ در سال ۱۳۹۶ افزایش یافته است. با توجّه به اینکه وسعت عناصر چشم‌انداز بیابانی کمتر از ۵۰٪ کلّ منطقه است، افزایش مقدار این شاخص، نشان‌دهندهٔ کاهش همگنی عنصر غالب چشم‌انداز (مرتع) و افزایش تنوّع عناصر غیر غالب (ماسه‌بادی، کفه‌های رسی بدون پوشش، زراعت آبی و دیم، مسکونی، اقتصادی و صنعتی) در منطقه است که بیابان‌زایی را نشان می‌دهد. افزایش مساحت عناصر بیابانی نیز مؤیّد این نتیجه است (جدول ۱).

شاخص غالبیت برای کلّ چشم‌انداز منطقهٔ مورد مطالعه از ۱/۲۹۴ در سال ۱۳۶۶ به ۰/۹۷۹ در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته است. در مورد عناصر بیابانی چشم‌انداز نیز مقدار این شاخص از ۰/۵ به ۰/۴۵ از سال ۱۳۶۶ به ۱۳۹۶ کاهش یافته است. کاهش مقدار این شاخص، نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۶۶، عنصر غالب چشم‌انداز (مرتع) توسعه نیافته است در حالی که سایر عناصر چشم‌انداز از جمله عناصر بیابانی گسترش داشته‌اند.

شاخص تناسب کلّ چشم‌انداز در منطقهٔ مورد مطالعه از ۰/۳۶۱ در سال ۱۳۶۶ به ۰/۴۹۶ در سال ۱۳۹۶ افزایش یافته است. در مورد عناصر بیابانی چشم‌انداز نیز مقدار شاخص تناسب از ۰/۳۱۶ در سال ۱۳۶۶ به ۰/۳۶۵ در سال ۱۳۹۶ افزایش یافته است. افزایش مقدار این شاخص، نشان‌دهندهٔ توسعهٔ عناصر چشم‌انداز از جمله عناصر بیابانی است؛ لذا در سال ۱۳۹۶، نسبت به سال ۱۳۶۶، بیابان‌زایی در منطقه در حال توسعه بوده است.

تغییرات مساحت و درصد مساحت هر یک از عناصر چشم‌انداز منطقهٔ مورد مطالعه، برای سال‌های مورد بررسی در مدل ماتریس مارکو ثبت سد (جدول ۳ و ۴). بر اساس این نتایج، مساحت عرصه‌های مرتعی از ۶۸/۳٪ در سال ۱۳۶۶، به ۵۷/۹٪ در سال ۱۳۹۶ و با سرعت متوسّط ۱۲۳ هکتار در سال کاهش یافته است که این کاهش، در اثر تبدیل مراتع به سایر عناصر چشم‌انداز به‌ویژه اراضی تحت کشت آبی و عناصر بیابانی بوده است. در نتیجه، مقدار غالبیت کلّ چشم‌انداز که مراتع بوده، کاهش یافته و مقدار تنوّع و تناسب سایر عناصر در کلّ چشم‌انداز، افزایش یافته است. بررسی عناصر چشم‌انداز منطقهٔ مورد مطالعه، توسّط تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی در دو سال ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ نشان داد، پدیدهٔ بیابان‌زایی در منطقهٔ مورد مطالعه، در حال توسعه بوده و با سرعت متوسّط ۲۰ هکتار در سال به عرصه‌های بیابانی منطقهٔ مورد مطالعه افزوده شده است.

جدول ۲. مقادیر شاخص‌های تنوّع، غالبیت و تناسب کلّ چشم‌انداز و عناصر چشم‌اندازهای بیابانی منطقهٔ مورد مطالعه

شاخص	سال	
	۱۳۶۶	۱۳۹۶
تنوّع کلّ چشم‌انداز	۱/۲۹۱	۱/۶۰۶
تنوّع عناصر بیابانی چشم‌انداز	۰/۵۰۱	۰/۵۵۲
غالبیت کلّ چشم‌انداز	۱/۲۹۴	۰/۹۷۹
غالبیت عناصر بیابانی چشم‌انداز	۰/۵۰۰	۰/۴۵۰
تناسب کلّ چشم‌انداز	۰/۳۶۱	۰/۴۹۶
تناسب عناصر بیابانی چشم‌انداز	۰/۳۱۶	۰/۳۶۵

جدول ۳. مساحت عناصر چشم‌انداز در مدل ماتریس مارکو در دو سال ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ در منطقهٔ مورد مطالعه به هکتار

۱۳۶۶ / ۱۳۹۶	زراعت آبی	زراعت دیم	مرتع	مسکونی، اقتصادی، صنعتی	کفه رسی بدون پوشش	ماسه‌بادی
زراعت آبی	۱۴۶۴/۶					
زراعت دیم		۴۶۶/۹				
مرتع	۲۹۹۰	۹۱/۳	۲۰۵۱۰/۶	۷/۸	۲۴۱/۷	۳۶۲/۳
مسکونی، اقتصادی، صنعتی				۲۳/۸		
کفه رسی بدون پوشش					۱۰۲۵/۹	
ماسه‌بادی						۸۲۴۷/۴

جدول ۴. درصد مساحت عناصر چشم‌انداز در مدل ماتریس مارکو در دو سال ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ در منطقهٔ مورد مطالعه

۱۳۶۶ / ۱۳۹۶	زراعت آبی	زراعت دیم	مرتع	مسکونی، اقتصادی، صنعتی	کفه رسی بدون پوشش	ماسه‌بادی
زراعت آبی	۴/۱					
زراعت دیم		۱/۳				
مرتع	۸/۵	۰/۳	۵۷/۹	۰/۰۲	۰/۷	۱
مسکونی، اقتصادی، صنعتی				۰/۰۷		
کفه رسی بدون پوشش					۲/۹	
ماسه‌بادی						۲۳/۳

بحث

بیابان، فرایندی است که سبب تغییرات اساسی در یک چشم‌انداز شده و شرایط را از حالت نسبتاً غیر بیابانی، به حالت بیابانی تبدیل می‌کند. بر اساس برآورد کنفرانس بیابان‌زایی سازمان ملل، پدیدهٔ بیابان‌زایی، در آینده ۱۷/۷٪ از جمعیّت کلّ جهان را تهدید می‌کند (اکبری و همکاران، ۱۳۸۶). با توجّه به نقش و تأثیر بیابان بر زندگی انسان‌ها، شناسایی، پایش دقیق، بررسی روند تغییرات آن، ثبت و جمع‌آوری اطّلاعات مربوط به آن، از عوامل کلیدی به‌منظوز برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری و مدیریت این مناطق است. در این پژوهش، با توجّه به قابلیّت بالای شاخص‌های اکولوژیکی چشم‌انداز، نظیر کاربرد در مقیاس مکانی و زمانی مختلف، امکان ترکیب با سامانه‌های اطّلاعات جغرافیایی و سنجش از دور و محاسبات ساده و روشن، شاخص‌های تنوّع، غالبیت و تناسب چشم‌انداز برای مطالعه، پایش و بررسی بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، سال ۱۳۹۶، نسبت به سال ۱۳۶۶، مقدار شاخص غالبیت کاهش یافته امّا مقادیر شاخص‌های تنوّع و تناسب افزایش داشته است (شکل ۳). افزایش مقادیر شاخص‌های تنوّع و تناسب و کاهش شاخص غالبیت در مناطقی که وسعت عناصر چشم‌اندازهای بیابانی آنها کمتر از ۵۰٪ کلّ چشم‌انداز است، نشان‌دهندهٔ بیابان‌زایی است (لی و سان، ۲۰۰۰؛ لی و همکاران، ۲۰۰۴). با توجّه به وسعت ۷۲/۶ درصدی عناصر چشم‌انداز غیر بیابانی نسبت به کلّ چشم‌انداز، افزایش مقدار شاخص‌های تنوّع و تناسب و کاهش شاخص غالبیت، بیابان‌زایی را در منطقه نشان می‌دهد.

شاخص تنوّع چشم‌انداز، میزان افزایش یا کاهش در تنوّع عناصر موجود در چشم‌انداز یک منطقه را در بین دو مقطع زمانی مشخّص نشان می‌دهد. در منطقه‌ای که سطح بیشتر آن توسّط عناصر بیابانی پوشیده شده است، کاهش مقدار شاخص تنوّع به معنی همگنی و یک‌دست شدن بیشتر چشم‌انداز با عناصر بیابانی و به‌دنبال آن، بیابان‌زایی در منطقه است. در بیشتر مناطقی که در حال بیابانی‌شدن هستند، وسعت عناصر

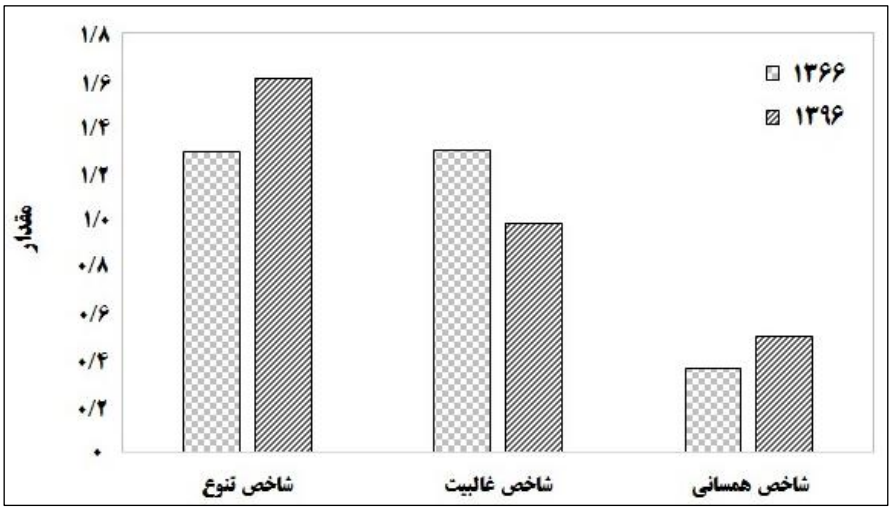
بیابانی کمتر از عناصر اصلی چشم‌انداز مانند اراضی زراعی است. در این مناطق، همانند منطقهٔ مورد مطالعه، افزایش مقدار شاخص تنوّع، نشان‌دهندهٔ کاهش وسعت عناصر غالب و غیر بیابانی چشم‌انداز به‌دلیل گسترش و توسعهٔ سایر عناصر غیر غالب مانند عناصر بیابانی و زمین‌های کشاورزی است (آرخی و کمکی، ۲۰۱۵؛ لی و سان، ۲۰۰۰). شاخص تنوّع اکولوژیکی، بیانگر میزان رشد ساختار و عملکرد اکولوژیکی چشم‌انداز بوده و با استفاده از آن می‌توان تغییرات و گرایش اکولوژیکی عرصه‌های طبیعی به‌ویژه جنگل‌ها، مراتع، تالاب‌ها و بیابان‌ها را در طول زمان مورد پایش قرار داد.

شاخص غالبیت، وضعیّت غالبیت یک عنصر چشم‌انداز را بین دو مقطع زمانی مشخّص نشان می‌دهد. غالب بودن وسعت عناصر بیابانی در یک منطقه و افزایش مقدار آن، بیابان‌زایی در منطقه را آشکار می‌سازد. در مناطقی مانند منطقهٔ مورد مطالعه که پدیدهٔ بیابان‌زایی به‌صورت خاموش در حال گسترش است، کاهش مقدار این شاخص، به معنی توسعهٔ عناصر غالب که غیر بیابانی هستند؛ است. در حالی که افزایش وسعت عناصر بیابانی با گذشت زمان رخ داده که به معنی بیابان‌زایی در منطقه است (لی و سان، ۲۰۰۰).

شاخص تناسب یا همسانی، نسبت توسعهٔ هماهنگ همهٔ عناصر چشم‌انداز را نشان می‌دهد. در منطقه‌ای که عناصر بیابانی غالبیت چشم‌انداز را تشکیل می‌دهند، افزایش مقدار این شاخص، در اثر توسعهٔ سایر عناصر غیر بیابانی خواهد بود؛ لذا بیابان‌زایی رخ نداده است. در حالی که در مناطقی که مراحل اوّلیّهٔ بیابان‌زایی در حال رخ دادن است، یا به‌صورت نامحسوس، بیابان در حال گسترش است، به‌طور معمول، وسعت عناصر بیابانی، کمتر از سایر عناصر است و افزایش مقدار همسانی یا تناسب، در اثر توسعهٔ سایر عناصر چشم‌انداز از جمله عناصر بیابانی است. در مناطقی مانند منطقهٔ مورد مطالعه، با توجّه به عدم غالبیت عناصر بیابانی (پوشش ۲۷/۶٪ از کلّ چشم انداز)، افزایش مقدار این شاخص در سال ۱۳۹۶، نسبت به سال ۱۳۶۶، در اثر توسعه و گسترش سایر عناصر غیر غالب به‌ویژه عناصر بیابانی و زمین‌های کشاورزی صورت گرفته است (آرخی و کمکی، ۲۰۱۵؛ لی و همکاران، ۲۰۰۴؛ وو، ۲۰۰۰؛ لی و سان، ۲۰۰۰). بررسی تغییرات مساحت عناصر چشم‌انداز نیز، مؤیّد گسترش عناصر بیابانی و کاهش اراضی مرتعی (عنصر غالب چشم‌انداز منطقه) است.

شاخص‌های تنوّع، غالبیت و تناسب چشم‌انداز، به‌طور مستقیم با پارامترهای تعداد کاربری‌ها یا عناصر چشم‌انداز و وسعت آنها ارتباط دارند؛ لذا کاربرد شاخص‌های اکولوژی چشم‌انداز، در پایش و ارزیابی بیابان‌زایی در پژوهش حاضر، قابلیت کاربرد این شاخص‌ها را برای سایر اهداف از جمله تغییرات کاربری اراضی در طول زمان نشان می‌دهد. به‌طوری که لی و همکاران (۲۰۰۴)، از شاخص‌های تنوّع، غالبیت و تناسب، برای پایش اهداف منابع طبیعی و اکولوژیکی از قبیل جنگل، مرتع و بیابان و بررسی تغییر و تبدیل آنها استفاده کردند. لی و سان (۲۰۰۰) نیز، از این شاخص‌ها برای پایش بیابان‌زایی و بررسی توسعهٔ آن استفاده کردند.

سان (۱۹۹۱) و لی و سان (۲۰۰۰)، در پژوهش خود نشان دادند مدل ماتریس مارکو، سبب درک بهتر تغییرات ایجادشده در الگوی مکانی عناصر چشم‌انداز در طول زمان می‌شود و امکان رصد تغییرات ایجادشده را میسّر می‌سازد. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در پژوهش حاضر، با توجّه به امکان دریافت این تصاویر در دوره‌های زمانی مختلف، امکان بررسی این تغییرات را آسان‌تر ساخت. این امر، به برنامه‌ریزی بهتر و اختصاص عملیات مورد نیاز برای کنترل و احیاء اراضی به‌ویژه مقابله با بیابان‌زایی کمک شایانی می‌کند و مدیریت بهتر منابع را امکان‌پذیر می‌سازد.



شکل ۳. تغیرات مقادیر شاخص‌های تنوّع، غالبیت و تناسب در منطقهٔ مورد مطالعه برای دو سال ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶

هرچند تبدیل کاربری مرتعی به اراضی تحت کشت آبی تا حدودی سرعت توسعهٔ عناصر بیابانی را کاهش داده است؛ امّا با توجّه به شرایط اقلیمی منطقه و افت شدید و شور شدن بیش از حدّ آب‌های زیرزمینی در منطقهٔ مورد مطالعه، دیر یا زود بسیاری از اراضی آبی رها شده و خود تبدیل به عناصر بیابانی در منطقه خواهند شد. بر اساس این نتایج، این هشدار وجود دارد که در صورت رها شدن اراضی آبی بر اثر کمبود منابع آبی، بی‌درنگ بیابان‌زایی در منطقه شدیدتر شده و اثر قوی و فزایندهٔ چشم‌اندازهای بیابانی خود را بر روی کلّ چشم‌انداز نشان خواهند داد. بر اساس نتایج این پژوهش، با وجود توسعهٔ اراضی آبی در منطقه، بیابان‌زایی در منطقهٔ مورد مطالعه ادامه داشته است و مساحت عناصر چشم‌انداز بیابانی به میزان ۱/۷٪ افزایش یافته است.

بر اساس نظر گرنجر[1]، چهار دلیل اصلی برای بیابان‌زایی، زراعت بیش از توان زمین، جنگل‌تراشی، چرای مفرط و آبیاری نامناسب است (اکبری و همکاران، ۱۳۸۶). بررسی شرایط منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش و نتایج حاصل از تغییرات وسعت عناصر چشم‌انداز آن نشان می‌دهد، وسعت زمین‌های کشاورزی در سال ۱۳۹۶ نسبت به ۱۳۶۶، به میزان ۸/۸٪ افزایش یافته است؛ در حالیرکه کیفیّت آب آبیاری این زمین‌ها، بسیار نامناسب شده و هدایت الکتریکی آن بین ۸۵۰۰ تا ۲۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر مربع افزایش یافته است. از طرف دیگر، با توجّه به کاهش وسعت مراتع و تداوم خشکسالی‌های ۲۰ ساله در منطقه و آماربرداری میدانی، این مرتع، تحت چرای مفرط بوده است؛ لذا بر اساس نظر گرنجر، منطقهٔ مورد مطالعه به‌طور کامل تحت تأثیر بیابان‌زایی قرار داشته که با این نتایج پایش توسّط شاخص‌های اکولوژیکی چشم‌انداز نشان داده شد.

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین مسائل در بخش بیابان، شناسایی و پایش بیابان‌زایی در مناطق مختلف است. لازمهٔ این کار، کمّی‌سازی وضعیّت بیابان‌زایی برای امکان مقایسه و بررسی تأثیر فعّالیّت‌های مختلف انسانی و عوامل غیر انسانی و به‌ویژه اقدامات بیابان‌زدایی بر آن است. در این میان، شاخص‌های اکولوژیک چشم‌انداز با در نظر گرفتن عوامل اصلی نظیر تعداد کاربری‌ها و وسعت آنها، امکان پایش کمّی بیابان‌زایی را ایجاد می‌کنند. پژوهش حاضر، به‌منظور بررسی کاربرد شاخص‌های اکولوژیکی چشم‌انداز در پایش، شناسایی و کمّی‌سازی

1- Gernjer

بیابان‌زایی در منطقهٔ عمرانی شهرستان گناباد انجام شد. به‌طور کلّی، سه شاخص اکولوژیک تنوّع، غالبیت و تناسب به‌کار گرفته شده، ادامهٔ بیابان‌زایی در این منطقه را با وجود گسترش زمین‌های کشاورزی نشان داد. با این وجود، نتیجهٔ اصلی پژوهش حاضر، نشان داد که این شاخص‌ها، امکان به‌کارگیری به‌منظور پایش و شناسایی بیابان‌زایی را دارند و عناصر چشم‌انداز و نوع کاربری‌ها می‌توانند به‌عنوان یک ورودی برای پایش و ارزیابی بیابان‌زایی به‌کار روند. این شاخص‌ها، می‌توانند در مناطقی که عناصر بیابانی هنوز چشم‌انداز غالب منطقه نشده‌اند، بیشترین کاربرد را داشته باشند؛ زیرا تشخیص پدیدهٔ بیابان‌زایی در مناطقی که به‌صورت نامحسوس و خاموش در حال گسترش است، به‌صورت معمول کاری دشوار بوده به‌ویژه اگر همراه با رشد زمین‌های کشاورزی، شهری و صنعتی باشد. این شاخص‌ها، کمک شایانی در تشخیص، پایش و پی بردن به سرعت توسعهٔ بیابان می‌کند. شاخص‌های پایش و ارزیابی عناصر چشم‌انداز، همراه با مدل ماتریس مارکو می‌توانند برای بررسی تغییرات الگوهای مکانی چشم‌انداز و تغییرات دینامیک آنها در طول زمان به‌کار برده شوند. این شاخص‌ها، می‌توانند در بررسی سایر تغییرات ایجادشده در اثر عوامل طبیعی یا انسانی از جمله اثرات بلندمدّت تغییرات اقلیم و خشکسالی‌ها و یا روند تغییرات کاربری اراضی و رشد و توسعهٔ شهرها و مناطق مسکونی به‌کار گرفته شوند.

افزون بر این، در مباحث اکولوژیکی مربوط به موجودات زنده مانند تنوّع، غالبیت و تناسب یا همسانی، یک گونه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص‌ها، این امکان را فراهم می‌سازند که در طول زمان، میزان تغییرات تنوّع، غالب بودن و یا همسانی یک پدیده یا یک گونه را در سطح زمین پایش کرد. این شاخص‌ها در پژوهش حاضر نشان دادند، به‌منظور بیابان‌زدایی، یکی از مهم‌ترین اهداف باید توسعه و گسترش کاربری‌های غیر بیابانی پایدار در مناطق بیابانی باشد. با افزایش آبادی‌ها و زمین‌های تحت کشت و جنگل‌کاری‌های دست کاشت، مقدار شاخص تنوّع و تناسب افزایش و مقدار شاخص غالبیت کاهش یافته و در نتیجه، از توسعهٔ بیابان جلوگیری خواهد کرد.

منابع

اکبری، مرتضی؛ کریم‌زاده، حمیدرضا؛ مدرس، رضا؛ چکشی، بهاره (۱۳۸۶) ارزیابی و طبقه‌بندی بیابان‌زایی با فنّاوری سنجش از دور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ خشک شمال اصفهان)، **تحقیقات مرتع و بیابان ایران**، ۱۴ (۲)، صص. ۱۴۲-۱۲۴.

جعفری، فاطمه؛ بشری، حسین؛ جعفری، رضا (۱۳۹۳) بررسی و مقایسهٔ ویژگی‌های ساختاری و عملکردی چشم‌انداز در لکّه‌های اکولوژیک و وضعیّت‌های مختلف اکوسیستم‌های مرتعی (مطالعی موردی: مراتع نیمه‌استپی آغچه - اصفهان)، **بوم‌شناسی کاربردی**، ۳ (۱۰)، صص. ۲۴-۱۳.

محبی، ثنا؛ دیانتی تیلکی، قاسمعلی؛ عابدی، مهدی (۱۳۹۵) استفاده از روش تجزیه و تحلیل چشم‌انداز به‌منظور ارزیابی کارکرد اکولوژیکی قطعات گیاهی در تیمارهای مدیریتی مرتع‌داری (مطالعهٔ موردی: مراتع کجور نور)، **مرتع و آبخیزداری**، ۶۹ (۱)، صص. ۱۹۹-۱۸۷.

Arekhi, S., Komaki, B. (2015) Detecting and Assessing Desertification Using Landscape Metrics in GIS Environment (Case Study: Ain-e-khosh Region, Iran), **Environmental Resources Research**, 3 (2), pp. 121-137.

Bastin, G. N., Ludwig, J. A., Eager, R. W., Chewings, V. H., Liedloff, A. C. (2002) Indicators of Landscape Function: Comparing Patchiness Metrics Using Remotely-Sensed Data from Rangelands, **Ecological Indicators**, 1, pp. 247-260.

CCICCD. (1994) **United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Serous Drought and/or Desertification, Particularly in Africa**, China Forest Press. 1.

Fu, B. (1995) Landscape Diversity Analysis and Mapping, **Acta Ecologica Sinica**, 15 (4), pp. 345-350.

Kuchma, T., Tarariko, O., Syrotenko, O. (2013) **Landscape Diversity Indexes Application for Agricultural Land Use Optimization**, 6th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment, HAICTA, Procedia Technology, 8, pp. 566-569.

Li, F., Sun, S. H. (2000) Applied Research of Landscape Ecology in Desertification Monitoring and Assessment, **Environmental Sciences**, 12 (3), pp. 349-354.

Li, H., Wu, Y. (1992) **Mathematic Research Methods of Landscape Ecology**, Beijing: China Science and Technology Press.

Li, J., Pu, R., Gong, H., Luo, X., Ye, M., Feng, B. (2017) Evolution Characteristics of Landscape Ecological Risk Patterns in Coastal Zones in Zhejiang Province, China, **Sustainability**, 9 (584), pp. 1-18.

Li, S. J., Sui, Y. ZH., Feng, H. Q., Li, Y. W. (2004) Landscape Pattern and Diversity of Natural Secondary Forests in the Eastern Mountainous Region, Northeast China. A Case Study of Mao'ershan Region in Heilongjiang Province, **Forestry Research**, 15 (3), pp. 181-186.

Malinowska, E., Szumacher, I. (2013) Application of Landscape Metrics in the Evaluation of Geodiversity, **Miscellanea Geoghaphica**, 17 (4), pp. 28-33.

Oneill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H., Graham, R. L. (1988) Indices of landscape pattern, **Landscape Ecology**, 1 (3), pp. 153-162.

Payne, L. X., Schindler, D. E., Parrish, J. K., Temple, S. A. (2005) Quantifying Spatial Pattern with Evenness Indeces, **Ecological Applications**, 15 (2), pp. 507-520.

Ramachandra, T. V., Bharath, H., Sreekantha, S. (2012) Spatial Metrics Based Landscape Structure and Dynamics Assessment for an Emerging Indian Megalopolis, **International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence**, 1 (1), pp. 48-57.

Rome, W.H. (1982) Fires and Landscape Diversity in Subalpine Forests of Yellowstone National Park, **Ecological monographs**, 52, pp. 199-221.

Singh, S. K., Srivastava, P. K., Szabó, S., Petropoulos, G. P., Gupta, M., Islam, T. (2017) Landscape Transform and Spatial Metrics for Mapping Spatiotemporal Land Cover Dynamics Using Earth Observation Data-Sets, **Geocarto International**, 32 (2), pp. 113-127.

Sun, S. H. (1991) **Remote Sensing Research on Renewable Resources: Farmland Shelterbelt Region of Desert Oasis in Xinjiang**, China Forest Press, Beijing.

Wang, X., Xiao, D., Bu, R. (1997) Analysis on the Landscape Pattern in Liaohe Delta Wetland, **Acta Ecologica Sinica**, 17 (3), pp. 317-323.

Wu, J. (2000) **Landscape Ecology: Pattern, process, Scale and Hierarchy**, Higher Education Press, Beijing.