

بررسی خطر وقوع بیابان‌زایی با استفاده از شاخص‌های طیفی در محدوده‌ی پیرامونی دریاچه ارومیه

شهرام روستائی - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.

داود مختاری - استاد گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.

فاطمه خدائی قشلاق* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۵/۰۳

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی وقوع بیابان‌زایی در محدوده‌ی پیرامون دریاچه‌ی ارومیه انجام شده است. بدین منظور در ابتدا، تصاویر ماهواره‌ی سنتینل-۲ با استفاده از نرم‌افزار QGIS مورد پیش پردازش قرار گرفته و پس از انجام تصحیحات اتمسفری، اقدام به استخراج شاخص‌های طیفی نشانگر بیابان‌زایی (پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، آبدوی سطحی، میزان نمناکی (Wetness)، ضریب روشنایی (Brightness)، میزان سبزیگی (Greenness) شد. پس از استخراج شاخص‌های طیفی مذکور و در جهت شناسایی مناسب‌ترین زوج شاخص‌های طیفی، میزان همبستگی و رابطه‌ی رگرسیونی موجود بین شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از تحلیل‌های آماری صورت پذیرفته در نرم‌افزار SPSS(22) بررسی شد. بر طبق نتایج حاصل، میزان همبستگی برای زوج شاخص (میزان سبزیگی - ضریب روشنایی) برابر با ۴/۹- و برای زوج شاخص (میزان نمناکی - ضریب روشنایی) برابر با ۳۳/۰+ می‌باشد. در مرحله‌ی بعد نقشه‌ی خطر بیابان‌زایی بر اساس دو زوج شاخص مذکور تهیه و با استفاده از الگوریتم Jenks Natural Break در محیط نرم‌افزار ARC-GIS 10.6 در پنج کلاس خطر شدید، نسبتاً شدید، متوسط، ضعیف و بدون خطر بیابان‌زایی، طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که ۹/۸۹ درصد از کل مساحت محدوده‌ی مورد مطالعه در کلاس خطر شدید، ۳۰/۶۰ درصد در کلاس خطر نسبتاً شدید، ۳۷/۴۸ درصد در کلاس خطر متوسط، ۱۲/۴۲ درصد در کلاس خطر ضعیف و ۹/۶۱ درصد در کلاس خطر بدون بیابان‌زایی قرار دارد. نتایج به دست آمده با استفاده از مشاهدات میدانی و ماتریس خطا (Confusion Matrix using Ground truth ROI) ارزیابی و با کسب ضریب کاپا ۰/۹۵ و درجه‌ی صحت ۹۰/۵۱ درصد مورد صحت-سنجی قرار گرفت.

واژگان کلیدی: بیابان‌زایی، سنتینل-۲، تبدیل تسلدکپ (TCT)، ماتریس خطا.

مقدمه

بیابان‌زایی عبارت است از به هم خوردن تعادل میان خاک، پوشش گیاهی، هوا و آب در مناطق دارای اقلیم خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب. آسیب پذیری خاک در برابر فرسایش آبی و بادی، فروکش کردن و پسروی سفره‌های آب، باتلاقی و شور شدن اراضی آبی، اختلال در بازسازی طبیعی پوشش گیاهی و تخریب شیمیایی خاک، از نتایج بدیهی بیابان‌زایی است (کاساس^۱، ۱۹۹۹، ص ۹۵۲).

بیابان‌زایی همچنین به عنوان تخریب اراضی در نواحی خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب منتج از عوامل مختلف همانند متغیرهای اقلیمی و فعالیت‌های انسانی تعریف می‌شود (گیانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۷، ص ۱). در این راستا پدیده‌ی تخریب اراضی نیز به عنوان کاهش و یا از بین رفتن بهره‌وری بیولوژیکی و اقتصادی در مزارع، مراتع و نواحی جنگلی بیان می‌شود (هوآنگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۶، ص ۳۰۹، تسونیکاوا^۴، ۲۰۰۵، ۱۸۶). در مقیاس جهانی، اراضی بیابانی ۳۶ میلیون کیلومتر مربع معادل ۴۲ درصد از اراضی سطح زمین را شامل شده و یک ششم از کل جمعیت جهان که غالباً در فقر به سر می‌برند را متأثر می‌سازد (میدلتون و توماس^۵، ۱۹۹۷، ص ۲۸۰) بنابراین بیابان‌زایی یک تهدید جدی اکولوژیکی، محیطی، اجتماعی- اقتصادی برای جهان امروز است و نیاز مبرمی برای ایجاد یک روش معقول و تجدیدپذیر برای ارزیابی و نظارت بر آن در مقیاس‌های مختلف وجود دارد (لامچین^۶، ۲۰۱۵، ص ۱).

حوضه‌ی آبریز ارومیه به دلیل وجود پیکره آبی دریاچه‌ی ارومیه و شماری از تالاب‌های اقماری آن که اکثراً از اهمیت بین‌المللی برخوردارند، در سطح ملی، یک زیست بوم بسیار با ارزش است. اما متأسفانه عدم شناخت مناسب از کارکردهای این زیست‌بوم ارزشمند، توسعه روز افزون فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری از منابع پایه و زیستی به همراه بروز برخی پدیده‌های طبیعی به ویژه خشکسالی‌های متوالی در سال‌های اخیر منجر به تخریب بخش‌هایی از این زیستگاه ارزشمند و ظهور چهره‌ی بیابانی در برخی از نواحی آن شده است. از این رو و با توجه به اهمیت اکولوژیکی و اکوسیستمی این محدوده، بررسی وقوع پدیده‌ی بیابان‌زایی در آن ضروری است. بنابراین، هدف پژوهش حاضر شامل: ۱- بررسی وقوع پدیده‌ی بیابان‌زایی در محدوده‌ی پیرامونی دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی، آلدو، تسلدکپ ۲- شناسایی یک رابطه‌ی پیکسل پایه در بین شاخص‌های مختلف بیوفیزیکی (تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده، میزان سبزیگی، میزان رطوبت، آلدوی سطحی، درجه‌ی روشنایی) و شناسایی زوج شاخص‌های طیفی معرف وضعیت بیابان‌زایی با توجه به بالاترین میزان همبستگی منفی موجود بین آن‌ها است. لازم به ذکر است که پژوهش حاضر یکی از نخستین مطالعاتی است که رویکردهای سنجش از دوری را برای بررسی بیابان‌زایی در محدوده‌ی مورد مطالعه به کار گرفته است.

مبانی نظری

در طی سه دهه گذشته، تکنیک‌ها و داده‌های سنجش از دوری به طور گسترده در نظارت و ارزیابی اکوسیستم‌ها و مخاطرات طبیعی همانند بیابان‌زایی مورد استفاده پژوهشگران این عرصه قرار گرفته است (گوآنگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۷، ص ۱۲۵). بر پایه نظرسنجی‌ها و داده‌های تجربی، شاخص‌های خاصی برای نظارت و ارزیابی بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه خشک بسط یافته و نقشه‌ی خطر بیابان‌زایی، با استفاده از تصاویر سنجش از دوری و روش‌های رایج طبقه‌بندی همانند تحلیل‌های

1. Kassas

2. Qiang Guo

3. Huang, S

4. Tsunekawa, A

5. Middleton, N., Thomas, D.S.G.

6. Lamchin, M.

7. Guang, Y

ترکیبی طیفی^۱ و یا شاخص‌های طیفی^۲ تهیه می‌گردد (افراسینی^۳ و همکاران، ۲۰۱۷، صص ۸-۴). برخی از مطالعات شاخص‌های تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده، آلبدو، تسلدکپ را برای استخراج نقشه بیابان‌زایی بر اساس همبستگی منفی موجود مابین آن‌ها به کار گرفته‌اند (اتمان لمکادم و همکاران، ۲۰۱۸، ص ۲). از جمله از این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

لی^۴ (۲۰۰۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷، سنجنده TM و نرم‌افزار ARCGIS و با بررسی شاخص پوشش گیاهی، به ارزیابی تغییرات بیابان‌زایی در شهرستان فاکو^۵ واقع در استان لیائونینگ^۶ کشور چین پرداخته است. بر طبق نتایج حاصل، از سال (۲۰۰۱-۱۹۹۵م.) وقوع پدیده بیابان‌زایی در محدوده مورد مطالعه دارای روند صعودی بوده است. پن^۷ و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ سنجنده TM به بررسی کاربرد تکنیک‌ها و داده‌های سنجش از دوری در استخراج نقشه خطر بیابان‌زایی در حوضه آبریز رودخانه هابه^۸ واقع در غرب کشور چین پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از تکنیک تحلیل زوج شاخص طیفی^۹ آلبدو و پوشش گیاهی، نقشه شدت بیابان‌زایی استخراج گردیده است. نتایج تحقیق نشان داد که روش به کار گرفته شده با نسبت درستی ۹۳ درصد و دارا بودن ویژگی‌هایی همانند سادگی، دسترسی آسان و دقت بالا از کارآمدترین روش‌ها برای استخراج نقشه بیابان‌زایی است. توماس^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی نوسانات شاخص پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل چند زمانی همانند آشکارسازی تغییرات، به ارزیابی روند بیابان‌زایی و تخریب اراضی و با هدف بررسی کارایی داده‌های سنجنده آوه‌ار^{۱۱} ماهواره نوا^{۱۲} در مقایسه با سایر سنجنده‌ها همانند سنجنده‌های مودیس^{۱۳} و اسپات^{۱۴} پرداخته‌اند. بر طبق نتایج حاصل، سنجنده آوه‌ار در بررسی روند پدیده بیابان‌زایی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی دارای کارایی بهتری است. رسیوبثریل^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ سنجنده TM و شاخص‌های پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده^{۱۶}، شاخص خاک‌های لخت^{۱۷} و آلبدو^{۱۸} و روش تجزیه و تحلیل برداری^{۱۹} به بررسی روند بیابان‌زایی در بازه زمانی ۱۹۹۳-۲۰۱۱ در بخش مرکزی فلات مکزیک پرداخته و اقدام به تهیه نقشه درجه بیابان‌زایی در بخش مرکزی فلات مکزیک نموده‌اند. بر طبق نتایج به دست آمده ۲/۷ درصد از آن، فاقد نشانه‌های وقوع پدیده بیابان‌زایی می‌باشد. ۵/۵ درصد در کلاس بسیار شدید، ۱۰/۹ درصد در کلاس شدید، ۱۸/۹ درصد در کلاس متوسط، ۱۳/۷ درصد در

1. Spectral mixture analysis (SMA)

2. Spectral indices

3. Afrasinei, G.M

4. Li CUI

5. Faku county

6. Liaoning Province

7. Pan Jinghu, Tianyu Li

8. Heihe River

9. Spectral mixture analysis

10. Thomas. P

11. AVHRR

12. NOAA

13. MODIS

14. SPOT

15. Rocio Becerril-Piña

16. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

17. Bare Soil Index (BSI),

18. Albedo

19. change vector analysis (CVA)

کلاس پایین قرار می‌گیرد. لیانگ گیانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۲ به بررسی خطر بیابان‌زایی و شناسایی مهمترین فاکتورهای مولد آن در آسیای مرکزی (۱۹۹۲-۲۰۱۲) پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که عوامل اقلیمی همانند کاهش بارندگی، افزایش دما و خشکسالی مهمترین عوامل وقوع بیابان‌زایی به ویژه در اراضی دارای کاربری مرتع و جنگل است. این در حالی است که عوامل انسانی همانند اکتشافات نفت و گاز در جنوب فلات اوست یورت^۳ و رهاسازی اراضی کشاورزی در نواحی شمالی قزاقستان، نقش عوامل ماشه‌ای را در وقوع بیابان‌زایی دارند. دوانیانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از اصول شناسایی مناطق حساس محیطی^۵ و شرایط طبیعی بیابان‌زایی، شاخص حساسیت به بیابان‌زایی^۶ را از سال‌های (۲۰۱۰-۱۹۸۱م.) برای شناسایی الگوی مناطق حساس به بیابان‌زایی و همچنین آشکارسازی تحول و توسعه آن‌ها تحت سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی از سال ۲۰۱۱-۲۰۳۰ محاسبه نموده‌اند. آن‌ها از یک مجموعه پایگاه داده شش متغیره شامل متغیر اقلیمی (بارندگی و دما)، خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی، آمارهای اجتماعی و اقتصادی، برای مدل‌سازی روند آتی بیابان‌زایی در محدوده‌ی مورد مطالعه خود استفاده کرده‌اند. بر طبق نتایج حاصل، مناطق با شدت متوسط و پایین به خطر بیابان‌زایی (۶۱/۹۳ درصد از کل مساحت) در نواحی شمال چین قرار دارند. رحیمی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی تحت عنوان "بررسی کاربردهای سنجش از دور در ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی" به بررسی کارایی و مزایای فناوری‌های مبتنی بر اطلاعات مکانی (ژئوانفورماتیک) به ویژه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم موقعیت‌یاب جهانی در بررسی پدیده‌ی بیابان‌زایی پرداخته‌اند. بر طبق نتایج به دست آمده توسط ایشان، مزایایی همانند چند طیفی بودن، گستره‌ی وسیع دید، رقومی بودن، افزایش روز افزون توان تفکیک طیفی، سهل الوصول بودن داده‌های سنجش از دوری، سبب ایجاد رویکرد جدیدی در مطالعات مربوط به ارزیابی و پایش بیابان‌زایی گردیده است. کوه بنانی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از رویکرد فازی به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها در ارزیابی برخی معیارهای مهم در تخریب سرزمین و بیابان‌زایی به مطالعه پدیده‌ی مذکور در دیهوک طبس پرداخته و با استفاده از منطق فازی^۷ و اپراتور گاما^۸، نقشه‌ی نهایی شدت بیابان‌زایی را در مقیاس صفر تا یک ارائه نموده‌اند. بر طبق نتایج حاصل، ۱۴/۵ درصد از عرصه‌ی مورد مطالعه در شدت بالای تخریب و ۳/۵ درصد هم در شدت خیلی زیاد قرار دارد. داوری و همکاران (۱۳۹۷) به پایش تغییرات زمانی- مکانی شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی مناطق خشک جنوب خراسان رضوی با استفاده از مدل IMDPA^۹ پرداخته‌اند. داده‌های اولیه پژوهش مذکور شامل پارامترهای اقلیمی، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، آب‌های زیرزمینی و سطحی، کشاورزی و اطلاعات اقتصادی- اجتماعی است. نتایج تحقیق نشان داده است که مساحت مناطق واقع در دو کلاس متوسط و شدید به ترتیب به مقدار ۲۲ و ۷۷ درصد از کل مساحت محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد.

روش تحقیق

محدوده‌ی مورد مطالعه

1. Liangliang Jiang,

2. analytical hierarchy process

3. Southern Ustyurt Plateau

4. Duanyang Xu

5. Environmental Sensitive Areas(ESA)

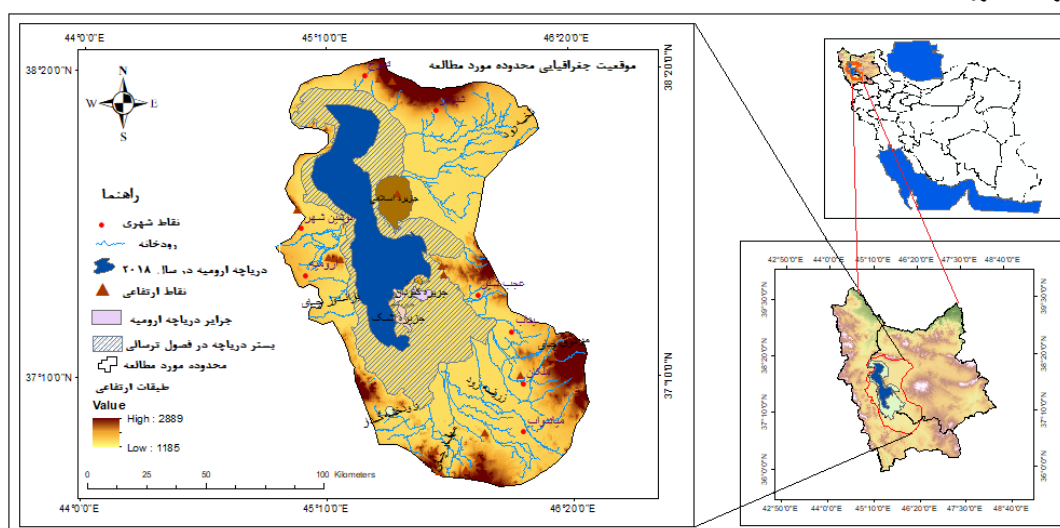
6. Land Desertification Sensitivity Index (LDSI)

7. Fuzzy Logic

8. Gama Operator

9. Iranian Model of Desertification Potential Assessment

محدوده‌ی مورد مطالعه، بخشی از حوضه‌ی آبریز ارومیه با مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی، دارای مساحتی معادل ۱۴۳۹۵ کیلومتر مربع است. پیوستگاه کوهستان به دشت مشخص‌کننده مرزهای محدوده‌ی مورد مطالعه است. دریاچه‌ی ارومیه، مهم‌ترین پیکره آبی محدوده‌ی مورد مطالعه است. در حالی که دامنه‌های جنوبی رشته کوه میشو داغ مشخص‌کننده‌ی مرز شمالی محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد در سمت شرق آن، رشته‌کوه‌هایی با روند شمالی - جنوبی واقع شده‌اند که به دشت‌های آبرفتی و پست سواحل شرقی دریاچه‌ی ارومیه محدود می‌گردند. رودخانه‌های آجی‌چای، قلعه‌چای، صوفی‌چای، بهنق چای، مردوق چای، مردی‌چای، چرچر، رودخانه‌ی گدار، باراندوز چای، شهرچای، قره‌قبی، ازبک‌چای و نازلو چای، زربنه‌رود، سیمینه‌رود و مهابادچای، شاخص‌ترین رودخانه‌های محدوده‌ی مورد مطالعه هستند. شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه

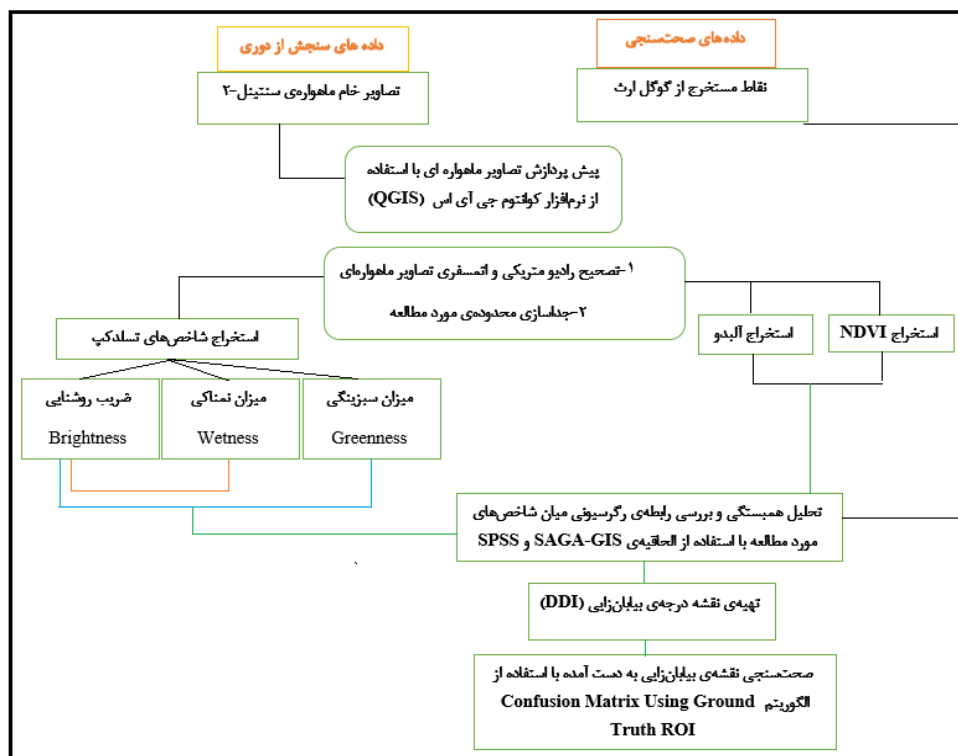
پژوهش حاضر با استفاده از روش تحلیل روابط موجود بین شاخص‌های طیفی بیوفیزیکی و وقوع خطر بیابان‌زایی صورت پذیرفته است. هدف از به‌کارگیری این روش، انتخاب بهترین ترکیب از شاخص‌های طیفی است که دارای بالاترین همبستگی منفی باشد. این روش می‌تواند به سه مرحله تقسیم بندی شود: ۱- پیش پردازش و استخراج شاخص‌های طیفی ۲- آموزش و تحلیل همبستگی ۳- توسعه و اجرای نشانگر خاص برای استخراج درجات مختلف بیابان‌زایی در محدوده مورد مطالعه. بدین منظور در ابتدا، هفت فریم تصاویر ماهواره‌ی سنتینل ۲ (Level-1C) برای تهیه نقشه درجه‌ی بیابان‌زایی در محدوده‌ی مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر مذکور متعلق به ماه جولای سال ۲۰۱۸ م. می‌باشد زیرا که در این ماه از سال پوشش گیاهی طبیعی و فصلی در حداقل میزان خود است و از سوی دیگر تمام محصولات زراعی نیز مورد برداشت قرار می‌گیرند (اتمان لمکادم^۱ و همکاران، ۲۰۱۸، ص ۴). سنسور S2 MSI دارای سیزده کانال باند طیفی که با قدرت تفکیک ۱۰ متر، ۲۰ متر، ۶۰ متر با پوشش تقریبی ۱۰۰ در ۱۰۰ کیلومتری و دوره چرخش ۱۰ روزه است. سیزده باند مذکور در برگیرنده طول موج‌های ۴۴۰ نانومتر تا ۲۲۰۰ نانومتر است. نرم‌افزار کوانتوم جی اس^۲ جهت پیش پردازش و پردازش تصاویر مذکور استفاده شده است. در ادامه، نرم افزار ArcGIS 10.3 و نرم‌افزار سگا- جی آی

۱. Atman Ait Lamqadem

۲. Sentinel-2 multispectral instrument

۳. QGIS

آس^۱ و SPSS(22) برای تحلیل‌های آماری رگرسیونی بین باندها و ارائه نتایج، مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲ نشان-دهنده فلوچارت روش انجام مراحل تحقیق در پژوهش حاضر است.



شکل ۲: فلوچارت روش انجام مراحل تحقیق

استخراج شاخص‌های طیفی

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال سازی شده (NDVI): شاخص مذکور یکی از روش‌های متداول برای استخراج پوشش گیاهی است (ماهارا^۲ و همکاران، ۲۰۱۳، ص ۴. مسعودی و همکاران، ۲۰۱۷، ص ۱۱۳۵). محاسبه (NDVI) بر پایه‌ی بازتاب قرمز و مادون قرمز خاک است. ارزش (NDVI) بین ۱- (بدنه‌های آبی و برف) و ۱+ (مناطق دارای پوشش گیاهی بسیار متراکم) تغییر پیدا کرده و بر طبق رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - R}{\text{NIR} + R} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

R و NIR به ترتیب باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تصاویر سنیتل-۲ هستند.

آلبدو^۳: آلبدو نسبتی از تشعشع تابیده شده خورشیدی است که به سطح زمین برخورد کرده و بازتابیده می‌شود (خیرخواه و همکاران، ۱۳۹۱). آلبدو و میزان آن وابسته به نوع عارضه‌ی زمینی، جنس و میزان جذب تشعشع خورشیدی از سوی اجسام واقع بر روی زمین است (تاسومی^۴، ۲۰۰۳، ص ۲۵). پهنای باند آلبدو برای داده‌های سنیتل-۲ با استفاده از فرمول لینگوس^۵ (رابطه‌ی ۲) استخراج می‌گردد. فرمول مذکور همچنین برای استخراج آلبدوی سطح زمین در سنسورهای چند طیفی سنیتل-۲ در مطالعات گوناگون به کار گرفته می‌شود (نژلی^۶ و همکاران، ۲۰۱۷، ص ۸).

۱. SAGA-GIS

۱. Maharana

۲. Albedo

۳. Tasumi

۴. Liang's formula

۵. Naegeli, K & Damm, A.;

رابطه‌ی (۲)

$$\text{Albedo } (\alpha) = [(0.356 \times b_2) + (0.130 \times b_4) + (0.373 \times b_8) + (0.85 \times b_{11}) + (0.072 \times b_{12}) - 0.018] / 1.016$$

تبدیلات تسلدکپ

تبدیلات تسلدکپ تصاویر اصلی را با استفاده از مادون قرمز نزدیک و دامنه‌های قابل مشاهده به باندهای مرتبط تبدیل می‌نماید. تبدیل تسلدکپ از زمین، تصاویر چند طیفی را پوشش می‌دهد که شامل سه شاخص و یا سه ویژگی موضوعی: درجه‌ی روشنایی^۱، میزان سبزی‌نگی^۲ و میزان رطوبت^۳ است. درجه‌ی روشنایی نشان دهنده خاک‌های روشن با اراضی بایر و عدم وجود پوشش گیاهی؛ میزان سبزی‌نگی، نشان دهنده انواع مختلف و میزان‌های مختلف از تراکم پوشش گیاهی می‌باشد. میزان رطوبت منطبق بر میزان رطوبت خاک است. تبدیلات تسلدکپ به مجموعه‌ای از ضرائب برای وزن‌دار ساختن تصاویر چند طیفی نیاز دارد که جمع این ضرائب سبب شکل‌گیری یک خروجی با وزن جدید می‌گردد. جدول ۱ نشان دهنده ضرائب تبدیل استفاده شده در مطالعه‌ی حاضر برای استخراج تسلدکپ از تصاویر چند طیفی سنتینل-۲ در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱: ضرائب باندهای سیزده گانه سنتینل-۲ برای محاسبه تسلدکپ (منبع: اتمان و همکاران، ۲۰۱۸)

Features	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
Brightness	۰/۰۳۵۶	۰/۰۸۲۲	۰/۱۳۶۰	۰/۲۶۱۱	۰/۲۹۶۴	۰/۳۳۳۸	۰/۳۸۷۷
Greenness	-۰/۰۳۶۵	-۰/۱۱۲۸	-۰/۱۶۸۰	-۰/۳۴۸۰	-۰/۳۳۰۳	۰/۰۸۵۲	۰/۳۳۰۲
Wetness	۰/۰۶۴۹	۰/۱۳۶۳	۰/۲۸۲۰	۰/۳۰۷۲	۰/۵۲۸۸	۰/۱۳۷۹	-۰/۰۰۰۱

Feature	باند ۸	باند ۸ (A)	باند ۹	باند ۱۰	باند ۱۱	باند ۱۲
Brightness	۰/۴۷۵۰	۰/۳۸۹۵	۰/۹۴۹	۰/۰۰۰۹	۰/۳۸۸۲	۰/۱۳۶۶
Greenness	۰/۳۶۲۵	۰/۳۱۶۵	۰/۰۴۶۷	-۰/۰۰۰۹	-۰/۴۵۷۸	-۰/۴۰۶۴
Wetness	-۰/۱۳۸۹	-۰/۰۸۰۷	-۰/۰۳۰۲	۰/۰۰۰۳	-۰/۴۰۶۴	-۰/۵۶۰۲

تهیه نقشه بیابان‌زایی

استفاده از ویژگی‌های طیفی اراضی یکی از تکنیک‌های اصلی برای استخراج نقشه‌ی بیابان‌زایی است. برخی از پژوهش‌ها با استفاده از رابطه‌ی رگرسیونی میان پوشش گیاهی و میزان آلودگی سطحی، نقشه‌ی بیابان‌زایی را کسب کرده‌اند. آلودگی سطحی با کاهش پوشش گیاهی افزایش پیدا می‌کند و تغییر در میزان آلودگی بر توازن و تعادل انرژی بازتابی زمین و دمای سطح زمین اثر می‌گذارد از این‌رو است که تبدیل تسلدکپ در بسیاری از نواحی خشک در جهت طبقه‌بندی آماری بیابان‌زایی از طریق رابطه‌ی موجود بین ضریب روشنایی و سبزی‌نگی به کار گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر، تحلیل‌های همبستگی مابین پوشش گیاهی و آلودگی (اولین زوج شاخص طیفی)، سبزی‌نگی و ضریب روشنایی (دومین زوج شاخص طیفی) و میزان نمناکی و ضریب روشنایی (سومین زوج شاخص طیفی) در جهت شناسایی زوج شاخص‌های طیفی با همبستگی منفی بالاتر به کار گرفته شد. تحلیل همبستگی پیرسون و سپس رابطه‌ی رگرسیونی خطی بر اساس معادله (۵) صورت پذیرفت.

$$Y = ax + b$$

رابطه (۳)

¹ . Brightness (TCB)

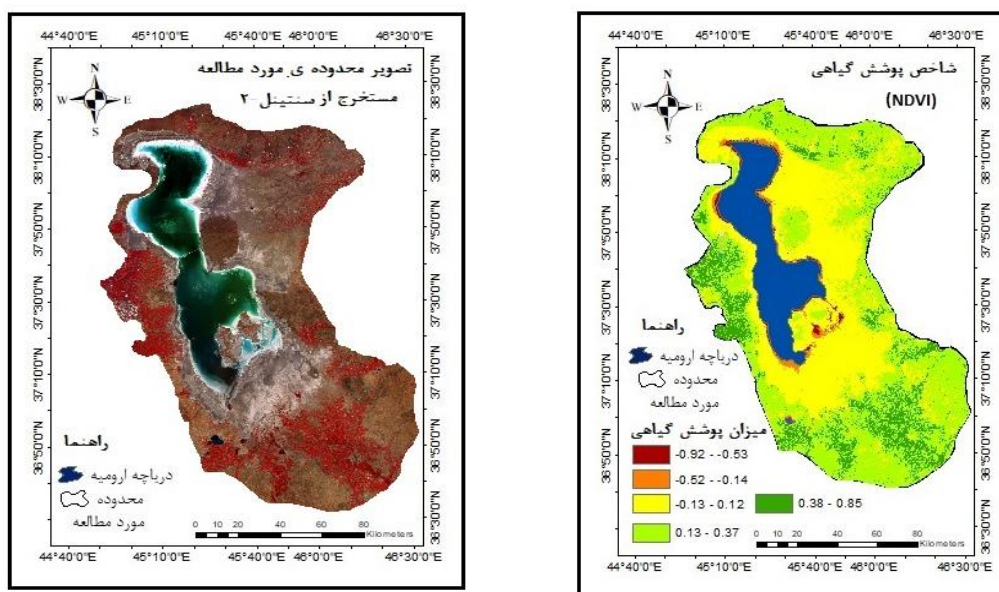
² . Greenness (TCG)

³ . wetness (TCW)

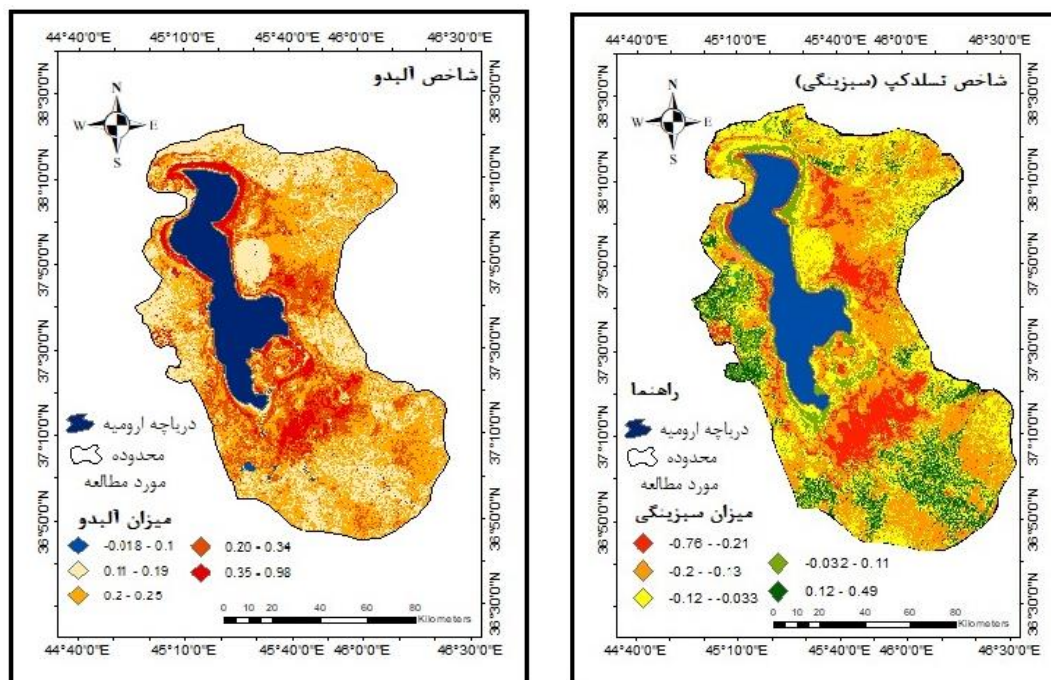
در این معادله X متغیر مستقل و Y متغیر وابسته است بنابراین و با توجه به ماهیت شاخص‌های طیفی مورد مطالعه، در پژوهش حاضر، آلبدو و شاخص ضریب روشنایی، متغیرهای وابسته و پوشش گیاهی، میزان سبزیگی و میزان نمناکی متغیرهای مستقل هستند. ارزش پیکسل‌ها برای هر باند از شاخص‌های طیفی (پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، ضریب روشنایی، میزان نمناکی، سبزیگی و آلبدو) استخراج و محاسبه شد.

بحث و یافته‌ها

پس از استخراج هر یک از شاخص‌های طیفی اقدام به بررسی و تحلیل آن‌ها شد. میزان بالای شاخص NDVI و میزان سبزیگی مرتبط با نقاطی همانند مخروط‌افکنه‌های واقع در پای دامنه‌های میشوداغ است که غالباً دارای پوشش گیاهی مطلوب و کاربری اراضی باغی و مرتعی می‌باشد؛ در حالی که میزان پایین شاخص‌های مذکور مربوط به نواحی همانند پهنه‌های آبی (دریاچه ارومیه) می‌باشد. میزان آلبدوی در محدوده‌ی مورد مطالعه بین 0.01 تا 0.09 قرار گرفته است. مقادیر پایین شاخص آلبدوی مرتبط به نواحی پوشیده از پوشش گیاهی و بدنه‌های آبی است. مقادیر بالای آلبدو و میزان روشنایی مربوط به خاک‌های روشن است. میزان نمناکی دربردارنده اطلاعاتی در خصوص رطوبت خاک بوده و مقدار آن بین 0.06 تا 0.08 می‌باشد و مقادیر بالای میزان نمناکی مربوط به بدنه‌های آبی، مناطق دارای پوشش گیاهی و اراضی مرطوب اطراف دریاچه ارومیه است در حالی که مقادیر پایین آن مربوط به خاک‌های دارای بافت روشن، اراضی فاقد پوشش گیاهی، اراضی و نمکزارهای حاصل از پستروی دریاچه‌ی ارومیه و خاک‌های فقیر از مواد آلی می‌باشد. اشکال ۳ تا ۸ نشان‌دهنده‌ی شاخص‌های طیفی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ی سنتینل-۲ است.

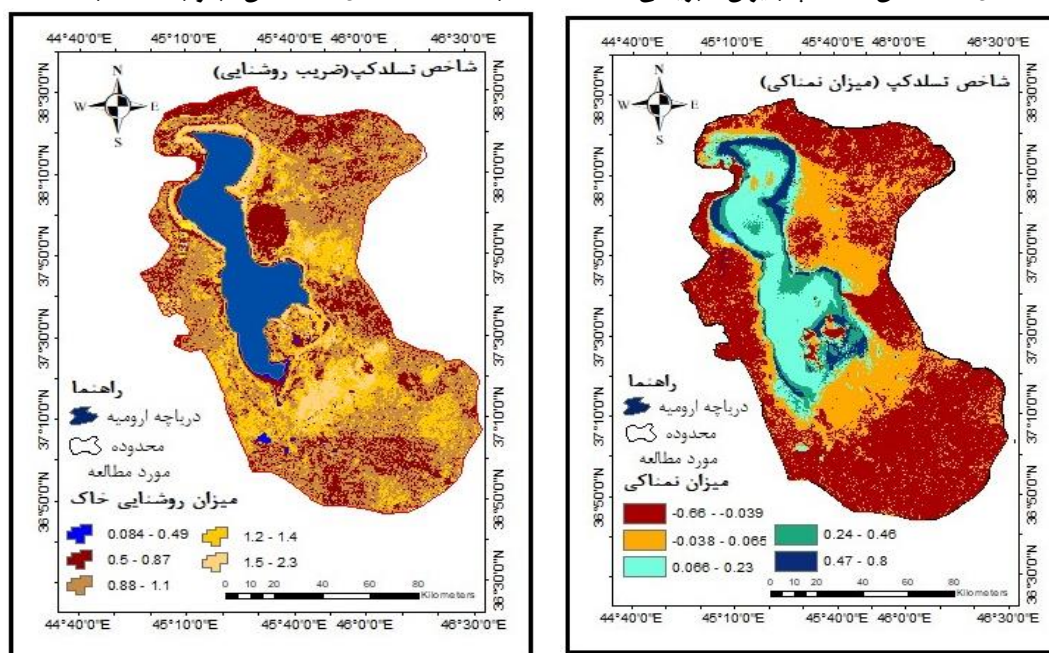


شکل ۳: پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) شکل ۴: محدوده‌ی مورد مطالعه مستخرج از تصاویر سنتینل-۲



شکل ۶: شاخص آلبدو (Albedo)

شکل ۵: شاخص تسلكپ (میزان سبزینگی - Greenness)



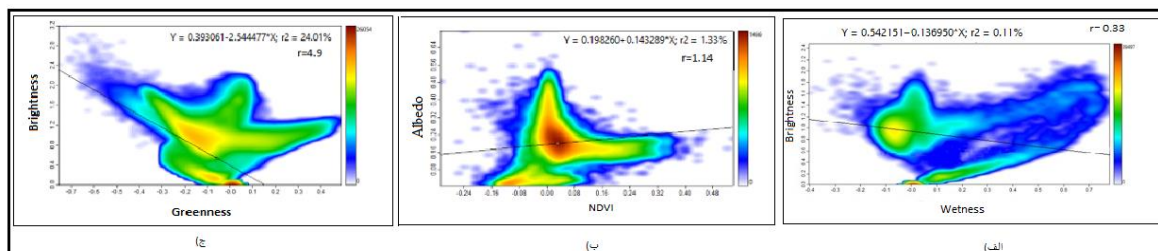
شکل ۸: شاخص تسلكپ (ضرب نمایی - Brightness)

شکل ۷: شاخص تسلكپ (میزان نمایی - wetness)

تحلیل همبستگی و رابطه‌ی رگرسیون خطی میان شاخص‌های طیفی مورد مطالعه:

هدف از برقراری رابطه‌ی رگرسیون خطی انتخاب مناسب‌ترین زوج شاخص‌های طیفی دارای همبستگی منفی است. زیرا زوج شاخص طیفی دارای همبستگی منفی قابلیت بهتری در به تصویر کشیدن انواع مختلف پوشش اراضی دارد (اتمان لمکادم و همکاران، ۲۰۱۸، ص ۸). برای بررسی رابطه‌ی رگرسیون موجود بین زوج شاخص‌های طیفی از الحاقیه‌ی ساگا -

جی آی آس استفاده شد و نمودار پراکنش (Scatterplots) زوج شاخص‌ها به همراه نقاط تعلیمی برداشت شده از گوگل ارث تهیه شد. تحلیل‌ها نشان از وجود یک رابطه‌ی همبستگی منفی قوی مابین زوج شاخص طیفی میزان نمناکی و ضریب روشنایی ($r^2 = -0.33$) (شکل ۹-الف) و زوج شاخص طیفی ضریب روشنایی - میزان سبزی‌نگی ($r^2 = -0.49$) (شکل ۹-ج) دارد. شاخص میزان نمناکی با بافت و میزان رطوبت خاک ارتباط دارد و می‌تواند اطلاعات زیادی در مورد انواع مختلف خاک ارائه دهد. این نتایج نشان می‌دهد که میزان شاخص‌های نمناکی (رطوبت خاک) و میزان سبزی‌نگی با افزایش روند بیابان‌زایی کاهش می‌یابد در حالی که میزان شاخص ضریب روشنایی روند افزایشی پیدا می‌کند.



شکل ۹: نمودار همبستگی میان زوج شاخص‌های طیفی قبل از نرمال‌سازی در محیط الحاقیه‌ی SAGA-GIS

در مرحله‌ی بعد و با توجه به نتایج حاصل از بررسی همبستگی موجود بین زوج شاخص‌های طیفی اقدا به تهیه نقشه خطر بیابان‌زایی در محدوده‌ی مورد مطالعه شد. بدین منظور، در ابتدا اقدام به نرمال‌سازی دو زوج شاخص طیفی (میزان نمناکی - ضریب روشنایی) و (میزان سبزی‌نگی - ضریب روشنایی) بر طبق روابط (۴) تا (۶) و در نظر گرفتن بیشینه و کمینه دو زوج شاخص طیفی شد (ما^۱ و همکاران، ۲۰۱۳، ص ۲۰۲۹. بچر^۲ و همکاران، ۲۰۱۶، ص ۱۰).

جدول ۲: روابط موجود برای نرمال‌سازی شاخص‌های طیفی (لمکادم و همکاران، ۲۰۱۸، ص ۹)

$$TCW_{normalized} = (TCW - TCW_{min}) / (TCW_{min} + TCW_{max}) \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

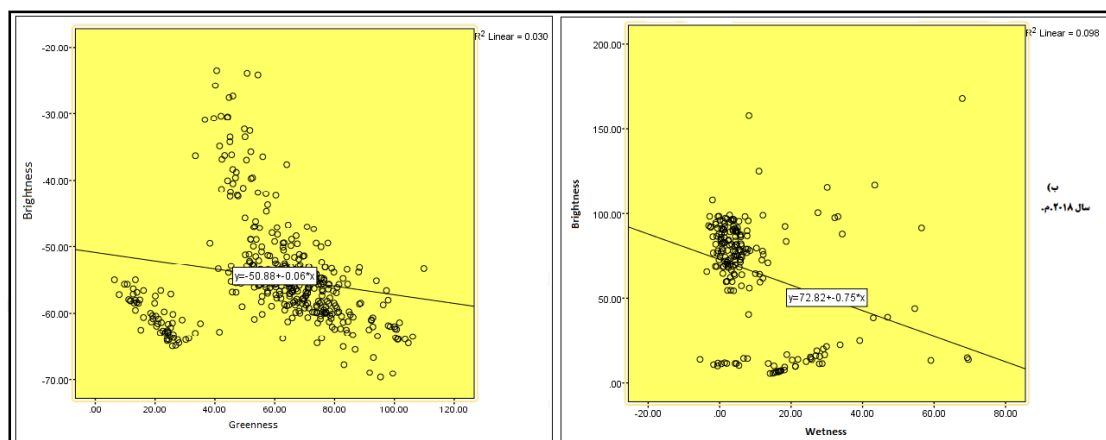
$$TCB_{normalized} = (TCB - TCB_{min}) / (TCB_{min} + TCB_{max}) \times 100 \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$TCG_{normalized} = (TCG - TCG_{min}) / (TCG_{min} + TCG_{max}) \times 100 \quad \text{رابطه (۶)}$$

بر طبق نتایج حاصل از برقراری رابطه‌ی رگرسیونی میان زوج‌ها در نرم‌افزار SPSS-22، زوج شاخص طیفی میزان نمناکی - ضریب روشنایی پس از نرمال‌سازی دارای مقدار ضریب همبستگی ($r^2 = -0.30$) و ضریب تعیین ($r^2 = 0.098$) و زوج شاخص میزان سبزی‌نگی - ضریب روشنایی دارای ضریب همبستگی ($r^2 = -0.17$) و ضریب تعیین ($r^2 = -0.30$) می‌باشد. بنابراین و با توجه به همبستگی بسیار نزدیک به دست آمده برای هر دو زوج شاخص طیفی نقشه‌ی بیابان‌زایی محدوده‌ی مورد مطالعه بایستی بر اساس دو زوج شاخص مذکور و با توجه به فرمول‌های مورد استفاده در مطالعات پیشین (جدول ۳) به دست آید. شکل (۱۰) نمودارهای مربوط به رابطه‌ی رگرسیونی زوج شاخص‌های طیفی پس از نرمال‌سازی را نشان می‌دهد. شکل (۱۱) نشان‌دهنده خطر وقوع بیابان‌زایی بر اساس دو زوج شاخص طیفی مذکور می‌باشد.

^۱ . Ma, Z.; Xie, Y.; Jiao, J.; Li, L.; Wang, X.

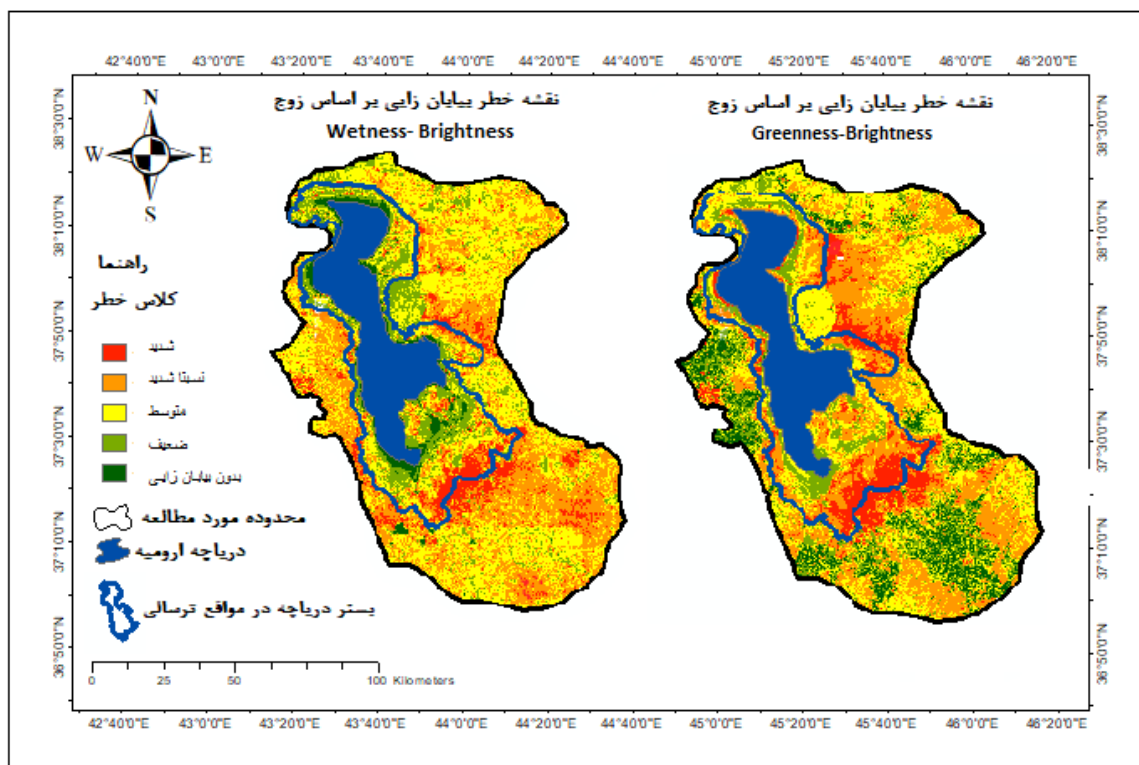
^۲ . Becerril-Piña, R.; Díaz-Delgado, C.; Mastachi-Loza, C.A.; González-Sosa, E.



شکل ۱۰: نمودارهای مربوط به رابطه‌ی رگرسیونی زوج شاخص‌های طیفی پس از نرمال‌سازی

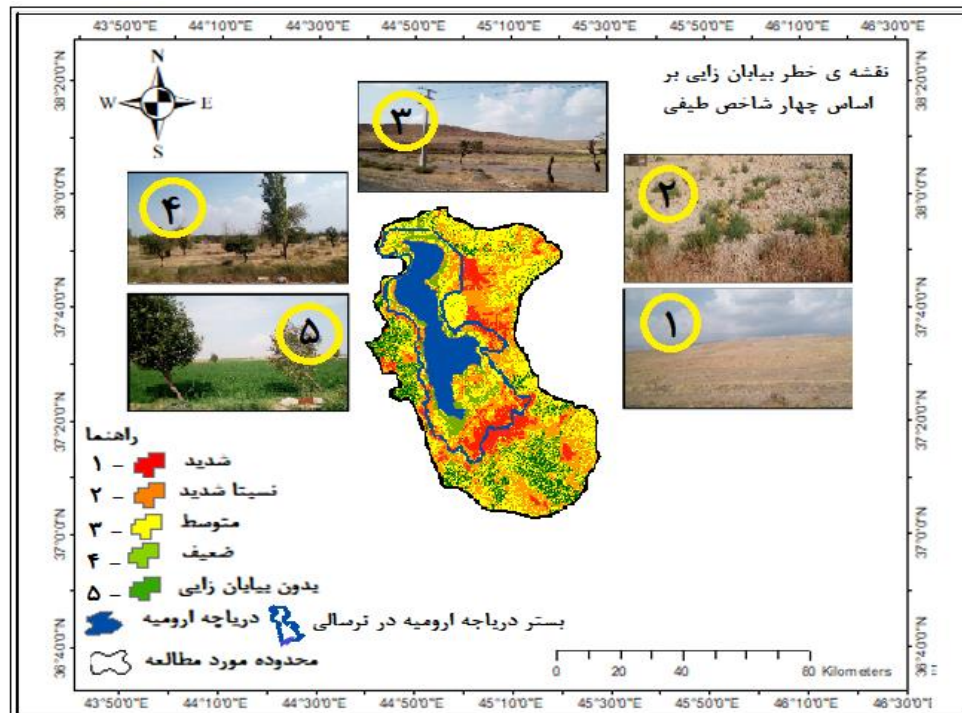
جدول ۳: فرمول‌ها و شاخص‌های مورد استفاده در تهیه‌ی نقشه‌ی بیابان‌زایی

ردیف	فرمول	شاخص‌های مورد استفاده
رابطه (۸)	$DDI = a \times TCW - TCB$	TCW: نقشه‌ی میزان رطوبت استخراج شده TCB: نقشه‌ی ضریب روشنایی a: شیب حاصل از برقراری رابطه‌ی خطی که در پژوهش حاضر برابر است با $1/33 = 0.0303$ می‌باشد.
رابطه (۹)	$DDI = a \times TCG - TCB$	TCG = نقشه‌ی میزان سبزی‌نگی TCB = نقشه‌ی ضریب روشنایی a: شیب حاصل از برقراری رابطه‌ی خطی که در پژوهش حاضر برابر است با $16/66 = 0.2424$ می‌باشد.

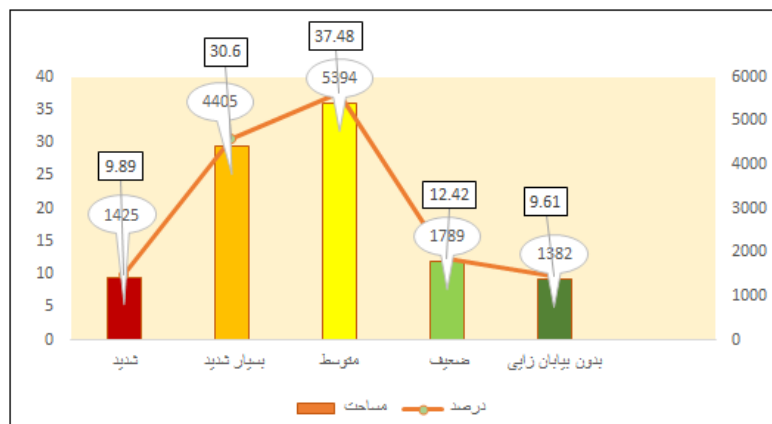


شکل ۱۱: نقشه‌ی بیابان‌زایی به دست آمده از به کارگیری هر یک از زوج شاخص‌های طیفی

پس از تهیه‌ی نقشه‌ی درجه‌ی خطر بیابان‌زایی بر اساس دو زوج شاخص طیفی Greenness- Brightness و Wetness-Brightness، با استفاده از تابع Over layer در نرم‌افزار ArcGIS 10.6 نقشه‌ی تلفیقی بیابان‌زایی در محدوده‌ی مورد مطالعه به دست آمد (شکل ۱۲). نقشه‌ی مذکور با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی Jenks Natural Break Algorithm در ۵ کلاس بدون خطر بیابان‌زایی، ضعیف، متوسط، شدید، نسبتاً شدید طبقه‌بندی شد. بر طبق نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری صورت پذیرفته (شکل ۱۳) ۹/۸۹ درصد از کل مساحت محدوده‌ی مورد مطالعه در کلاس خطر شدید قرار می‌گیرد که شامل بخش‌های واقع در جنوب‌شرق، شرق و شمال‌شرق و جنوب دریاچه‌ی ارومیه است. بر طبق نقشه‌ی خاک‌شناسی منتشر شده از سوی موسسه تحقیقات آب و خاک (۱۳۴۲)، این محدوده شامل اراضی دارای خاک‌های باتلاقی شور می‌باشد. به دلیل استفاده از زوج شاخص طیفی میزان نمناکی- ضریب روشنایی، بدنه‌های آبی موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه نظیر پهنه فعلی دریاچه ارومیه، نواحی شمالی و شمال‌غربی محدوده‌ی مورد مطالعه به دلیل حضور مخروط‌افکنه‌های متعدد، اراضی مرطوب و نواحی مرتفع اطراف دریاچه‌ی ارومیه در کلاس خطر ضعیف قرار گرفته و مساحتی معادل ۱۲/۴۲ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. این نواحی در رده خاک‌های اینسپتی- سول‌ها و خاک‌های شور و قلیایی است که در طول سال و یا در بیشتر ماه‌های سال دارای رطوبت زیادی است. بخش‌هایی از این کلاس نیز در بردارنده خاک‌های مربوط به دشت‌ها و مراتع و زیر رده خاک‌های رسوبی شور است (کردوانی، ۱۳۸۲، صص ۳۰۶-۳۰۸). این در حالی است که کلاس خطر نسبتاً شدید دربرگیرنده اراضی است که دارای خاک‌های روشن ولی رطوبت بیشتری نسبت به اراضی مجاور خود بوده و ۳۰/۶۰ درصد از کل مساحت منطقه را در بر می‌گیرد. کلاس خطر متوسط که ۳۷/۴۸ درصد محدوده‌ی مورد مطالعه را در بر می‌گیرد غالباً شامل اراضی دارای پوشش گیاهی پراکنده، اراضی نسبتاً مرطوب حاشیه برخی از رودخانه‌ها و جز خاک‌های لیتوسلی دارای آهک می‌باشد.



شکل ۱۲: خطر وقوع بیابان‌زایی در محدوده‌ی پیرامون دریاچه‌ی ارومیه



شکل ۱۳: نمودار مساحت و درصد مساحت کلاس‌های خطر بیابان‌زایی

صحت‌سنجی نقشه بیابان‌زایی

برای ارزیابی صحت نقشه‌ی بیابان‌زایی استخراج شده، در ابتدا اقدام به طبقه‌بندی محدوده‌ی مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم بیشترین درجه شباهت^۱ شد. در این راستا، ۱۴۶ نقطه به طور تصادفی در محیط گوگل ارث اخذ شد. این نقاط پوشش دهنده تمام وسعت محدوده‌ی مورد مطالعه با پوشش اراضی مختلف شامل اراضی مرطوب کنار دریاچه‌ی ارومیه، اراضی دارای پوشش گیاهی پراکنده، نمکزارهای حاصل از پسروری دریاچه، خاک‌های تیره و روشن و پهنه‌ی آبی دریاچه ارومیه) است. الگوریتم بیشترین درجه شباهت، معروف‌ترین و پرکاربردترین روش طبقه‌بندی بر اساس قوانین احتمالات است که احتمال تعلق گرفتن هر یاخته به یک خوشه را اندازه‌گیری می‌کند. خوشه‌ای که بالاترین احتمال را نشان می‌دهد، باعث می‌شود که یاخته به آن خوشه تعلق گیرد (سلطانیان، ۱۳۹۷، صص ۲۳۵-۲۳۸). در مرحله بعدی نقشه‌ی طبقه‌بندی

¹ Maximum Likelihood

به دست از روش مذکور با استفاده از Confusion Matrix using Ground truth ROIS مورد بررسی قرار گرفت. بر طبق نتایج، درجه‌ی صحت نتایج برابر با ۹۰/۵۱ درصد و ضریب کاپا برابر با ۰/۹۵ می‌باشد. جدول (۴ تا ۶) نشان‌دهنده نتایج حاصل از به کار گیری الگوریتم مذکور است.

جدول ۴: نقاط کنترل زمینی برداشت شده از گوگل ارث (پیکسل)

کلاس	بدون بیابان-زایی	ضعیف	متوسط	نسبتا شدید	شدید	جمع
بدون بیابانزایی	۱۵	۰	۰	۰	۰	۱۵
ضعیف	۰	۳۵	۳	۰	۰	۳۸
متوسط	۰	۱	۴۱	۰	۲	۴۴
نسبتا شدید	۰	۰	۰	۲۰	۳	۲۳
شدید	۱	۰	۰	۳	۲۲	۲۶
جمع	۱۶	۳۶	۴۴	۲۳	۲۷	۱۴۶

جدول ۵: نقاط کنترل زمینی برداشت شده از گوگل ارث (درصد)

کلاس	بدون بیابان-زایی	ضعیف	متوسط	نسبتا شدید	شدید	جمع
بدون بیابانزایی	۹۳/۷۵	۰	۰	۰	۰	۱۰/۲۷
ضعیف	۰	۹۶/۵۵	۰	۰	۰	۲۰/۰۱
متوسط	۰	۳/۴۵	۹۳/۱۸	۰	۱۰	۳۰/۱۴
نسبتا شدید	۰	۰	۰	۸۹/۹۶	۱۳/۳۳	۱۵/۷۵
شدید	۶/۲۵	۰	۶/۸۲	۱۳/۰۴	۷۶/۶۷	۱۷/۸۱
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۶: نتایج صحت‌سنجی نقشه بیابانزایی

کلاس	Commission (percent)	Omission (percent)	Commission (pixels)	Omission (pixels)
بدون بیابانزایی	۰	۶/۲۵	۰/۱۵	۱/۱۶
ضعیف	۷/۸۹	۲/۷۷	۳/۳۸	۱/۳۶
متوسط	۶/۸۱	۶/۸۱	۳/۴۴	۳/۴۳
نسبتا شدید	۱۳/۰۴	۱۳/۰۴	۳/۲۳	۳/۲۳
شدید	۱۵/۳۸	۱۸/۵۱	۴/۲۶	۵/۲۷
کلاس	Pro Acc (percent)	User Acc (percent)	Pro Acc (Pixels)	User Acc (Pixels)
بدون بیابانزایی	۹۳/۷۵	۱۰۰	۱۵/۱۶	۱۵/۱۵
ضعیف	۹۷/۲۲	۹۲/۱۰	۳۵/۳۶	۳۵/۳۸
متوسط	۹۳/۱۸	۹۳/۱۸	۴۱/۴۴	۴۱/۴۴
نسبتا شدید	۸۶/۹۵	۸۶/۹۵	۲۰/۲۳	۲۰/۲۳
شدید	۸۱/۴۸	۸۴/۶۱	۲۲/۲۷	۲۲/۲۶

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی فرآیند بیابان‌زایی بر پایه‌ی تحلیل روابط آماری موجود در میان زوج شاخص‌های طیفی نشانگر فرآیند بیابان‌زایی نظیر پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده- آلبدوی سطحی، میزان نمناکی- ضریب روشنایی، میزان سبزی‌نگی- ضریب روشنایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ صورت پذیرفته و نتایج زیر به دست آمد: الف: تحلیل آماری روابط همبستگی و برقراری رابطه‌ی رگرسیون خطی در بین سه زوج شاخص طیفی مورد استفاده نشان داد که، ضریب همبستگی برای زوج شاخص میزان سبزی‌نگی - ضریب روشنایی برابر با $(-۴/۹)$ و برای زوج میزان نمناکی - ضریب روشنایی برابر با $(-۰/۳۳)$ است. به دلیل همبستگی نزدیک کسب شده برای شاخص‌های مذکور نقشه‌ی درجه‌خطر بیابان‌زایی بر اساس دو زوج مذکور تهیه و با استفاده از الگوریتم Confusion Matrix using Ground truth ROI مورد صحت سنجی قرار گرفت. ضریب کاپای کسب شده برای نقشه‌ی به دست آمده برابر با $۰/۹۵$ و درجه‌ی صحت به دست آمده برابر با $۹۰/۵۱$ درصد می‌باشد. ب) نقشه‌ی بیابان‌زایی به دست آمده در ۵ کلاس بدون خطر بیابان‌زایی، ضعیف، متوسط، نسبتاً شدید و شدید طبقه‌بندی شد. از کل $۱۴۳۵۰/۸۱$ کیلومتر مربع مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه، ۱۴۲۵ کیلومتر مربع ($۹/۸۹$ درصد) در کلاس خطر بیابان‌زایی شدید، ۴۴۰۵ کیلومتر مربع ($۳۰/۶۰$ درصد) در کلاس خطر بیابان‌زایی نسبتاً شدید، ۵۳۹۴ کیلومتر مربع ($۳۷/۴۸$ درصد) در کلاس خطر متوسط، ۱۷۸۹ کیلومتر مربع ($۱۲/۴۲$ درصد) در کلاس خطر ضعیف و ۱۳۸۲ کیلومتر مربع ($۹/۶۱$ درصد) در کلاس خطر بدون بیابان‌زایی قرار دارد. پ) محدوده‌ی مورد مطالعه دارای سه گروه عمده خاک شامل اریدی سل، اینسپتی سل، آتی سل (نقشه‌ی خاک‌شناسی منتشر شده از سوی موسسه تحقیقات آب و خاک ایران) می‌باشد. از این رو خاک‌هایی نظیر خاک‌های سیزورم، خاک‌های شور و قلیایی (سدیومی)، لیتوسل آهکی متشکل از لایه‌های مارنی و گچی، خاک‌های آبرفتی و ریگوسل در محدوده‌ی مورد مطالعه دارای تظاهرات فراوانی است. این گروه از خاک‌ها غالباً، خاک‌های ضعیف و تکامل نیافته، فاقد افق‌های مشخص و دارای هوموس ضعیف بوده و در برابر فرآیند فرسایش آبی و بادی شکننده هستند. مناطق واقع در جنوب، جنوب شرق، شرق، شمال‌شرق، در زمره مناطق واقع در کلاس شدید و نسبتاً شدید خطر بیابان‌زایی هستند. بر طبق بررسی‌های میدانی، این نواحی دارای ویژگی‌هایی همانند؛ فقدان پوشش گیاهی مؤثر، ظهور شکوفه‌های نمکی در سطح زمین، کمبود رطوبت خاک و در نتیجه وجود خاک‌های خشک و مستعد فرسایش بادی هستند. در مقابل مناطقی که دارای میزان قابل توجهی پوشش گیاهی، خاک‌های مرطوب همراه با حضور پیکره‌های آبی نظیر دریاچه‌ی ارومیه و یا سد آبی واقع در جنوب غرب دریاچه، مناطق واقع در شمال غرب، جز مناطق واقع در کلاس خطر ضعیف و یا بدون خطر بیابان‌زایی هستند. حضور لندفرم‌هایی نظیر شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ها در پای دامنه‌های جنوبی میشو داغ با داشتن خاک‌های نسبتاً مرغوب و قابل کشت دلیلی بر صحت نتیجه به دست آمده از قرارگیری مناطق مذکور در کلاس خطر ضعیف و یا بدون خطر بیابان‌زایی است. کلاس خطر متوسط بیابان‌زایی اغلب مناطق شهری و در معرض دستکاری انسان است. ج) با توجه به مطالب فوق، هرگونه اقدام در جهت بهره‌برداری از اراضی واقع در محدوده‌ی مورد مطالعه، باید با احتیاط کامل و بر پایه اطلاعات و دانش کافی از شرایط این اراضی باشد. زیرا به وضوح و به کثرت رویت شده است که بهره‌برداران از زمین نظیر کشاورزان، با اقداماتی همانند آتش زدن باقی مانده و لاشه محصول خود سبب تسریع روند شوری و آسیب‌پذیری خاک می‌شوند.

منابع

- جهاد کشاورزی، انتشارات موسسه آب و خاک (۱۳۴۲)، نقشه خاکشناسی ایران، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰۰
- خیرخواه زرکش، میر مسعود؛ محبوبیان، عادل؛ حصاری، همایون، ۱۳۹۱، مقایسه‌ی مقادیر برآوردی آلبدوی سطحی به دست آمده از تصاویر لندست و مودیس، مجله‌ی کاربرد سنجش از دور و GIS، سال سوم، شماره‌ی ۳، صص.

- داوری، سرور؛ راشکی، علیرضا؛ اکبری، مرتضی؛ طالبان‌فرد، علی اصغر، ۱۳۹۷، پایش تغییرات زمانی – مکانی شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی مناطق خشک جنوب استان خراسان رضوی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال نهم، شماره ۲، ص ۱۷-۳۲.
- رحیمی، محمد؛ دماوندی، علی اکبر؛ جعفریان، وحید، ۱۳۹۲، بررسی کاربردهای سنجش از دور در ارزیابی و پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۲، شماره ۸۷، صص ۱۱۵-۱۲۸.
- سلطانیان، محمود؛ حلبیان، امیر حسین، ۱۳۹۷، کاربرد سنجش از دور در علوم محیطی (روش‌های پردازش تصویر در ENVI)، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان، اصفهان.
- کردوانی، پرویز، (۱۳۸۲)، جغرافیای خاک‌ها، تهران، چاپ هشتم، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، تهران.
- -کوه بنانی، حمید رضا؛ دشتی امیر آباد، جمال؛ نیکو، شیما؛ تایا، علی، ۱۳۹۶، پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی با استفاده از رویکرد منطق فازی (مطالعه‌ی موردی: دیهوک طبس)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال هفتم، دوره‌ی اول، شماره‌ی ۲۵، صص ۳۵-۴۹.
- Afrasinei, G. M. and Melis, M.T. and Buttau, C. and Arras, C. and Zerrim, A. and Guied, M. and Ouessar, M. Essifi, B. and Zaied, M.B and Jlali, A., 2017, Classification Methods for Detecting and Evaluating Changes in Desertification-Related Features in Arid and Semi- Arid Environments. *Euro-Mediterr. J. Environ. Integr.*, 2 (14), pp. 1-19
- Lamqadem, A.A. and Hafid, S. and Biswajeet, P., 2018, Quantitative Assessment of Desertification in an Arid, Oasis Using Remote Sensing Data and Spectral, *Remote Sens.*, 10 (1862), pp. 1-18.
- Becerril-Piña, R. and Díaz-Delgado, C. and Mastachi-Loza, C.A. and González-Sosa, E. 2016, Integration of remote sensing techniques for monitoring desertification in Mexico. *Hum. Ecol. Risk Assess: An International Journal.*, 22 (1323-1340), pp. 1-38
- Duanyang, X. and Xiaogang, Y. and Chunlin X., 2019, Assessing the spatial-temporal pattern and evolution of areas sensitive to land desertification in North China, *Ecological Indicators*, 97 (150-158).
- Guang, Y. Dong, C. and Xinlin, H. and Aihua, L. and Mingjie, Y. and Xiaolong ., 2017, Land use change characteristics affected by water saving practices in Manas River Basin, China using Landsat satellite images, *Int J Agric & Biol Eng*, 10 (6), pp. 123-133.
- Guodong, Z. and Hongmin, Z. and Changjing, W. and Huazhu, X. and Jindi, W. and Huawei, W., 2019, Time Series High-Resolution Land Surface Albedo estimation based on the Ensemble Kalman Filter Algorithm, *Remote Sens*, 11(753), pp. 1-24
- Huang, S. and Siegert, F., 2006, Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT vegetation imagery, *Journal of Arid Environments* 67 (), pp. 308-327
- Jackson, R.D. and Sherwood, B. I. and J. Otterman, 1975, Surface Albedo and desertification, *Science*, 189(4207), pp. 1012-1015
- Kassas, Mohamed., 1999, Rescuing drylands: a project for the world, *Futures*, 31(9), pp. 949-958.
- Lamchin, M. and Lee, J. Y and Lee, W. K and Lee, E. J and Kim, M. and Lim, C.H and Choi, H. A. and Kim, S.R., 2016, Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research*, 57(1), 64-77
- Li, C., 2008, research on monitoring the changes of desertification based on remote sensing, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7, pp. 1009-1012
- Liangliang, J., and Guli, J., and Anming, B. and Alishir, K. and Hao, G., and Guoxiong Z. Philippe De, M., 2019, Monitoring the long-term desertification process and assessing the relative roles of its drivers in Central Asia, *Ecological Indicators*, 104 (2019), pp. 195-208
- Ma, Z., Xie, Y., Jiao, J., li, L., Wang, X., The Construction and Application of an Aledo-NDVI Based Desertification Monitoring Model. *Procedia Environ. Sci.*, 10(part c) pp. 2029-2035
- Masoudi, M., Parviz, J., Biswajeet, P., 2017, A new approach for land degradation and desertification assessment using geospatial techniques, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18(), pp. 1133-1140
- Book Middleton, N., Thomas, D.S.G. *World Atlas of Desertification*. Arnold. pp. 182, 1997.

- Moharana, P.C., and Shalu, S., and Bhatt, R.K., 2013, NDVI based assessment of desertification in Jaisalmer district of Rajasthan in referenced to regional climate variability, Conference: XXXIII INCA International Congress, At Jodhpur, Volume: 33, pp. 1-9.
- Naegeli, K., Damm, A., Huss, M., and Wulf, H., and Schaepman, M., Hoelzle, M., 2017, Cross-comparison of albedo products for glacier surfaces derived from airborne and satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) optical data. *Remote Sens*, 9(2), pp. 1-22.
- Pan, J., and Tianyu L., 2013, Extracting desertification from Landsat TM imagery based on spectral mixture analysis and Albedo- Vegetation feature space, *Nat Hazards*, , pp.1-13.
- Qiang, G. and Bihong, F. and Pulong, S. and Cudahy, T. Jing, Z. Huan, X., 2017, Satellite Monitoring the Spatial-Temporal Dynamics of Desertification in Response to Climate Change and Human Activities across the Ordos Plateau, China, *Remote Sens*, 9(525), 2-20
- Journal: Tasumi, M., 2013, Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. *ProQuest Dissertations and Theses: Thesis (Ph.D.)-University of Idaho*, Source: *Dissertation Abstracts International*. Vol. 64-12, Section. B, p. 25
- P, Thomas. and Higginbottom, E. and Symeonakis, A., 2014, Assessing Land Degradation and Desertification Using, *Vegetation Index Data: Current Frameworks, and Future Directions*, *Remote Sens*, 6 (2072-4292), pp. 9552-9575.
- Tsunekawa, A., 2000, Methodologies of desertification monitoring and assessment. In: *Workshop of the Asia regional Thematic Programme Network on Desertification Monitoring and Assessment (TPNI) (provisional edition)*, 28–30 June 2000, UNU, Tokyo, Japan, pp. 44–55.