

کاربرد بوم‌شناسی سیمای منظر در ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی مناطق خشک، مطالعه موردی: دشت سیستان

محدثه میر^۱، سعیده ملکی^{۲*} و وحید راهداری^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۱)

چکیده

افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش نیازهای انسان، تغییرات محیطی گسترده‌ای در اکوسیستم‌های مختلف ایجاد نموده است. بررسی تغییرات به‌منظور مدیریت درختور و پایدار اکوسیستم و حفاظت از ساختار و کارکردهای اکوسیستم‌ها اهمیت دارد. بوم‌شناسی سیمای سرزمین، مفاهیم، تئوری و روش‌هایی را برای ارزیابی و مدیریت سرزمین ارائه می‌کند. در این مطالعه، سنجه‌های سیمای سرزمین برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی در دشت سیستان به کار رفت. سنجه‌های سیمای سرزمین در دو سطح کلاس و منظر با استفاده از نقشه‌های طبقات پوشش اراضی سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۷۹، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ تهیه شد. بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین نشان داد که در سطح کلاس، بیشترین تعداد لکه و تکه‌تکه شدن طبقه پوشش گیاهی در سال ۱۳۷۹ و کمترین تعداد لکه پوشش گیاهی در سال ۱۳۵۶ وجود داشته است. طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ با ورود آب رودخانه‌های هیرمند و فراه‌رود، طبقات مرتبط با آب و در نتیجه پوشش گیاهی از جمله انواع گز، بونی و نی افزایش یافته است. در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹، پوشش گیاهی دارای تعداد لکه‌های کمتر و با پیوستگی بیشتری در مقایسه با سال ۱۳۷۹ بوده است. به دلیل آب‌گیری محدود تالاب هامون، بیشترین تعداد لکه آب در سال ۱۳۹۴ وجود داشته و در سال ۱۳۵۶ کمترین تعداد لکه طبقه آب وجود داشته است. این مطالعه نشان می‌دهد که بوم‌شناسی سیمای منظر و سنجه‌های آن، به‌خوبی می‌تواند تغییرات را در اکوسیستم‌های مناطق خشک مشخص کند. همچنین این سنجه‌ها می‌توانند تغییرات اکوسیستم را کمی‌سازی کنند که در مدیریت اکوسیستم‌ها کاربرد دارد.

واژه‌های کلیدی: تالاب هامون، تصاویر ماهواره‌ای، سنجه‌های سیمای سرزمین، اکوسیستم، دشت سیستان

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل

۳. گروه اکوسیستم‌های طبیعی، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، دانشگاه زابل، زابل

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: smaleki@uoz.ac.ir

مقدمه

امروزه ارزیابان و مدیران سرزمین به منظور تصمیم‌گیری برای حفاظت از سرزمین نیازمند استفاده از روش‌های علمی برای شناسایی روند تغییرات در ترکیب سرزمین هستند (۱۹). علم بوم‌شناسی سیمای سرزمین، بر رابطه متقابل فرایندهای بوم-شناختی الگوهای مکانی و مقیاسی تأکید می‌کند و با مطالعه الگوهای مکانی سیمای سرزمین می‌توان به درک بهتری از فرایندهای بوم‌شناختی رسید (۲۰ و ۴۳). برای بررسی تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، می‌توان به طور مستقیم تغییرات ایجاد شده در اکوسیستم را به صورت کمی بیان کرد (۱۷). تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین به واسطه ایجاد رویکرد اکوسیستمی و کمی، امکان مطالعه تغییرات و تخمین میزان تخریب را فراهم نموده است (۳۳). سنجه‌های سیمای سرزمین به صورت الگوها و محاسبات عددی هستند که در سه سطح لکه، کلاس و سیمای سرزمین، ویژگی‌های مکانی عوارض موجود بر سطح زمین را به صورت کمی مشخص می‌کنند (۳۴، ۴۳ و ۴۴). فعالیت‌های انسانی بر سیمای سرزمین بسیار تأثیرگذارند و در نتیجه این فعالیت‌ها، سیمای سرزمین از لکه‌های طبیعی به انسان‌ساخت یا تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی تبدیل می‌شود و تغییرات در ترکیب، ساختار و کارکرد آنها ایجاد می‌شود (۲۵ و ۳۰). با توجه به اینکه سنجه‌های سیمای سرزمین نشان‌دهنده خصوصیات فیزیکی و بوم‌شناختی هستند برای ارزیابی پیامدهای حاصل از تغییرات ایجاد شده در اکوسیستم‌ها اطلاعات مفیدی را در اختیار محققان قرار می‌دهند (۲۶). علاوه بر این، از نتایجی که از بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین به دست می‌آید می‌توان برای اهداف حفاظتی و مدیریتی سیمای سرزمین استفاده کرد. کمی-سازی الگوهای مکانی سیمای سرزمین با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین انجام می‌شود. این سنجه‌ها بر اساس هدف مطالعه انتخاب می‌شوند (۳۰). فیتزاد و همکاران (۸)، شیخ‌گودرزی و همکاران (۴۰)، و سپاسی و همکاران (۴۱) در مطالعات خود از سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده کرده و بیان

کردند که بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین در درک روابط بین کاربری‌ها و پوشش اراضی و تغییراتی که در اکوسیستم‌های طبیعی رخ می‌دهد کاربرد دارند.

تصاویر ماهواره‌ای و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تهیه سنجه‌های سیمای سرزمین و بررسی تغییرات ایجاد شده در اکوسیستم‌ها، کاربرد گسترده دارد و اطلاعات مفیدی در ارتباط با تخریب ایجاد شده در محیط‌زیست در اختیار مدیران قرار می‌دهد (۲۱ و ۳۵). استفاده از شاخص‌های طیفی و طبقه‌بندی تصاویر از مهم‌ترین روش‌های تحلیل تصاویر ماهواره‌ای است. راه‌داری و همکاران (۲۹) از شاخص‌های مطالعات آب شامل NDMI، WRI، AWEL، و NDWI برای تهیه نقشه آب استفاده کردند. از بین شاخص‌های پوشش گیاهی، NDVI و پس از آن SAVI به طور گسترده در اکوسیستم‌های مختلف به کار رفته است. سفیدیان و همکاران (۳۷) و پتوریلی و همکاران (۲۲) این شاخص‌ها را برای مطالعه پوشش گیاهی مناطق تالابی، با اهمیت توصیف کرده‌اند. پتوریلی و همکاران (۲۲) شاخص‌های گیاهی از جمله NDVI را برای بررسی تغییرات اکوسیستم استفاده کردند. ملکی و همکاران (۲۳) با استفاده از شاخص‌های طیفی، زیستگاه پرندگان را مدل‌سازی کردند.

سنجه‌های مختلفی برای انجام مطالعات سیمای سرزمین وجود دارد که بر اساس هدف مطالعه، سنجه‌های مناسب انتخاب می‌شود. حسینی وردئی و همکاران (۱۲) اثر جمععی توسعه شبکه جاده بر لکه‌های پوششی در شهرستان‌های گرگان، کردکوی و علی‌آباد در استان گلستان را بررسی کرده و سنجه‌هایی از جمله مساحت، نسبت محیط به مساحت، شکل، پیچ‌خوردگی، پیوستگی، مجاورت و فاصله اقلیدسی از نزدیک-ترین همسایه را تجزیه و تحلیل کردند و نقشه میزان اثر جاده بر لکه‌های پوششی درختی در دوره ۱۵ ساله را تهیه نمودند. هوآنگ و همکاران (۱۴) در سواحل جنوبی شرق چین سنجه‌های سیمای سرزمین را بررسی کردند و نشان دادند که طی ۱۹ سال، فرایندهایی که باعث ایجاد لکه در سیمای

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، دشت سیستان واقع در جلگه‌ای پست و هموار در منتهی‌الیه مرز شرقی کشور در شمال استان سیستان و بلوچستان و در محدوده جغرافیایی $31^{\circ} 22'$ تا $30^{\circ} 03'$ عرض شمالی و $60^{\circ} 36'$ تا $61^{\circ} 48'$ طول شرقی قرار دارد (۳۹). مساحت منطقه ۷۰۰۰۰۰ هکتار، ارتفاع از سطح دریا بین ۴۷۵ تا ۵۰۰ متر، اقلیم گرم و فراخشک و میانگین سالیانه بارش کمتر از ۶۰ میلی‌متر است (۵ و ۳۹). تنها منبع آب شیرین این دشت، رودخانه‌های هامون و فراه‌رود هستند که آب آنها به تالاب هامون به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین در سراسر فلات ایران می‌ریزد (۱۸). شکل (۱) محدوده منطقه مطالعه را نشان می‌دهد.

تهیه نقشه طبقات پوشش اراضی

به‌منظور بررسی تغییرات سیمای سرزمین در دشت سیستان از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۷۹، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ استفاده شد. اطلاعات مربوط به این تصاویر و سنجنده‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. قدرت تفکیک مکانی در این جدول مربوط به باندهای مورد استفاده است. با استفاده از مطالعات میدانی و مطالعات گذشته در منطقه، چهار طبقه پوشش اراضی شامل آب، پوشش گیاهی، آب و پوشش گیاهی، و اراضی بایر شناسایی شد.

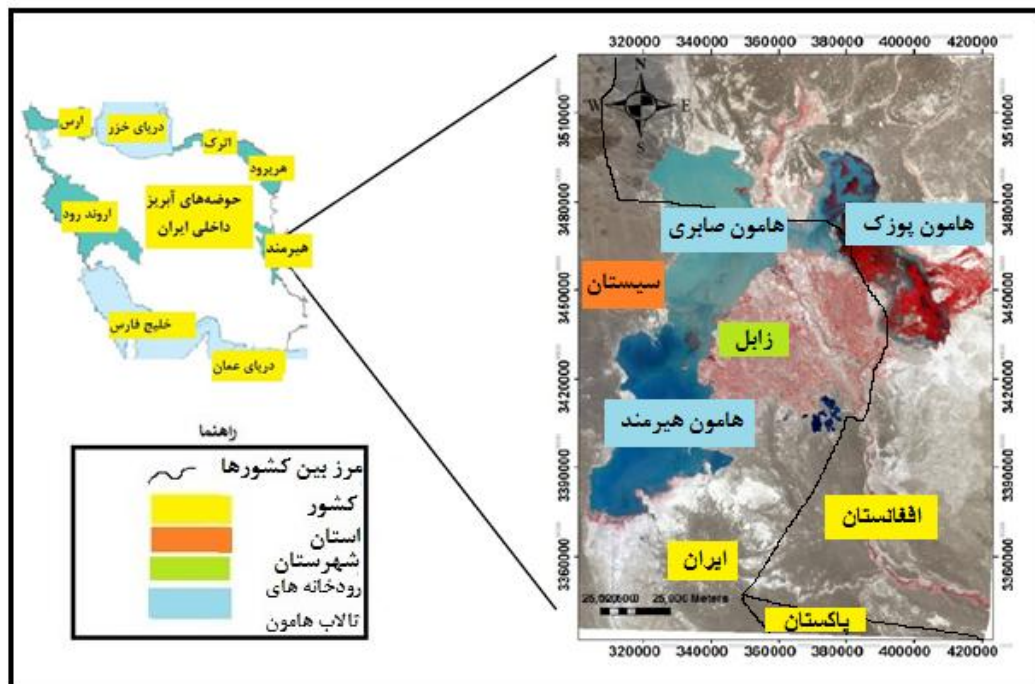
طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در این مطالعه با استفاده از روش طبقه‌بندی ترکیبی و طی مراحل زیر انجام شد:

۱- پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تصحیح رادیومتریک با استفاده از اطلاعات همراه تصویر و تصحیح اتمسفریک با استفاده از روش FLAASH انجام شد. در این مطالعه با توجه به عرض جغرافیایی منطقه و زمان برداشت تصویر، مدل اتمسفری (Mid-Latitude Summer) MLS، مدل ذرات معلق (Aerosol) روستایی (Rural)، ارتفاع متوسط $0/49$ کیلومتر، زمان (تاریخ و ساعت) برداشت

سرزمین شده‌اند افزایش یافته است. رام‌چاندرا و همکاران (۳۰) با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، شدت تخریب در نواحی هیمالیا را بررسی نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان‌دهنده کاهش کاربری جنگل بود که این تغییرات را ناشی از فعالیت‌های نامناسب انسانی دانستند. قوش و همکاران (۱۱) تغییرات پوشش جنگلی در هیمالیا را با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در دو سطح لکه و کلاس بررسی نمودند. نتایج آنها حاکی از جنگل‌زدایی، افزایش لکه‌ها و کاهش پیوستگی بین کاربری‌ها در این منطقه بود. درویشی و همکاران (۶) از سنجه‌های سیمای سرزمین برای بررسی تغییرات ایجاد شده در منطقه ارسباران استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق آنها نشان داد در این منطقه جنگل و مرتع دچار تخریب زیادی شده است. همچنین نوحگر و همکاران (۲۶) در بخش‌های مرکزی استان گیلان، ساختار سیمای سرزمین را در سطح منظر با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین بررسی کردند و نشان دادند پیوستگی ساختار منظر کاهش یافته و کاربری‌های منطقه دچار تکه‌تکه‌شدگی زیادی شده است.

مناطق خشک با پوشش گیاهی محدود، کمبود آب، اقلیم خشک، و بارش محدود به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های شکننده شناخته می‌شوند (۱۹). بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین در این مناطق، تأثیر تغییر کاربری‌ها توسط انسان و عوامل طبیعی را مشخص می‌کند (۱۳). دشت سیستان از جمله مناطقی است که به‌دلیل خشک‌سالی‌های چند دهه اخیر، دچار تغییرات بسیاری شده است. مرور منابع نشان می‌دهد این منطقه تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی قرار گرفته که اثرات اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی گسترده‌ای را در بر داشته است (۱۸). با توجه به اینکه محدودیت آب‌گیری تالاب هامون باعث ناپایداری شدن شرایط در منطقه شده، کمی‌سازی تغییرات به‌وجود آمده در این منطقه حائز اهمیت است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی تغییرات اکوسیستم طبیعی در یک منطقه خشک با استفاده از سنجه‌های سیمای منظر و درک تأثیر تغییر لکه‌های سازنده ماتریس سیمای سرزمین بر روی یکدیگر می‌باشد.



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. اطلاعات تصاویر مورد استفاده

سال	تاریخ تصویربرداری	نوع سنجنده	قدرت تفکیک مکانی (باند‌های مورد استفاده)	قدرت تفکیک رادیومتریک
۱۳۵۶	۱۳۵۶/۰۳/۱۲	MSS	۶۰ متر	۷ بیت
۱۳۷۹	۱۳۷۹/۱۱/۰۷	TM	۳۰ متر	۸ بیت
۱۳۹۴	۱۳۹۴/۰۳/۱۱	OLI	۳۰ متر	۱۶ بیت
۱۳۹۹	۱۳۹۹/۰۲/۱۸	OLI	۳۰ متر	۱۶ بیت

برداشت‌شده به نوع کاربری تعیین‌شده برای آن محل اختصاص داده شد. در این تحقیق، طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش الگوریتم ماشین‌های پشتیبان برداری بر روی تصویر اعمال شد. مطالعات گذشته نشان داده که این الگوریتم باعث کاهش خطای طبقه‌بندی می‌شود (۱ و ۲۴). نقشه مناطق دارای آب و مناطق دارای آب و پوشش گیاهی تهیه شده و سپس این مناطق از تصویر ماهواره‌ای حذف شدند.

شاخص‌های طیفی گیاهی نیز برای تهیه طبقات پوشش اراضی استفاده شد. با توجه به تأثیر پوشش گیاهی مترکم در تثبیت خاک و استفاده حیات وحش، نقشه پوشش گیاهی با

تصویر، باند مادون قرمز میانی بالا و قرمز، و فاصله دید ۴۰ کیلومتر بر اساس داده‌های همراه استفاده‌شده و نوع سنجنده برای هر تصویر انتخاب شد.

۲- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در این مطالعه به منظور بررسی دسته‌های بازتابی مختلف مربوط به سطح زمین، از طبقه‌بندی نظارت‌نشده به روش ISODATA (Iterative Self Organizing Data Analysis Technique) استفاده شد. در زمان نمونه‌برداری میدانی از طبقات مختلف تهیه‌شده با استفاده از این روش طبقه‌بندی، نمونه‌برداری انجام شد و نمونه

در نرم‌افزار Fragstats تهیه شدند. برای تهیه سنج‌های سیمای سرزمین، نقشه طبقات پوشش اراضی به‌عنوان ورودی استفاده شد. جدول (۳) سنج‌های تهیه‌شده برای انجام این مطالعه را نشان می‌دهد.

نتایج

پس از پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی اراضی به روش ترکیبی انجام شده و نقشه طبقات پوشش اراضی سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۷۹، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ استخراج شد. بر اساس ارزیابی صحت در مورد نقشه‌های تولیدشده، ماتریس خطای محاسبه‌شده در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس این نتایج، نقشه‌های تولیدشده صحت قابل قبولی دارند. شکل (۲)، (۳)، (۴) و (۵) نقشه‌های طبقات سال‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

کمی‌سازی سنج‌های سیمای سرزمین

به‌منظور بررسی تغییرات سنج‌های سیمای سرزمین به‌دلیل تغییرات ایجادشده در طبقات پوشش اراضی دشت سیستان در دوره مطالعه از سنج‌های سیمای سرزمین در دو سطح کلاس و منظر استفاده شد.

تجزیه و تحلیل سنج‌ها در سطح کلاس

تجزیه و تحلیل سنج‌ها در سطح کلاس برای طبقه آب

نتایج حاصل از کمی‌سازی سنج‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس برای طبقه آب در جدول (۵) ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل سنج‌ها در سطح کلاس برای طبقه پوشش گیاهی

تجزیه و تحلیل سنج‌های سیمای سرزمین برای طبقه پوشش گیاهی در سال‌های مورد مطالعه در جدول (۶) مشخص شده است.

تجزیه و تحلیل سنج‌ها در سطح کلاس برای طبقه اراضی بایر

نتایج حاصل از بررسی سنج‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس برای طبقه اراضی بایر در (جدول ۸) ملاحظه می‌شود.

تراکم بیش از ۲۰ درصد با استفاده از شاخص گیاهی NDVI تهیه شد. به این منظور، در زمان انجام مطالعات میدانی، موقعیت مناطق با تاج پوشش ۲۰ درصد تعیین و موقعیت جغرافیایی آنها با استفاده از GPS مشخص شده و مقدار عددی آنها بر روی شاخص گیاهی تعیین شد. موقعیت مناطق با پوشش ۲۰ درصد برای سایر تصاویر، با مقایسه نتایج نمونه‌برداری میدانی در سال ۱۳۹۹ و مقایسه تصویر رنگی کاذب و شاخص گیاهی NDVI مربوط به سال ۱۳۹۹ با تصویر رنگی کاذب و شاخص NDVI سایر تصاویر مشخص شد. به این ترتیب با تعیین مقدار عددی مناطق با پوشش گیاهی ۲۰ درصد بر روی شاخص گیاهی NDVI با اعمال طبقه‌بندی مجدد (Reclassification) بر روی تصویر، نقشه مناطق دارای پوشش گیاهی و مناطق فاقد پوشش گیاهی به‌عنوان اراضی بایر تهیه شد. برای تهیه نقشه نهایی پوشش اراضی، طبقات به‌دست‌آمده از هر یک از این روش‌ها با واقعیت زمینی مقایسه شد و صحت کلی و کاپای طبقات مقایسه شد. در نهایت لایه‌های دارای صحت بیشتر در محیط GIS با یکدیگر ترکیب و نقشه پوشش اراضی به روش طبقه‌بندی ترکیبی تهیه شد. جدول (۲) مشخصات طبقات پوشش اراضی منطقه را نشان می‌دهد. صحت نقشه‌های نهایی طبقات پوشش اراضی هر سال با استفاده از صحت کلی و کاپای کلی مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی صحت با استفاده از نقاطی که در طبقه‌بندی تصاویر به‌عنوان نقاط تعلیمی استفاده نشده بودند انجام شد. داده‌های واقعیت زمینی که در بخش‌های مختلف مطالعه استفاده شد از نقشه‌های توپوگرافی، مطالعات قبلی در منطقه و مطالعات میدانی به‌دست آمد.

کمی‌سازی سنج‌های سیمای سرزمین

به‌منظور کمی‌سازی سیمای سرزمین بر اساس مرور منابع انجام شده، سنج‌های سیمای سرزمین از جمله تعداد لکه، تراکم لکه، سنج شکل سیمای سرزمین، بزرگ‌ترین لکه، درصد پوشش هر کلاس، تراکم حاشیه و کل حاشیه در دو سطح کلاس و منظر

جدول ۲. طبقات پوشش اراضی

طبقه	توضیحات
آب	این منطقه شامل کلیه نواحی تالاب است که در آن آب‌گیری صورت گرفته است.
پوشش گیاهی	مناطق که دارای پوشش گیاهی بیشتر از ۲۰ درصد هستند.
آب و پوشش گیاهی	مناطق از تالاب که آب و پوشش گیاهی به‌طور هم‌زمان وجود دارد.
اراضی بایر	مناطق که دارای پوشش گیاهی کمتر از ۲۰ درصد هستند.

جدول ۳. سنجه‌های مورد استفاده در مطالعه (۱۵)

سنجه‌های سیمای سرزمین	علامت اختصاری	واحد	محدوده تغییر
تعداد لکه	NP	واحد ندارد.	صفر > NP
تراکم لکه	PD	هکتار	صفر > PD
درصد پوشش هرکلاس	Pland	درصد	صفر < PLAND < صد
تراکم حاشیه	ED	هکتار	صفر > ED
بزرگ‌ترین لکه	LPI	هکتار	صفر < LPI < صد
شکل سیمای سرزمین	LSI	واحد ندارد.	یک \geq LSI
کل حاشیه	TE	متر	صفر \geq TE

تجزیه و تحلیل سنجه‌ها در سطح منظر

تجزیه و تحلیل سنجه‌ها در سطح منظر برای تمام طبقات مورد مطالعه با محاسبه سنجه‌های تعداد لکه، تراکم لکه، بزرگ‌ترین لکه، شکل سیمای سرزمین، تراکم حاشیه، و کل حاشیه انجام شد (جدول ۹).

بحث

در این پژوهش نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی به‌عنوان داده‌های پایه برای تهیه سنجه‌های سیمای سرزمین مورد استفاده قرار گرفتند. محققان دیگری نیز از نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی به‌دلیل فراهم کردن درک بهتری از شرایط اکوسیستم برای مطالعات سیمای منظر استفاده کرده‌اند که از جمله می‌توان به ریتس و همکاران (۳۲)، اسمیراقلیا و همکاران (۳۸)، یونما و همکاران (۴۷) و تولسا و همکاران (۴۶) اشاره کرد. تصاویر ماهواره‌ای به روش ترکیبی طبقه‌بندی شد و با توجه به تنوع بازتابش‌های سطح زمین برای تهیه نقشه طبقات پوشش اراضی مورد استفاده قرار گرفتند (۳۱). کانتاکومار و نیلامستی (۱۶) در مطالعه خود به‌منظور تهیه نقشه طبقات پوشش اراضی از روش

ترکیبی شامل استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌نشده، طبقه‌بندی نظارت‌شده و شاخص‌های طیفی استفاده نموده و بیان کردند با ترکیب روش‌های مختلف توانستند بر مشکل شباهت رفتارهای طیفی پدیده‌های مورد مطالعه غلبه کرده و نقشه مناسبی تهیه کنند. در این مطالعه، صحت کلی و ضریب کاپا برای نقشه‌های تولیدشده، به‌میزان بیش از ۸۰ درصد و ۰/۷۹ محاسبه شد. احسانی و شاکریان (۷)، کانتاکومار و نیلامستی (۱۶) و راهداری و همکاران (۳۱) برای بیان دقت نقشه‌های تولیدشده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، شاخص‌های صحت کلی و ضریب کاپا را محاسبه نمودند که در مطالعات آنها نقشه‌های با صحت کلیو کاپای بیش از ۰/۸، قابل قبول دانسته شد. استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، کمی‌سازی الگوهای مکانی سیمای سرزمین را ممکن می‌کند. با توجه به فراوانی و ارتباط بین سنجه‌های سیمای سرزمین، به‌منظور پایش اکوسیستم، سنجه‌ها متناسب با هدف مطالعه انتخاب می‌شوند (۳۶). در این پژوهش، بررسی شکل (۶) نشان می‌دهد در سال ۱۳۵۶ طبقه آب و پس از آن، آب و پوشش گیاهی بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند که نشان‌دهنده وضعیت مناسب از لحاظ وجود آب و در

جدول ۴. ماتریس خطای نقشه‌های تولیدشده برای سال‌های الف (۱۳۵۶، ب (۱۳۷۹، ج (۱۳۹۴ و د (۱۳۹۹

خطای کمسیون	دقت کاربر	جمع	مرجع			خطای کمسیون
			اراضی بایر	آب و پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	
۰/۱۹	%۸۱	۳۱۱۵۵	۹۹۷	۲۹۹۱	۱۸۳۸	۲۵۳۲۹
۰/۲	%۸۰	۱۰۱۶۶	۲۲۴	۱۲۴۰	۸۱۵۳	۵۴۹
۰/۲۲	%۷۸	۱۹۰۰۰	۴۱۸	۱۴۸۳۹	۲۱۸۵	۱۵۵۸
۰/۱۸	%۸۲	۱۱۰۵۴	۹۱۰۹	۸۴۰	۶۰۸	۴۹۷
			۱۰۷۴۸	۱۹۹۱۰	۱۲۷۸۴	۲۷۹۳۳
			%۸۵	%۷۵	%۶۴	%۹۱
			۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۰۹

کاپای کلی: %۸۰

کاپای کل: ۰/۷۹

(الف)

خطای کمسیون	دقت کاربر	جمع	مرجع		خطای کمسیون
			اراضی بایر	پوشش گیاهی	
۰/۱۷	%۸۳	۱۹۹۸۱	۹۴۴۷	۱۰۵۳۴	پوشش گیاهی
۰/۱۹	%۸۱	۴۶۷۹۶	۴۴۹۰۹	۱۸۸۷	اراضی بایر
		۶۶۷۷۷	۵۴۳۵۶	۱۲۴۲۱	جمع
			%۸۳	%۸۵	دقت تولیدکننده
			۰/۱۷	۰/۱۵	خطای اومیسون

کاپای کلی: %۸۳

کاپای کل: ۰/۸

(ب)

خطای کمسیون	دقت کاربر	جمع	مرجع			خطای کمسیون
			اراضی بایر	آب و پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	
۰/۱۹	%۸۱	۸۹۲۲	۲۶۸	۱۱۵۱	۲۵۰	۷۲۵۳
۰/۱۸	%۸۲	۷۹۸۸	۱۶۸	۱۰۱۴	۶۵۶۶	۲۴۰
۰/۲۱	%۷۹	۵۵۵۵	۲۱۱	۴۳۹۴	۵۵۰	۴۰۰
۰/۱۷	%۸۳	۱۱۲۶۵	۹۳۷۵	۵۷۴	۱۰۳۵	۲۸۱
			۱۰۰۲۲	۷۱۳۳	۸۴۰۱	۸۱۷۴
			%۹۴	%۶۲	%۷۸	%۸۷
			۰/۰۶	۰/۳۸	۰/۲۲	۰/۱۱

کاپای کلی: %۸۱

کاپای کل: ۰/۸

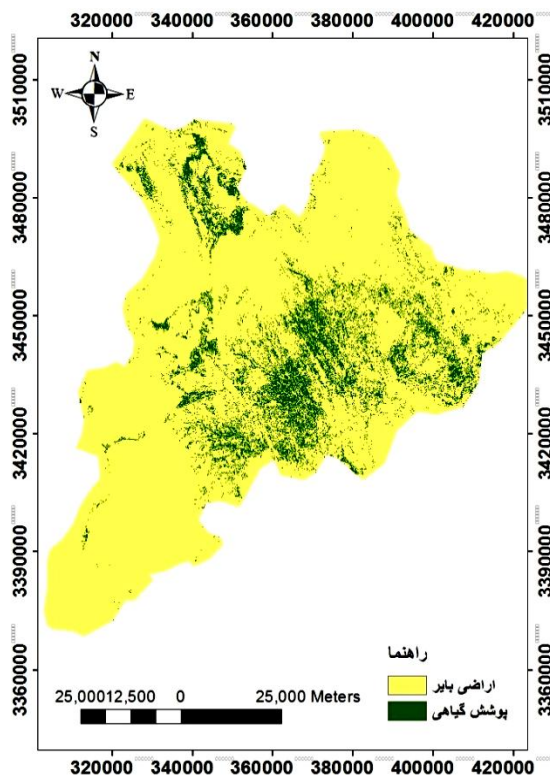
(ج)

طبقه بندی	مرجع						
	آب	پوشش گیاهی	آب و پوشش گیاهی	اراضی بایر	جمع	دقت کاربر	خطای کمیسون
آب	۷۵۵۸	۲۸۷	۶۳۷	۴۸۴	۸۹۶۶	٪۸۴	۰/۱۶
پوشش گیاهی	۶۵۸	۹۲۴۵	۱۱۹۱	۲۵۰	۱۱۳۴۴	٪۸۱	۰/۱۸
آب و پوشش گیاهی	۱۴۰	۳۵۶	۲۸۶۴	۶۲	۳۴۲۲	٪۸۴	۰/۱۶
اراضی بایر	۱۰۵۳	۱۳۳۳	۸۱۹	۲۰۱۸۴	۲۳۳۸۹	۸۶٪	۰/۱۴
جمع	۹۴۰۹	۱۱۲۲۱	۵۵۱۱	۲۰۹۸۰			
دقت تولیدکننده	۸۰٪	۸۲٪	۵۲٪	۹۶٪			
خطای اومیسون	۰/۲	۰/۱۸	۰/۴۸	۰/۰۴			

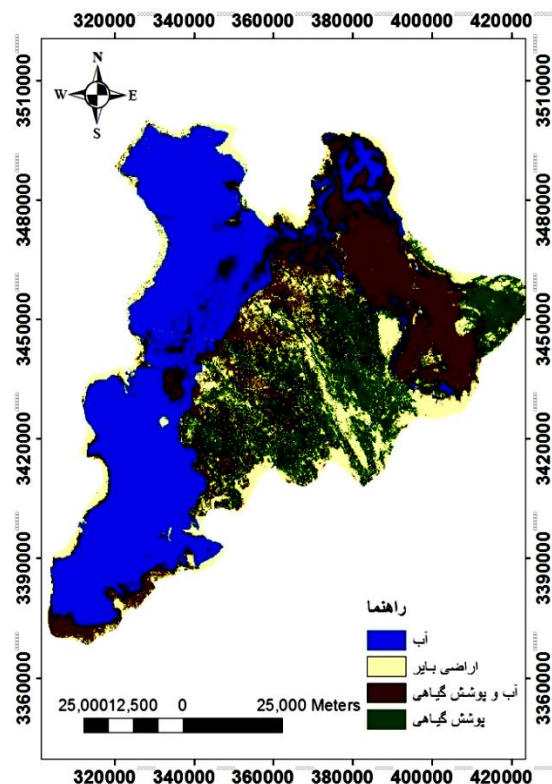
کاپای کل: ٪۸۲

صحت کلی: ٪۸۴

(د)



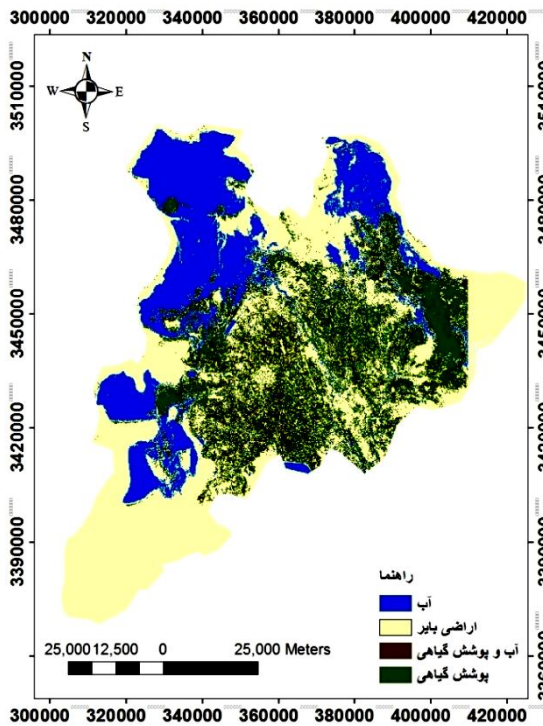
شکل ۳. نقشه کاربری و پوشش اراضی سال ۱۳۷۹ (رنگی در نسخه الکترونیکی)



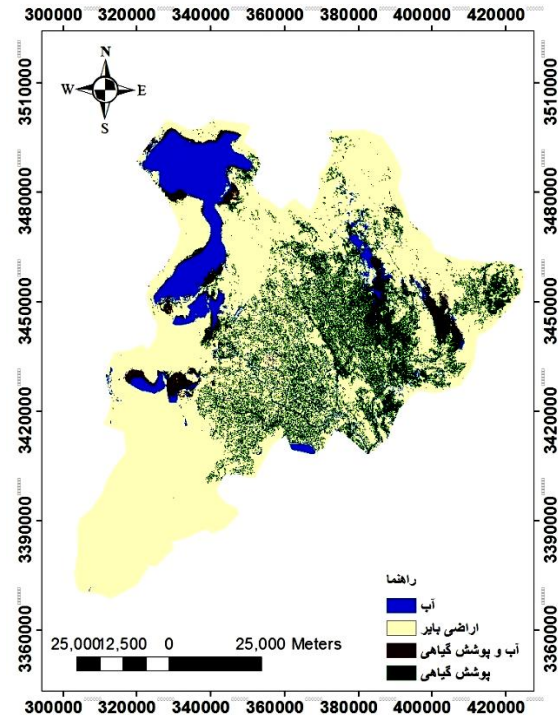
شکل ۲. نقشه کاربری و پوشش اراضی سال ۱۳۵۶ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

بیشترین مساحت مربوط به طبقه اراضی بایر بوده، ولی در مقایسه با سال ۱۳۷۹ به دلیل ورود آب توسط رودخانه‌های تأمین‌کننده آب منطقه، اراضی مربوط به طبقات دارای آب و نیز پوشش گیاهی توسعه پیدا کرده‌اند. در سال ۱۳۹۹ پوشش گیاهی نسبت به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۴ دارای سطح وسیع‌تری است.

نتیجه توسعه پوشش گیاهی است. در سال ۱۳۷۹ با قطع جریان رودخانه‌های ورودی به منطقه سیستان و وقوع خشک‌سالی، بیشترین مساحت به طبقه اراضی بایر مربوط بوده است. در این سال با خشک‌شدن تالاب هامون، طبقه آب و نیز آب و پوشش گیاهی به‌طور کامل از بین رفته است. در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹



شکل ۵. نقشه کاربری و پوشش اراضی سال ۱۳۹۹ (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۴. نقشه کاربری و پوشش اراضی سال ۱۳۹۴ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۵. نتایج حاصل از کمی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس - طبقه آب

PLAND	TE	ED	LSI	LPI	PD	NP	سنجه سال
۴۰/۶۹۹۹	۱۲۲۳۱۴۲۰	۱۶/۲۶۶۲	۵۶/۸۰۴۱	۳۶/۸۶۸۷	۱/۴۷۲۳	۱۱۶۱۴	۱۳۵۶
-	-	-	-	-	-	-	۱۳۷۹
۱۰/۲۷۹	۸۵۰۵۴۵۰	۱۰/۷۸۰۵	۷۴/۸۵۲۶	۷/۵۰۶	۲/۲۸۶۹	۱۸۰۴۳	۱۳۹۴
۲۶/۷۵۷۴	۱۱۲۶۷۹۱۰	۱۵/۸۱۱۱	۶۴/۶۱۰۲	۱۴/۶۰۳۹	۱/۷۷۲۵	۱۲۶۳۲	۱۳۹۹

جدول ۶. نتایج حاصل از کمی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس - طبقه پوشش گیاهی

PLAND	TE	ED	LSI	LPI	PD	NP	سنجه سال
۱۵/۵۳۴۴	۳۸۲۸۰۹۹۰	۴۸/۵۲۸۳	۲۷۳/۹۱۲۶	۵/۹۲۲۴	۳/۶۸۲۴	۲۹۰۴۸	۱۳۵۶
۱۱/۸۸۴۲	۳۹۵۳۷۳۶۹۰	۵۰/۱۲۰۱	۳۲۳/۱۲۴۹	۱/۵۷۱	۸/۲۴۴۷	۶۵۰۳۹	۱۳۷۹
۱۷/۰۳۳۱	۴۷۵۵۶۰۳۰	۶۰/۲۷۶۲	۳۲۴/۵۳۵۲	۶/۲۹۷۶	۵/۴۵۷	۴۳/۵۴	۱۳۹۴
۲۲/۰۴۸۸	۷۳۸۸۷۰۳۰	۱۰۳/۶۷۸۲	۴۶۶/۲۱۹۸	۴/۵۹۷۵	۷/۳۹۳	۵۲۶۸۷	۱۳۹۹

جدول ۷. نتایج حاصل از کمی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس - طبقه آب و پوشش گیاهی

PLAND	TE	ED	LSI	LPI	PD	NP	سنجه سال
۲۹/۰۰۰۴	۴۹۷۷۹۴۸۰	۶۳/۱۰۴۸	۲۶۰/۷۹۶۵	۲۱/۱۲۸۴	۷/۷۷۱	۶۱۳۰۱	۱۳۵۶
-	-	-	-	-	-	-	۱۳۷۹
۳/۳۳۶۲	۶۲۷۷۷۱۰	۷/۹۵۶۹	۹۶/۸۰۵	۰/۶۶۷۳	۱/۹۵۵	۱۵۴۲۴	۱۳۹۴
۱۰/۴۱۸	۴۶۰۷۷۶۰۰	۶۴/۶۵۶	۴۲۲/۷۹۷۵	۰/۱۲۹۶	۹/۵۰۹۳	۶۷۷۶۹	۱۳۹۹

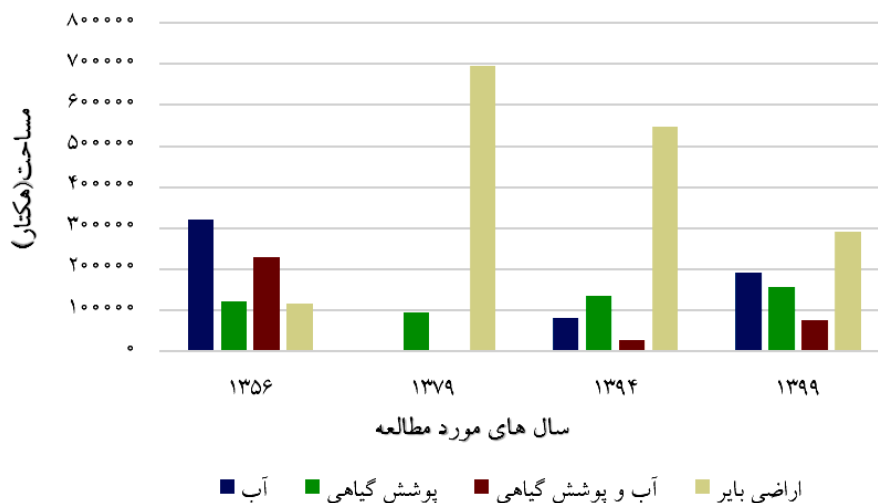
جدول ۸. نتایج حاصل از کمی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس - طبقه اراضی بایر

PLAND	TE	ED	LSI	LPI	PD	NP	سنجه سال
۱۴/۷۶۵۲	۱۷۵۴۹۳۷۰	۲۲/۲۴۷۱	۱۳۲/۵۴۷۵	۱/۰۲۹۳	۳/۱۱۵۱	۲۴۵۷۳	۱۳۵۶
۸۸/۱۱۵۸	۳۹۵۳۷۶۹۰	۵۰/۱۲۰۱	۱۲۰/۷۳۰۲	۸۶/۷۴۶۲	۲/۲۰۳۶	۱۷۳۸۳	۱۳۷۹
۶۹/۳۵۱۶	۴۷۳۸۰۹۵۰	۶۰/۰۵۴۳	۱۶۲/۱۸۴۳	۳۱/۴۴۳۲	۳/۵۳۰۴	۲۷۸۵۴	۱۳۹۴
۴۰/۷۷۸۵	۴۳۹۸۶۰۶۰	۶۱/۷۲۱۲	۲۰۶/۳۳۰۸	۱۰/۹۲۹	۷/۹۲۹۶	۵۶۵۱۱	۱۳۹۹

جدول ۹. نتایج حاصل از کمی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح منظر

TE	ED	LSI	LPI	PD	NP	سنجه سال
۵۹۲۲۰۶۳۰	۷۵/۰۷۳۲	۱۶۸/۹۰۶۷	۳۶/۸۶۸۷	۱۶/۰۴۰۸	۱۲۶۵۳۶	۱۳۵۶
۳۹۵۳۷۶۹۰	۵۰/۱۲۰۱	۱۱۳/۴۷۴۹	۸۶/۷۴۶۲	۱۰/۴۴۸۳	۸۲۴۲۲	۱۳۷۹
۵۴۸۶۰۰۷۰	۶۹/۵۳۳۹	۱۵۶/۳۰۰۳	۳۱/۴۴۳۲	۱۳/۲۲۹۳	۱۰۴۳۷۵	۱۳۹۴
۸۷۶۰۹۳۰۰	۱۲۲/۹۳۳۳	۲۶۱/۱۹۱۴	۱۴/۶۰۳۹	۲۶/۶۰۴۵	۱۸۹۵۹۹	۱۳۹۹

مساحت طبقات پوشش اراضی



شکل ۶. نمودار مساحت طبقات پوشش اراضی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

کمترین تعداد لکه مربوط به سال ۱۳۵۶ است. این مسأله نشان‌دهنده تکه‌تکه‌شدن و وجود اختلالات زیاد در طبقه آب در سال ۱۳۹۴ است. کمترین تعداد لکه، بزرگ‌ترین لکه‌ها، بیشترین حاشیه کل و بیشترین درصد طبقه آب در سال ۱۳۵۶ بوده است. تعداد زیاد لکه‌های طبقه آب در سال ۱۳۹۴ نشان‌دهنده عدم مدیریت آب محدود ورودی و آب‌گیری لکه‌های تالاب

در این مطالعه تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در دشت سیستان در دو سطح کلاس و منظر و چهار طبقه شامل آب، پوشش گیاهی، آب و پوشش گیاهی و اراضی بایر مورد بررسی قرار گرفت. بررسی جدول (۵) مربوط به سنجه‌های سیمای سرزمین برای طبقه آب در سطح کلاس نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۴ بیشترین تعداد لکه و بیشترین تراکم لکه وجود داشته و

محدود سال ۱۳۹۴ در مقایسه با سال ۱۳۵۶ و سال ۱۳۹۹، کمترین تعداد لکه این لایه در این سال وجود داشته است.

بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین مربوط به طبقه اراضی بایر بر اساس جدول (۸) نشان می‌دهد به دلیل خشک‌سالی رخ داده در سال ۱۳۷۹ و توسعه اراضی بایر، کمترین تعداد لکه مربوط به این سال بوده و با آب‌گیری نسبی در سال ۱۳۹۹، این سال بیشترین تعداد لکه را نسبت به سایر سال‌ها داشته است. این امر نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۹ تکه‌تکه‌شدن اراضی بایر زیاد بوده و بخشی از منطقه از اراضی بایر خارج شده و تبدیل به سایر طبقات از جمله پوشش گیاهی، آب و یا آب و پوشش گیاهی شده است. به طور کلی، از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ شرایط منطقه مناسب‌تر شده است به طوری که طبقه اراضی بایر کاهش یافته و طبقه آب، پوشش گیاهی و آب، و پوشش گیاهی بیشتر شده است.

بررسی جدول (۹) نشان می‌دهد در سطح منظر، سال ۱۳۹۹ بیشترین تعداد لکه و تراکم لکه را داشته است. بررسی چهار سال مورد مطالعه نشان می‌دهد سال ۱۳۹۹ بیشترین تکه‌تکه‌شدن را در سطح سیمای سرزمین داشته است. به دلیل خشک‌سالی شدید و کاهش تنوع کاربری و پوشش‌های اراضی، کمترین تعداد لکه و تراکم لکه متعلق به سال ۱۳۷۹ است، در حالی که در سال ۱۳۹۹ کل مساحت منطقه به طبقات متفاوتی از جمله آب، پوشش گیاهی، آب و پوشش گیاهی و اراضی بایر تبدیل شده است. به طور مثال مناطقی که در سال ۱۳۷۹ اراضی بایر بوده‌اند در سال ۱۳۹۹ تبدیل به طبقاتی از جمله آب و یا آب و پوشش گیاهی شده است. بزرگ‌ترین اندازه لکه مربوط به سال ۱۳۷۹ است و کمترین اندازه لکه را سال ۱۳۹۹ داشته است که نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۹ میزان تکه‌تکه‌شدن منطقه به حدی بوده که لکه‌ها کوچک‌ترین میزان را داشته‌اند. همچنین حاشیه کل، تراکم حاشیه و شکل سیمای سرزمین نیز در سال ۱۳۹۹ بیشترین مقدار را داشته است.

این نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین به خوبی می‌توان تغییرات را در مناطق خشک مشخص

هامون است که در نتیجه با افزایش سطح تبخیر، آب به سرعت از دسترس خارج می‌شود. چنگ و همکاران (۳) نشان دادند الگوی بوم‌شناسی منظر در مناطق خشک بر اساس تغییر در الگوی مکانی منابع آب تغییر می‌کند. بررسی جدول (۵) نشان می‌دهد سال ۱۳۷۹ به دلیل خشک‌شدن کامل تالاب، فاقد مقدار عددی است.

بررسی سنجه‌های طبقه پوشش گیاهی در سطح کلاس نشان می‌دهد بیشترین تعداد لکه در سال ۱۳۷۹ به‌عنوان یک سال کاملاً خشک و کمترین تعداد لکه در سال ۱۳۵۶ به‌عنوان یک سال مرطوب وجود داشته است. در سال ۱۳۹۹ نسبت به سایر سال‌ها بیشترین تغییرات شکل سرزمین، تراکم حاشیه، حاشیه کل و درصد پوشش وجود داشته است. بیشترین تراکم لکه در سال ۱۳۷۹ و بزرگ‌ترین اندازه لکه در سال ۱۳۵۶ بوده است. این نتایج نشان می‌دهد با وقوع خشک‌سالی شدید در منطقه در سال ۱۳۷۹، بیشترین تکه‌تکه‌شدن و نابودی پوشش گیاهی اتفاق افتاده و در سال ۱۳۵۶ کمترین تکه‌تکه‌شدن و تغییر در طبقه پوشش گیاهی وجود داشته است. پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۹ نسبت به سایر سال‌ها شرایط مناسب‌تری داشته است زیرا در این سال آب‌گیری بیشتری صورت گرفته و در پی آن طبقه پوشش گیاهی نیز افزایش یافته است. از طرف دیگر با کاهش سطح آب در سال ۱۳۹۹ در مقایسه با سال ۱۳۵۶، بخشی از پوشش گیاهی درون آب، از آب خارج شده و به طبقه پوشش گیاهی اضافه شده است.

بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین برای طبقه آب و پوشش گیاهی در جدول (۷) نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۹ بیشترین تعداد لکه وجود داشته است. بزرگ‌ترین اندازه لکه در سال ۱۳۵۶ و کوچک‌ترین اندازه لکه در سال ۱۳۹۹ بوده است. در سال ۱۳۷۹ به دلیل عدم ورود آب به دشت سیستان، طبقه آب و پوشش گیاهی وجود نداشته است. سنجه‌های سیمای سرزمین طبقه آب و پوشش گیاهی نشان می‌دهد با آب‌گیری کمتر در سال ۱۳۹۹ در مقایسه با سال ۱۳۵۶، تکه‌تکه‌شدن طبقه آب و پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۹ اتفاق افتاده است. به دلیل آب‌گیری

الگوهای طبقات کاربری اراضی (سطح کلاس) را تغییر می‌دهد (۴۸). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد در سال ۱۳۷۹ به دلیل عدم وجود آب، مقدار پوشش گیاهی که تأثیر مهمی بر تثبیت خاک و کاهش گرد و غبار دارد، کاهش پیدا کرده است. از طرف دیگر با خشک شدن منطقه، رطوبت خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تثبیت ذرات خاک، به‌شدت کاهش پیدا کرده که در نتیجه، کارکردهای مهم تالاب هامون به‌عنوان یک اکوسیستم آبی که باعث تعدیل آب و هوا در زمان آب‌گیری می‌شود دچار اختلال شده و فرسایش خاک و در نتیجه، طوفان‌های گرد و غبار شدت پیدا کرده است. بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهد طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ که منابع آبی بیشتر شده شرایط کل منطقه تغییر کرده است. با این وجود تعداد لکه‌های اراضی دارای آب در این دو سال در مقایسه با سال ۱۳۵۶ افزایش یافته که نشان‌دهنده ضرورت مدیریت آب ورودی به تالاب هامون برای جلوگیری از تبخیر شدید آب است. به‌طور کلی، با توجه به تأثیر مهم آب بر روی سایر طبقات پوشش اراضی و به‌ویژه جلوگیری از افزایش طبقه اراضی بایر که مهم‌ترین منشأ گرد و غبار است، مدیریت منابع آب در دشت سیستان ضروری است. با مدیریت منابع آب و با در نظر گرفتن شاخص‌های سیمای سرزمین در این منطقه، می‌توان از کارکردهای مهم تالاب هامون حفاظت کرد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد بررسی تغییرات سنجه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین می‌تواند تغییرات ارتباطات بین کاربری و پوشش اراضی سطح زمین با کارکردهای آنها را نشان دهد و دلایل تغییر در کارکردهای یک اکوسیستم را مشخص نماید. با توجه به تنوع این سنجه‌ها و همچنین قابلیت استفاده از آنها در دو سطح منظر و کلاس، با استفاده از بوم‌شناسی سیمای سرزمین به‌خوبی می‌توان ویژگی‌های سرزمین را مورد ارزیابی قرار داد.

کرد. افرال و همکاران (۲۷) معتقدند که با توجه به اینکه تغییرات اندک در مناطق خشک نیز می‌تواند در عرضه خدمات اکوسیستم تأثیرگذار باشد، سنجه‌های سیمای سرزمین به‌دلیل نگاه یکپارچه می‌تواند این تغییرات را به‌خوبی مشخص کنند و در مطالعات خدمات اکوسیستم مورد استفاده قرار گیرند. از سوی دیگر همان‌گونه که نتایج نشان داد این سنجه‌ها از جنبه‌های مختلف، تغییرات اکوسیستم را بررسی می‌کنند و به‌همین دلیل در مطالعات مربوط به اثرات تغییرات اقلیمی و حفاظت از اکوسیستم‌ها اهمیت دارند (۴). با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس، می‌توان میزان تکه‌تکه‌شدن هر کلاس را تعیین نموده و با کلاس‌های دیگر مقایسه کرد تا منطقه با اولویت حفاظت بالاتر انتخاب شود. این معیارها امکان بررسی تمام بخش‌ها و خدمات اکوسیستم در تمام شرایط محیط‌زیستی را فراهم می‌کنند (۹). بنابراین با استفاده از آنها، پایش عملکردهای پدیده‌های مختلف در یک اکوسیستم امکان‌پذیر است. همان‌گونه که جدول‌های ۵ تا ۹ نشان می‌دهد سنجه‌های سیمای سرزمین معیارهای قابل اندازه‌گیری هستند که تغییرات را به‌صورت کمی مشخص می‌کنند (۴۵). همچنین این سنجه‌ها یک ابزار کمی برای مقایسه بین اکوسیستم‌های مختلف یا ارزیابی یک اکوسیستم در زمان‌های مختلف ارائه می‌دهند (۱۰). به همین دلایل این سنجه‌ها در مطالعات اکوسیستم‌ها کاربرد گسترده‌ای دارند (۶، ۱۸ و ۱۹).

نتیجه‌گیری

کمی‌کردن الگوهای سیمای سرزمین برای شناخت و بررسی تغییرات ایجادشده حاصل از توسعه و فعالیت‌های انسانی و تأثیر آنها بر ساختار و کارکردهای اکوسیستم‌ها کاربرد دارد. توسعه‌های انسانی منجر به تکه‌تکه‌شدن سیمای منظر طبیعی (سطح منظر) یک سرزمین و گسترش لکه‌های انسان‌ساخت می‌شود و در نتیجه،

منابع مورد استفاده

- Aslami, F., A. Ghorbani, B. Sobhani and M. Panahandeh. 2015. Comparing artificial neural network, support vector machine and object-based methods in preparation of land use/cover maps using Landsat-8 images. *RS & GIS Techniques in Natural Resources* 6: 1-14. (In Farsi)
- Bihamtaye Toosi, N., A. Safaian and S. Fakhran. 2013. Investigation of land cover changes in central region of

- Esfahan by using landscape metrics. *Iranian Journal of Applied Ecology* 6: 46-61 .
3. Cheng, G. D., D. N. Xiao and G. X. Wang. 2000. Characteristics and construction of landscape ecology in arid regions. *Chinese Geographical Science* 10(1): 13-19.
 4. Cowling, R. M., B. Egoh, A. T. Knight, P. J. O'Farrell, B. Reyers, M. Rouget'Il, D. J. Roux, A. Welz and A. Wilhelm-Rechman. 2008. An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. *Proc Natl Acad Sci USA* 105(28): 9483-9488.
 5. Dahmardeh Ghaleno, M. R. 2016. Optimizing the operation of the Chahnimeh reservoirs in Sistan region using goal programming method, PhD thesis in Natural Resources Engineering- Watershed Management. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. 217p. (In Farsi)
 6. Darvishi, A., S. Fakheran, A. Soffianian and M. Ghorbani. 2012. Quantifying landscape spatial pattern changes in the Caucasian Black Grouse (*Tetrao mlokosiewiczzi*) habitat in Arasbaran biosphere reserve. *Iranian journal of applied ecology* 2(5): 27-38.
 7. Ehsani, A. and M. Shakerian. 2018. Determining the optimal method of land use classification and mapping / land cover by comparing artificial neural network algorithms and support vector machines using satellite data (Case study: Hamoon International Wetland). *Environmental Science and Technology* 20(14): 193-207.
 8. Fathizad, H., A. Nohe Gar, M. Faramarzi and M. Tazeh. 2013. Investigation of land use changes based on analysis of landscape metrics by using of remote sensing and GIS in arid and semi-arid region of Dehloran. *Journal of Town and Country Planning* 3: 79-99.
 9. Fennessy, M. S. and D. Wardrop. 2016. Approaches to assessing the ecological condition of wetlands using soil indicators. In: *Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes, and classification: Second Edition*. CRC Press. pp. 425-445.
 10. Frankenberg, C. and J. Berry. 2018. Solar induced chlorophyll fluorescence: origins, relation to photosynthesis and retrieval. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. *Comprehensive Remote Sensing* 3: 143-162.
 11. Ghosh, A., M. Munshi, G. Areendran and P. K. Joshi,. 2012. Pattern space analysis of landscape metrics for detecting changes in forests of Himalayan foothills. *Asian Journal of Geoinformatics* 12(1): 1-12.
 12. Hosseini Verdi, M., A. Mahini, S. M. Monavari and M. S. Khairkhah Zarkash. 2010. Application of landscape measurements in assessing the cumulative effects of road network on tree cover. *Iranian Journal of Natural Environment* 65(2): 139-152. (In Farsi)
 13. Haghverdi, F., A. Jahani, L. Zebardast, M. Makhdoom and H. Goshtasb. 2009. Assessing the integrity of protected rangeland habitats using the landscape ecology approach. *Journal of Plant Ecology* 7(14): 1-20. (In Farsi).
 14. Huang, J., T.Z. Henshun and L. Jie. 2010. Detecting spatiotemporal change of land use and landscape pattern in a coastal gulf region, southeast of China. *Environment, Development and Sustainability* 12(1): 35-48.
 15. Karami, A. and J. Feqhhi. 2011. Quantification of landscape measurements in conservation of sustainable land use pattern (Case study: Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province). *Journal of Environmental Studies* 60: 79-88. (In Farsi)
 16. Kantakumar, L. N. and P. Neelamsetti. 2015. Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 18(2): 289-295.
 17. Mehri, A., A. Mahini, A. Mikaeili, E. Tabrizi, S. H. Mirkarimi and A. Saad-al-Din. 2018. Effects of land use change on the natural structure of Qarasu river basin. *Town and Country Planning* 10(1): 93-116. (In Farsi)
 18. Maleki, S., S. Soltani Koupaei, A. Soffianian, S. Saatchi, S. Pourmanafi and V. Rahdari. 2019. Human and climate effects on the Hamoun wetlands. *American Meteorological Society* 11(3): 609-612.
 19. Maleki, S., A. Soffianian and V. Rahdari. 2010. Investigation of landscape ecological changes in Moteh Wildlife Sanctuary using geographical life systems. *Iranian Journal of Natural Resources* 4: 373-387.
 20. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: scenarios*. Findings of the Scenarios Working Group, Vol. 2. Island Press. 165p.
 21. Masoomi, M. and R. Moshiri. 2014. Using spatial landscape metrics and remote sensing data for temporal-spatial analysis of land cover/use changes in urban, Case study: Ardabil region. *Journal of Geographic Space* 45: 179-196 .
 22. Matsushita, B., Y. Wei, C. Jin, O. Yuyichi and Q. Guoyn. 2007. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density Cypress forest. *Journal List Sensors (Basel)* 7(11): 2636-2651.
 23. Maleki, S., A. Soffianian, S. Soltani, S. Pourmanafi and V. Rahdari. 2017. Modeling the suitability of waterfowl habitats and shores of Hamoon Wetland using the maximum entropy model. *Scientific Journal of Wetland Ecobiology* 11(40): 5-14. (In Farsi)
 24. Najafi, A., S. Azizi and M. Mokhtari. 2017. Application of support vector machine in land use classification of Cheshmeh Kileh-Chalkroud area. *Journal of Watershed Management Research* 15: 92-96 .
 25. Nemat Elahi, Sh., S. Fakhran, A. Jafari, T. Raeesi and S. Pourmanafi. 2009. Land planning for conservation and

- ecological effects of road network in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Applied Ecology* 8(4): 67-81. (In Farsi)
26. Nohegar, A., B. Jaberian Amiri and R. Afrakhteh. 2015. Land use analysis on Guilan central district using landscape ecology approach. *Geography and Territorial Spatial Arrangement* 15(5): 197-213.
 27. OFarrell, P. J., B. Reyers, D. C. Le Maitre, S. J. Milton, B. Egoh, A. Maherry and R. M. Cowling. 2010. Multi-functional landscapes in semiarid environments: implications for biodiversity and ecosystem services. *Landscape Ecology* 25(8): 1231-1246.
 28. Pettorelli, N., J. O. Vik, A. Mysterud, J. M. Gaillard, C. J. Tucker and N. C. Stenseth. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution* 20(9): 503-510.
 29. Rahdari, V., S. Maleki, M. Rahdari, S. Mahmoudi, N. Pormollaei, M. R. Alimoradi, E. Abtin, M. Kadkhodae and S. Pourmanafi. 2016. Investigate the potential of multi-spectral satellite data for mapping the water depth and the area adjacent to reservoir (Case study: Chah Nimeh reservoirs in Sistan). *Iran Water Resources Research* 12(3): 130-141. (In Farsi)
 30. Ramachandra, T. V., K. Utam and N. V. Joshi. 2012. Landscape dynamics in western Hymalia- Mandhala Watreshed, Himachal Pradesh, India. *Asian Journal of Geoinformatics* 12(1): 1-9.
 31. Rahdari, V., A. Soffianian, S. Pourmanafi and H. Qayyumi Mohammadi. 2018. Investigating the time series OLI multi-spectral sensor data capability with the Step by Step method for producing the major cultivation map (a case study: Chadegan city). *Journal of Soil and Water Sciences* 22(3): 71-80 (In Farsi)
 32. Riitters, K., J. Wickham, J. K. Costanza and P. Vogt. 2016. A global evaluation of forest interior area dynamics using tree cover data from 2000 to 2012. *Landscape Ecology* 31: 137-148.
 33. Salman Mahiny, A. 2007. Landscape metrics and erosion risk as two classes of quantitative indicators for rapid environmental impact assessment. *Agricultural Science and Natural Resources* 14: 139-150.
 34. Salajegheh, B., S. M. Monavari, A. Karbasi, N. Khorasani and S. M. Shariat. 2014. Analysis of land degradation using the detection of changes and measures of land appearance (case study of Kish Island). *Special Issue of Environmental Research* 99: 1-110. (In Farsi)
 35. Salman Mahini, A. 2007. Landscape and erosion criteria as two quantitative index categories for rapid evaluation of the effects of development projects. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 4(1): 139-149. (In Farsi)
 36. Samuel, C., M. Kevin and N. Maile. 2008. Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators* 8: 691-703.
 37. Sefidiyan, S., A. Mahini, H. Mirkarimi and N. Hasanabasi. 2015. Vegetation classification based on wetland index using remote sensing and sampling land (case study: Alagol International Wetland). *Quarterly Journal of Wetland Ecology- Islamic Azad University* 7(24): 5-22. (In Farsi)
 38. Smiraglia, D., T. Ceccarelli, S. Bajocco, L. Perini and L. Salvati. 2015. Unraveling landscape complexity: land use/land cover changes and landscape pattern dynamics (1954–2008) in contrasting peri-urban and agro-forest regions of Northern Italy. *Environmental Management* 56: 916-932.
 39. Sistan and Baluchestan Regional Water Company. 2014. Status report of Sistan and Baluchestan Province. 41p. (In Farsi)
 40. Sheikh Goodarzi, M., A. Alizadeh Shabani, S. Mahini and J. Fegghi. 2012. Landscape ecological metrics based investigation of land cover/use changes in Gorganrud watershed. *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources* 64(4): 431-444. (In Farsi)
 41. Sepasi, M., H. Darabi and H. Irani Behbahani. 2013. Analysis of landscape of rural-urban Tarasht. First International Conference of Landscape Ecology. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 42. Talebi Amiri, S., F. Azari Dehkordi, S. H. Sadeghi and S. R. Soofbaf. 2009. Study on landscape degradation in Neka watershed using landscape metrics. *Environmental Sciences* 6(3): 133-144.
 43. Turner, M. G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20: 171-197.
 44. Turner, M. 2005. Landscape ecology: what is the state of the science. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 1502(36): 319-344.
 45. Turner, M. G., R. H. Gardner and R. V. O'Neill. 2001. Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. Springer Verlag, New York. 331p.
 46. Tolessa, T., F. Senbeta and M. Kidane. 2016. Landscape composition and configuration in the central highlands of Ethiopia. *Ecology and Evolution* 6(20): 7409-7421.
 47. Uuemaa, E., U. Mander and R. Marja. 2013. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: a review. *Ecological Indicators* 28: 100-106.
 48. Veldkamp, A. and E. F. Lambin. 2001. Predicting land use change. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 85: 1-6.

Application of Landscape Ecology in Spatio-Temporal Change Detection of Arid Regions, Case Study: Sistan Plain

M. Mir¹, S. Maleki^{2*} and V. Rahdari³

(Received: May 12-2021; Accepted: September 02-2021)

Abstract

Population growth followed by increasing human needs has caused widespread environmental changes in various ecosystems. Change detection is necessary to properly manage the ecosystem and protect the structure and functions of ecosystems. Landscape ecology provides concepts, theories, and methods for assessing and managing lands. In the current study landscape metrics were used to assess spatio-temporal changes in the Sistan Plain. Landscape metrics were created at class and landscape levels. These indices were calculated, using land use/cover maps of 1977, 2000, 2015, and 2021. Results showed that at the class level, the highest number of patches and fragmentation of the vegetation cover was occurred in 2000 and the lowest number of vegetation patches was in 1977. With the inflow of water from Helmand and Farahrood rivers in 2015 and 2021, the vegetation cover, comprising a variety of *Tamarix sp*, *Aeluropus sp*, and *Phragmites sp*, has increased. Due to the inundation of Hamoun and Farah rood rivers, the water and vegetation cover has fewer patches with more connectivity. The highest number of patches in the water body class was in 2015, due to the limited inflow from the Hamoun wetland and the lowest number of water body patches was observed in 1977. This study shows that landscape metrics can determine changes in arid ecosystems. Also, these metrics can quantify the changes in ecosystems and be used in ecosystem management of arid lands.

Keywords: Hamoun wetland, Satellite image, Landscape indices, ecosystem, Sistan plain

1. Faculty of Natural Resources, Zabol University
2. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Zabol University
3. Department of Natural Ecosystems, Hamoon International Wetlands. Research Institute, Zabol University
*: Corresponding Author, Email: smaleki@uoz.ac.ir