

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2023.19284.1910](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2023.19284.1910)

ارزیابی ساختار و عملکرد چشم‌اندازهای بیابانی با استفاده از تحلیل عملکرد چشم‌انداز و شاخص‌های سنجش از دوری (مقاله پژوهشی)

- ۱- سیدمهدی امیرآبادی‌زاده، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- حسین بشری*، دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
hbashari@iut.ac.ir
۳- رضا جعفری، دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶

چکیده

در این مطالعه، ساختار و عملکرد مناطق اطراف تالاب بین‌المللی گاوخونی با کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی با استفاده از روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز (LFA) و شاخص نشت جهت‌دار گیاهی (CDLI) مستخرج از سنجنده OLI لندست ۸ و شاخص‌های گیاهی SAVI-A، NDVI، PD54 و STVI-1 ارزیابی و مقایسه گردید. در این تحقیق، ۶ مکان مختلف انتخاب و در هر مکان، تعداد دو تا سه ترانسکت ۵۰ متری مستقر شد. طول و عرض لکه‌ها و فضای بین‌لکه‌ای به‌طور ممتد اندازه‌گیری و تعداد ۱۱ شاخص سطحی در تمام لکه‌های اکولوژیک و فضای بین‌لکه‌ها با سه تکرار ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که معیارهای عملکردی پایداری و عناصر غذایی اختلاف معنی‌داری در میان مکان‌های مطالعاتی نداشت ولی شاخص چرخه موادغذایی در مکان‌های تاغ‌کاری‌شده (*Haloxylon ammodendron*)، اشنان‌زار (*Seidlitzia rosamrinus*) و گنگ‌زار (*Halocnnum strobilcaum*) در مقایسه با سایر مکان‌ها در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشت. شاخص‌های ساختاری و عملکردی در مناطق با کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی در سطح آماری ۵ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. شاخص PD54 به علت تمایز بهتر میزان نشت منابع میان مکان‌های مختلف، بهترین عملکرد را داشت و یک رابطه قوی بین این شاخص و شاخص نشت جهت‌دار گیاهی وجود داشت ($R^2=71/9\%$). همچنین رابطه منفی و معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین میزان نشت و درصد پوشش وجود داشت. مطالعه حاضر نشان داد که تلفیق روش LFA و شاخص نشت CDLI می‌تواند بطور مناسبی شرایط ساختاری و عملکردی اکوسیستم‌های مناطق بیابانی را ارزیابی کند.

واژگان کلیدی: اکوسیستم بیابانی، پایداری، نفوذپذیری، چرخه مواد غذایی، لکه اکولوژیک، شاخص‌های سنجش از دوری.

مقدمه

شاخص‌های عملکردی در مراتع استرالیا به روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز^۱ (LFA) و در ایالات‌متحده به روش سلامت مرتع^۲ ارزیابی می‌گردد [۲۲]. روش LFA، روش ارزیابی ساده‌ای است که برای تعیین مطلوبیت عملکرد اکوسیستم با استفاده از ۱۱ شاخص سطح خاک، سه معیار پایداری (قابلیت خاک برای نیروهای مقاوم به فرسایش و تشکیل مجدد پس از اختلال)، نفوذ (چگونگی

بیابان اکوسیستمی است که در آن، استمرار و پایداری چرخه حیات با دشواری‌های فراوان همراه بوده و کمبود آب مهم‌ترین شناسه آن است [۷، ۲۳]. در اغلب اوقات، ساختار اکوسیستم‌های بیابانی نظیر درصد پوشش، تراکم و تولید پوشش گیاهی مورد توجه و ارزیابی قرار می‌گیرد [۲]. در روش‌های جدید ارزیابی، به عملکرد اکوسیستم توجه بیشتری نسبت به روش‌های قدیمی که بیشتر بر ساختار اکوسیستم متمرکز بود، شده است [۵].

¹ Landscape Function Analysis

² Rangeland Health

معایب ارزیابی اکوسیستم‌ها در بسیاری از مناطق به شمار می‌آید. الگوهای مکانی چگونگی توزیع لکه و فضای بین لکه‌ها، هم بر توزیع مجدد منابع، تولید رواناب و نفوذپذیری تأثیر می‌گذارند و هم از آنها تأثیر می‌پذیرند و در واقع، رابطه دو طرفه دارند [۱۷].

با استفاده از روش LFA که هم ساختار و هم عملکرد اکوسیستم را در نظر می‌گیرد و تکنیک‌های سنجش از دوری، می‌توان ارزیابی دقیق‌تر و کامل‌تری از شرایط اکوسیستم داشت. هدف تحقیق حاضر، ارزیابی و مقایسه وضعیت عملکردی اراضی حاشیه تالاب گاوخونی با درجات مختلف بیابان‌زایی و با استفاده از شاخص‌های زمینی و سنجش از دوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در اراضی بیابانی شرق ورزنه در عرض جغرافیایی $29^{\circ} 18' 32''$ تا $24^{\circ} 25' 32''$ و طول جغرافیایی $29^{\circ} 53' 52''$ تا $24^{\circ} 40' 52''$ ، حدفاصل تاغ‌های دست‌کاشت واقع در نزدیکی شهر ورزنه تا کوه‌سپاه در مسیر تالاب گاوخونی واقع شده است (شکل ۱).

شهر ورزنه در ۱۱۰ کیلومتری جنوب‌شرق اصفهان قرار گرفته و طی دوره آماری ۴۰ ساله، میانگین بارش سالانه آن $90/3$ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه $19/03$ درجه سانتی‌گراد، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه 3265 میلی‌متر بوده و نوع اقلیم آن به روش دومارتن خشک بیابانی است [۸].

گونه‌های گیاهی موجود در منطقه غالباً از نوع گونه‌های مقاوم به شوری نظیر تاغ (*Haloxylon spp.*)، اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*)، گنگ (*Halocnemum strobilaceum*) و گز (*Tamarix spp.*) هستند.

مکان‌های مورد مطالعه که در آنها نمونه‌برداری انجام شد، شامل ۶ مکان تاغ‌کاری شده (احیاشده)، احیانشده که در مجاورت منطقه تاغ‌کاری واقع شده است و در آن عملیات احیایی انجام نشده است (کنترل)، تپه ماسه‌ای خیلی کم ارتفاع، اشنان‌زار، گنگ‌زار و منطقه فاقد پوشش گیاهی حاشیه تالاب هستند (جدول ۱ و شکل ۲).

نفوذ قطرات باران در خاک) و چرخه مواد غذایی (چگونگی چرخه مواد غذایی خاک) را ارزیابی می‌کند [۲۷]. قابل ذکر است از روش LFA در ارزیابی ساختار چشم‌انداز نیز می‌توان استفاده کرد و درصد تاج پوشش گیاهی و شرایط لکه‌های پوشش گیاهی و یا اکولوژیک را اندازه‌گیری و ارزیابی نمود. این روش در ابتدا در استرالیا توسط تانگوی و لودویگ برای ارزیابی عملکرد خاک سطحی در اراضی که قبلاً معادن سطحی آن برداشت و عملیات احیایی در آن صورت گرفته، ابداع شد. در اکوسیستم‌های مناطق خشک [۱، ۱۴ و ۱۷] و نیمه‌خشک [۲۰ و ۲۵] نیز از این روش برای ارزیابی عملکرد اکوسیستم به نحو وسیعی استفاده شده است.

چندین دهه است که علم سنجش از دور، با امکاناتی نظیر مقیاس زمانی و مکانی مناسب و هزینه کم، به‌عنوان روشی مکمل و گاه جایگزین روش‌های میدانی در مطالعات مختلف، به کمک مدیران منابع طبیعی آمده و روش‌های مختلف آن راهگشای برنامه‌های توسعه در بخش‌های مختلف بوده است [۱۶].

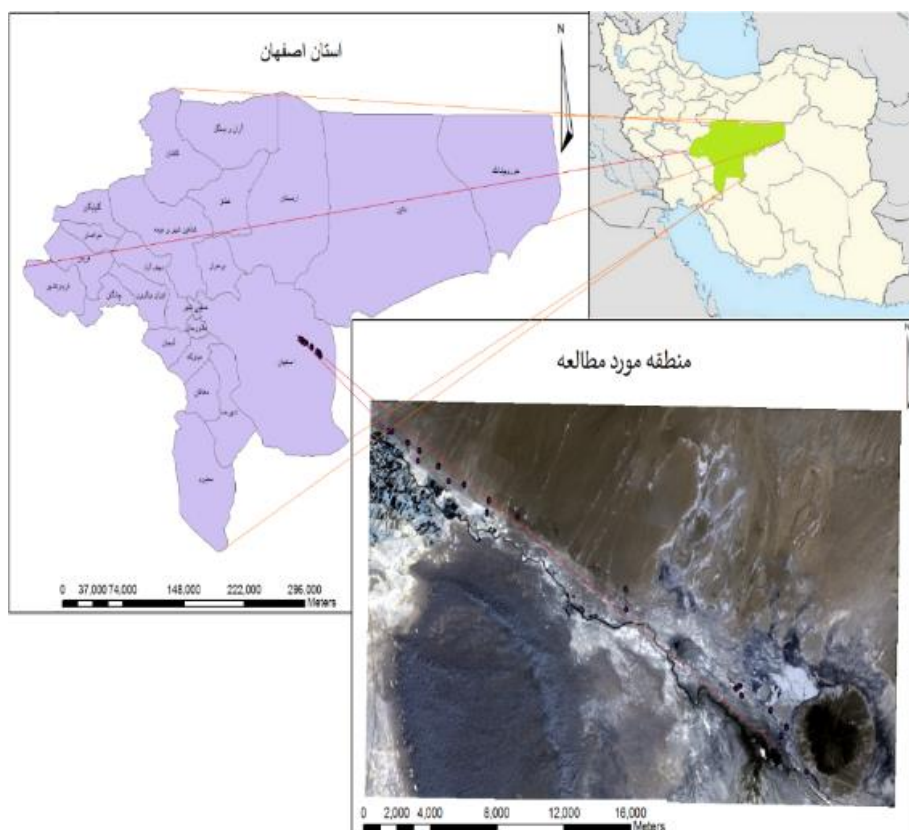
شاخص نشت^۱، یکی از شاخص‌های سنجش از دوری است که جهت ارزیابی عملکرد اکوسیستم ابداع شده و بیانگر پتانسیل اکوسیستم در از دست دادن یا نشت منابع است [۱۸]. مبنای شاخص نشت، داده‌های پوشش گیاهی است که از تصاویر سنجش از دور به دست می‌آید [۱۱]. امکان کاربرد این شاخص در ارزیابی عملکرد مراتع مناطق استپی ایران ارزیابی شده است [۱۳]. محققان به کمک تصاویر ماهواره‌ای در مراتع منطقه سه اصفهان، مقدار عددی این شاخص را $0/79$ محاسبه کردند که نشان‌دهنده خروج منابع (نشت) از اکوسیستم این منطقه بود و این نتیجه با درصد نسبتاً کم تاج‌پوشش گیاهی منطقه (عمدتاً کمتر از ۲۰٪) که منجر به عدم حفظ منابع در مرتع شده است، مطابقت داشت [۳]. باوجود کارایی مناسب این شاخص در ارزیابی عملکرد مناطق خشک و نیمه‌خشک، بندرت از این شاخص برای ارزیابی عملکرد مناطق بیابانی ایران استفاده شده است.

بی‌توجهی به مسائل هیدرولوژیکی و خاکی اکوسیستم و عدم بررسی کمی و دقیق فرآیندهای اکوهیدرولوژیکی از

¹ Leakiness Index

اساس، منطقهٔ تاغ کاری دست کاشت، دارای کلاس بیابانزایی شدید و سایر مکان‌ها، کلاس بیابانزایی خیلی شدید داشتند [۱۲].

در این پژوهش برای مشخص کردن مکان‌های مطالعاتی از نظر شدت بیابانزایی، از نتایج ارزیابی بیابانزایی به روش مدالوس توسط سایر محققان استفاده شد. بر این



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در: الف) ایران؛ ب) استان اصفهان؛ و ج) سایت‌های نمونه‌برداری (نقاط رنگ سیاه) روی تصویر لندست ۸

جدول ۱- موقعیت و وضعیت اکولوژیک و کلاس بیابانزایی مکان‌های مطالعاتی به روش مدالوس در منطقه تالاب گاوخونی

نام مکان	تعداد ترانسکت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	کلاس بیابانزایی به روش مدالوس	گونه‌های گیاهی شاخص
تاغ کاری شده	۳	۶۵۷۶۴۴	۳۵۸۸۶۵۶	۱۴۸۰	شدید	<i>Haloxylon ammodendron</i>
مجاور منطقه تاغ کاری (کنترل)	۲	۶۵۸۹۴۲	۳۵۸۷۷۲۷	۱۴۷۷	خیلی شدید	<i>Cornulaca aucheri</i>
اشنان زار	۲	۶۶۳۱۹۸	۳۵۸۵۴۳۳	۱۴۷۳	خیلی شدید	<i>Seidlitzia rosmarinus</i>
تپه ماسه‌ای کم ارتفاع	۲	۶۷۰۱۳۶	۳۵۸۱۹۱۶	۱۴۷۵	خیلی شدید	<i>Astragalus squarrosus,</i> <i>Cornulaca aucheri,</i> <i>Stipagrostis plumosa</i>
گنگ زار	۲	۶۷۵۲۵۱	۳۵۷۷۶۸۲	۱۴۵۵	خیلی شدید	<i>Halocnemum strobilaceum</i>
فاقد پوشش گیاهی حاشیه تالاب	۲	۶۷۷۴۳۱	۳۵۷۵۷۹۳	۱۴۵۰	خیلی شدید	-



شکل ۲- نمایی از مکان‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه: الف) مکان تاغ‌کاری دست کاشت؛ ب) مکان احیاناً شده در مجاورت مکان تاغ‌کاری شده؛ ج) مکان اشنان‌زار؛ د) مکان تپه ماسه‌ای کم ارتفاع؛ ه) مکان گنگ‌زار؛ و) مکان حاشیه تالاب-فاقد پوشش گیاهی

شد. با وارد کردن داده‌های لکه‌ها و بین‌لکه‌ها، وضعیت ساختاری کل طول لکه‌ها، طول فضای بین لکه‌ای، عرض لکه‌ها، تعداد لکه‌ها در ۱۰ متر، سطح کل لکه، شاخص سطح لکه (نسبت کل سطح لکه به طول لکه ضربدر ۱۰) و شاخص سازمان‌یافتگی یا نظام‌یافتگی چشم‌انداز (نسبت طول لکه‌های اکولوژیک به کل طول ترانسکت) محاسبه و ارزیابی شد.

پس از برداشت داده‌های ساختاری در هر نوع لکه و همچنین فضای بین‌لکه‌ای با سه تکرار بصورت تصادفی، تعداد ۱۱ شاخص خاک که تعیین‌کننده سه ویژگی عملکردی (پایداری، نفوذپذیری و چرخه عناصر غذایی) می‌باشند، طبق دستورالعمل موجود امتیازدهی گردید [۲۷].

جمع‌آوری داده‌های میدانی

با توجه به این که بیشتر گونه‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه از خانواده *Chenopodiaceae* بودند و گلدهی در گونه‌های این خانواده به طور عمده از شهریور تا اواسط فصل پاییز است، بازدید میدانی در فصل پاییز و اواسط آذرماه انجام شد.

برای جمع‌آوری داده‌های زمینی در هر مکان ۲ تا ۳ ترانسکت ۵۰ متری به طور تصادفی در امتداد جهت باد غالب منطقه مستقر و در هر ترانسکت لکه و فضای بین‌لکه‌ای به همراه عرض لکه‌های اکولوژیک به کمک دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) ثبت گردید (جدول ۱).

داده‌های میدانی در نرم‌افزار تحت اکسل LFA وارد گردید. اطلاعات برداشت‌شده در بازدید زمینی، بر اساس طول و عرض لکه و بر حسب سانتی‌متر به نرم‌افزار وارد

هندسی نبود. از بین شاخص‌های مختلف اعمال شده بر تصویر بالا در ارزیابی اولیه، شاخص‌های SAVI-A^۲، NDVI^۳، PD54^۴ و STVI^۵ انتخاب شدند تا شاخص نشت CDLI^۶ بر اساس آنها محاسبه گردد (جدول ۲).

با توجه به این که محاسبه شاخص پوشش گیاهی PD54 نسبت به بقیه شاخص‌ها متفاوت است و همچنین بقیه شاخص‌ها در مطالعات زیادی استفاده شده‌اند، لذا در پژوهش حاضر، روش محاسبه شاخص PD54 ارائه شده است. برای این کار ابتدا پلات پراکنش باند (سبز) ۳ در مقابل (قرمز) ۴ در نرم‌افزار Erdas Imagine 9.3 ترسیم و دو پیکسل خاک و یک پیکسل پوشش گیاهی انتخاب شد (شکل ۳). اعداد مختصات حاصل به فایل محاسبه شیب، عرض از مبدأ و فاصله خط خاک از پوشش گیاهی در EXCEL وارد و متغیرهای محاسبه‌شده در نرم‌افزار Erdas ساخته و اجرا شدند.

(۱)

$$PD54 = [ABS(-1 \times \text{band } 3 \times \text{gain}) + (\text{band } 4 - \text{offset}) / ((SQRT(\text{gain}^2 + 1))) \times 254 / \text{distance}$$

که در آن، Gain: شیب خط، offset: عرض از مبدأ و distance: فاصله خط خاک از پوشش گیاهی هستند. دو پیکسل خاک شیب خط و عرض از مبدأ و پیکسل پوشش گیاهی فاصله خط خاک از پوشش گیاهی را تعیین می‌کنند (جدول ۳).

شاخص پوشش گیاهی PD54 بین ۰ تا ۲۵۵ متغیر است. پوشش گیاهی غنی‌تر، ارزش بالاتری را به نمایش می‌گذارد. منابع خطا در تعیین وضعیت پوشش گیاهی در محاسبه این شاخص شامل مشخصات خاک زمینه و افزایش تفاوت‌ها در رنگ گیاهان حاضر است.

شاخص‌های مورد ارزیابی شامل شاخص پوشش خاک یا حفاظت در برابر پاشمان، پوشش گیاهان چندساله، پوشش لاشبرگ (منشأ، میزان و درجه تجزیه‌شدگی آن)، پوشش نهانزادان آوندی، شکستگی پوسته یا سله، نوع و شدت فرسایش، مواد رسوبی (نهشته شده)، ناهمواری سطح خاک، طبیعت سطح خاک یا مقاومت به تخریب، آزمون پایداری در برابر رطوبت (Slake Test) و بافت خاک می‌باشد. سپس، وضعیت شاخص‌های عملکردی پایداری خاک، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی برای هر نوع لکه و فضای بین‌لکه‌ای و همچنین ترانسکت و سایت‌های مطالعاتی تعیین شد.

در تعیین شاخص عملکردی پایداری از شاخص‌های پوشش خاک، پوشش یقه گیاهان چندساله، پوشش نهانزادان، میزان شکستگی پوسته یا سله، نوع و شدت فرسایش، مواد ته‌نشست شده، مقاومت سطحی برای اختلال و آزمایش پایداری در برابر رطوبت (Slake test) استفاده شد. در ارزیابی معیار نفوذ، پوشش علفی چندساله و درختی و درختچه، نوع و درجه تجزیه لاشبرگ و پوشش نهانزادان آوندی بررسی شد و در معیار چرخه مواد غذایی، پوشش علفی چندساله و درختی و درختچه، نوع و درجه تجزیه لاشبرگ و پوشش نهانزادان آوندی و ناهمواری سطح خاک بررسی شد [۲۷].

محاسبه شاخص عملکردی نشت CDLI

در این مطالعه از تصویر OLI^۱ لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۷/۱۰/۶ مطابق با زمان بازدید میدانی، استفاده گردید. علت انتخاب زمان این تصویر این بود که از نظر زمانی به بازدید میدانی نزدیک باشد، تا گونه‌های یکساله در تصویر غالب نباشند و پوشش زمین، گونه‌های چندساله و دایمی باشند. میزان و شرایط پوشش حفاظتی خاک، عامل مهمی در وضعیت عملکرد چشم‌انداز است. استفاده از تصویر در فصلی که گونه‌های یکساله، اغلب در این بازه زمانی از چشم‌انداز حذف می‌شوند، زمان مناسبی برای تعیین عملکرد اکوسیستم است [۶].

به علت عدم وجود ابر و نویز در تصویر و استفاده از یک تصویر در این تحقیق، نیازی به انجام تصحیح اتمسفری و

² Soil-Adjusted Vegetation Index

³ Normalized Difference Vegetation Index

⁴ Perpendicular Distance Vegetation Index

⁵ Stress Related Vegetation Index

⁶ Cover Directional Leakiness Index

¹ Operational Land Imager

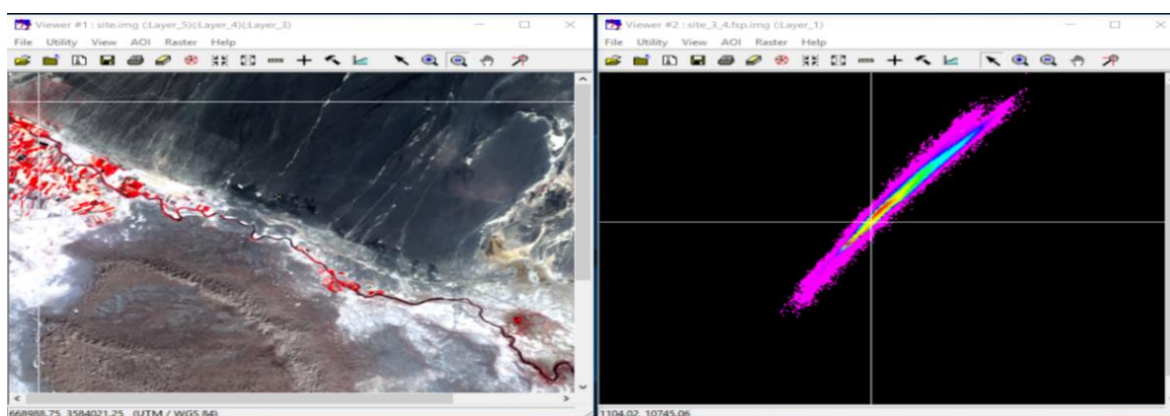
جدول ۲- گروه‌های شاخص‌های گیاهی استفاده شده جهت محاسبه شاخص نشت DLI

باند‌های لندست OLI	رابطه	مرجع	مخفف	شاخص پوشش گیاهی	گروه شاخص پوشش گیاهی
(۴-۵)/(۴+۵)	(NIR-R)/(NIR+R)	[۲۴]	NDVI	اختلاف نرمال	گروه ۱ (بر پایه شیب)
$[(5-4)/(5+4+L)] \times (1+L)$	$[(NIR-R)/(NIR+R+L)] \times (1+L)$ L عامل تنظیم خاک است	[۱۰]	SAVI - A	خاک تنظیم شده - A	
3 v. 4	فاصله عمودی از خط خاک به سمت خط پوشش گیاهی	[۲۱]	PD54	فاصله عمودی	گروه ۲ (خط خاک)
(۶×۴)/۵	(MIR×R)/NIR	[۲۶]	STVI - 1	Stress related - 1	گروه ۳ (حساس به گیاه - آب)

جدول ۳- متغیرهای محاسبه شده برای محاسبه شاخص گیاهی PD54

شیب خط عرض از مبدأ فاصله خط خاک از پوشش گیاهی

۰/۱۲	۱۳۷۰۶/۱۵	۶۳۵۳/۳۹
------	----------	---------



شکل ۳- انتخاب پیکسل برای به دست آوردن متغیرهای موردنیاز برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی PD54 در منطقه تالاب گاوخونی

چشم‌انداز و توان k پتانسیل چشم‌انداز برای حفظ منابع هستند. برای محاسبه L_{calc} از رابطه ذیل استفاده شد.

$$P_{i,j} = (P_{i-1,j} + 1)l_{i,j} \quad (3)$$

مقدار تصاعدی هر پیکسل در ردیف قبلی در ستون $P_{i-1,j}$ با ۱ جمع و در پتانسیل اتلاف منبع همان ستون و ردیف در جدول $l_{i,j}$ ضرب شد. عدد اول ستون به این دلیل که ستون قبلی ندارد خودش را در جدول قرار داده و بقیه اعداد بر اساس رابطه فوق محاسبه و در قسمت (ج) شکل ۴ قرار داده شد تا عدد آخر جدول که به جدول شاخص نشت CDLI منتقل می‌شود.

در محاسبه شاخص نشت CDLI فرض بر جهت جریان منابع در چشم‌انداز از بالا به پایین و در مناطق کم شیب بنا شده است. این شاخص از ۰ تا ۱ برای نشان دادن چشم‌اندازهای بدون نشت تا نشت کامل متغیر است [۱۸]. شاخص مذکور از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$CDLI = 1 - \left[\frac{L_{max} - L_{calc}}{L_{max} - L_{min}} \right]^k \quad (2)$$

L_{calc} مقدار محاسبه شده پتانسیل نشت چشم‌انداز، L_{min} و L_{max} حداکثر و حداقل مقادیر نشت پتانسیل

نتایج

مقایسه شاخص‌های ساختاری و عملکردی به روش

زمینی

نتایج بررسی ساختار و عملکرد مکان‌های مورد بررسی نشان داد که مکان گنگ‌زار اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد برای متغیرهای مجموع سطح لکه، شاخص سطح لکه، شاخص سازمان‌یافتگی چشم‌انداز، مجموع طول لکه‌ها و نفوذ نسبت به سایر مکان‌ها داشت (جدول ۴).

در مکان کنترل که احیا صورت نگرفته، لکه‌ها فاصله زیادی با هم داشتند و بیش‌ترین فضای بین‌لکه‌ای در این مکان مشاهده شد و این مؤلفه به‌طور معنی‌داری با سایر مکان‌ها در سطح ۵ درصد اختلاف داشت. البته در سال‌های اخیر، گنگ‌زارها در حال زوال هستند و بسیاری از پایه‌های آن خشک شده‌اند.

معیارهای عملکردی پایداری و عناصر غذایی اختلاف معنی‌داری در میان مکان‌های مطالعاتی نداشت، ولی شاخص چرخه مواد غذایی در مکان‌های تاغ‌کاری‌شده، اشنان‌زار و گنگ‌زار با مکان‌های کنترل، تپه ماسه‌ای کم ارتفاع و حاشیه تالاب، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشت. با توجه به ماسه‌ای بودن چشم‌انداز مکان تپه ماسه‌ای محتمل است که نفوذ در این مکان نسبت به سایر مکان‌ها بالا باشد. بافت خاک در مکان‌های تاغ‌کاری‌شده و اشنان‌زار شنی بود که وجود شن بیشتر در بافت خاک این دو مکان نفوذ بیشتر آب به درون خاک را تسهیل می‌کند.

با توجه به وجود دو کلاس بیابان‌زایی شدید و خیلی‌شدید در مکان‌های منطقه مورد مطالعه، شرایط ساختاری و عملکردی در این مناطق با کلاس بیابان‌زایی مختلف مقایسه شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که شاخص‌های مورد مطالعه در مناطق با کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی در سطح آماری ۵ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. متغیر تعداد لکه در ۱۰ متر در مکان‌های بیابان‌زایی خیلی‌شدید بالاتر از مکان‌های بیابان‌زایی شدید بود که علت آن وجود مکان با پوشش غالب گنگ در منطقه با کلاس بیابان‌زایی خیلی‌شدید است، ولی با وجود عدم‌اختلاف معنی‌دار، سایر شاخص‌ها در مناطق با شرایط بیابان‌زایی شدید عملکرد بهتری داشتند.

این محاسبه تصاعدی به نمایش فرآیند اکو-هیدرولوژیکی عمومی برای نشان‌دادن پتانسیل نشت چشم‌انداز کمک می‌کند.

با اعمال جمع با عدد ۱ در رابطه فوق حوادث بارندگی، رواناب و رسوباتی که از بالادست جاری می‌شود اعمال شد. در پیکسل مقداری از منابع حفظ و مابقی به پیکسل بعدی منتقل می‌شود ($l_{i,j}$). اتلاف به درصد پوشش زمین در پیکسل بستگی دارد که پتانسیل پیکسل را در حفظ یا نشت منابع نشان می‌دهد.

$$l_{i,j} = 1 - \frac{c_{i,j}}{100} \quad (4)$$

درصد پوشش پیکسل $c_{i,j}$ تقسیم بر ۱۰۰ و از یک کسر می‌گردد، هرچه درصد پوشش پیکسل پایین‌تر باشد ضریب اتلاف ($l_{i,j}$) بالاتری را از آن خود خواهد کرد. رابطه فوق، عملکرد کاهشی خطی درصد پوشش را نشان می‌دهد. در انتخاب پیکسل‌های مورد استفاده برای ارزیابی میزان نشت، نکاتی مانند عدم‌انتخاب آبراهه‌ها به دلیل ایجاد خطا، طبیعی بودن و عدم‌داخلت انسان در مکان‌های انتخاب‌شده و در نظر گرفتن شیب هیدرولیک باید مدنظر قرار داد.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا نرمال بودن داده‌ها به روش آندرسون-دارلینگ (Anderson-Darling Test) بررسی گردید. تحلیل‌های آماری بر روی اطلاعات به دست آمده از منطقه مورد مطالعه شامل شاخص‌های ارزیابی سطح خاک، ویژگی‌های ساختاری و عملکردی روش LFA با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 انجام شد.

با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) و انجام مقایسه میانگین به روش توکی، میزان تشابه و تفاوت ویژگی‌ها و شاخص‌های مورد بررسی در مناطق مورد مطالعه ارزیابی گردید. جهت مقایسه شرایط بین مکان‌های بیابان‌زایی شدید و خیلی‌شدید از آزمون t-test استفاده شد. در ادامه، میزان همبستگی بین شاخص‌های نشت CDLI و شاخص درصد پوشش گیاهی زمین به دست آمده از روش LFA محاسبه شد.

الف) پوشش پیکسل، c (%)

۱۰	۲۰	۵	۱۰	۲۰	۵
۰	۵	۱۰	۵	۶۵	۸۰
۲۰	۱۰	۲۰	۰	۷۵	۶۰
۵	۰	۱۵	۱۵	۱۵	۲۰
۱۵	۱۰	۶۵	۸۰	۰	۱۰
۱۰	۱۵	۷۵	۶۰	۱۰	۱۵
۵	۱۵	۱۵	۲۰	۱۵	۵
۶۵	۸۰	۵	۵	۵	۰
۷۵	۶۰	۰	۱۵	۱۰	۱۰
۱۵	۵	۱۰	۱۰	۵	۱۵

جریان



ب) ضریب از دسترفته پیکسل، 1 (0-1)

۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۵
۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۹۵	۰/۳۵	۰/۲۰
۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۸۰	۱/۰۰	۰/۲۵	۰/۴۰
۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۰
۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۳۵	۰/۲۰	۱/۰۰	۰/۹۰
۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۲۵	۰/۴۰	۰/۹۰	۰/۸۵
۰/۹۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۹۵
۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۱/۰۰
۰/۲۵	۰/۴۰	۱/۰۰	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۹۰
۰/۸۵	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۵	۰/۸۵

ج) معادلی تصاعدی پیکسل، P

۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۵
۱/۹۰	۱/۷۱	۱/۷۶	۱/۸۱	۰/۶۳	۰/۳۹
۲/۳۲	۲/۴۴	۲/۲۰	۲/۸۱	۰/۴۱	۰/۵۶
۳/۱۵	۳/۴۴	۲/۷۲	۳/۲۳	۱/۲۰	۱/۲۴
۳/۵۳	۴/۰۰	۱/۳۰	۰/۸۵	۲/۲۰	۲/۰۲
۴/۰۸	۴/۲۵	۰/۵۸	۰/۷۴	۲/۸۸	۲/۵۷
۴/۸۲	۴/۴۶	۱/۳۴	۱/۳۹	۳/۳۰	۳/۳۹
۲/۰۴	۱/۰۹	۲/۲۲	۲/۲۷	۴/۰۸	۴/۳۹
۰/۷۶	۰/۸۴	۳/۲۲	۲/۷۸	۴/۵۷	۴/۸۵
۱/۵۰	۱/۷۴	۳/۸۰	۳/۴۰	۵/۲۹	۴/۹۷

د) شاخص نشت CDLI

Lealc =	۱/۵۰	۱/۷۴	۳/۸۰	۳/۴۰	۵/۲۹	۴/۹۷	Σ20.7
Lmax =	۱/۰/۰	۱/۰/۰	۱/۰/۰	۱/۰/۰	۱/۰/۰	۱/۰/۰	Σ60.0
Lmin =	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	Σ0.0
CDLI =	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۷۶	۰/۷۱	۰/۹۰	۰/۸۷	Σ0.72

شکل ۴- نحوه محاسبه شاخص نشت CDLI، الف) نقشه مکانی مقادیر درصد فرضی پوشش پیکسلها با استفاده از شاخص گیاهی استفاده شده؛ ب) ضرایب اتلاف پیکسلها (l) با استفاده از مقادیر پوشش در رابطه ۲ و ۳؛ ج) مقادیر تصاعدی (p) که با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شده اند؛ د) در هرستون با استفاده از مقدار تصاعدی در آخرین ردیف هر ستون به عنوان L_{calc} به همراه L_{min} و L_{max} شاخص نشت CDLI محاسبه شد.

شاخص های پوشش گیاهی

نتایج نشان داد که محدوده اعداد در کلیه شاخص های اعمال شده به جز شاخص های PD54 و STVI-1، به هم نزدیک بود ولی در دو شاخص فوق الذکر دو پیکسل مجاور هم اعدادی متفاوت در محدوده گسترده نشان دادند. در این مطالعه، از هر گروه شاخص هایی انتخاب شدند تا شاخص نشت CDLI بر آنها اعمال شود. در نهایت، از بین شاخص های اعمال شده، شاخص های SAVI-A، NDVI، PD54 و STVI1 انتخاب شدند تا شاخص نشت CDLI بر آنها انجام گردد (شکل ۵).

در گروه های چهارگانه شاخص های ذیل انتخاب شدند: از گروه ۱: شاخص های SAVI-A و NDVI، گروه ۲: PD54 و از گروه ۴: STVI-1. در گروه ۱، شاخص SAVI-A به دلیل تأثیر کمتر خاک زمینه با توجه به غالبیت بین لکه در منطقه مورد مطالعه و شاخص NDVI به دلیل مقایسه رفتار این شاخص نسبت به SAVI-A در شاخص نشت CDLI انتخاب شدند. البته در ابتدا نیز این آگاهی وجود داشت که خاک زمینه بر نتایج شاخص NDVI تأثیر می گذارد. شاخص های PD54 و STVI-1 نیز به دلیل محدوده گسترده اعداد بدست آمده آنها انتخاب شدند.

جدول ۴- ساختار و عملکرد مکان‌های بیابانی مورد مطالعه در حاشیه تالاب بین‌المللی گاوخونی

نام مکان	تعداد لکه در ۱۰ متر	مجموع سطح لکه (متر)	شاخص سطح لکه	شاخص سازمان یافتگی چشم‌انداز	میانگین طول بین لکه (متر)	مجموع طول لکه (متر)	مجموع عرض لکه (متر)	پوشش (درصد)	پایداری	نفوذپذیری	چرخه مواد غذایی
تاغ‌کاری شده	۱/۳±۰/۷ ^{ns}	۲۳/۹±۱۰/۹ ^{ab}	۰/۰۴±۰/۰۲ ^{ab}	۰/۳±۰/۱ ^{ns}	۵/۵±۲/۹ ^{ns}	۱۵/۲±۷ ^{ab}	۱۰±۴/۹ ^{ns}	۳۰/۴±۱۴ ^{ab}	۴۸/۶±۰/۸ ^{ns}	۳۰/۶±۱/۵ ^{ab}	۱۹/۱±۲/۲ ^{ns}
کنترل	۱/۰±۰/۲ ^{ns}	۲/۹±۱/۹ ^b	۰/۰۵±۰/۰۰۲ ^b	۰/۵±۰/۳ ^{ns}	۸/۱±۲/۱ ^{ns}	۳/۱±۱/۵ ^b	۳/۹±۱/۵ ^{ns}	۷/۱±۴/۱ ^b	۵۲/۶±۰/۲ ^{ns}	۲۰/۹±۰/۳ ^c	۱۲/۴±۰/۵ ^{ns}
اشنان‌زار	۱/۳±۰/۱ ^{ns}	۱۶/۷±۶/۱ ^{ab}	۰/۰۳±۰/۰۱ ^{ab}	۲±۰/۳ ^{ns}	۵/۴±۰/۷ ^{ns}	۱۰/۲±۲/۵ ^{ab}	۹/۸±۳/۹ ^{ns}	۱۹/۱±۳/۰ ^b	۶۳/۴±۰/۷ ^{ns}	۳۰/۵±۲/۵ ^{ab}	۲۰/۲±۳/۹ ^{ns}
تپه ماسه- ای کم ارتفاع	۱/۴±۰/۲ ^{ns}	۴±۲ ^b	۰/۰۱±۰/۰۰۲ ^b	۰/۰۸±۰/۰۱ ^{ns}	۶/۴±۱/۷ ^{ns}	۳/۷±۰/۲ ^b	۶/۲±۲ ^{ns}	۷/۳±۰/۱ ^b	۴۸/۷±۲/۹ ^{ns}	۲۲/۹±۲/۷ ^{bc}	۱۶/۹±۵/۹ ^{ns}
گنجرار	۲/۳±۱/۰ ^{ns}	۴۲/۷±۰/۹ ^a	۰/۰۸±۰/۰۰۷ ^a	۰/۵±۰/۰۱ ^{ns}	۲/۱±۱/۰ ^{ns}	۲۴/۷±۱/۰ ^a	۱۹/۷±۷/۸ ^{ns}	۵۱/۵±۰/۸ ^a	۴۷/۵±۵/۹ ^{ns}	۳۱/۶±۳/۶ ^{ns}	۲۳/۱±۳/۱ ^{ns}
p-value	۰/۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۵	۰/۲	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۰۸	۰/۵	۰/۰۰۸	۰/۲

مکان فاقد پوشش گیاهی حاشیه تالاب بدلیل این که شاخص‌های ساختاری در آن قابل ارزیابی نیست در جدول نیامده است.

جدول ۵- شاخص‌های ساختاری و عملکردی چشم‌انداز به روش زمینی در کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی

شاخص	بیابان‌زایی شدید	بیابان‌زایی خیلی شدید	P-Value
تعداد لکه در ۱۰ متر	۱/۳±۰/۷	۱/۵±۰/۷	۰/۷۴
مجموع سطح لکه (متر)	۲۳/۹±۱۰/۹	۱۶/۶±۱۳/۴	۰/۴۴
شاخص سطح لکه	۰/۰۴±۰/۰۲	۰/۰۳±۰/۰۱	۰/۴۹
شاخص سازمان یافتگی چشم‌انداز	۰/۳±۰/۱۴	۰/۲۳±۰/۱۵	۰/۵۴
میانگین طول بین لکه (متر)	۵/۵±۲/۹	۵/۴۹±۲/۶	۰/۹۹
مجموع طول لکه (متر)	۱۵/۲±۷	۱۵/۲±۷	۰/۵۶
مجموع عرض لکه (متر)	۱۰±۴/۹	۹/۹±۷	۰/۹۷
پوشش (درصد)	۳۰/۴±۱۴	۳۰/۴±۴/۹	۰/۴۰
پایداری	۴۸/۶±۰/۸	۴۹/۴±۳/۱	۰/۵۶
نفوذ	۳۰/۶±۱/۵	۲۶/۵±۵/۳	۰/۰۸
چرخه مواد غذایی	۱۹/۱±۲/۲	۱۸/۴±۴/۸	۰/۰۷

شاخص نشت CDLI

خانواده LI دارای ۴ شاخص LI، DLI، MDLI و CDLI است. شاخص نشت CDLI در مکان‌های با شیب کم استفاده می‌شود. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه دارای شیب کم است از این شاخص خانواده LI استفاده شد. این شاخص با استفاده از درصد پوشش گیاهی به‌دست‌آمده از تصویر سنجش از دور، میزان نشت چشم‌انداز را بررسی می‌کند. تصویر مورد استفاده در این تحقیق تصویر لندست ۸ در سال ۲۰۱۷ بود. برای ارزیابی میزان نشت در قالب شاخص نشت CDLI اعداد پیکسل‌ها به درصد تبدیل شد و با استفاده از معادلات ۱، ۲ و ۳ شاخص نشت CDLI برای هر مکان محاسبه شد.

با توجه به نتایج برای محاسبه شاخص نشت CDLI، شاخص NDVI ضعیف‌ترین عملکرد و شاخص PD54 بهترین عملکرد را در میان شاخص‌های مورد بررسی

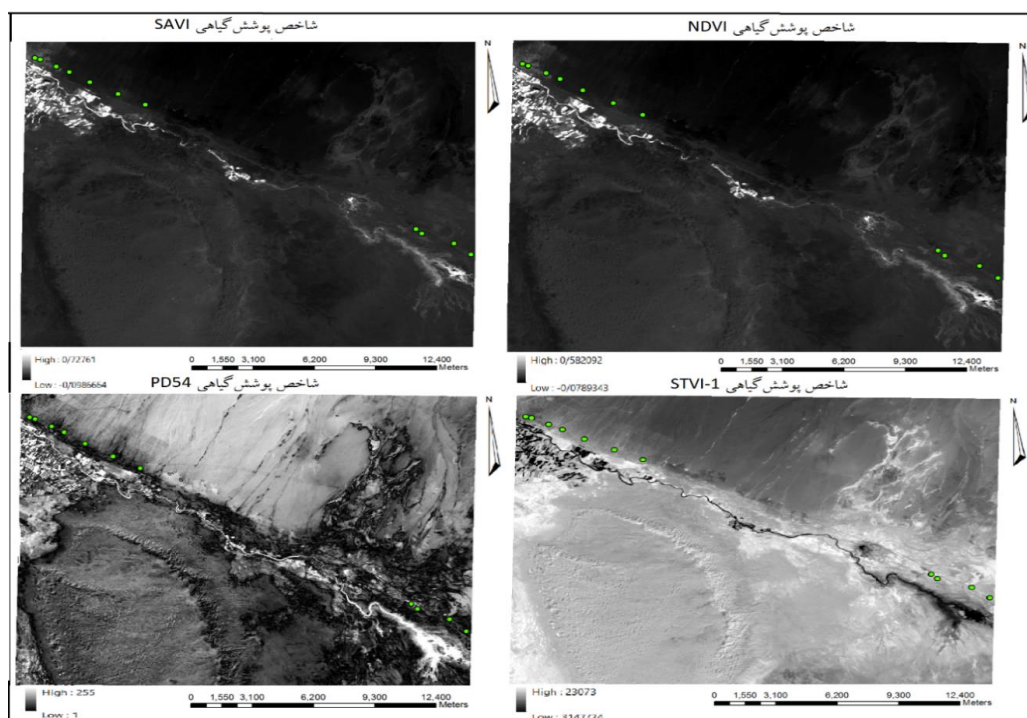
داشتند (جدول ۶). مقادیر شاخص نشت CDLI هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد یعنی چشم‌انداز قدرت حفظ منابع را ندارد و منابع از چشم‌انداز خارج می‌شوند. دلیل این که شاخص NDVI ضعیف‌ترین شاخص قلمداد شد این است که اعداد شاخص نشت CDLI در مکان‌های مورد بررسی تمایز کمی داشت (۰/۹۲ تا ۱).

بر اساس نتایج بدست آمده، مکان تپه‌های ماسه‌ای کم ارتفاع با شاخص نشت معادل ۰/۵۷ دارای بالاترین میزان عملکرد و کم‌ترین میزان نشت و منطقه حاشیه تالاب با میزان شاخص نشت ۰/۹۹ دارای کمترین عملکرد و بیشترین میزان نشت بود (جدول ۶).

شاخص‌های گیاهی مورد بررسی به جز STVI-1 با شاخص نشت CDLI رابطه عکس دارند (شکل ۶). در پوشش گیاهی کم‌تراکم قدرت ممانعت از حرکت جریان وجود ندارد و میزان نشت چشم‌انداز افزایش می‌یابد. در

PD54 نشان داد که میزان نشت و درصد پوشش رابطه معکوس معنی دار در سطح ۵ درصد دارند (شکل ۷). لکه‌های پیوسته و با فاصله کم، مانع حرکت جریان آب شده و باعث می‌شوند منابع از چشم‌انداز خارج نشوند.

بین شاخص‌های گیاهی SAVI، NDVI، STVI-1 و PD54، شاخص گیاهی PD54 بهتر از دیگر شاخص‌های مورد بررسی رابطه بین شاخص‌های گیاهی و میزان نشت را نشان داد ($R^2 = 71/9\%$). بررسی درصد پوشش حاصل از روش LFA و میزان شاخص نشت بر مبنای شاخص



شکل ۵- شاخص‌های مورد استفاده در محاسبه شاخص نشت CDLI به همراه نقاط نمونه‌برداری. تصویر رودخانه زاینده‌ود نیز در تصاویر مشخص است.

جدول ۶- مقادیر شاخص نشت بر مبنای شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه در حاشیه تالاب بین‌المللی گاوخونی

شاخص CDLI بر مبنای شاخص‌های سنجش از دوری					
STVI-1	PD54	SAVI-A	NDVI	ترانسکت	مکان
۰/۹۶	۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۹۴	۱	تاغ کاری شده
۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۷۸	۰/۹۶	۲	
۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۹۲	۳	
۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۹۷	۱	۴	کنترل
۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۹	۱	۵	
۱	۰/۹۵	۰/۹۶	۱	۶	اشنان‌زار
۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۷	۱	۷	
۰/۹۳	۰/۵۷	۰/۹۹	۱	۸	تپه ماسه‌ای کم ارتفاع
۰/۹۴	۰/۵۷	۰/۹۹	۱	۹	
۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۹۹	۱۰	گنگ
۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۹۱	۰/۹۹	۱۱	
۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۹	۱۲	
۰/۸۹	۰/۶۹	۰/۸۳	۰/۹۴	۱۳	فاقد پوشش گیاهی حاشیه تالاب

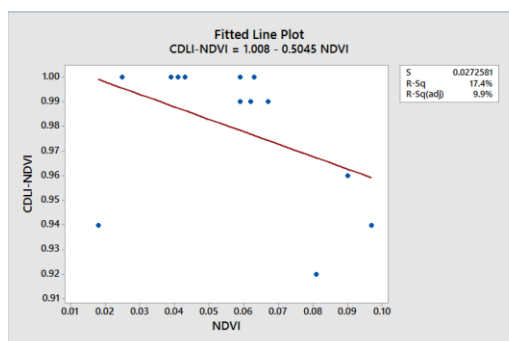
بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با استفاده از روش زمینی LFA و شاخص‌های مختلف سنجش از دوری، عملکرد مکان‌های مختلف با شدت بیابان‌زایی متفاوت در اطراف تالاب بین‌المللی گاوخونی بررسی شد. در بین مکان‌های مورد مطالعه، مکان تاغ‌کاری شده در کلاس بیابان‌زایی متوسط-شدید و مکان‌های کنترل و تپه ماسه‌ای کم ارتفاع، اشنان‌زار، گنگ‌زار و فاقد پوشش گیاهی حاشیه تالاب در کلاس بیابان‌زایی خیلی شدید قرار داشتند که نشان‌دهنده این نکته است که عملیات اصلاحی در منطقه توانسته است که شدت بیابان‌زایی را کاهش دهد اما همچنان این منطقه تحت تأثیر بیابان‌زایی و کاهش ظرفیت زیستی است.

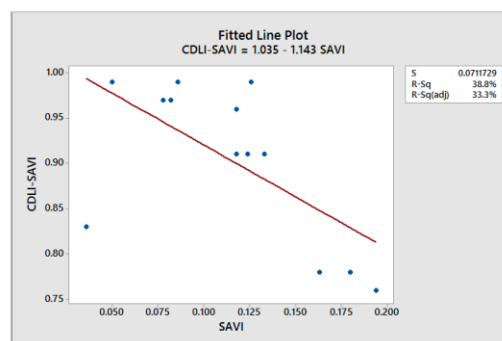
با توجه به نتایج تحلیل عملکرد چشم‌انداز و مقایسات شاخص‌های ساختاری و عملکردی به نظر می‌رسد تاغ‌کاری در این منطقه در طول سالیان در افزایش عملکرد این مکان باعث افزایش پایداری خاک، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی شده است. میزان شاخص نشت CDLI کم‌تر

این مکان نسبت به سایر مکان‌ها و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد شاخص‌های ساختاری و عملکردی روش LFA، و درصد بیشتر پوشش گیاهی این مکان نسبت به مکان کنترل مجاور صحرای مدعاست.

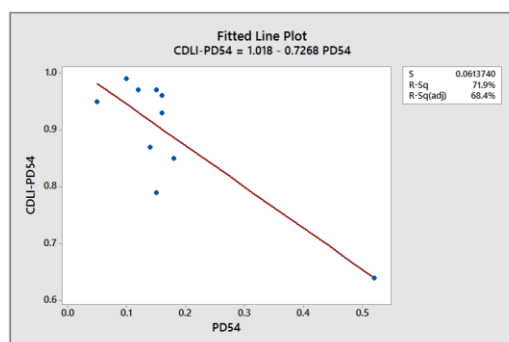
علت اختلاف قابل توجه شاخص‌های ساختاری مجموع سطح لکه، شاخص سطح لکه، شاخص سازمان‌یافتگی چشم‌انداز، مجموع طول لکه‌ها و شاخص عملکردی نفوذ در مکان مطالعاتی گنگ‌زار نسبت به سایر مکان‌ها به دلیل آبرفتگی سطح زمین در برخی سال‌ها در این منطقه است که گونه *Halocnemum strobilaceum* یک پوشش تقریباً پیوسته با تعداد لکه‌های اکولوژیک زیاد به وجود آورده است. البته به دلیل عدم تغذیه آب زیرزمینی در این منطقه، سطح سفره آب زیرزمینی در منطقه بشدت کاهش یافته است و پوشش‌های گیاهی گنگ (*H. strobilaceum*) و گونه گیاهی *Halostachys caspica* بشدت در معرض خشکیدگی قرار گرفته‌اند.



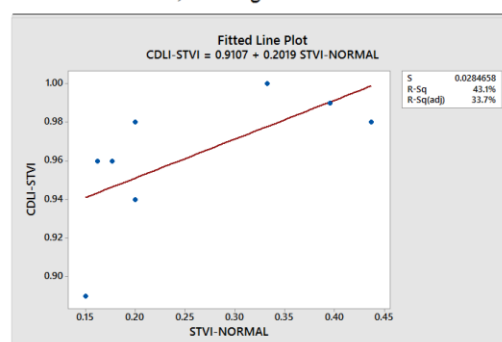
شاخص NDVI (P = 0.156)



شاخص SAVI (P = 0.023)

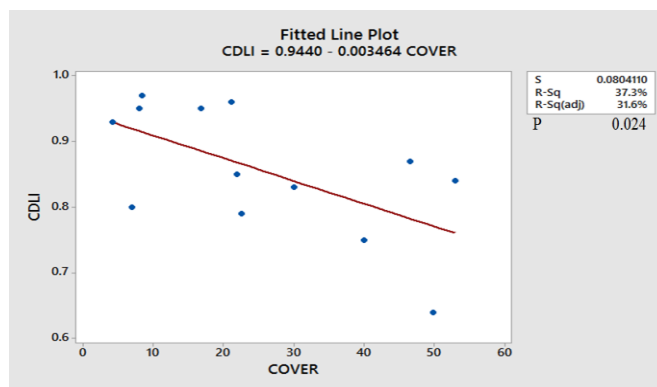


شاخص PDS4 (P = 0)



شاخص STVI-1 (P = 0.077)

شکل ۶- همبستگی شاخص‌های مورد بررسی برای میزان نشت چشم‌انداز، محور عمودی شاخص نشت CDLI بر مبنای شاخص‌های گیاهی مختلف و محور افقی میزان پوشش گیاهی بر مبنای بافر ۲۵ متری در هر ترانسکت.



شکل ۷- همبستگی درصد تاج پوشش بدست آمده از روش میدانی و شاخص نشت CDLI محاسبه شده بر مبنای شاخص گیاهی PD54

دخالت کرده باشد، حال آن که در مکان مرتعی تاغ‌کاری شده، پوشش گیاهی منطقه دستکاری شده است. با این وجود، گونه‌های تاغ کاشته شده به شکل طبیعی مدیریت شده است و دیگر انسان دخالتی نداشته است. زادآوری گونه تاغ که به صورت طبیعی و زیاد صورت گرفته است باعث تغییر الگوی پراکنش گونه‌های تاغ از حالت سیستماتیک و نزدیک شدن به شرایط طبیعی شده است.

نتایج روش زمینی LFA تمایز عملکرد مکان‌های مورد بررسی را به خوبی نشان داد و با نتایج سایر محققان مطابقت دارد [۱۵، ۱۹، ۲۸]. مطالعات مذکور، LFA را به عنوان روشی که می‌تواند تغییرات محیطی و مدیریتی را نشان دهد، یاد کرده‌اند.

از سوی دیگر، روش سنجش از دوری شاخص نشت CDLI میزان نشت منابع مکان‌های مورد بررسی را با تفکیک خوب به نمایش گذاشت و با نتایج کار زمینی مطابقت داشت [۱۳]. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شاخص نشت CDLI قابلیت ارزیابی اتلاف خاک در سطح چشم‌انداز را دارد و ابزار مناسبی برای نظارت وضعیت اراضی است. نتایج کار زمینی LFA و شاخص سنجش از دور CDLI با نتایج سایر مطالعات مطابقت داشت [۳ و ۴]. با استفاده از این شاخص می‌توان عملکرد چشم‌اندازهای مرتعی را با سهولت در عرصه‌های وسیع مرتعی با صحت نسبتاً بالا بدست آورد.

انتظار این است که در مکان‌های بیابان‌زایی خیلی‌شدید، ساختار و عملکرد چشم‌انداز ضعیف‌تری نسبت به مکان‌های با طبقه بیابان‌زایی شدید داشته باشیم. اما در این مطالعه این شاخص‌ها بین این دو نوع طبقه

در این مطالعه تصویر ماهواره‌ای تهیه شده مربوط به اواسط مهرماه بود که از نظر زمانی به بازدید میدانی نزدیک باشد. در این هنگام گونه‌های یکساله در تصویر غالب نیستند و پوشش زمین از گونه‌های چندساله تشکیل شده است. عملکرد خاک سطحی بیشتر تحت تأثیر گونه‌های چندساله هستند تا گونه‌های یکساله بدین علت که گونه‌های یکساله در هنگام بارندگی که عمدتاً فصل سرد سال است در منطقه وجود ندارند و نمی‌توانند مانعی در برابر جریان آب ایجاد کنند. بنابراین، استفاده از تصویر در فصل خشک می‌تواند به صورت مناسبی عملکرد چشم‌انداز را نشان دهد، چون گونه‌های یکساله اغلب در این بازه زمانی از چشم‌انداز حذف می‌شوند [۶].

در میان شاخص‌های گیاهی اعمال شده، شاخص NDVI ضعیف‌ترین و شاخص PD54 بهترین عملکرد را داشت. شاخص NDVI کم‌ترین تمایز بین میزان نشت منابع و PD54 بهترین تمایز بین ترانسکت‌ها و مکان‌ها را به نمایش گذاشت. سایر مطالعات نیز نشان داده‌اند که در مناطق با پوشش گیاهی کمتر از ۲۵ درصد، شاخص PD54 به دلیل این که حساسیت کمتری به خاک زمینه دارد، نتایج خوبی داشته و کارایی بالاتری نسبت به سایر شاخص‌ها داراست [۹].

شاخص نشت CDLI با شاخص‌های گیاهی NDVI، SAVI و PD54 رابطه عکس نشان داد. به عبارتی با افزایش میزان پوشش گیاهی، عملکرد منطقه افزایش یافته و عدد شاخص نشت کمتر می‌شود. یکی از مواردی که در استفاده از روش CDLI رعایت شود این است که در مکان‌های انتخاب شده برای این روش نبایستی انسان

اهمیت ارزیابی ساختار و عملکرد در حاشیه تالاب بین‌المللی گاوخونی از این جهت است که مدیران و مسئولان امر برای سیاست‌گذاری و اتخاذ تصمیم از شرایط این منطقه حساس اکولوژیک آگاهی داشته باشند تا آگاهانه تصمیم صحیح و مناسب را اتخاذ نمایند. در اکوسیستم شکننده منطقه که به دلیل خشکسالی‌های متعدد و شدید و همچنین خشک شدن رودخانه زاینده‌رود و عدم رسیدن آب به تالاب گاوخونی شرایط اکولوژیک منطقه به حد بحرانی رسیده است، اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی در این عرصه‌ها باید دقت بیش‌تری داشته باشد.

بیابان‌زایی معنی‌دار نبودند. این بدین دلیل بود که اگرچه بعضی از مناطق شبیه گنگ‌زارهای حاشیه تالاب گاوخونی در طبقه بیابان‌زایی خیلی شدید هستند اما شرایط ساختاری در آنها نظیر تعداد لکه در ۱۰ متر، مجموع سطح لکه، شاخص سطح لکه، شاخص سازمان‌یافتگی چشم‌انداز، مجموع طول و عرض لکه‌ها شرایط نسبی مساعدی دارند. در این منطقه شرایط بیابان‌زایی خفیف وجود نداشت که شرایط عملکردی آنها نیز مورد مقایسه قرار گیرد.

References

- [1]. Abedi, M., Arzani, H., Shahriari, A., Tongway, D., Aminzadeh, M. (2007). Evaluating structure and functions of vegetation patches in arid and semi-arid rangeland ecosystems. *Journal of Environmental Studies*, 40, 117-126. (in Farsi).
- [2]. Ahmadi, Z., Heshmati, G.A., Abedi, M. (2009). Investigation the improvement operations affection on ecological indexes of rangeland health (Jahan Nama Garden, Golestan province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 16(1), 55-65. (in Farsi).
- [3]. Andalibi, L., Jafari, R., Bashari, H. (2012). Analysing the functionality of rangeland landscapes using TM sensor data (case study: Soh region, Isfahan-Iran). *Rangeland*, 6(2), 130-141. (in Farsi).
- [4]. Andalibi, L., Jafari, R., and Bashari, H. (2013). Performance analysis of a remotely-sensed leakiness index for rangeland function assessment in semi-steppe rangelands of Isfahan province. *Rangeland*, 7(3), 238-247. (in Farsi).
- [5]. Bainbridge, D.A. (2012). A guide for desert and dryland restoration: new hope for arid lands. Island press.
- [6]. Bastin, G., Schmidt, M., O'Reagan, P., Karfs, R. (2010). Reporting change in landscape function using the Queensland ground cover index. In Proceedings of the 16th Biennial Conference of the Australian Rangeland Society.
- [7]. Diez, E., McIntosh, B.S. (2011). Organizational drivers for, constraints on and impacts of decision and information support tool use in desertification policy and management. *Environmental Modelling & Software*, 26(3), 317-327.
- [8]. Ebrahimi, Z., Vali, A., Khosroshahi, M., Ghazavi, R. (2017). Investigation of the role of bed dried Gavkhooni wetland on the production of the internal dust using remote sensing and duststorms (Case study: Isfahan province). *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 24(1), 152-164. (in Farsi).
- [9]. Farazmand M., Jafari, R., Ramezani, N. (2014). Comparison the performance of vegetation indices and spectral mixture analysis for mapping rangeland vegetation cover. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 5(4): 105. (In Persian)
- [10]. Huete, A.R., (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309.
- [11]. Jafari, F., Bashari, H., Jafari, R. (2015). Evaluating structural and functional characteristics of various ecological patches in different range conditions (case study: semi-steppe rangeland of Aghche-Isfahan). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(10), 13-25. (in Farsi).
- [12]. Jafari, R., & Bakhshandehmehr. L. (2013). Quantitative mapping and assessment of environmentally sensitive areas to desertification in central Iran. *Land Degradation & Development*, 27, 108-119.
- [13]. Jafari, F., Jafari, R., Bashari, H. (2017). Assessing the performance of remotely sensed landscape function indices in semi-

- arid rangelands of Iran. *Rangeland Journal*, 39, 253-262.
- [14]. Jozaqian, A., Bashari, H., Pahlavanravi, A., Ajorlo, M. (2016). The impacts of clay and gypsum mining on vegetation and soil conditions in arid ecosystems (case study: Segzi-Isfahan). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 5(15), 65-75. (in Farsi).
- [15]. Khalasi, L., Heshmati, G.A. (2013). Evaluating different patches, using LFA method to control wind erosion (Case study: Hanitieh rangelands of Ahvaz city). *Journal of Research Quarterly on Environmental Erosion Researches*, 7, 44-56. (in Farsi).
- [16]. Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. (2000). Remote sensing and image interpretation. New York: John Wiley and Sons.
- [17]. Lotfi-Anari, P., Heshmati, G.A. (2009). Calibration of Landscape Function Analysis method in an arid cold-season rangeland ecosystem in central part of Iran (case study: Mazraeamin rangeland, Yazd province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 16(3), 386-400. (in Farsi).
- [18]. Ludwig, J.A., Eager, R.W., Liedloff, A.C., Bastin, G.B., Chewings, V.H. (2006). A new landscape leakiness index based on remotely sensed ground-cover data. *Ecological Indicators*, 6, 327-336.
- [19]. Maestre, F.T., Puche, M.D. (2009). Indices based on surface indicators predict soil functioning in Mediterranean semi-arid steppes. *Applied Soil Ecology*, 41, 342-350.
- [20]. McDonald, S.E., Reid, N., Waters, C.M., Smith, R., Hunter, J. (2018). Improving ground cover and landscape function in a semi-arid rangeland through alternative grazing management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 268, 8-14.
- [21]. Pickup, G., Chewings, V., Nelson, D.J. (1993). Estimating changes in vegetation cover over time in arid rangelands using Landsat MSS data. *Remote Sensing of Environment*, 43(3), 243-263.
- [22]. Pyke, D.A., Herrick, J.E., Shaver, P., Pellant, M. (2002). Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management*, 55, 584-597.
- [23]. Rezaei-Moghaddam, K., Karami, G., Monfared, N. (2017). The geography of principle, concept and strategies of combating desertification: A learning for sustainable human development. *Geography (Regional Planning)*, 7(3), 167-192. (in Farsi).
- [24]. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium (pp. 309 – 317). Washington: NASA, Scientific and Technical Information Office.
- [25]. Safaei, M., Bashari, H., Mosaddeghi, M.R., Jafari, R. (2019). Assessing the impacts of land use and land cover changes on soil functions using landscape function analysis and soil quality indicators in semi-arid natural ecosystems. *Catena*, 177, 260-271.
- [26]. Thenkabail, P.S., Ward, A.D., Lyon, J.G., Maerry, C.J. (1994). Thematic mapper vegetation indices for determining soybean and corn growth parameters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(4): 437-442.
- [27]. Tongway, D.J., Hindley, N. (2004). Landscape function analysis manual: procedures for monitoring and assessing landscapes with special reference to mine sites and rangelands. Canberra, CSIRO Sustainable Ecosystems.
- [28]. Yari, R., Tavili, A., Zare, S. (2012). Investigation on soil surface indicators and rangeland functional attributes by Landscape Function Analysis (LFA) (case study: Sarchah Amari Birjand). *Iranian journal of Range and Desert Research*, 18(4), 624-636. (in Farsi).

Evaluating structure and function of desert landscapes using Landscape Function Analysis and remote sensing indices (Research Paper)

1- SeyedMehdi Amirabadizadeh, Graduate of Desertification, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- Hossein Bashari*, Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

hbashari@iut.ac.ir

3- Reza Jafari, Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Received: 12 Jan. 2022

Accepted: 27 Jun. 2022

Abstract

This study aimed to evaluate and compare the structure and function status of some areas with different desertification classes around Gavkhoni International Wetland using Landscape Function Analysis (LFA), and Cover Directional Leakiness Index (CDLI) extracted from Landsat 8 OLI sensor and NDVI, SAVI-A, PD54, and STVI-1 vegetation indices. In this research, six different areas were selected, and two or three transects with a length of 50 meters were established in each area. The length and width of the patches and inter-patches were continuously measured. Then 11 soil surface indicators were assessed in all ecological patches, and inter-patch areas with three replications. The results showed that although range places did not differ significantly in terms of soil stability and nutrient cycling indices, the infiltration index in the areas covered by *Haloxylon ammodendron*, *Seidlitzia rosmarinus* and *Halocnemum strobilaceum* varied significantly compared with the other areas ($p < 0.05$). According to the results, there were no significant differences between the structure and function indices in the areas with various desertification classes ($p > 0.05$). The PD54 index showed the best performance among vegetation indices due to its better differentiation of resource leakage between different areas, and it had a high relationship with CDLI ($R^2 = 71.9\%$). There was a negative correlation between CDLI and vegetation cover percentage ($p < 0.05$). The present study indicated that integrating the results of LFA method with CDLI can be used to evaluate the structure and function status of desert ecosystems appropriately.

Keywords: Desert ecosystem, Stability, Infiltration, Nutrient cycling, Ecological patch, Remote sensing indices.