

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2023.20350.1944](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2023.20350.1944)

## واکاوی ارتباط بین تغییرات پوشش گیاهی و لندفرم‌های بیابانی در شمال استان اصفهان (مقاله پژوهشی)

- ۱- جعفر گنجعلی، عضو هیات علمی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.  
 ۲- امیرحسین حلبیان\*، دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.  
 am\_halabian@pnu.ac.ir  
 ۳- امیر کرم، دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.  
 ۴- شیلا حجه‌فروش‌نیا، استادیار، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

### چکیده

هدف از این پژوهش واکاوی تغییرات پوشش گیاهی در لندفرم‌های بیابانی شمال استان اصفهان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸، سنجنده‌های TM و OLI-TIRS در دوره ۲۰۲۰-۱۹۸۷ است. در این راستا، ۲۰۰ تصویر در ۲۷ ماه گرم سال (از اول ژوئن تا آخر آگوست، برابر با اوایل خرداد تا اوایل شهریور) اخذ شد. پس از پیش‌پردازش‌های لازم روی تصاویر پوشش‌دهنده محدوده مورد بررسی و با طبقه‌بندی لندفرم‌های زمین بر اساس نمایه موقعیت توپوگرافی (Topographic Position Index (TPI)، نمایه پوشش گیاهی NDVI مورد واکاوی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که الگوی تغییرات پوشش گیاهی از پهنه‌های کوهستانی به سوی مناطق هموار نزولی است. بررسی شرایط پوشش گیاهی در لندفرم‌های حاصل از TPI نشان داد که بیشینه مقادیر NDVI مربوط به واحد برآمدگی‌ها، کوه‌ها و ارتفاعات و کمینه مقادیر آن متعلق به واحد دشت‌های هموار (پلایاها، کفه‌های گلی و رسی) است. در مجموع، مقادیر NDVI از لندفرم کوهستان به سوی پلایاها و چاله‌ها روندی کاهشی دارد. اُفت چشمگیر NDVI در ارتفاع ۱۴۰۰ متری (دشت‌سرهای میانی) آشکار است. در لندفرم کوهستان (ارتفاعات بالاتر از ۱۴۰۰ متر) مقادیر NDVI افزایش می‌یابد. در شیب‌های بیشتر از ۶۵ درجه (زمین‌های سنگلاخی و صخره‌ای مرتفع) روند کاهشی NDVI تشدید شده است. نمایه NDVI چهار فاز تغییرات را نیز آشکار کرد که فاز چهارم از ۲۰۲۰-۲۰۱۴ دارای روند کاهشی بوده و مساحت این نمایه از ۳۴۳۸۰ کیلومتر مربع به ۳۴۲۰۰ کیلومتر مربع کاهش یافته است. تغییرات فضایی نمایه NDVI در سال ۲۰۳۰ آشکار ساخت که ارتفاعات کرس تا مارشان و پهنه‌های بین کاشان تا اردستان دچار شرایط بحرانی خواهند شد؛ این مسئله نیازمند توجه ویژه مسئولان و مدیران اجرایی مربوطه در این زمینه است.

واژگان کلیدی: نمایه پوشش گیاهی NDVI، نمایه موقعیت توپوگرافی (TPI)، عوامل فیزیوگرافی، شکل زمین.

### مقدمه

پوشش گیاهی و لندفرم‌ها همواره در کانون توجه بوم‌شناسان بوده است [۸ و ۲۱]. بررسی و پایش وضعیت پوشش گیاهی با فواصل زمانی و مکانی منظم و یکپارچه از طریق عملیات صحرائی معمولاً دشوار است. از این رو، فناوری‌های سنجنش از دور به سبب ویژگی‌هایی نظیر امکان دید وسیع و یکپارچه از یک پهنه جغرافیایی، قابلیت تکرارپذیری، دستیابی آسان به داده‌ها، دقت بالای داده‌های حاصله و صرفه‌جویی در زمان

پایش تغییرات پوشش گیاهی و آشکارسازی این تغییرات، اولین مرحله در شناخت نیروهای محرک و ارزیابی مکانیسم تغییرات سرزمین است [۱]. به بیان دیگر، آشکارسازی، پایش و پیش‌بینی تغییرات ناشی از عوامل طبیعی و انسانی در چنین اکوسیستمی از اهمیت وافر برخوردار است [۲۶]. در اکوسیستم طبیعی شناخت ویژگی‌های پوشش گیاهی و روابط موجود در بین میزان

وسعت مراتع از ۲۹۵۸۱ هکتار به ۲۵۰۰۰ هکتار کاهش یافته است [۶]. محققان ضمن استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای و روش BFAST در جنوب‌شرقی استرالیا دریافتند که این روش برای تحلیل روند تغییرات فصلی NDVI مناسب و برای بررسی تغییرات ناگهانی مانند آتش‌سوزی قابل استفاده می‌باشد [۳۳].

پژوهشگران با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای لندست دریافتند که فعالیت‌های انسانی و عناصر اقلیمی عامل تخریب مراتع نیمه‌خشک بوتسوانا بوده است [۳۱]. محققان با استفاده از روش‌های دورسنجی و نمایه‌های NDVI، NDBI، NDWI و NDVI به بررسی تغییرات پوشش اراضی در شهر رمنگر در ایالت اوتاراکنند هند پرداختند. نتایج نشان داد که در طول دو دهه گذشته، منطقه انسان‌ساخت و نوار شن و ماسه در شهر رمنگر به ترتیب در حدود ۸/۸۸٪ و ۳/۹۸٪ افزایش، در مقابل سایر کاربری‌های پوشش گیاهی، اراضی کشاورزی و آب به ترتیب ۹/۴۱٪، ۰/۶۹٪ و ۲/۷۶٪ کاهش یافته است [۲۸].

پژوهشگران با بهره‌گیری از نمایه EVI حاصل از سنجنده مودیس ماهواره ترا نشان دادند که تغییر معناداری در مقادیر تولید خالص اولیه (NPP) در منطقه ساحل آفریقا روی نداده است [۲]. در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر MODIS و روش BFAST به شناسایی پویایی گیاهان در کبک کانادا پرداخته شد. نتایج نشان داد که ۲۵/۷٪ از این منطقه تغییرات روند NDVI را با یک یا چند وقفه در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ تجربه کرده است [۱۰].

در ایران، پژوهشگران جهت نمایش تغییرات پوشش گیاهی شهرستان بهبهان از داده‌های لندست سنجنده‌های ETM+ و OLI استفاده و مقدار نمایه NDVI را محاسبه کردند. نتایج نشان داد که اراضی با پوشش عالی، بسیار خوب و ضعیف، افزایش مساحت و اراضی با پوشش خوب، کاهش مساحت را داشته است [۲۳]. محققان با استفاده از ترکیب‌های NDVI سنجنده مودیس دریافتند که در سرشاخه‌های دجله و فرات و حاشیه این دو رودخانه در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۱ تغییرات پوشش گیاهی به سبب کاهش نزولات جوی در حوضه‌های این رودخانه‌ها و آبدهی آنها قابل توجه بوده است [۱۹].

برای واکاوی پوشش گیاهی و تغییرات آن نسبت به سایر روش‌ها برتری آشکاری دارد [۱۷]. کشور ایران با قرارگیری در کمربند بیابانی نیمکره شمالی، در قلمرو مناطق خشک جهان قرار دارد. از طرف دیگر، استان اصفهان که در قسمت مرکزی فلات ایران واقع شده، یکی از استان‌های خشک ایران به‌شمار می‌رود. بخش‌های شمالی استان اصفهان به سبب خشکی و نرخ تبخیر و تعرق بسیار بالا و بارش اندک، با فقر پوشش گیاهی در پهنه‌های مختلف روبرو است که این موضوع ضرورت پژوهش حاضر را توجیه می‌کند.

از آنجا که ماهیت، گستره و توزیع فضایی و زمانی پوشش گیاهی در هر قلمرو جغرافیایی نیازمند پایش است، بنابراین بهره‌گیری از داده‌های عددی چندطیفی ماهواره‌ای مانند لندست برای تخمین پهنه‌ای پوشش گیاهی و مقایسه این نمایه محیطی در لندفرم‌های مختلف منطقه مورد بررسی ضروری به نظر می‌رسد.

در این زمینه، برخی از متخصصان برای واکاوی پوشش گیاهی از داده‌های ماهواره‌ای بهره گرفته‌اند. از جمله: پژوهشگران ضمن بررسی تفاوت‌های پوشش گیاهی بین سال‌های ۱۹۳۳-۱۹۱۹ در بوته‌زارهای جنوب غربی پایه‌والی ایالت یوتای آمریکا دریافتند که مؤثرترین عامل بهبود وضعیت این مراتع تعدیل چرای دام بوده است [۳۶]. محققان با استفاده از داده‌های لندست در سه تاریخ مختلف به این نتیجه رسیدند که در میان روش‌های تعیین نمایه پوشش گیاهی NDVI یکی از بهترین روش‌هاست [۲۰].

در پژوهشی دیگر با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS در شمال شرقی ایالات متحده، پژوهشگران نشان دادند که اندازه‌گیری‌های دقیق از پویایی گیاهان منطقه‌ای برای بهبود مدل‌ها و درک تغییرات سالانه در مبادله کربن اکوسیستم زمین و تعاملات آب و هوا و بیوسفر بسیار مفید است [۳۷]. در پژوهشی، اراضی مرتفع جنگل ماداگاسکار با استفاده از تصاویر سنجنده‌های MSS، TM لندست و نمایه NDVI و با بهره‌گیری از روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی و صحت نقشه‌های حاصله بین ۰/۹۷-۰/۸۱ برآورد شد [۳۲].

پژوهشگران در خصوص بررسی علل تخریب مراتع لبنان از نمایه NDVI استفاده کردند و نشان دادند که

استان مازندران دریافتند که در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۰ متوسط نمایه سبزی‌نگی روند افزایشی داشته، در حالی که عرصه‌های جنگلی استان روند کاهشی داشته است [۱۳]. پژوهشگران با بررسی ارتباط بین SPI و NDVI در لرستان دریافتند که تصاویر MODIS می‌تواند برای پیش‌خشکسالی در مناطق کوهستانی مورد استفاده قرار گیرد [۳].

پژوهش حاضر با هدف واکاوی تغییرات پوشش گیاهی در پهنه شمال استان اصفهان، ضمن شناسایی الگوهای فضایی و زمانی، تغییرات پوشش گیاهی در لندفرم‌های مختلف، این پهنه جغرافیایی را در سطوح مختلف ارتفاعی مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال استان اصفهان قرار گرفته است. به لحاظ تقسیمات سیاسی، محدوده مورد مطالعه در شمال استان اصفهان و شامل شهرستان‌های آران و بیدگل، اردستان، نطنز، کاشان و برخوار و میمه قرار دارد (شکل ۱).

بر اساس سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۹۵ مجموع جمعیت شهرستان‌های فوق، ۹۱۱۱۶۷ نفر است. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین‌شناسی و زمین‌ساختی در زون مرکزی ایران و زیر زون سه‌پند-بزمان یا ارومیه-دختر قرار گرفته است [۴].

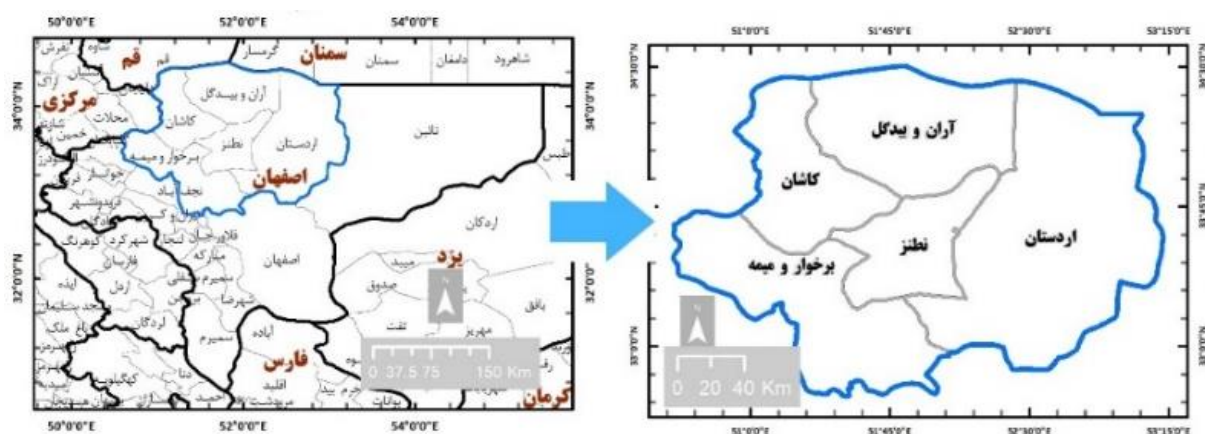
بر اساس مدل آشکارساز تغییرات اقلیمی (IRIMO Climate) که توسط سازمان هواشناسی کشور ارائه شده است، محدوده مطالعاتی دارای اقلیم خشک و فراخشک است و دارای متوسط بارش بین ۱۲۹ تا ۱۸۸ میلیمتر و متوسط بلند مدت سالانه دما بین ۱۴/۴ تا ۲۰/۵ درجه سانتیگراد بر اساس داده‌های بلند مدت ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه است [۷].

پژوهشگران با استفاده از داده‌های سنجنده‌های ETM+ و OLI ماهواره لندست به ارزیابی نمایه‌های پوشش گیاهی NDVI، SAVI، RVI، WAVI در جزیره قشم پرداختند. نتایج نشان داد، نمایه SAVI با بیشترین ضریب کاپا ۰/۹۳ درصد در سال ۱۳۹۳ و ۰/۸۳ درصد در سال ۱۳۸۰ بهترین عملکرد و نمایه SAVI با کمترین ضریب کاپا ۰/۸۱ در سال ۱۳۸۰ و ۰/۴۳ در سال ۱۳۹۳ ضعیفترین نتایج را در بین نمایه‌ها داشت [۲۴]. محققان نشان از ارتباط قوی نمایه‌های گیاهی حاصل از لندست ۸ با تاج‌پوشش سبز و تولید گیاهی دارد [۲۷].

پژوهشگران با استفاده از داده‌های Terra-MODIS (۲۰۱۶-۲۰۰۰) نشان دادند که کانون بیشترین روند شیب تغییرات منفی در نمایه NDVI در نیمه غربی ایلام و کانون بیشترین روند شیب تغییرات مثبت در این نمایه در مرکز و شرق این استان است [۲۵]. کوشش محققان برای تحلیل تغییرات نمایه‌های پوشش گیاهی در سنجنده‌های لندست در ارس‌زارهای شرق پارک ملی گلستان و منطقه حفاظت شده قرخود نشان از برتری NDVI نسبت به دو نمایه SAVI و EVI و در عین حال، کاهش قابل توجه ارس‌زارهای منطقه و تبدیل آن اراضی مرتعی و بایر داشت [۹].

پژوهشگران ضمن تحلیل حساسیت دو نمایه پوشش گیاهی NDVI و EVI حاصل از تصاویر سنجنده مودیس به خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در دشت سیستان دریافتند که NDVI نمایه بسیار مناسب‌تری برای پویایی پوشش گیاهی در این دشت است [۱۱]. محققان با ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از نمایه NDVI سنجنده MODIS در حوضه گاوخونی در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۳ دریافتند که مناطق شمال، جنوب و غرب حوضه که دارای پوشش گیاهی و توان بالای تنوع گونه‌ای بوده‌اند و نیز مناطق با کاربری کشت آبی با روند کاهشی روبرو شده و زمین‌های شور و لخت در حوضه افزایش و زمین‌های کشاورزی به طور چشمگیری کاهش یافته است [۲۲].

محققان با مدل‌سازی رابطه تغییرات پوشش گیاهی بر اساس نمایه گیاهی بهبود یافته (EVI) سنجنده MODIS و پاسخ آن به دمای سطح زمین و بارش در



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

### روش‌ها پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از وبگاه <https://glovis.usgs.gov> اخذ شده است. این تصاویر در ۴ سین مربوط به ماه‌های گرم سال از اول ژوئن تا آخر آگوست (معادل اوایل خرداد تا اوایل شهریور) می‌باشد. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ در هر چهار سین مربوط به دوره زمانی ۱۱ خرداد تا ۹ شهریور با دوره‌های زمانی ۱۶ روزه دانلود گردید (جدول ۱).

تمامی تصاویری که به لحاظ پوشش ابر و شرایط جوی در وضعیت مطلوب قرار داشت، با یکدیگر با استفاده از اپراتور میانگین، تلفیق گردید و به ازای هر سال یک تصویر شاخص در نظر گرفته شد. مجموع کل تصاویر لندست مورد بررسی، شامل ۲۰۰ تصویر در ۲۷ ماه، مربوط به ۹ سال شاخص در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۰ در ۴ سین است که اطلاعات مربوطه در جدول ۱ نشان داده شده است.

سازمان اکتشافات فضایی ژاپن، مجموعه داده مدل رقومی سطحی (DSM) را منتشر نمود که دارای قدرت تفکیک مکانی تقریباً ۳۰ متری است. این مجموعه داده AW3D30 در پژوهش‌های علمی و آموزش و طراحی سرویس‌های جدید اطلاعات مکانی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد [۲۸]. این مجموعه داده، مدل رقومی سطحی (DSM) با قدرت تفکیک افقی تقریباً ۳۰ متر (در اصل ۱ ثانیه قوسی) می‌باشد که توسط ابزار سنجش از دوری پانکروماتیک برای تصویرسازی استریو به دست آمده است. PRISM یک سنسور نوری است که بر روی ماهواره پیشرفته مشاهده زمین (ALOS) قرار گرفته است. آخرین ورژن ۳/۱ است. مدیریت و آماده‌سازی پایگاه داده بر اساس زبان اسکریپت‌نویسی پایتون انجام شد. داده‌های خام با فرمت TIFF به ASCII تبدیل گردید و پردازش گردید.

جدول ۱- تاریخ تصاویر ماهواره لندست مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	سال میلادی	شماره تصویر
Landsat 5	Thematic Mapper (TM)	۱۹۸۷	۱۶۳۰۳۶
		۱۹۹۱	
		۱۹۹۵	۱۶۳۰۳۷
		۱۹۹۹	
		۲۰۰۲	
Landsat 8	OLI-TIRS	۲۰۰۸	۱۶۴۰۳۶
		۲۰۱۳	
		۲۰۱۶	۱۶۴۰۳۷
		۲۰۲۰	

متحرکی با ابعاد ۳×۳ سلول (شکل ۲)، و با استفاده از الگوریتم شیب هورن، نقشه شیب تهیه شد (شکل ۴). رابطه‌های ۱ و ۲، شیب را در جهت ستونی و سطری با روش هورن برآورد می‌کند [۱۶].

$$Slope_{we} = \frac{(Z_7 + 2Z_3 + Z_6) - (Z_8 + 2Z_1 + Z_5)}{8 \times d} \quad (1)$$

$$Slope_{sn} = \frac{(Z_6 + 2Z_2 + Z_5) - (Z_7 + 2Z_4 + Z_8)}{8 \times d} \quad (2)$$

بعد از محاسبه شیب در جهت سطری و ستونی، شیب کلی با استفاده از رابطه ۳ بدست آمد.

(۳)

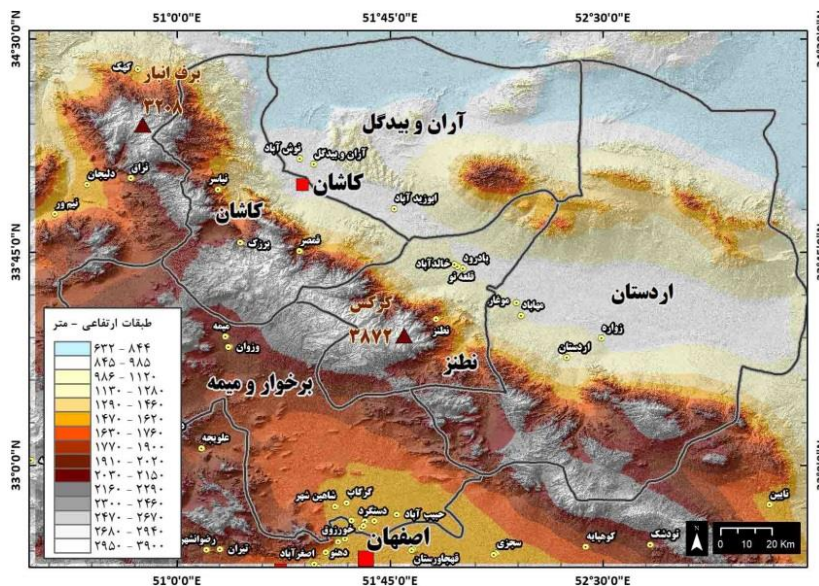
$$Slope = \tan \alpha = \sqrt{Slope_{row}^2 + Slope_{column}^2}$$

Z <sub>5</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>6</sub>
Z <sub>1</sub>	Z <sub>0</sub>	Z <sub>3</sub>
Z <sub>8</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>7</sub>

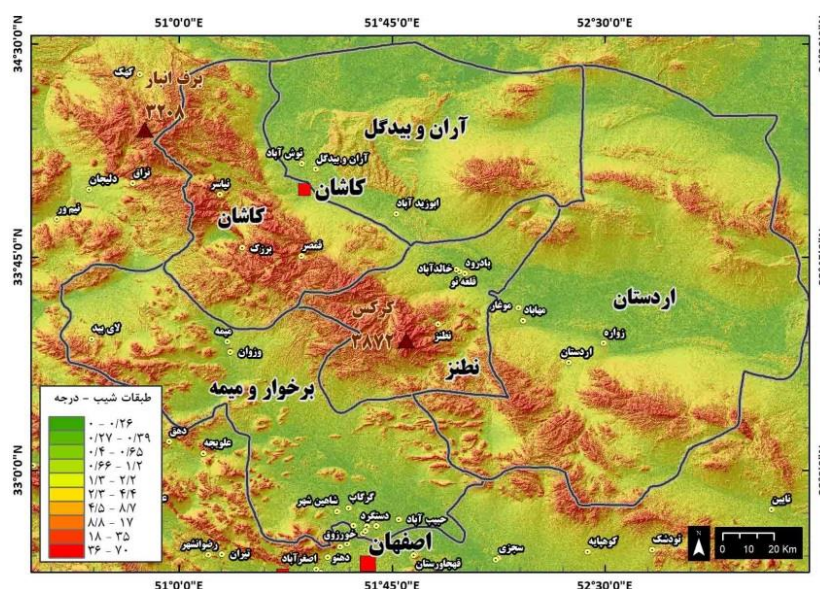
شکل ۲- پنجره متحرک ۳×۳ سلول برای برآورد شیب در ساختار رستری (مدل رقومی ارتفاعی)

سپس تصاویری که به لحاظ کیفی و شرایط اتمسفری همچون غبار آلودگی و ابرناکی شدید، نامناسب بودند از روند کار کنار گذاشته شد. در مرحله بعد، تصحیحات اتمسفری و هندسی بررسی و در صورت نیاز اعمال گردید و سپس ارزش رقومی یا DN تصاویر به معادل تشعشعی یا Radiance تبدیل شده و در ادامه ۴ سین تصویر پوشش‌دهنده منطقه مطالعاتی، با یکدیگر موزائیک و سپس ترکیب باند گردید. بر اساس لایه نهایی به دست آمده، نمایه مورد نظر محاسبه و نقشه‌های مربوطه بر این اساس ترسیم گردید. الگوی تغییرات و توزیع مکانی نمایه پوشش گیاهی در باندهای مختلف ارتفاعی حاصل از مدل رقومی ارتفاعی با بهره‌گیری از الگوی پردازش رستری سلول به سلول انجام گرفت.

لایه شیب از مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از الگوریتم برآورد شیب هورن حاصل شد و در ادامه، تغییرات نمایه پوشش گیاهی مورد واریسی قرار گرفت. بر اساس پنجره



شکل ۳- نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مطالعاتی



شکل ۴- نقشه شیب منطقه مطالعاتی

پوشش گیاهی است که به مرور متراکم تر می شود (این مقادیر در مناطق مختلف می تواند متفاوت باشد).

برای محاسبه نمایه NDVI از رابطه زیر استفاده شده است. در این فرمول NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴ در لندست ۵ و باند ۵ در لندست ۸) و RED باند قرمز (باند ۳ در لندست ۵ و باند ۴ در لندست ۸) است.

$$NDVI = \frac{Red - NIR}{Red + NIR} \quad (4)$$

### نمایه توپوگرافی TPI

این نمایه ابتدا توسط گوئیسن<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۹)، مطرح و سپس توسط ویس<sup>۳</sup> و جنیس<sup>۴</sup> (۲۰۰۱، ۲۰۰۶) گسترش داده شد (۱۴، ۳۴ و ۱۸). این نمایه، موقعیت توپوگرافیک ارتفاع هر سلول با میانگین هشت سلول همسایه را در مدل رقومی ارتفاعی مقایسه و از این روش TPI را برآورد می کند. مقادیر مثبت TPI نشانگر نواحی برآمده ای است که از ارتفاع میانگین اطرافش مرتفع تر و مقادیر منفی نشانگر چاله ها، دره ها، فرورفتگی ها یا شیاری است که از متوسط ارتفاع مجاورش پست تر است. مقادیر نزدیک به صفر نواحی مسطح را نمایندگی می کند [۳۰].

با استفاده از نمایه توپوگرافیک TPI حاصل از مدل رقومی ارتفاعی، واحدهای لندفرمی شامل طبقه دشتهای هموار، دشت سر انتهایی، دشت سر میانی، دشت سر بالایی و طبقه برآمدگی و کوه ها و ارتفاعات بر اساس آستانه های نظارت شده و کنترل کارشناسی و تفسیر بصری، شناسایی و تفکیک شد. نمایه پوشش گیاهی NDVI در ارتباط با سنجه های توپوگرافیکی ارتفاع و شیب و در واحدهای لندفرمی واکاوی و الگوی تغییرات، روند و توزیع جغرافیایی نمایه NDVI در قلمرو مطالعاتی بررسی شد. برای پیش بینی تغییرات نمایه NDVI به همراه جهت و شدت تغییرات از مدل رگرسیون خطی مکانی در یک ساختار نظیر به نظیر سلولی به منظور بررسی وضعیت پوشش گیاهی در سال ۲۰۳۰ بهره گرفته شد. شکل ۵ نمودار گردشی پژوهش را نشان می دهد.

### نمایه NDVI<sup>۱</sup>

نمایه NDVI به خوبی می تواند دو ویژگی میزان کلروفیل و میزان سلامت گیاه را نمایش دهد. مقادیر بین -۱ تا +۱ متغیر است. هرچه عدد به سمت +۱ نزدیک تر باشد نشان از سلامت و تراکم بیشتر پوشش گیاهی است، اما مقادیر نزدیک به منفی آب است. مقدار صفر، بیانگر خاک لخت است. مقادیر نزدیک ۰/۲ مراتع؛ مقادیر نزدیک ۰/۲ به بالا

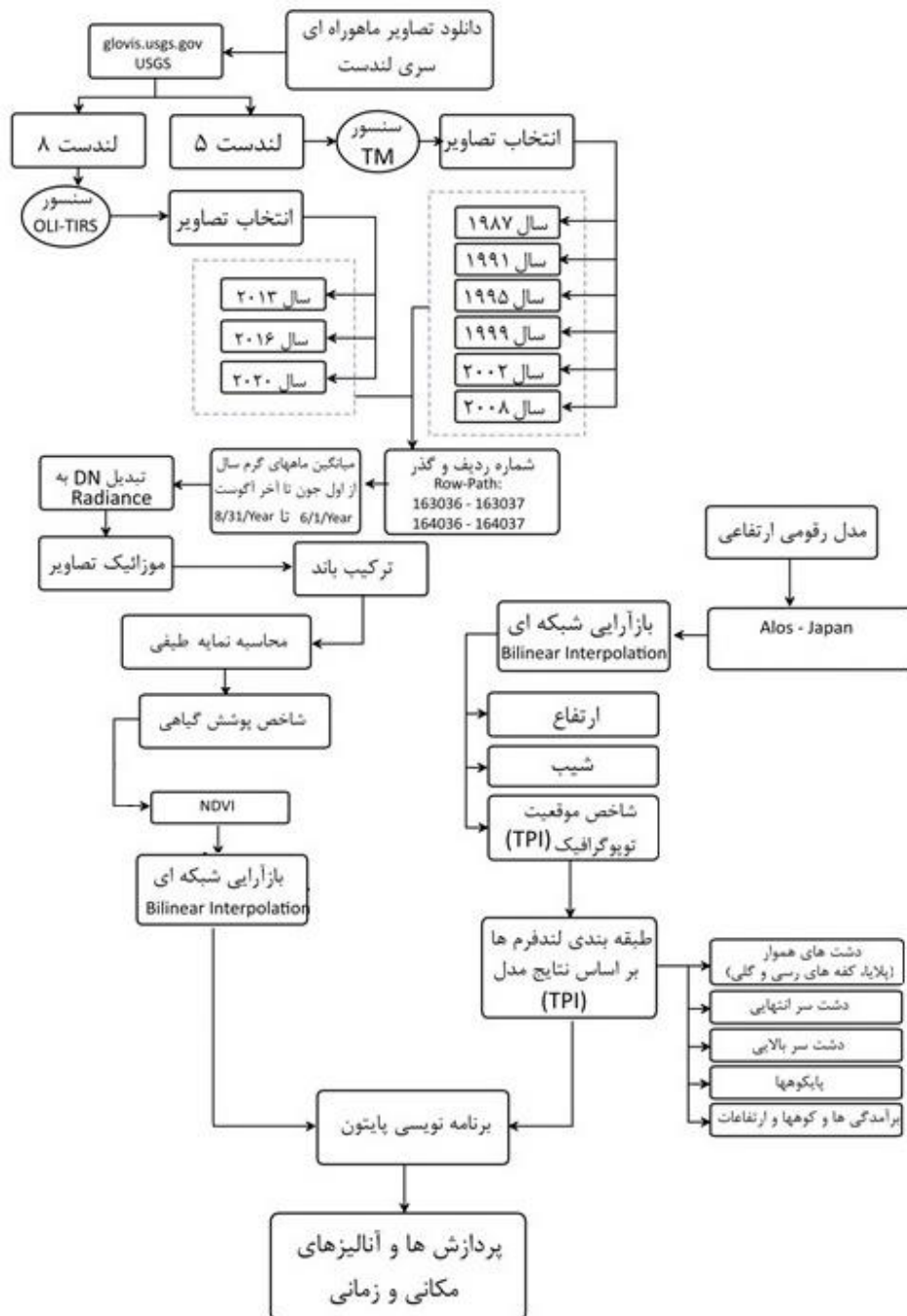
2- Guisan  
3- Weiss  
4- Jenness

1- Normalized Difference Vegetation Index

$$\bar{Z} = \frac{1}{n_R} \sum_{i \in R} Z_i \quad (5)$$

$$TPI = Z_0 - \bar{Z} \quad (6)$$

نمایه TPI در واقع تفاضل بین ارتفاع در نقطه مرکزی با متوسط یاخته‌های مجاور است که با تبیین یک شعاع مجاورت می‌توان درجه جنرالیزاسیون را بر روی آن اعمال نمود [۳۶ و ۳۵]. روابط شماره ۵ و ۶ روش برآورد TPI را نشان می‌دهد. نمایه TPI بر اساس روش تحلیل پنجره متحرک حاصل شد.



شکل ۵- فلوجارت پژوهش

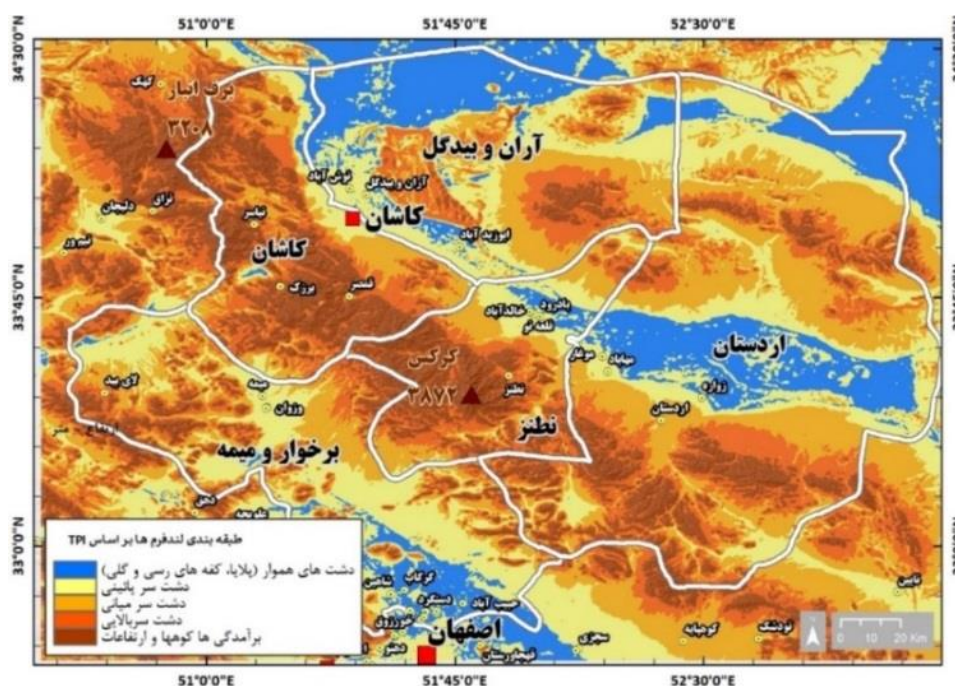
سایه-روشن، نقشه شیب و نقشه‌های توپوگرافی رقومی استفاده شده است.

واکاوای لندفرم‌ها نشانگر ۵ نوع لندفرم شامل برآمدگی‌ها و کوه‌ها، پایکوها، دشت‌سر بالایی، دشت‌سر میانی، دشت‌سر انتهایی، دشت‌های هموار (پلایا، کفه‌های رسی و گلی) در قلمرو مورد بررسی است. پلایاها و کفه‌های رسی عرصه پژوهش، در دو سوی کوهستان اصلی به‌ویژه در مرکز، شمال و شمال‌شرق از تراکم بیشتری برخوردار بوده و در عین حال، در منطقه حبیب‌آباد برخوردار نیز رخنمونی آشکار دارد. پهنه مرکزی را کوه‌های کرکس با روندی شمال غربی-جنوب شرقی در بر گرفته است. بر اساس شکل ۶، ارزش عددی نمایه TPI در طبقات لندفرمی از دشت‌های هموار (پلایا، کفه‌های گلی و رسی) به سوی برآمدگی‌ها، کوه‌ها و ارتفاعات فزونی می‌یابد.

در پژوهش حاضر، نمایه TPI برآورد و بین ۰ تا ۱۰۰ نرمال‌سازی شد؛ بدین صورت که ۱۰۰، قله و برجستگی‌ها و صفر، چاله‌ها و فرورفتگی‌ها را نشان می‌دهد. در ادامه، بر مبنای روش بازآرایی شبکه‌ای (Resampling) میانبایی دوسویه (Bilinear Interpolation)، نمایه پوشش گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و مؤلفه‌های توپوگرافیکی برگرفته از مدل رقومی ارتفاعی با یکدیگر به لحاظ هندسه رستری تطبیق شد.

## نتایج

شناسایی واحدهای فرمی اصلی در عرصه این پژوهش بر مبنای نتایج نمایه TPI و بر اساس طبقه‌بندی نظارت‌شده با آستانه‌های کنترل زمینی انجام شده است. برای کنترل نتایج و آستانه‌های تقسیم‌بندی اراضی به واحدهای فرم‌شناسی از منابع داده مدل رقومی ارتفاعی مانند مدل



شکل ۶- طبقه‌بندی لندفرم‌ها بر مبنای TPI

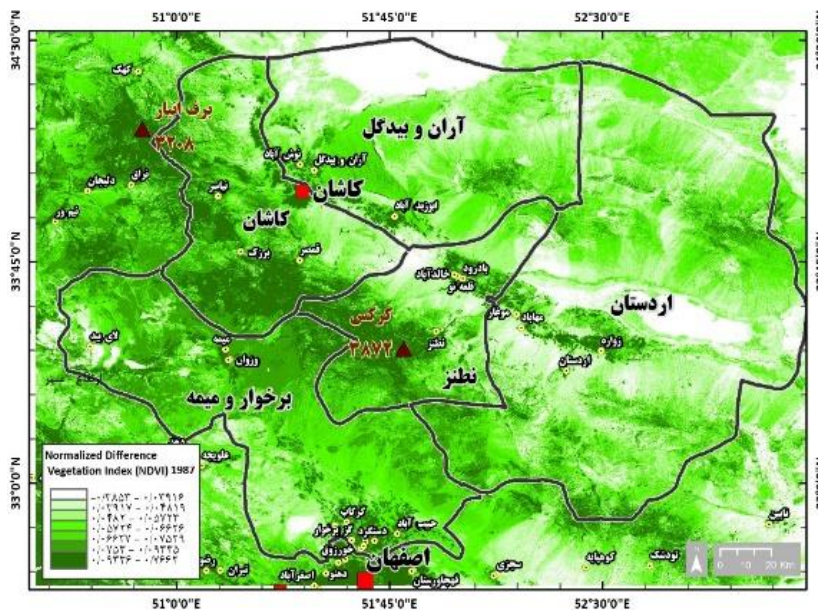
مطالعاتی (از قله برف انبار، کرکس و مارشنان) را در بر گرفته است. این محدوده که عمدتاً منطبق بر لندفرم کوهستانی است، به سبب برخورداری از شرایط مطلوب اقلیمی و بارش مناسب، از پوشش گیاهی متراکم‌تری برخوردار است. در عین حال، مقادیر کمینه NDVI عمدتاً بخش‌هایی از شمال، مرکز و شرق قلمرو مطالعاتی، که

نمایه پوشش گیاهی (NDVI) برای متوسط ماه‌های گرم سال در سال‌های آماری مورد بررسی محاسبه شد که به‌عنوان نمونه سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۹، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ در اشکال ۷ تا ۱۰ نشان داده است. تغییرات پوشش گیاهی در سال‌های منتخب نشان می‌دهد که بیشینه این نمایه، نواری کوهستانی از شمال‌غرب تا جنوب‌شرق محدوده

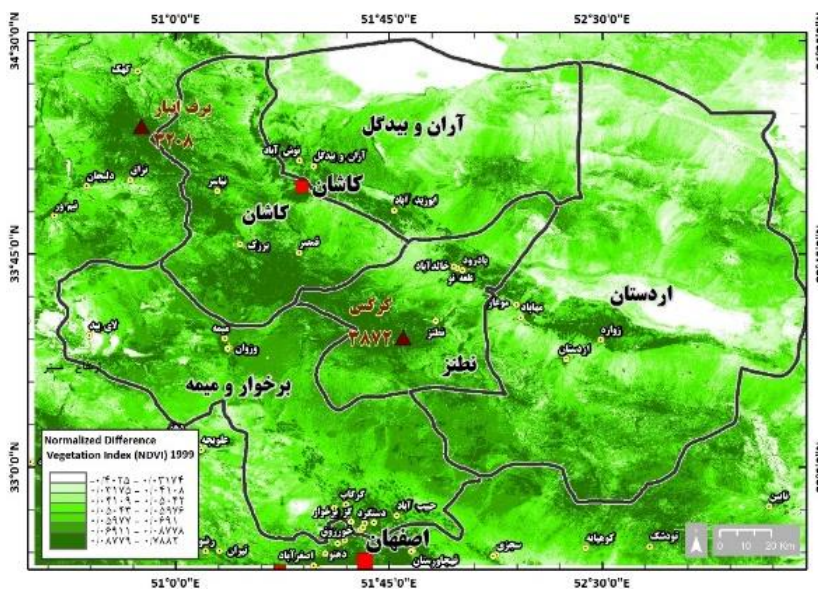


منطبق بر دشت‌های هموار (پلایا، کفه‌های رسی و گلی) است را شامل می‌شود. در مجموع، مقادیر NDVI از نشان می‌دهد (شکل‌های ۷ تا ۱۰).

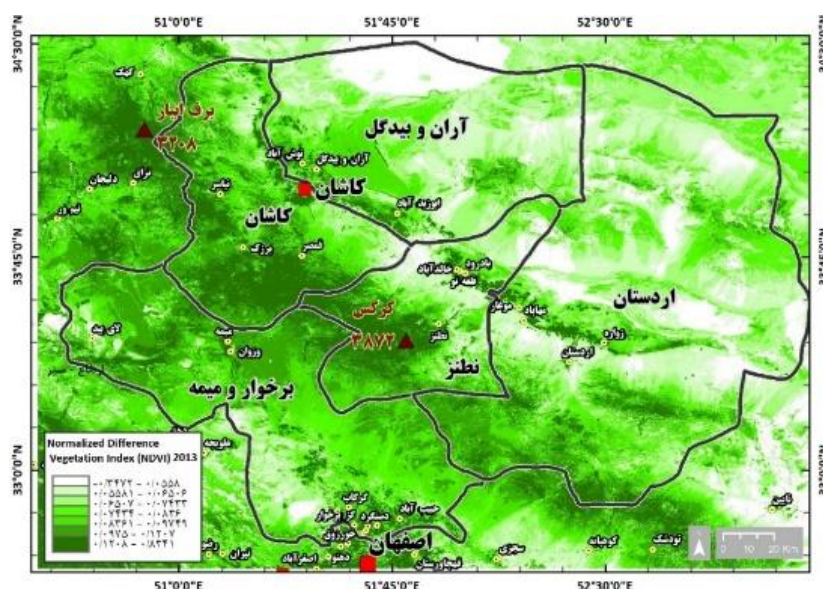
لندفرم کوهستان به طرف پلایاها و چاله‌ها روند کاهشی را



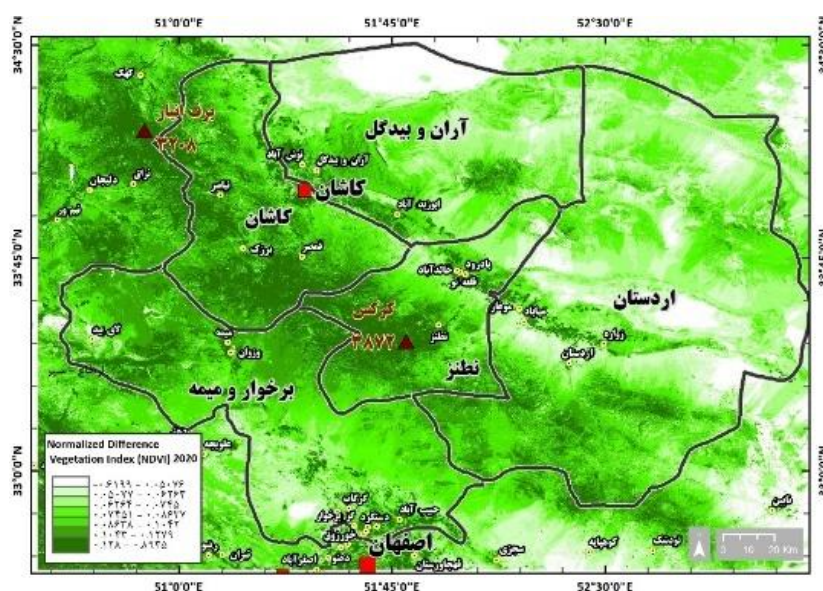
شکل ۷- تغییرات فضایی میانگین نمایه NDVI در ماه‌های مورد بررسی سال ۱۹۸۷



شکل ۸- تغییرات فضایی میانگین نمایه NDVI در ماه‌های مورد بررسی سال ۱۹۹۹



شکل ۹- تغییرات فضایی میانگین نمایه NDVI در ماه‌های مورد بررسی سال ۲۰۱۳



شکل ۱۰- تغییرات فضایی میانگین نمایه NDVI در ماه‌های مورد بررسی سال ۲۰۲۰

سردی هوا و به تبع افزایش ارتفاع، کاهش دما در این محدوده ارتفاعی است.

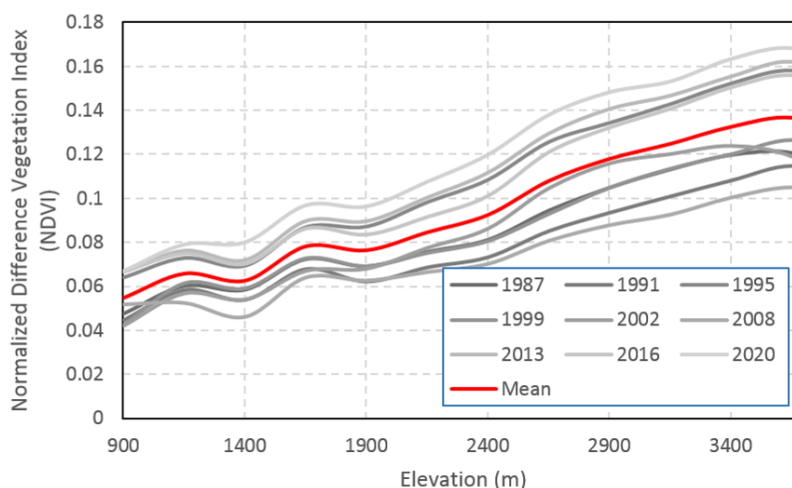
نکته قابل توجه در تغییرات نمایه NDVI در طبقات ارتفاعی آن است که در ارتفاع ۱۴۰۰ متری، اُفت قابل توجه NDVI مشاهده می‌شود. ارتفاع ۱۴۰۰ متر منطبق با دشت‌سرای میانی است. در ارتفاعات پائین‌تر به دلیل استقرار پوشش گیاهی با منشأ انسانی، افزایش موضعی NDVI وجود دارد. در ارتفاع بالاتر از ۱۴۰۰ متر به دلیل ورود به واحد کوهستان افزایش NDVI غالب می‌شود؛ در نتیجه در محدوده ارتفاعی ۱۴۰۰ متری فرود منحنی NDVI مشاهده می‌شود.

### واکاوای تغییرات نمایه NDVI در طبقات ارتفاعی

متوسط این نمایه در طبقات ارتفاعی بین ۳۹۰۰-۶۵۰ متری با گام‌های ۲۵۰ متری در سال‌های آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۰ محاسبه که در جدول ۲ و شکل ۱۱ قابل مشاهده است. بر این اساس میانگین مقادیر NDVI ضمن پیروی از عامل ارتفاع، روند افزایشی را در طول دوره آماری داشته است. افزایش این نمایه از طبقه کمینه ارتفاعی به سوی طبقه بیشینه ارتفاعی انجام می‌پذیرد؛ به استثناء طبقه ۳۶۵۰-۳۹۰۰ متر که کاهش نه چندان محسوسی را نشان می‌دهد. دلیل کاهش نرخ NDVI در طبقه فوق نسبت به طبقات بالایی وجود اراضی پرشیب، سنگلاخی و سنگی،

جدول ۲- متوسط نمایه NDVI در طبقات مختلف ارتفاعی در سال‌های مورد مطالعه

طبقات ارتفاعی		دوره آماری - سال‌های مورد بررسی									
حد پائین	حد بالا	۱۹۸۷	۱۹۹۱	۱۹۹۵	۱۹۹۹	۲۰۰۲	۲۰۰۸	۲۰۱۳	۲۰۱۶	۲۰۲۰	میانگین
۶۵۰	۹۰۰	۰/۰۴۷۵	۰/۰۴۴۴	۰/۰۶۴۰	۰/۰۲۲۳	۰/۰۴۲۱	۰/۰۵۱۹	۰/۰۶۶۶	۰/۰۶۶۶	۰/۰۶۶۹	۰/۰۵۴۷
۹۰۰	۱۱۵۰	۰/۰۶۰۱	۰/۰۵۸۱	۰/۰۷۲۸	۰/۰۶۱۲	۰/۰۵۶۸	۰/۰۵۲۶	۰/۰۷۶۳	۰/۰۷۴۹	۰/۰۷۸۹	۰/۰۶۵۸
۱۱۵۰	۱۴۰۰	۰/۰۵۸۵	۰/۰۵۳۷	۰/۰۶۹۳	۰/۰۵۸۹	۰/۰۵۴۱	۰/۰۴۶۳	۰/۰۷۲۰	۰/۰۷۰۲	۰/۰۷۹۹	۰/۰۶۲۵
۱۴۰۰	۱۶۵۰	۰/۰۷۲۴	۰/۰۶۷۷	۰/۰۸۶۸	۰/۰۷۲۶	۰/۰۶۷۱	۰/۰۶۴۰	۰/۰۸۹۷	۰/۰۸۶۲	۰/۰۹۶۸	۰/۰۷۸۲
۱۶۵۰	۱۹۰۰	۰/۰۶۹۱	۰/۰۶۲۰	۰/۰۸۷۱	۰/۰۶۹۰	۰/۰۶۸۰	۰/۰۶۲۷	۰/۰۸۹۶	۰/۰۸۳۵	۰/۰۹۶۳	۰/۰۷۶۴
۱۹۰۰	۲۱۵۰	۰/۰۷۵۷	۰/۰۶۸۴	۰/۰۹۸۲	۰/۰۷۵۰	۰/۰۷۷۵	۰/۰۶۶۵	۰/۱۰۰۴	۰/۰۹۱۵	۰/۱۰۷۵	۰/۰۸۴۵
۲۱۵۰	۲۴۰۰	۰/۰۸۱۲	۰/۰۷۳۱	۰/۱۰۸۴	۰/۰۸۰۴	۰/۰۸۶۳	۰/۰۷۰۲	۰/۱۱۱۷	۰/۱۰۱۱	۰/۱۱۹۹	۰/۰۹۲۵
۲۴۰۰	۲۶۵۰	۰/۰۹۴۵	۰/۰۸۴۹	۰/۱۲۵۶	۰/۰۹۲۸	۰/۱۰۴۶	۰/۰۸۰۶	۰/۱۲۹۴	۰/۱۲۰۹	۰/۱۳۸۰	۰/۱۰۷۹
۲۶۵۰	۲۹۰۰	۰/۱۰۵۰	۰/۰۹۳۳	۰/۱۳۴۲	۰/۱۰۴۶	۰/۱۱۵۹	۰/۰۸۷۷	۰/۱۴۰۵	۰/۱۳۲۱	۰/۱۴۸۳	۰/۱۱۸۰
۲۹۰۰	۳۱۵۰	۰/۱۱۳۳	۰/۱۰۰۷	۰/۱۴۲۸	۰/۱۱۳۳	۰/۱۲۰۱	۰/۰۹۲۴	۰/۱۴۶۵	۰/۱۴۰۶	۰/۱۵۳۲	۰/۱۲۴۸
۳۱۵۰	۳۴۰۰	۰/۱۱۹۹	۰/۱۰۷۹	۰/۱۵۲۲	۰/۱۱۹۹	۰/۱۲۳۹	۰/۱۰۰۱	۰/۱۵۵۲	۰/۱۵۰۳	۰/۱۶۳۵	۰/۱۳۲۵
۳۴۰۰	۳۶۵۰	۰/۱۲۰۸	۰/۱۱۴۶	۰/۱۵۸۱	۰/۱۲۴۴	۰/۱۱۹۱	۰/۱۰۴۸	۰/۱۶۱۹	۰/۱۵۵۹	۰/۱۶۸۴	۰/۱۳۶۶
۳۶۵۰	۳۹۰۰	۰/۱۰۹۹	۰/۱۰۸۰	۰/۱۴۸۹	۰/۱۱۹۶	۰/۱۰۲۱	۰/۱۰۰۳	۰/۱۵۰۵	۰/۱۴۶۹	۰/۱۵۷۶	۰/۱۲۷۱



شکل ۱۱- تغییرات نمایه NDVI در طبقات مختلف ارتفاعی

### واکاوی تغییرات نمایه NDVI در طبقات شیب

نوسانات و الگوی مکانی-زمانی نمایه NDVI در سال‌های مورد بررسی در محدوده مورد مطالعه در طبقات شیب مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در جدول ۳ و شکل ۱۲ نشان داده شده است.

متوسط این نمایه در طبقات شیب با فواصل پی در پی ۵ درجه‌ای در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۰ نشان از چهار آستانه تغییرات NDVI دارد: در طبقه شیب صفر تا ۱۰ درجه تغییرات NDVI با شیب سطح زمین روند افزایشی تندی نشان می‌دهد (بخش A). شیب بین ۱۰ تا ۴۵ درجه (بخش B) تغییرات نمایه پوشش گیاهی از روند افزایشی

ملایمی برخوردار است. در شیب ۴۵ تا ۶۰ درجه (بخش C) تغییرات نمایه NDVI در این محدوده دارای روند کاهشی ملایمی است. این در حالی است که از شیب ۶۰ تا ۶۵ درجه (بخش D) مجدداً تغییرات نمایه پوشش گیاهی به سبب باغ‌ها و روستاهای بیابانی منطقه روند افزایشی آشکاری نشان می‌دهد. در عین حال از شیب ۶۵ درجه به بالا به دلیل وجود اراضی صخره‌ای، سنگلاخی و در عین حال مرتفع‌تر امکان رویش گیاه بسیار محدود شده است (بخش E).

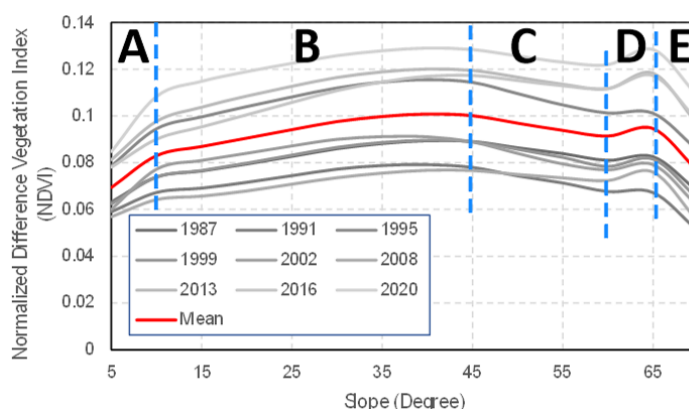
در مجموع شیب ۶۵ درجه به بالا در محدوده مورد بررسی آستانه‌ای مهم در تغییرات فضایی پوشش گیاهی به

منحنی تغییرات NDVI شده است. در حالی که شیب‌های کمتر از ۶۵ درجه الگوی متفاوتی را نشان می‌دهد (شکل ۱۲).

شمار می‌رود. شیب بالای ۶۵ درجه به دلیل انطباق با اراضی سنگلاخی و صخره‌ای با ارتفاع زیاد عامل محدودکننده پوشش گیاهی بوده و باعث افت آشکاری در

جدول ۳- متوسط نمایه NDVI در طبقات مختلف شیب

طبقات شیب (درجه)		دوره آماری - سال‌های مورد بررسی									
حد پائین	حد بالا	۱۹۸۷	۱۹۹۱	۱۹۹۵	۱۹۹۹	۲۰۰۲	۲۰۰۸	۲۰۱۳	۲۰۱۶	۲۰۲۰	میانگین
۰	۵	۰/۰۶۳۲	۰/۰۵۹۱	۰/۰۷۸۷	۰/۰۶۲۴	۰/۰۶۰۱	۰/۰۵۶۹	۰/۰۸۱۳	۰/۰۷۸۰	۰/۰۸۴۸	۰/۰۶۹۴
۵	۱۰	۰/۰۷۳۹	۰/۰۶۷۳	۰/۰۹۴۶	۰/۰۷۳۸	۰/۰۷۷۲	۰/۰۶۴۲	۰/۰۹۷۷	۰/۰۹۰۱	۰/۱۰۸۳	۰/۰۸۳۰
۱۰	۱۵	۰/۰۷۶۵	۰/۰۶۹۱	۰/۰۹۹۶	۰/۰۷۶۶	۰/۰۸۱۰	۰/۰۶۵۷	۰/۱۰۳۷	۰/۰۹۵۳	۰/۱۱۴۸	۰/۰۸۶۹
۱۵	۲۰	۰/۰۷۹۵	۰/۰۷۱۶	۰/۱۰۴۱	۰/۰۷۹۸	۰/۰۸۴۰	۰/۰۶۷۹	۰/۱۰۸۵	۰/۱۰۰۵	۰/۱۱۹۰	۰/۰۹۰۵
۲۰	۲۵	۰/۰۸۲۷	۰/۰۷۴۵	۰/۱۰۸۲	۰/۰۸۳۲	۰/۰۸۷۲	۰/۰۷۰۸	۰/۱۱۲۷	۰/۱۰۵۸	۰/۱۲۲۵	۰/۰۹۴۲
۲۵	۳۰	۰/۰۸۶۱	۰/۰۷۷۲	۰/۱۱۲۰	۰/۰۸۶۶	۰/۰۹۰۰	۰/۰۷۳۶	۰/۱۱۶۴	۰/۱۱۰۸	۰/۱۲۵۸	۰/۰۹۷۶
۳۰	۳۵	۰/۰۸۸۳	۰/۰۷۸۸	۰/۱۱۴۵	۰/۰۸۸۶	۰/۰۹۱۲	۰/۰۷۵۵	۰/۱۱۸۸	۰/۱۱۴۵	۰/۱۲۷۹	۰/۰۹۹۸
۳۵	۴۰	۰/۰۸۹۵	۰/۰۷۹۲	۰/۱۱۵۶	۰/۰۸۹۶	۰/۰۹۱۱	۰/۰۷۶۷	۰/۱۲۰۱	۰/۱۱۶۹	۰/۱۲۹۱	۰/۱۰۰۹
۴۰	۴۵	۰/۰۸۹۱	۰/۰۷۷۹	۰/۱۱۴۴	۰/۰۸۸۹	۰/۰۸۸۹	۰/۰۷۶۶	۰/۱۱۹۵	۰/۱۱۷۳	۰/۱۲۸۴	۰/۱۰۰۱
۴۵	۵۰	۰/۰۸۶۴	۰/۰۷۴۳	۰/۱۰۹۶	۰/۰۸۵۷	۰/۰۸۴۰	۰/۰۷۴۹	۰/۱۱۶۶	۰/۱۱۵۱	۰/۱۲۵۶	۰/۰۹۶۹
۵۰	۵۵	۰/۰۸۳۹	۰/۰۷۱۳	۰/۱۰۴۸	۰/۰۸۲۲	۰/۰۷۹۵	۰/۰۷۳۵	۰/۱۱۳۵	۰/۱۱۲۹	۰/۱۲۳۰	۰/۰۹۳۹
۵۵	۶۰	۰/۰۸۱۱	۰/۰۶۷۷	۰/۱۰۱۳	۰/۰۷۸۴	۰/۰۷۶۹	۰/۰۷۲۳	۰/۱۱۱۷	۰/۱۱۱۶	۰/۱۲۱۹	۰/۰۹۱۴
۶۰	۶۵	۰/۰۸۲۶	۰/۰۶۷۳	۰/۱۰۱۲	۰/۰۸۱۵	۰/۰۷۹۲	۰/۰۷۶۰	۰/۱۱۸۳	۰/۱۱۷۳	۰/۱۲۸۴	۰/۰۹۴۶
۶۵	۶۹/۷۳	۰/۰۶۸۶	۰/۰۵۱۸	۰/۰۸۶۱	۰/۰۶۵۴	۰/۰۶۲۳	۰/۰۵۶۰	۰/۰۹۷۳	۰/۰۹۸۸	۰/۱۰۹۴	۰/۰۷۷۳



شکل ۱۲- الگوی تغییرات نمایه NDVI در طبقات شیب

اراضی کشاورزی و باغ‌ها، رو به فزونی گذاشته است. ولی در دشت‌سر میانی این نمایه کاهش می‌یابد که از روند کلی تغییرات تبعیت نمی‌کند. در ضمن تغییرات سالانه این نمایه در مجموع حاکی از نوسات نسبتاً افزایشی است. به طور کلی، بالاترین متوسط NDVI در واحد برآمدگی‌ها، کوه‌ها و ارتفاعات و کمترین مقدار آن در واحد دشت‌های هموار مشاهده شد.

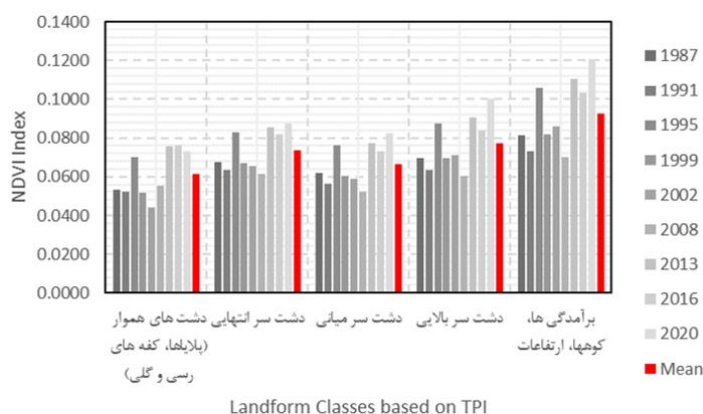
### واکاوای تغییرات نمایه NDVI در طبقات مختلف

#### لندفرمی بر پایه TPI

در جدول ۴ و شکل ۱۳، تغییرات نمایه NDVI نشان داده شده است. بر این اساس، تغییرات این نمایه از لندفرم کفه‌ها، دشت‌های هموار و پلایاها به سمت لندفرم ارتفاعات روندی افزایشی داشته است (با افزایش ارتفاع تراکم پوشش گیاهی افزایش داشته است). در عین حال، تراکم پوشش گیاهی در دشت‌سرهای انتهایی به سبب گستردگی

جدول ۴- متوسط نمایه NDVI در طبقات مختلف لندفرمی در سال‌های مورد مطالعه

طبقات لندفرمی بر پایه TPI	دوره آماری - سال‌های مورد بررسی									
	۱۹۸۷	۱۹۹۱	۱۹۹۵	۱۹۹۹	۲۰۰۲	۲۰۰۸	۲۰۱۳	۲۰۱۶	۲۰۲۰	میانگین
دشتهای هموار (پلایاها، کفه‌های رسی و گلی)	۰/۰۵۳۴	۰/۰۵۲۳	۰/۰۶۹۹	۰/۰۵۱۵	۰/۰۴۴۲	۰/۰۵۵۱	۰/۰۷۵۷	۰/۰۷۶۵	۰/۰۷۳۱	۰/۰۶۱۳
دشت سرانتهایی	۰/۰۶۷۴	۰/۰۶۳۵	۰/۰۸۲۹	۰/۰۶۷۱	۰/۰۶۵۵	۰/۰۶۱۷	۰/۰۸۵۶	۰/۰۸۲۰	۰/۰۸۷۵	۰/۰۷۳۷
دشت سر میانی	۰/۰۶۱۸	۰/۰۵۶۵	۰/۰۷۶۱	۰/۰۶۰۳	۰/۰۵۸۷	۰/۰۵۲۰	۰/۰۷۷۱	۰/۰۷۳۴	۰/۰۸۲۶	۰/۰۶۶۵
دشت سر بالایی	۰/۰۶۹۵	۰/۰۶۳۵	۰/۰۸۷۶	۰/۰۶۹۵	۰/۰۷۱۱	۰/۰۶۰۳	۰/۰۹۰۶	۰/۰۸۳۹	۰/۱۰۰۴	۰/۰۷۷۴
برآمدگی‌ها، کوهها، ارتفاعات	۰/۰۸۱۵	۰/۰۷۳۲	۰/۱۰۶۱	۰/۰۸۱۹	۰/۰۸۵۷	۰/۰۶۹۹	۰/۱۱۰۲	۰/۱۰۳۳	۰/۱۲۰۷	۰/۰۹۲۵



شکل ۱۳- تغییرات نمایه NDVI در طبقات مختلف لندفرمی

### واکاوی تغییرات سطوح نمایه پوشش گیاهی

تغییرات سطوح نمایه منتخب در فازهای مختلف تهیه و ترسیم گردید. نتایج در شکل ۱۴ نشان داده شده است. با بررسی تغییرات سطوح مقادیر عددی شاخص چهار آستانه زمانی تغییرات مشخص گردید.

بر اساس این چهار آستانه، عمدتاً چهار فاز تغییرات تعیین گردید به این صورت که فاز اول از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ را پوشش می‌دهد. فاز دوم شامل سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ می‌شود. فاز سوم از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ طول کشیده و نهایتاً فاز چهارم از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ را در بر می‌گیرد.

فازهای چهارگانه مذکور، سطوح نمایه NDVI با مقادیر ۰ تا ۱ را نشان می‌دهد. سطوح نمایه NDVI بیشتر از صفر در فاز اول (۱۹۸۷-۲۰۰۲) تا سال ۱۹۹۸ روند ملایم افزایشی نشان می‌دهد و در سال ۲۰۰۲ به یکباره با افت رو به رو می‌شود. فاز دوم از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸، سطوح NDVI بیشتر از ۰ با شیب نسبتاً تند افزایش می‌یابد. از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ سطوح NDVI

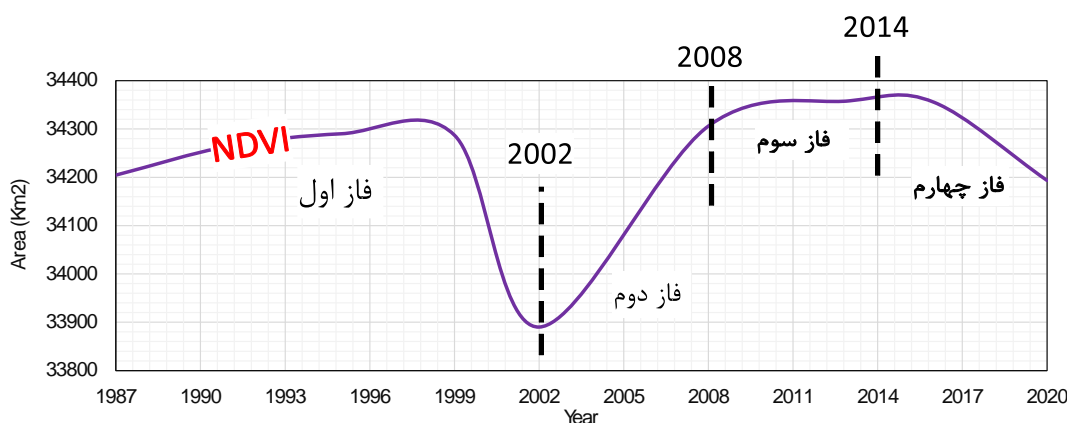
بیش از صفر در شرایط ثبات و بدون روند خاص قرار می‌گیرد و بعد از آستانه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ روند محسوس کاهشی استیلا می‌یابد. در طول دوره آماری مورد بررسی، سال ۲۰۰۲ دارای کمترین سطوح NDVI بیش از صفر می‌باشد. در مقابل سال ۲۰۱۴ در این بازه زمانی دارای بالاترین سطوح  $NDVI \geq 0$  می‌باشد.

### بررسی روند تغییرات فضایی نمایه NDVI

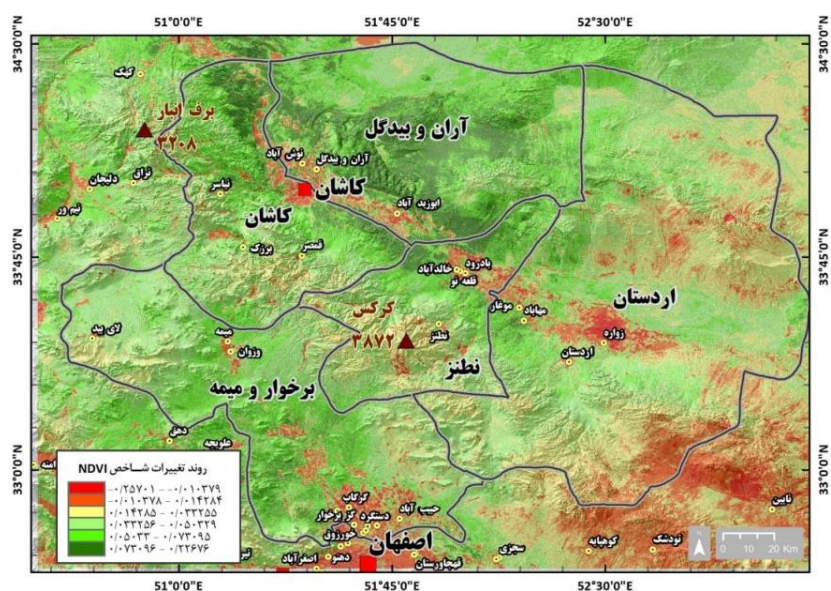
محور کاشان-اردستان به هم‌ریختگی و نوسانات غیرنرمالی را نشان می‌دهد که تحت تأثیر فعالیت‌های آنتروپوژنیک است. این محور شامل دو باند یکی در ارتفاع پائین‌تر به سمت دشتهای هموار و دیگری به موازات آن در ارتفاع بالاتر به سمت دشتهای ارتفاعات کرکس قرار گرفته است. باند پائینی دارای نوسانات ناهمگن کاهشی است و باند بالایی دارای نوسانات ناهمگن افزایشی است. باند پائینی به دلیل استیلای شرایط خشکی و خشک‌شدن قنوات با تنش آبی روبه‌رو شده، بسیاری از باغ‌ها و اراضی کشاورزی در این بخش خشک شده‌اند.

ذی ربط اجرا شده‌اند تا از پیشروی بیابان به سمت کاشان جلوگیری نمایند. الگوی قابل توجه دیگری که می‌توان به آن اشاره نمود در اراضی پیرامون اردستان می‌باشد که به صورت یک لکه گسترده شرایط تحلیل و تضعیف سبزی‌نگی در آن مشخص است. این تخریب درجه سبزی‌نگی در اراضی پیرامون اردستان تحت تأثیر گسترش فیزیکی و کالبدی شهرستان اردستان و همچنین تخریب باغ‌ها و اراضی کشاورزی به دلیل کمبود آب می‌باشد.

از طرف دیگر، توسعه اراضی کشاورزی و باغ‌های جدیدتر به سمت واحد فرمی ارتفاعات کرکس پیشروی کرده که دارای شرایط دمایی مناسب‌تر و دسترسی بیشتری به منابع آبی هستند (شکل ۱۵). الگوی دیگری که در این مشاهده می‌شود، افزایش نسبتاً قوی نمایه NDVI در اراضی جنوبی دشت نمک واقع در شمال منطقه مطالعاتی می‌باشد. این افزایش تحت تأثیر فازهای تغییرات محیطی کوتاه مدت و همچنین طرح‌های بیابان‌زدایی و جنگلکاری است که توسط سازمان‌های



شکل ۱۴- الگوی تغییرات زمانی سطوح نمایه NDVI در فازهای چهارگانه ( $NDVI \geq 0$ )



شکل ۱۵- روند تغییرات فضایی نمایه NDVI در دوره زمانی ۱۹۸۷ - ۲۰۲۰

گردید. لازم به ذکر است که مدل رگرسیون برای سلول‌های متناظر به ازای هر سلول ایجاد و بر اساس آن پیش‌بینی انجام گرفته است. در گام بعدی بر اساس نقشه پیش‌بینی، نقشه تغییرات نیز محاسبه و ترسیم شده است.

تغییرات فضایی آبی نمایه پوشش گیاهی بین سال

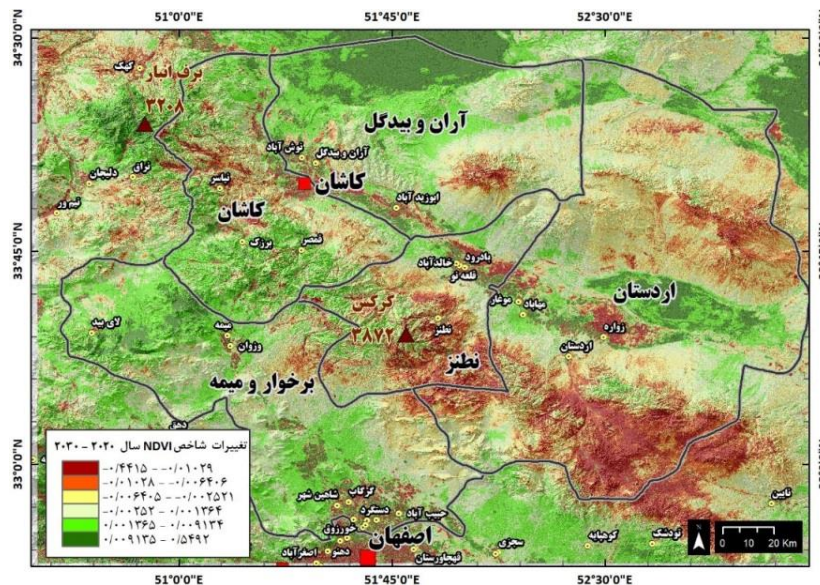
۲۰۲۰ و ۲۰۳۰

نمایه پوشش گیاهی در این پژوهش بر اساس مدل

همبستگی رگرسیونی برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی و تهیه

مدت و میان مدت اقلیمی می‌باشد. منطقه دیگر که باند واقع شده در محور کاشان-اردستان را شامل می‌شود تحت تأثیر فعالیت‌های آنتروپوژنیک و دخالت‌های انسانی شرایط محیطی متغیری را به وجود آورده است. در این منطقه خصوصاً در باند کم ارتفاع‌تر به سمت چاله‌ها و حوزه‌های انتهایی پائین‌دست، دخالت‌های انسان منجر به تخریب درجه سبزی‌نگی خواهد شد و نیاز به توجه ویژه خواهد داشت. در این نواحی به دلیل کمبود آب و تحلیل منابع آبی سطحی و خصوصاً زیرسطحی، با تخریب زراعت، باغ‌ها و اراضی کشاورزی و همچنین پوشش‌های گیاهی طبیعی و دخالت‌های انسان، شرایط بحرانی تا فوق بحرانی حاکم می‌شود که نیاز به توجه بیشتری به این مسأله توسط مسئولان و مدیران اجرایی کشور را طلب می‌نماید.

نقشه تغییرات فضایی آبی در اصل تفاضل بین نقشه پیش‌بینی (سال ۲۰۳۰) و نقشه موجود (نقشه الگوی تغییرات فضایی شاخص NDVI در دوره ۲۰۲۰-۱۹۸۷) می‌باشد که با تکنیک سلول به سلول متناظر تهیه و ترسیم شده است. شکل ۱۶ تغییرات فضایی آبی نمایه پوشش گیاهی NDVI را نشان می‌دهد. نواحی به رنگ قرمز تیره مربوط به نواحی می‌شود که نمایه NDVI براساس مدل‌های پیش‌بینی، کاهش خواهد یافت و یا با تنش تغییرات منفی روبه‌رو خواهد شد. توجه به این نواحی باید در دستورالعمل کارشناسان و مدیران برنامه‌ریزی محیطی قرار بگیرد. مطابق با این شکل ارتفاعات کرکس تا مارشان شرایط بحرانی را نشان می‌دهد. تغییرات این منطقه بیشتر به دلیل شرایط محیطی و تغییرات کوتاه



شکل ۱۶- تغییرات فضایی آبی نمایه پوشش گیاهی NDVI در سال ۲۰۳۰

## بحث و نتیجه‌گیری

واکاوی لندفرم‌ها بر اساس نتایج نمایه TPI و طبقه‌بندی نظارت‌شده با آستانه‌های کنترل زمینی نشانگر وجود لندفرم‌های کوهستان، دشت‌سر (دشت‌سر بالایی)، دشت‌سر میانی، دشت‌سر انتهایی) و دشت‌های هموار (پلایا، کفه‌های رسی و گلی) در پهنه مورد بررسی است.

این موضوع با پژوهش حمیدیان و همکاران (۱۳۹۵) که با استفاده از روش تحلیل فرم و فرآیند چشم‌اندازهای ژئومورفیک سه واحد ارضی شامل سطوح محدب (کوهستان)، مقعر (دشت‌سر) و مستوی (پلایا) را در این

منطقه تشخیص داده است، مطابقت نشان می‌دهد [۱۵]. تحلیل تغییرات NDVI در لندفرم‌های شناسایی‌شده نشان داد که مقادیر این نمایه محیطی از لندفرم کوهستان به سوی پلایاها و چاله‌ها از روندی نزولی برخوردار است. بیشینه این نمایه که منطبق بر لندفرم کوهستانی است، به سبب مهبیایی شرایط بهینه اقلیمی و بارش مناسب، عمدتاً قله برف انبار، کرکس و مارشان را در شمال‌غرب تا جنوب‌شرق محدوده مطالعاتی شامل می‌شود. این در حالی است که مقادیر کمینه NDVI عمدتاً در بخش‌هایی از

نزولی و در دشت‌سرهای انتهایی به علت گسترش اراضی کشاورزی و باغ‌ها از روندی صعودی برخوردار بوده است. تغییرات سالانه این نمایه در طول دوره مورد بررسی نیز نشان از نوسانات نسبتاً افزایشی است. بررسی تغییرات نمایه NDVI نشان از حاکمیت چهار فاز در دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۷ دارد. در فاز چهارم از ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ روند تند کاهشی این نمایه کاملاً آشکار است. در این دوره سطوح پوشش گیاهی از ۳۴۳۸۰ کیلومتر مربع به ۳۴۲۰۰ کیلومتر مربع کاهش یافته است. این موضوع با پژوهش داروند و همکاران (۱۳۹۹) هماهنگی دارد [۵]. واکاوی تغییرات فضایی آبی نمایه NDVI نیز بیانگر این است که ارتفاعات کرکس تا مارشنان تا سال ۲۰۳۰ با شرایط بحرانی روبرو خواهند شد. احتمالاً این تغییرات تحت تأثیر تغییرات اقلیمی کوتاه مدت تا میان مدت می‌باشد. محور دیگری که تا سال ۲۰۳۰ دچار تغییرات بحرانی نمایه NDVI می‌گردد مربوط به اراضی بین کاشان تا اردستان است که این مورد نیز با پژوهش گنجعلی و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت دارد [۱۲]؛ این تغییرات عمدتاً تحت تأثیر فعالیت‌های آنتروپوژنیک و دخالت‌های انسان می‌باشد.

## References

- [1]. Abbaszadeh Tehrani, N., & Saberi, N., (2013). Evaluation of the pattern of seasonal changes in land cover by remote sensing data analysis. The 3<sup>rd</sup> environmental planning and management, Tehran, Tehran University. [in Farsi]
- [2]. Ardö, J., Tagesson, T., Jamali, S., Khatir, A., (2017). MODIS EVI-based net primary production in the Sahel 2000–2014, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 65, 35-45. doi: 10.1016/j.jag.2017.10.002
- [3]. Areffian, A., Kiani Sadr, M., Eslamian, S., & Khoshfetrat, A. (2021). Monitoring the effects of drought on vegetation in mountainous areas using MODIS satellite images (Case study: Lorestan province). *Environmental Sciences Studies*, 5(4), 3183-3189. [in Farsi]
- [4]. Darvishzadeh, A., & Mohamadi, M. (2010). *Geology of Iran*, Tehran: Payame Noor University Press. [in Farsi]
- [5]. Darvand, S., Khosravi, H., Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., (2021). Investigating the trend of NDVI changes derived from MODIS sensor imagery (Case study: Isfahan Province). *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1(2), 69-79.
- [6]. Darwish, T., & Faour, G. (2008). Rangeland degradation in two watersheds of Lebanon. *Lebanese Science Journal*, 9, 71-80.
- [7]. Department of Applied Meteorological Research (2019). *Disclosure of climatic changes in Isfahan province*, Meteorological Department of Isfahan Province. [in Farsi]
- [8]. Depew, J. J. (2005). *Habitat selection and movement patterns of cattle and white-tailed deer in a temperate savanna*. Master's thesis, University of Texas A&M.
- [9]. Falahatkar, S., Saberfar, R., & Kia, S. H. (2018). Analysis of vegetation indices changes in sensors of landsat satellite (Case

شمال، مرکز و شرق که قلمرو دشت‌های هموار (پلایا، کفه‌های رسی و گلی) است، مشاهده می‌شود. واکاوی تغییرات نمایه NDVI در طبقات ارتفاعی، عمدتاً نشان از روند افزایشی این نمایه در تبعیت از مؤلفه توپوگرافی دارد. افت قابل توجه NDVI در ارتفاع ۱۴۰۰ متری که خاستگاه دشت‌سرهای میانی است، نمودی آشکار دارد. در لندفرم کوهستان (عمدتاً ارتفاع بالاتر از ۱۴۰۰ متر) مقادیر NDVI افزایش می‌یابد. در عین حال، شیب بیشتر از ۶۵ درجه (اراضی سنگلاخی و صخره‌ای مرتفع) به عنوان عامل محدودکننده پوشش گیاهی سبب افت آشکاری در مقادیر NDVI شده است.

وضعیت نمایه پوشش گیاهی در لندفرم‌های مستخرج از TPI نشان داد که افزایش TPI با افزایش پوشش گیاهی همراه بوده است. بدین ترتیب، بیشینه میانگین NDVI در واحد برآمدگی‌ها، کوه‌ها و ارتفاعات و کمینه آن در واحد دشت‌های هموار مشاهده می‌شود. به بیان دیگر، پیوند مستقیم و آشکاری میان ارتفاع و تراکم پوشش گیاهی در قلمرو مطالعاتی وجود دارد. در این بین، این نمایه پوشش گیاهی تنها در دشت‌سر میانی روندی



- study: Persian Juniper fields of East Golestan National Park and Ghorkhod protected area). *Natural Ecosystems of Iran*, 9(1), 71-90. [in Farsi]
- [10]. Fang, X., Zhu, Q., Ren, L., Chen, H., Wang, K., & Peng, C. (2018). Large-scale detection of vegetation dynamics and their potential drivers using MODIS images and BFAST: A case study in Quebec, Canada. *Remote Sensing of Environment*, 206, 391-402.
- [11]. Firouzi, F., Tavosi, T., & Mahmoudi, P., (2019). Investigating the sensitivity of NDVI and EVI vegetation indices to dry and wet years in arid and semi-arid regions (Case study: Sistan plain, Iran). *Geographical Data (SEPEHR)*, 28(110), 163-179. doi: 10.22131/sepehr.2019.36621 [in Farsi]
- [12]. Ganjali, J., Halabian, A. H., Karam, A., & Hajehforoshnia, S. (2022). Investigation of soil salinity changes related to landforms of desert areas in the northern Isfahan province. *Quantitative Geomorphological Research*, 11(3), 220-253. [in Farsi]
- [13]. Ghanbari Motlagh, M., & Amraei, B. (2020). Detecting the spatiotemporal relationship of vegetation changes with climatic elements in Mazandaran Province. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(2), 37-55. doi: 10.22126/ges.2020.5031.2193 [in Farsi]
- [14]. Guisan, A., Weiss, S. B., & Weiss, A. D., (1999). GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*, 143, 107-122.
- [15]. Hamidian, A. R., Shekari Badi, A., & Amir Ahmadi, A. (2016). Evaluation of the role of form and geomorphological processes of Karkas heights in the distribution of human settlements. *Arid Regions Geographic Studies*, 26(7), 23-38. [in Farsi]
- [16]. Horn, B. K. (1981). Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, 69(1), 14-47.
- [17]. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X. & Ferreira, L. G. (2002). *Remote sensing for natural resources management and environmental monitoring: manual of remote sensing*, 3 Ed., University of Arizona.
- [18]. Jenness, J. (2006). *Topographic Position Index (tpi\_jen.avx) Extension for ArcView 3.x, v. 1.3a*. Jenness Enterprises.
- [19]. Kavosi, M., & Frarajzadeh, M., (2015). The evaluation of vegetation variations trend using linear regression methods and change vector analysis. *Geography and Environmental Planning*, 25(4), 69-82. [in Farsi]
- [20]. Lyon, J. G., Yuan, D., Lunetta, R. S., & Elvidge, C. D. (1998). A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64, 143-150.
- [21]. Magee T. K., Ringold, P. L., & Bollman M. A. (2008). Alien species importance in native vegetation along wadeable streams, John Day River Basin, Oregon, USA. *Plant Ecology*, 195(2), 287-307. doi: 10.1007/s11258-007-9330-9
- [22]. Mirahsani, M. S., Salman Mahiny, A., Soffianian, A., Mohamadi, J., Modarres, R., Modares, R., & Pourmanafi, S. (2019). Evaluation of Trend in Vegetation Variations using Time Series Images and Mann-Kendall test over Gavkhuni Basin. *Journal of Environmental Studies*, 45(1), 99-114. doi: 10.22059/jes.2019.260567.1007699
- [23]. Mohammadyari, F., Pourkhabaz, H. R., Tavakoli, M., & Aghdar, H., (2015). Mapping vegetation and monitoring its changes using remote sensing and GIS techniques (Case study: Behbahancity). *Geographical Data (SEPEHR)*, 23(92), 23-34. doi: 10.22131/sepehr.2015.13504 [in Farsi]
- [24]. Nateghi, S., Nohegar, A., Ehsani, A. H., & Bazrafshan, O., (2018). Evaluating the vegetation changes upon vegetation index by using remote sensing. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(4), 778-790. doi: 10.22092/ijrdr.2017.114889 [in Farsi]
- [25]. Nikpour, N., Negaresh, H., Fotoohi, S., Hosseini, S. Z., & Bahrami, S. (2019). Monitoring the trend of vegetation index (NDVI) changes, one of the most important indicators of land degradation (in Ilam province). *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(4), 21-48.
- [26]. Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to

- assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(9), 503-510. doi: 10.1016/j.tree.2005.05.011
- [27]. Pordel, F., Ebrahimi, A., & Azizi, Z. (2017). Evaluating of the most suitable vegetation indices of estimating of canopy cover and above-ground phytomass in arid rangelands during different growth periods. *Journal of Arid Biome*, 7(2), 57-71. doi: 10.29252/aridbiom.7.2.57 [in Farsi]
- [28]. Rawat, J. S., Biswas, V., & Kumar, M. (2013). Changes in land use/cover using geospatial techniques: a case study of Ramnagar town area, district Nainital, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(1), 111-117. doi: 10.1016/j.ejrs.2013.04.002
- [29]. Reu, J. D., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., Smedt, P.D., Chu, W., Antrop, M., Maeyer, P.D., Finke, P., Meirvenne, M.V., Verniers, J., & Crombé, P. (2013). Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. *Geomorphology*, 186, 39-49. doi: 10.1016/j.geomorph.2012.12.015
- [30]. Takaku, J., Tadono, T., & Tsutsui, K., (2014). Generation of high-resolution global DSM from ALOS PRISM, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS Technical Commission IV Symposium. China.
- [31]. Vanderpost, C., Ringrose, S., Matheson, W., & Arntzen, J. (2011). Satellite based long-term assessment of rangeland condition in semi-arid areas: An example from Botswana. *Journal of Arid Environments*, 75(4), 383-389. doi: 10.1016/j.jaridenv.2010.11.002
- [32]. Vaogen, T. G. (2006). Remote sensing of complex land use change trajectories: a case study from the highlands of Madagascar, agriculture, *Ecosystems and Environment*, 115(1-4), 219-228. doi: 10.1016/j.agee.2006.01.007
- [33]. Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, R., & Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 106-115. doi: 10.1016/j.rse.2009.08.014
- [34]. Weiss, A. (2001). Topographic Position and landforms Analysis. Poster presentation, ESRI user Conference, San Diego, C.A.
- [35]. Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (2000). *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley.
- [36]. Yorks, T. P., West, N. E., & Capels, K. M. (1992). Vegetation differences in desert shrublands of western Utah's pine valley between 1933 and 1989. *Journal of Range Management*, 45, 569-578.
- [37]. Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Hodges, J. C. F., Gao, F., Reed, B. C., & Huete, A. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84(3), 471-475. doi: 10.1016/S0034-4257(02)00135-9

## **Analysis of vegetation changes related to desert landforms in the northern Isfahan province (Research Paper)**

1- Jafar Ganjali, Faculty member, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2- Amirhossein Halabian\*, Associate professor, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran.

am\_halabian@pnu.ac.ir

3- Amir Karam, Associate professor, Physical Geography Department, Kharazmi University, Tehran, Iran.

4- Shila Hajehforoshnia, Assistant Professor, Department of Natural Resources Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 17 Apr. 2023

Accepted: 09 Sep. 2023

### **Abstract**

This research aims to analyze vegetation changes in desert landforms in the northern region of Isfahan province using Landsat images 5 and 8, specifically TM5 and OLI-TIRS sensors, from 1987 to 2020. For this purpose, 200 images were extracted during the 27 warm months, from June 1 to the end of August. After performing the necessary pre-processing on the images that cover the study region, the landforms were classified using the Topographic Position Index (TPI). Subsequently, the NDVI index was analyzed. The results showed that the pattern of vegetation changes from mountainous areas to lowlands is downward. The analysis of the vegetation index on different landforms, as extracted from the TPI, revealed that the unit of mountains and heights exhibited the highest values, while flat plains such as playas, mud, and clay pans had the lowest values. In general, NDVI values have a decreasing trend from mountain landforms to playas, mud, and clay pans. A significant decrease in NDVI is evident at an altitude of 1400 m (middle pediments). NDVI values increase in mountainous landforms (elevations above 1400 m). On slopes greater than 65° (high stony and rocky lands), the decreasing trend of NDVI has intensified. The NDVI index illustrates four phases of change. The fourth phase, which spanned from 2014 to 2020, exhibited a decreasing trend. During this period, the area covered by this index decreased from 34,380 km<sup>2</sup> to 34,200 km<sup>2</sup>. The spatial changes of the NDVI index in 2030 indicate that the elevations from Karkas to Marshenan and the areas between Kashan and Ardestan will experience critical conditions. This issue requires the special attention of relevant officials and executives in this field.

**Keywords:** NDVI index, TPI index, Physiographic factors, Landform.