



Investigating the Sustainability of Vegetation Change Trends Using Remote Sensing (Case Study: Northern River Basin of Afghanistan)

Sayed Abdul Raof Mahmood¹ | Iman Rousta² | Ahmad Mazidi³

1. Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: sayedraoufm@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: irousta@yazd.ac.ir
3. Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: mazidi@yazd.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 11 Feb 2022

Received in revised form:
04 Mar 2022

Accepted: 05 Mar 2022

Available online: 28 May 2022

Keywords:

Drought,
Northern River Basin of
Afghanistan,
EVI,
LST,
VCI.

ABSTRACT

Drought is a phenomenon that occurs at different times unpredictably with different intensity and has severe effects on human society and ecosystems. In this study, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and PERSIANN Dynamic Infrared Rain Rate (PDIR Now) sensors were applied to examine the drought effects on vegetation in Northern River Basin of Afghanistan from 2001 to 2020. Therefore, MODIS data include Enhanced Vegetation Index (EVI), Vegetation Condition Index (VCI) with a time period of 16 days and a spatial resolution of 250 meters, Land Surface Temperature (LST) with spatial resolution of 1 km and period of 8 days, and monthly precipitation data with a resolution of (4*4) km. The relationship between drought and vegetation in spring was investigated using time series analysis, regression analysis and calculation of anomalies. The results showed that the average vegetation coverage in the whole statistical period was 45.21%. In this study, vegetation area in 2001, 2008 and 2011 have reached the lowest rate (9.9%, 9.9% and 19.3%), respectively. According to VCI, 83.5%, 81.39% and 74.9% of the basin in these years are under drought conditions, respectively. Rainfall data confirm that these years have had the lowest rainfall 96.7, 133 and 117 mm, respectively. The years 2003, 2009 and 2010 with the highest vegetation in this season were recorded mainly due to the lower LST and higher rainfall than their average period. The correlation between EVI and LST is ($r=-0.87$; $p<0.05$), EVI and Precipitation ($r=0.60$; $p<0.05$). However, in Northern River Basin of Afghanistan, LST and rainfall must be considered together to determine the relationship between drought and vegetation dynamics properly.

Cite this article: Mahmood, S. A. R., Rousta, I. & Mazidi, A. (2022). Investigating the Sustainability of Vegetation Change Trends Using Remote Sensing (Case Study: Northern River Basin of Afghanistan). *Geography and Environmental Sustainability*, 12 (2), 17-35. DOI: 10.22126/GES.2022.7416.2496



© The Author(s).

DOI: 10.22126/GES.2022.7416.2496

Publisher: Razi University

بررسی پایداری روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: حوضه آبریز شمالی افغانستان)

سیدعبدالروف محمود^۱ | ایمان روستا^۲ | احمد مزیدی^۳

۱. گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: sayedraoufm@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: iroosta@yazd.ac.ir

۳. گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: mazidi@yazd.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴ دسترسی آنلاین: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷ کلیدواژه‌ها: حوضه آبریز شمالی افغانستان، خشک‌سالی، EVI، LST، VCI	خشک‌سالی، پدیده‌ای است که در زمان‌های مختلف به‌صورت غیرقابل پیش‌بینی، با شدت متفاوت اتفاق می‌افتد و تأثیرات شدیدی بر جامعه بشری و اکوسیستم دارد. در این مطالعه از داده‌های مادیس (MODIS) و داده‌های بارش (PDIR Now) برای بررسی پایداری روند تغییرات پوشش گیاهی فصل بهار در حوضه آبریز شمالی افغانستان از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. داده‌های مادیس شامل شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) با دوره زمانی ۱۶ روز و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، تصاویر دمای سطح زمین (LST) با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر و دوره زمانی ۸ روزه، داده‌های بارش ماهانه با قدرت تفکیک (۴*۴) کیلومتر استفاده گردید. رابطه بین خشک‌سالی و پوشش گیاهی در فصل بهار با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی، تحلیل رگرسیون و محاسبه ناهنجاری‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین پوشش گیاهی در کل دوره آماری ۴۵/۲۱ درصد بوده است. در این پژوهش مساحت پوشش گیاهی در ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ به کمترین میزان ۹/۹، ۹/۹ و ۱۹/۳ درصد رسیده است. بر اساس شاخص VCI نیز در این سال‌ها به ترتیب ۸۳/۵، ۸۱/۳۹ و ۷۴/۹ درصد از حوضه تحت شرایط خشک‌سالی قرار داشته و داده‌های بارندگی نیز تأیید می‌کنند که این سال‌ها به ترتیب کمترین میزان بارندگی ۹۶/۷، ۱۳۳ و ۱۱۷ میلی‌متر داشته‌اند. ۲۰۰۳، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ با بیشترین پوشش گیاهی در این فصل به دلیل کمتر بودن LST و بارش بیشتر نسبت به میانگین دوره باعث سال‌های مرطوب شده‌اند. مشخص شد که همبستگی بین EVI و LST با $(P < 0.05; r = -0.87)$ و EVI با بارش $(P < 0.05; r = 0.60)$ است. با این حال، در حوضه آبریز شمالی افغانستان LST و بارش باید با هم در نظر گرفته شوند تا به‌درستی رابطه بین خشک‌سالی و پویایی پوشش گیاهی به دست آید.

استناد: محمود، سیدعبدالروف؛ روستا، ایمان؛ مزیدی، احمد (۱۴۰۱). بررسی پایداری روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: حوضه آبریز شمالی افغانستان). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۲ (۲)، ۱۷-۳۵. DOI: 10.22126/GES.2022.7416.2496



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

بررسی پایداری روند تغییرات پوشش گیاهی یکی از مهم ترین موضوعات مدیریت و کنترل پوشش گیاهی در راستای توسعه پایدار است. انواع درختان، بوته‌ها، علوفه و چمن و سبزی که در سطح زمین استقرار می‌یابد پوشش گیاهی گفته می‌شود. فقدان پوشش گیاهی در سطح زمین از عوامل عمده تخریب سطح خاک توسط باران و غیره می‌باشد (Peng et al., 2012). تغییرات در مساحت پوشش گیاهی عوامل مختلف دارد، از قبیل استفاده چوب درختان جنگل برای سوخت، فشار دام بر مراتع، آتش‌سوزی جنگل‌ها و خشک سالی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت، همه باعث کاهش در مساحت و از بین رفتن پوشش گیاهی می‌شود (محمود و همکاران، ۱۴۰۰). خشک سالی یک پدیده طبیعی رایج در همه اقلیم‌ها است که اثرات نامطلوب قابل توجهی بر زندگی انسان کشاورزی، زیست‌محیطی، هیدرولوژیکی و اجتماعی - اقتصادی، حیات‌وحش و جوامع گیاهی دارد (Rousta et al., 2020 a).

از دیدگاه هواشناسی، خشک سالی به سالی گفته می‌شود که بارندگی در آن کمتر از حد معمول باشد و منجر به تغییر موقت الگوی آب‌وهوایی گردد که مرحله اول خشک سالی است. مرحله دوم خشک سالی کشاورزی است که به مقدار آب موجود در خاک بستگی دارد. مرحله سوم، خشک سالی هیدرولوژیکی است؛ در صورتی که مرحله قبل ادامه پیدا کند و باعث کاهش سطح آب رودخانه‌ها و سایر منابع آبی می‌شود. مرحله آخر خشک سالی اقتصاد است که تأثیرات به جوامع و محیط‌زیست وارد می‌کند؛ بنابراین می‌توان گفت، بر اساس مجموعه عوامل زیست‌محیطی (Mansourmoghaddam et al., 2022) که تحت تأثیر قرار می‌گیرند، خشک سالی به انواع خشک سالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اجتماعی اقتصادی طبقه‌بندی می‌شود (Peters, 2003: 37; Tate & Gustard, 2000).

شاخص‌های خشک سالی سنجش‌ازدور برای پایش مکانی و زمانی شرایط خشک سالی مؤثر و مناسب هستند (AghaKouchak et al., 2015). شاخص‌های کنترل شدت، تأثیر و مدت زمان خشک سالی‌ها شامل شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI^۱)، دمای سطح زمین (LST^۲)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI^۳)، شاخص شرایط دما (TCI^۴) که شاخص‌ها مبتنی بر شاخص‌های خشک سالی سنجش‌ازدور است (Liu et al., 2020). نقش شاخص‌هایی همچون NDVI و EVI^۵ در پویایی پوشش گیاهی، نظارت بر خشک سالی و ارزیابی به طور مکرر در طی چند دهه گذشته شرح داده شده است (Wan et al., 2004; Olafsson & Rousta, 2021). شاخص EVI که بهبود یافته NDVI است با استفاده از داده‌های سنجنده مادیس تا حال محاسبه می‌شود. این داده‌ها سری زمانی مفیدی را برای نظارت بر پویایی پوشش گیاهی در سراسر جهان ایجاد کرده است (Ghafarian Malamiri et al., 2018). VCI برای نظارت بر پاسخ مقیاس وسیع پوشش گیاهی به خشک سالی توسط محققان بی‌شماری مناسب شناخته شده است و ارتباط آن با عملکرد محصول قوی می‌باشد (Salazar et al., 2008; Liu & Kogan, 1996). این شاخص‌ها عوامل آب‌وهوایی مانند تغییر در بارندگی را در نظر نمی‌گیرند؛ به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک که میزان بارندگی یک فاکتور غالب است (Martiny et al., 2006; Rousta et al., 2014). امروزه پایش خشک سالی و سیلاب نیز با استفاده از تصاویر بارش سنجش از دوری تولید شده توسط ماهواره‌ها به‌عنوان جایگزینی برای داده‌های هواشناسی انجام می‌شود (Almazroui, 2011; Rousta et al., 2018).

از آنجاکه در کشور افغانستان حدود ۸۰ درصد مردم برای درآمد خود به کشاورزی دیم و دامداری وابسته هستند که هر دو با افزایش دما و بارش‌های نامنظم تهدید می‌شوند (Snetkov, 2013)، اثرات تجمعی خشک سالی‌های مکرر و شدید بر روی مخازن و آب‌های زیرزمینی می‌تواند تأمین آب کل جوامع را در خشک ترین مناطق افغانستان تهدید

1- Normalized Difference Vegetation Index

2- Land Surface Temperature

3- Vegetation Condition Index

4- Temperature Condition Index

5- Enhanced Vegetation Index

کرده و منجر به طیف وسیعی از بحران‌ها از جمله بیماری‌ها، جابه‌جایی جمعیت و درگیری شود (عظیمی، ۱۳۹۵: ۱۳۹). افزایش دمای زمستان و بهار منجر به ذوب سریع تر برف شده و خطر طغیان سیل را افزایش می‌دهد. تأثیر سیلاب‌های مکرر و فزاینده در اثر خشک‌سالی باعث سفت‌وسخت شدن خاک و کاهش نفوذپذیری آن می‌شود (Savage et al., 2009).

در حالی که منطقه مورد مطالعه از جمله مناطق خشک است، میزان بارندگی در مناطق مختلف آن متفاوت است. افغانستان دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک و کاملاً قاره‌ای با نوسانات عمده درجه حرارت در روز و شب است (Flohn et al., 1969; Breckle, 2007). در بیشتر قسمت‌ها، پوشش گیاهی به بارش‌های زمستانی بستگی دارد، میزان بارندگی به سمت شمال یعنی حوضه آبریز شمالی و شرق افزایش می‌یابد و در نتیجه شرایط بهتری برای رشد پوشش گیاهی در این قسمت‌ها به وجود می‌آید (Rathjens, 1974; Shahriar Pervez et al., 2014).

تاکنون مطالعات بسیار کمی در مورد رابطه بین عوامل اقلیمی با خشک سالی و پویایی پوشش گیاهی در افغانستان، به ویژه از منظر حوضه آبخیز انجام شده است. از نظر پایداری اکولوژیکی حوضه آبریز شمالی افغانستان در معرض جنگل‌زدایی، بیابان‌زایی و فرسایش شدید خاک قرار گرفته است. در این حوضه، اکثر مناطق معمولاً دارای پوشش درختی بسیار کمیاب یا فاقد درخت هستند. مطالعه پویایی پوشش گیاهی و پیوند آن‌ها با خشک سالی در منطقه برای پایداری اکولوژیکی این منطقه بسیار مهم است (انصاری، ۱۳۹۴: ۵۵۷؛ روستا و همکاران، ۱۳۹۹).

از مطالعات پوشش گیاهی برای ارزیابی وضعیت گیاهان غیربومی، مواد غذایی، کربن آلی خاک، فعالیت میکروبی، حساسیت‌پذیری سطح خاک به فرسایش استفاده می‌شود. پوشش گیاهی به دلیل داشتن یک رشته ویژگی‌ها مانند عدم تحرک، میزان رشد نسبتاً بالا و غیره، یک معیار زیستی پرکاربرد در ارزیابی‌های اکولوژیکی مطرح است. افزایش پوشش گیاهی در یک منطقه باعث کاهش دی‌اکسیدکربن، سرب هوا، رطوبت خاک، حفاظت آب‌و خاک و کاهش خیزش سیل می‌شود که ارتباط با پایداری اکولوژیک دارد؛ بنابراین در صورت ناپایداری در یک محیط با علائم مانند بیابان‌زایی، فرسایش خاک، تغییر اقلیم و دیگر موارد مواجه خواهد شد که پیامدهای مخرب اقتصادی، اجتماعی و اقلیمی خواهد داشت. یکی از عوامل اصلی کاهش پوشش گیاهی، خشک سالی است که در نتیجه تغییرات و تحولات آب‌وهوایی ناشی از گردش جو می‌باشد.

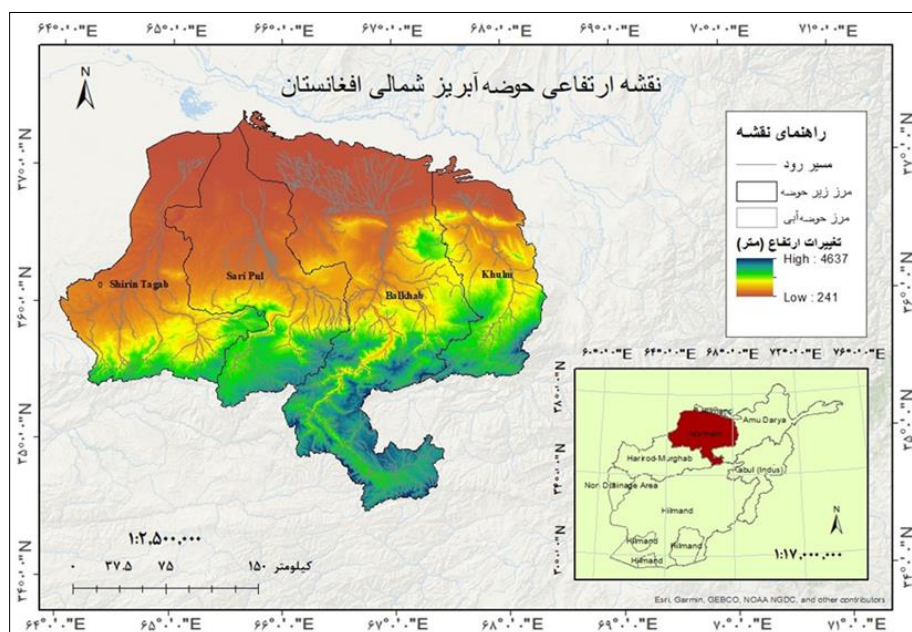
منظور از خشک سالی در این پژوهش دو مورد هواشناسی و کشاورزی است که باهدف، بررسی پایداری روند تغییرات پوشش گیاهی و تنش خشکی در حوضه آبریز شمالی افغانستان با استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری است که با استفاده از مجموعه داده‌های MODIS، PDIR Now^۱ به‌دست‌آمده است. در پژوهش حاضر، شاخص EVI و VCI با کمک شاخص‌های SPI و LST برای شناسایی خشک سالی و تغییرات مساحت پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین اثرگذاری پوشش گیاهی و دما در ایجاد دوره‌های خشک و تر، تغییرات بارش تنها دلیل خشک سالی‌ها و ترسالی‌ها در حوضه شمالی مورد مقایسه قرار گرفت. بدین منظور، تجزیه و تحلیل سری زمانی شاخص‌های EVI، VCI، SPI، LST و داده‌های بارش برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ مورد استفاده قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز شمالی افغانستان بین طول شرقی ۶۴ تا ۶۸ و ۲۲' و عرض شمالی ۳۴ و ۲۸' تا ۳۷ و ۲۳' قرار دارد که شامل استان‌های سمنگان، بلخ، جوزجان، فاریاب و سرپل می‌شود، این حوضه چهار رود، بلخ‌آب، شیرین تکاب، سرپل و خلم را در زیرمجموعه خود جا داده است. مساحت این حوضه ۷۰۰۹۰۱ کیلومتر مربع می‌باشد که از شمال با رود آمو که مرز بین این حوضه با کشورهای ترکمنستان، ازبکستان و تاجیکستان قرار دارد، از شرق با حوضه آبریز آمو، جنوب با

حوضه آبریز هلمند (هیرمند)، از غرب با حوضه آبریز هریرود، مرغاب مرز مشترک دارد. حوضه شمالی دارای کوچک ترین سهم تنها با ۲ درصد از کل آب های افغانستان را تشکیل می دهد و تمام این آب در محدوده ملی کشور مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجاکه این حوضه با محیط های کوچک تشکیل شده است منبع خود را از کوه های مرتفع و ارتفاعات بلند تیربند ترکستان و هندوکش تأمین می شود؛ در زمان های وقوع سیلاب های استثنایی تنها رودخانه بلخ آب بعضاً آب را به سمت دشت های نزدیک رود آمو ترکمنستان و ازبکستان در آن سوی مرز تخلیه می کند (Favre & Kamal, 2004; Kamal, 2004). حوضه آبریز شمالی افغانستان به سه قسمت، مناطق جنوب آن ارتفاعات بلند کوه تیربند ترکستان که بلندترین نقطه آن ۴۶۳۷ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. قسمت مرکزی که شامل زمین های مسطح و شاخه های این کوه از شرق به غرب امداد یافته است. قسمت های شمال حوضه شامل زمین های هموار و زراعتی می باشد که پایین ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۴۱ متر از سطح دریا در استان فاریاب قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه مدل رقومی ارتفاعی حوضه آبریز شمالی افغانستان (تصویر SRTM 30m ، USGS)

داده های مورد استفاده و روش مطالعه

در حوضه آبریز شمالی افغانستان، ۴۶۰ تصویر EVI محصول مادیس برای ۲۰ سال ۲۰۰۱ - ۲۰۲۰ تهیه شد. پوشش گیاهی فصل زمستان از میانگین ۶ تصویر از تصویر شماره ۳۵۳ تا ۰۶۵ که برابر است با ۱۹ دسامبر تا ۶ مارس، برای فصل بهار از تصویر ۰۸۱ تا ۱۶۱ که برابر است از ۲۲ مارس تا ۱۰ ژوئن، فصل تابستان از تصویر ۱۷۷ تا ۲۵۷ که برابر است با ۲۶ ژوئن تا ۱۴ سپتامبر، فصل پاییز از میانگین ۵ تصویر از ۲۷۳ تا ۳۳۷ که برابر است با ۳۰ سپتامبر تا ۳ دسامبر و پوشش گیاهی سالانه از میانگین ۲۳ تصویر از ۰۱۷ تا ۰۰۱ که برابر است با ۱۷ ژانویه سال قبل تا ۱ ژانویه سال بعد محاسبه شد. در مرحله دوم، ۹۲۰ تصویر از LST دانلود شد. LST سالانه از میانگین تصویر ۰۱۷ تا ۰۰۱ سال بعد و فصل زمستان از تصویر ۳۴۵ تا ۰۶۵ سال بعد، فصل بهار از تصویر ۰۷۳ تا ۱۶۱، فصل تابستان از تصویر ۱۶۹ تا ۲۵۷ و فصل پاییز از تصویر ۲۶۵ تا ۳۳۷ به استثنای فصل پاییز هر کدام از میانگین ۱۲ تصویر بین ۲۰۰۱-۲۰۲۰ به دست آمد. داده های ماهانه بارش PDIR Now نیز طی دوره آماری، ۲۴۰ تصویر تهیه شد. از جمع تصاویر دسامبر، ژانویه و فوریه برای زمستان، مارس، آوریل و مه برای بهار، ژوئن، ژوئیه و اوت برای تابستان، سپتامبر، اکتبر و نوامبر برای پاییز و ژانویه تا دسامبر برای سالانه محاسبه شد.

پس از تهیه تصاویر فصلی و سالانه شاخص های EVI، LST و داده های PDIR، مرحله بعد EVI کمینه و بیشینه بلندمدت فصلی و سالانه که حاصل آن ۱۰ تصویر است با در نظر گرفتن تصاویر فصلی و سالانه مرحله قبل EVI

محاسبه شد و با استفاده از رابطه (۱۳) شاخص VCI نیز در مقیاس فصلی و سالانه محاسبه شد. قبل از محاسبه شاخص SPI، با استفاده از تصاویر فصلی و سالانه داده‌های بارش، میانگین بلندمدت فصلی و سالانه و انحراف معیار برای بارش به دست آمد و با استفاده از رابطه (۱۲) شاخص SPI سالانه و فصول چهارگانه نیز محاسبه شدند که تمام مراحل محاسباتی در برنامه ArcGIS انجام شد.

خروجی تمام ارزش پیکسل‌های فصلی و سالانه شاخص‌های EVI، VCI، LST، SPI و داده‌های بارش PDIR در برنامه اکسل آورده شد. تجزیه و تحلیل، طبقه‌بندی، ترسیم نمودارها، همبستگی بین شاخص‌ها، میزان تغییرات بارش و دمای سطح، محاسبه مساحت پوشش گیاهی و مساحت خشک نظر به شاخص‌های EVI و VCI صورت گرفت. مطابق شاخص‌های نامبرده سال‌های مرطوب و خشک شناسایی و نقشه‌های آن در برنامه ArcGIS تهیه شدند.

تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش از محصولات EVI 16 روزه ۲۵۰ متری MOD13Q1 و LST 8 روزه ۱ کیلومتر MOD11A2 سنجنده مادیس برای دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۰ از وبگاه زمین‌شناسی ایالات متحده (<https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/task/area>) برای ۲۰ سال دریافت و استفاده شد. سنجنده مادیس با استفاده از ۳۶ باند قادر است با قدرت تفکیک زمانی روزانه، ۴ روزه، ۸ روزه، ۱۶ روزه، سه ماهه و سالانه اطلاعات دریافتی از سطح زمین را در محدوده طیفی ۰٫۴ تا ۱۴٫۴ میکرومتر و با عرض پوشش ۲۳۳۰ کیلومتر، با قدرت تفکیک رادیو متریک ۱۲ بیت برداشت نماید. توان تفکیک مکانی باندهای ۱ و ۲ آن ۲۵۰ متر، باندهای ۳ تا ۷، ۵۰۰ متر و باندهای ۸ تا ۳۶، ۱۰۰۰ متر است (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۶: ۲۹۹).

شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI)

شاخص EVI، برای بهبود شاخص NDVI و با بهینه‌سازی سیگنال‌های پوشش گیاهی در محدوده شاخص سطح برگ با استفاده از انعکاس باند آبی برای تصحیح سیگنال پس زمینه خاک و کاهش اثر جو شامل پراکنش ذرات معلق توسعه یافته است (رابطه ۱). ترکیب روابط تجربی برای تصحیح اتمسفری منجر به ایجاد شاخص گیاهی بهبود یافته گردیده است (Huete et al., 1994).

$$EVI = G \times \left(\frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + C1 \times B_{RED} - C2 \times B_{BLUE} + L} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق، B_{NIR} ، B_{RED} و B_{BLUE} به ترتیب باند مادون قرمز نزدیک، باند قرمز و باند آبی، $L=1$ فاکتور تعدیل کننده خاک، $C1=6$ ، $C2=5/7$ ضرایب استفاده شده جهت تصحیح پراکندگی آئروسل در باندهای قرمز با استفاده از باند آبی و $G=2/5$ فاکتور وزنی می‌باشد (Huete et al., 1994, 1997, 1999, 2002). برای محاسبه شاخص بهبود یافته پوشش گیاهی EVI سالانه و فصلی از روابط (۲ تا ۶) استفاده شد.

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{پوشش گیاهی زمستان} = \frac{\sum (\text{image 353 to image 065})}{6}$$

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{پوشش گیاهی بهار} = \frac{\sum (\text{image 081 to image 161})}{6}$$

$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{پوشش گیاهی تابستان} = \frac{\sum (\text{image 177 to image 257})}{6}$$

$$\text{رابطه (۵)} \quad \text{پوشش گیاهی پاییز} = \frac{\sum (\text{image 273 to image 337})}{5}$$

$$\text{رابطه (۶)} \quad \text{پوشش گیاهی سالانه} = \frac{\sum (\text{image 017 to image 001})}{23}$$

دمای سطح زمین (LST)

دمای سطح زمین در مطالعات و ارزیابی‌های محیطی همچون خشک‌سالی اهمیت زیادی دارد. هر پیکسل دمای سطح

زمین حرارت اشیای متغیر را نشان می‌دهد (Mansourmoghaddam et al., 2021)؛ بنابراین دمای سطح زمین برای هر پیکسل در سنجش از دور معادل میانگین دمای پوشش‌های مختلف سطح زمین است (علوی پناه، ۱۳۸۶: ۳۲۰). در این پژوهش در مجموع ۹۲۰ تصویر از دمای سطح زمین دریافت شد و با استفاده از روابط (۷ تا ۱۱) سالانه و فصلی با میانگین‌گیری طی دوره آماری ۲۰ سال از سال ۲۰۰۱-۲۰۲۰ محاسبه شد (Rousta et al., 2020 b).

$$\text{رابطه (۷)} \quad \text{LST}_{\text{زمستان}} = \frac{\sum (\text{image 345 to image 065})}{12}$$

$$\text{رابطه (۸)} \quad \text{LST}_{\text{بهار}} = \frac{\sum (\text{image 073 to image 161})}{12}$$

$$\text{رابطه (۹)} \quad \text{LST}_{\text{تابستان}} = \frac{\sum (\text{image 169 to image 257})}{12}$$

$$\text{رابطه (۱۰)} \quad \text{LST}_{\text{پاییز}} = \frac{\sum (\text{image 265 to image 337})}{10}$$

$$\text{رابطه (۱۱)} \quad \text{LST}_{\text{سالانه}} = \frac{\sum (\text{image 017 to image 001})}{46}$$

تصاویر بارش (Now PDIR)

در این پژوهش، به منظور بررسی پوشش، از مجموعه داده‌های میزان بارش مادون قرمز پویا نزدیک زمان واقعی (PDIR Now) محصول بارش ماهواره‌ای با وضوح بالا (۴*۴) کیلومتر و با پوشش (۶۰°N و ۶۰°S) استفاده شد. این داده‌ها از اول ماه مارس سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ دریافت و مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های PDIR Now به صورت ۱، ۳، ۶ ساعته، روزانه، ماهانه و سالانه از وبگاه (<http://chrsdata.eng.uci.edu>) قابل دسترسی می‌باشد (Nguyen et al., 2020). علاوه بر این، PDIR-Now خطاها و عدم قطعیت‌هایی را که در نتیجه استفاده از تصاویر مادون قرمز حاصل می‌شود با اتخاذ فن‌های متنوعی مورد توجه قرار می‌دهد. تأخیر زمانی کوتاه PDIR-Now باعث می‌شود که این مجموعه داده برای برنامه‌های هیدرولوژیکی مانند پیش‌بینی سیل و تهیه نقشه‌های طغیان سیل مناسب می‌باشد (Nguyen et al., 2020, 2019; Hong et al., 2004).

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

یکی از روش‌های تعیین خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه (۱۲)} \quad \text{SPI} = \frac{X_i - X_m}{SD}$$

در رابطه فوق، X_i بارش در هر ماه، فصل یا سال، X_m میانگین بارش در طول دوره آماری و SD انحراف معیار در طول دوره آماری است، به منظور تفسیر و بررسی نتایج حاصل از این محاسبه، در جدول ۱ مقادیر مثبت نشان‌دهنده بارندگی بیش از بارش متوسط و مقادیر منفی عکس آن است (Cancelliere et al., 2007; Shah et al., 2015).

جدول ۱. طبقه‌بندی دوره مرطوب و خشک‌سالی با توجه به شاخص بارش استاندارد (Rousta et al., 2020 b)

طبقه	SPI
مرطوب شدید	> 2
خیلی مرطوب	۱٫۵ تا ۱٫۹۹
مرطوب	۱ تا ۱٫۴۹
تقریباً نرمال	-۰٫۹۹ تا -۰٫۹۹
خشک	-۱ تا -۱٫۴۹
خیلی خشک	-۱٫۵ تا -۱٫۹۹
خشک شدید	$= < -2$

شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

شاخص VCI برای اولین بار توسط (Kogan, 1995) ارائه شد. شاخص VCI به وسیله دامنه‌ای از مقادیر NDVI طولانی مدت محاسبه شده و نرمال می‌گردد. شاخص NDVI که بر اساس اختلاف نرمال بین باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در یک تصویر، محاسبه می‌شود، به طور مستقیم با درصد پوشش گیاهی، فعالیت فتوسنتزی گیاه، آب سطحی، شاخص سطح برگ و مقدار زیست توده در ارتباط است. مقدار عددی این شاخص بین -۱ تا ۱ است، از آن جهت که شاخص EVI ارتقا یافته شاخص NDVI است. برای محاسبه VCI نیز از شاخص EVI استفاده شد. مقدار عددی شاخص VCI به صورت درصد و در بازه ۰ تا ۱۰۰ نمایش داده می‌شود. مقادیر نزدیک به صفر نشان دهنده وجود تنش و خشک سالی شدید در منطقه و مقادیر نزدیک به ۱۰۰ بیانگر مطلوب بودن وضعیت پوشش گیاهی و عدم وجود تنش آبی در منطقه می‌باشد. شاخص VCI طبق رابطه (۱۳) و به صورت درصد تعریف می‌شود (Kogan, 1997).

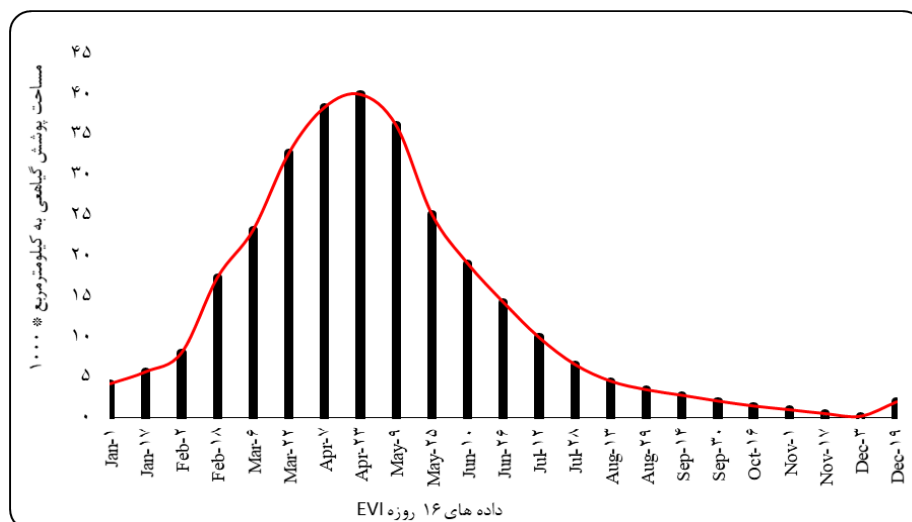
$$\text{VCI} = \left(\frac{\text{EVI} - \text{EVI}_{\min}}{\text{EVI}_{\max} - \text{EVI}_{\min}} \right) * 100 \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

در رابطه فوق EVI شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته فصلی یا سالانه، $\text{EVI}_{\min}$ و $\text{EVI}_{\max}$ به ترتیب EVI کمینه و بیشینه بلندمدت در کل منطقه مورد مطالعه از ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ می‌باشد.

نتایج

تغییرات زمانی پوشش گیاهی

بر اساس نتایج، در حوضه آبریز شمالی افغانستان فصل اصلی رویشی پوشش گیاهی از ۱۷ ژانویه آغاز و به تدریج افزایش یافته و در ۱۰ روز آخر آوریل به پایان می‌رسد (شکل ۲). ۲۳ آوریل در منطقه به عنوان اوج پوشش گیاهی که با ۵۶/۴ درصد (۳۹۹۹۹ کیلومتر مربع) بیشترین مساحت پوشش گیاهی در منطقه می‌باشد؛ از اول مه پوشش گیاهی به تدریج کاهش یافته این روند تا اواخر نوامبر ادامه دارد و بالاخره ۱۵ روز اول دسامبر کمترین مساحت پوشش گیاهی را با ۰/۳ درصد (۲۱۰/۵ کیلومتر مربع) در منطقه دارد، بعد از نیمه اول دسامبر با تغییر اندک پوشش گیاهی تا اول ژانویه افزایش ۲ درصدی در منطقه را نشان می‌دهد. ۲۲ مارس تا ۱۰ ژوئن که مطابق با فصل بهار می‌باشد، بیانگر بیشترین مساحت پوشش گیاهی در دوره مطالعه است (شکل ۲). ۲۶ ژوئیه تا ۱۴ سپتامبر، مقارن با فصل تابستان است که تمام گیاهان خودرو در این فصل خشک شده و باعث کم شدن مساحت پوشش گیاهی شده است.

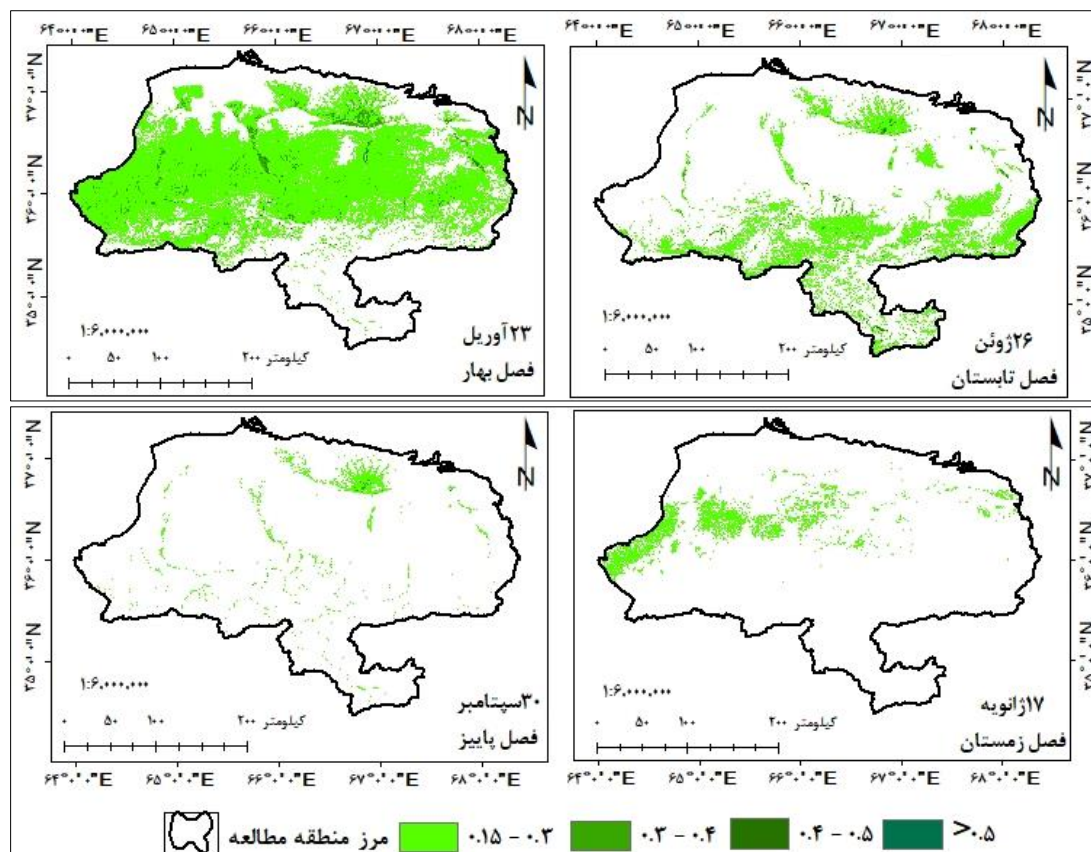


شکل ۲. میانگین پوشش گیاهی در حوضه آبریز شمالی افغانستان طی دوره آماری (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰)

علاوه بر این، از آنجاکه رطوبت نسبی هوا با مقدار تبخیر آب از سطح برگ ها و زمین ارتباط مثبت دارد، نه تنها آب قابل استفاده گیاه در خاک بیشتر است بلکه احتیاج روزانه گیاه به آب نیز کمتر خواهد بود (Rousta et al., 2020 a).

در تابستان در شهرها تنها درختان سبز و پارک‌ها و در مناطق با ارتفاع بلند از اثر دمای پایین‌تر تبخیر و تعرق در گیاهان کمتر شده و باعث حفظ پوشش گیاهی در منطقه مطالعه شده است.

پس از ۳۰ سپتامبر که مقارن با چند روز اول پاییز است، کمترین مساحت پوشش گیاهی با تبخیر آب کامل برگ‌های درختان خشک مشاهده شد که تنها مناطق شهری، بیانگر مساحت موجود می‌باشند. در فصل زمستان و با شروع بارندگی‌های مقطعی، از دوم فوریه تا ۱۸ فوریه با تغییر اندک دما پوشش گیاهی تغییر قابل ملاحظه را نشان داده است. شکل ۳ نقشه تغییرات پوشش گیاهی در چهار فصل را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمونه تغییرات متوسط پوشش گیاهی از فصل بهار تا زمستان به ترتیب، ۲۳ آوریل، ۲۶ ژوئن، ۳۰ سپتامبر، ۱۷ ژانویه طی دوره آماری

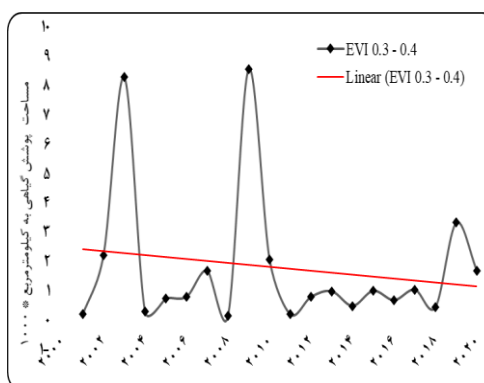
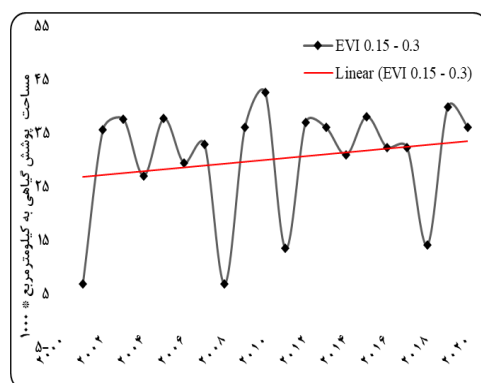
نتایج حاصل از ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی

میزان تغییرات پوشش گیاهی فصل بهار در مقایسه با فصول سه گانه و سالانه در دوره آماری بررسی شدند. از آنجاکه پوشش گیاهی بهار نسبت به سالانه و فصول دیگر بیشتر تغییر در مساحت پوشش گیاهی را نشان دادند، در پژوهش حاضر، مساحت پوشش گیاهی فصل بهار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، طی دوره آماری مورد مطالعه کمترین مجموع مساحت پوشش گیاهی بهار ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ به ترتیب ۹/۸۶، ۹/۹۱، ۱۹/۳۰ و ۲۰/۷۳ درصد از مساحت مجموع حوضه آبریز شمالی افغانستان را داشته‌اند (جدول ۲). شکل ۴ به‌خوبی بیانگر انحراف محور است، به‌طوری که بیانگر شرایط خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه در سال‌های مورد مطالعه می‌باشد. این در حالی است که منطقه مورد مطالعه، سال‌های پر آب ۲۰۰۳، ۲۰۱۰، ۲۰۱۹ را نیز با مساحت به ترتیب ۶۵/۷۱، ۶۳/۱۴ و ۶۱/۱۶ درصد تجربه کرده است. جدول ۲، تغییرات طبقات مختلف پوشش EVI منطقه مورد مطالعه را بین ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. بر اساس طبقات پوشش گیاهی، پوشش ضعیف (۰/۱۵ - ۰/۳) و مجموع پوشش EVI روند افزایشی قابل توجهی نداشته است. پوشش متوسط و خوب (۰/۳ - ۰/۵) EVI هیچ روندی را نشان نداد، اما پوشش گیاهی انبوه

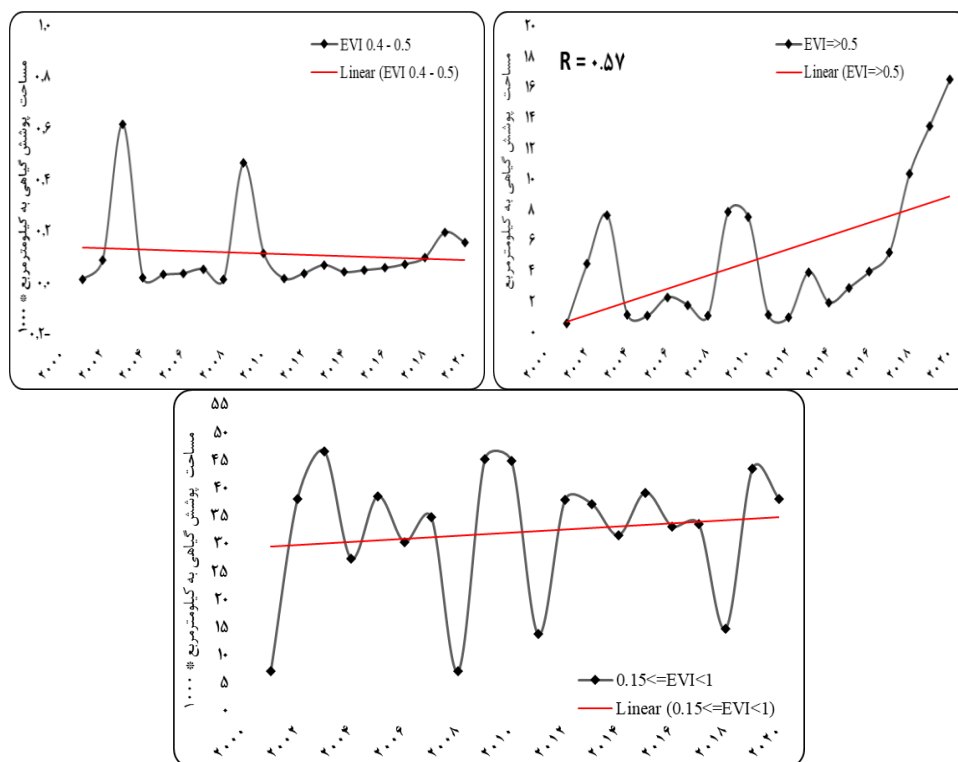
($EVI \geq 0.5$) بیانگر روند افزایشی نسبی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شکل ۴ روند تغییرات زمانی پوشش فصل بهار EVI در منطقه را نشان می‌دهد که بیشترین مساحت پوشش ضعیف در سال ۲۰۱۰ با $42565/7$ کیلومترمربع و کم‌ترین آن در ۲۰۰۱ با 6877 کیلومترمربع بوده است. پوشش متوسط در ۲۰۰۹ با مساحت $8581/3$ کیلومترمربع و در ۲۰۰۸ با 152 کیلومترمربع بیشترین و کمترین مساحت را داشته است. طبقات پوشش خوب و انبوه هر یک به ترتیب مساحت 617 و $16/5$ کیلومترمربع برای ۲۰۰۳ و ۲۰۱۹ با بلندترین و $10/9$ و $0/6$ کیلومترمربع برای ۲۰۰۸ و ۲۰۰۱ کمترین پوشش گیاهی را تجربه کرده‌اند. مساحت میانگین ۲۰ ساله از پوشش ضعیف، متوسط، خوب و انبوه به ترتیب $30160/2$ ، $1780/9$ ، $111/8$ و $4/8$ کیلومترمربع از $70/901$ کیلومترمربع کل مساحت حوضه آبریز شمالی را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۲. مساحت پوشش کلاس‌های مختلف EVI فصل بهار در منطقه مورد مطالعه به (km^2) طی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰

سال	$EVI < 0.15$ پوشش ضعیف	$0.15 \leq EVI < 0.3$ پوشش متوسط	$0.3 \leq EVI < 0.4$ پوشش خوب	$0.4 \leq EVI < 0.5$ پوشش انبوه	مجموع مساحت به Km^2	مجموع مساحت به %
۲۰۰۱	۶۷۸۸,۰۷	۱۹۰,۱۴	۱۲,۷۰	۰,۶۰	۶۹۹۱,۵۲	۹,۸۶
۲۰۰۲	۳۵۷۱۰,۶۸	۲۲۲۶,۱۰	۸۷,۹۳	۴,۴۵	۳۸۰۲۹,۱۷	۵۳,۶۴
۲۰۰۳	۳۷۶۷۴,۷۷	۸۲۸۹,۳۰	۶۱۷,۰۳	۷,۶۷	۴۶۵۸۸,۷۷	۶۵,۷۱
۲۰۰۴	۲۷۰۳۷,۷۱	۲۸۵,۵۴	۱۹,۵۰	۱,۱۷	۲۷۳۴۳,۹۲	۳۸,۵۷
۲۰۰۵	۳۷۷۳۴,۹۰	۷۲۹,۵۰	۳۱,۰۷	۱,۰۹	۳۸۴۹۶,۵۶	۵۴,۳۰
۲۰۰۶	۲۹۳۸۸,۷۷	۷۹۸,۴۱	۳۶,۵۰	۲,۳۰	۳۰۲۲۵,۹۸	۴۲,۶۳
۲۰۰۷	۳۲۹۴۴,۶۹	۱۶۸۳,۵۹	۵۲,۸۴	۱,۷۹	۳۴۶۸۲,۹۱	۴۸,۹۲
۲۰۰۸	۶۸۶۴,۵۸	۱۵۲,۰۱	۱۰,۹۰	۱,۰۸	۷۰۲۸,۵۷	۹,۹۱
۲۰۰۹	۳۶۰۹۹,۷۴	۸۵۸۱,۳۵	۴۶۴,۳۱	۷,۸۶	۴۵۱۵۳,۲۶	۶۳,۶۸
۲۰۱۰	۴۲۵۶۵,۷۴	۲۰۷۸,۹۶	۱۱۴,۷۱	۷,۵۲	۴۴۷۶۶,۹۲	۶۳,۱۴
۲۰۱۱	۱۳۴۷۱,۵۴	۱۹۴,۱۱	۱۶,۴۵	۱,۱۳	۱۳۶۸۳,۲۲	۱۹,۳۰
۲۰۱۲	۳۷۰۴۹,۹۴	۷۸۹,۹۱	۳۶,۸۵	۰,۹۹	۳۷۸۷۷,۷۱	۵۳,۴۲
۲۰۱۳	۳۶۰۴۷,۶۵	۹۸۲,۸۵	۶۸,۵۸	۳,۹۴	۳۷۱۰۳,۰۲	۵۲,۳۳
۲۰۱۴	۳۰۹۷۱,۷۴	۴۸۲,۵۱	۴۱,۳۶	۱,۹۶	۳۱۴۹۷,۵۷	۴۴,۴۲
۲۰۱۵	۳۸۰۹۳,۲۸	۱۰۰۰,۵۵	۴۸,۸۴	۲,۹۱	۳۹۱۴۵,۵۹	۵۵,۲۱
۲۰۱۶	۳۲۳۲۹,۵۴	۶۷۸,۶۹	۵۷,۰۲	۳,۹۵	۳۳۰۶۹,۱۹	۴۶,۶۴
۲۰۱۷	۳۲۳۱۰,۷۸	۱۰۳۸,۶۰	۷۱,۷۶	۵,۲۲	۳۳۴۲۶,۳۷	۴۷,۱۵
۲۰۱۸	۱۴۱۴۵,۶۱	۴۴۰,۶۱	۹۸,۰۸	۱۰,۳۷	۱۴۶۹۴,۶۷	۲۰,۷۳
۲۰۱۹	۳۹۸۳۰,۹۸	۳۳۲۱,۶۲	۱۹۶,۲۳	۱۳,۴۹	۴۳۳۶۲,۳۲	۶۱,۱۶
۲۰۲۰	۳۶۱۴۳,۹۸	۱۶۷۴,۹۵	۱۵۴,۸۱	۱۶,۵۲	۳۷۹۹۰,۲۷	۵۳,۵۸
میانگین	۳۰۱۶۰,۲۴	۱۷۸۰,۹۷	۱۱۱,۸۷	۴,۸۰	۳۲۰۵۷,۸۸	۴۵,۲۱

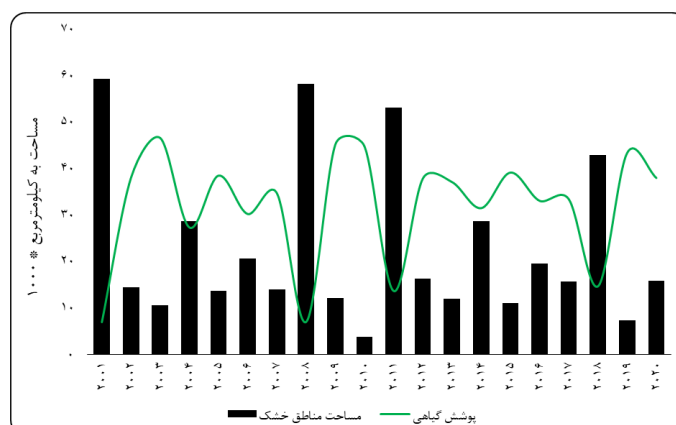


شکل ۴. سری زمانی کلاس‌های مختلف EVI برای منطقه مورد مطالعه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ (سطح معنی‌داری $p = 0.05$)



ادامه شکل ۴.

شکل ۵ رابطه بین پوشش گیاهی فصل بهار و شدت خشک سالی را نشان می‌دهد که با استفاده از EVI و شاخص VCI در حوضه آبریز شمالی افغانستان طی دوره مطالعه ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ محاسبه شده است. باتوجه به پژوهش (Kogan, 1995)، مناطق دارای خشک سالی و مناطق بدون خشک سالی به ترتیب بر اساس مقادیر شاخص VCI بین ۰ و ۳۵٪ و بین ۳۵٪ تا ۱۰۰٪ تعریف شده‌اند. برای کل حوضه حدود ۷۰/۹۰۱ کیلومتر مربع، مساحت در هر فصل بهار سال متغیر بوده و میانگین مساحت پوشش گیاهی تمام دوره در این فصل ۳۲۰۵۷/۹ کیلومتر مربع (۴۵/۲ درصد) از مساحت کل منطقه مطالعه محاسبه گردید. شاخص VCI بیشترین میزان خشک سالی را در ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ با به ترتیب ۸۳/۵، ۸۱/۹، ۷۴/۹ و ۶۰/۵٪ از مساحت کل و کم‌ترین درصد خشک سالی در ۲۰۱۰، ۲۰۱۹، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ با به ترتیب ۵/۳، ۱۰/۳، ۱۴/۹ و ۱۵/۶٪ از مساحت کل نشان داده است.



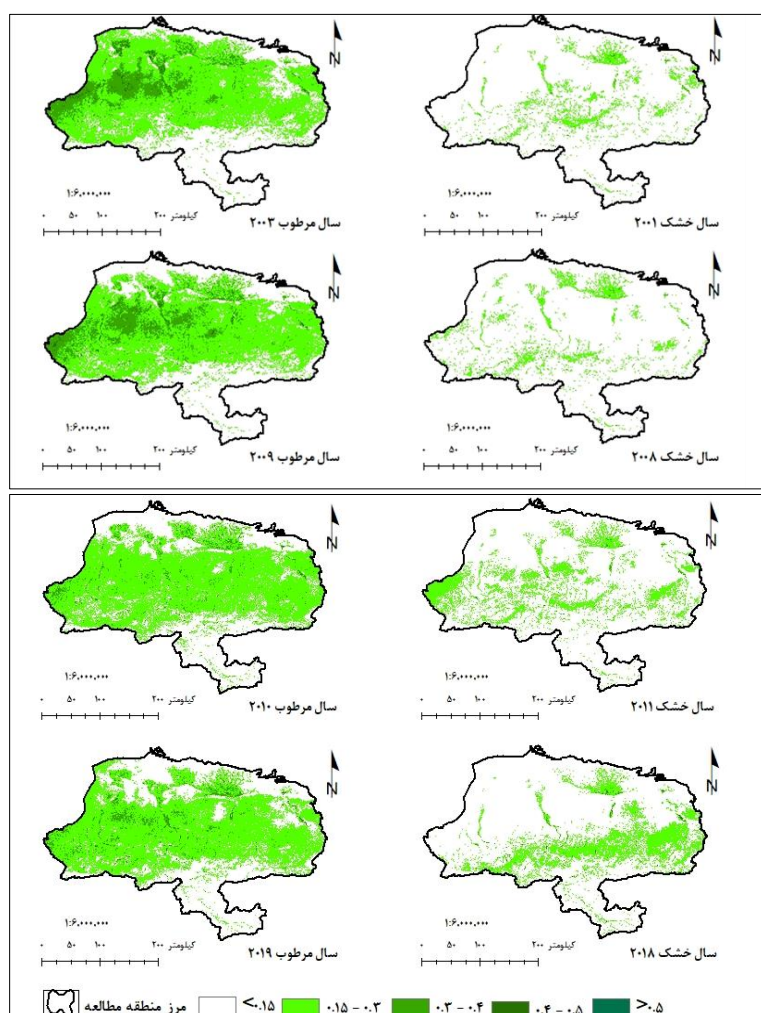
شکل ۵. تغییرات بین مساحت پوشش گیاهی و مساحت خشک در حوضه آبریز شمالی افغانستان طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ برخلاف شاخص VCI، شاخص پوشش گیاهی EVI کم‌ترین مساحت را در ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ به ترتیب با ۹/۹، ۹/۹، ۱۹/۳ و ۲۰/۷ درصد از مساحت کل نشان می‌دهد که بیانگر همبستگی منفی بالا ۰/۹۷- بین دو

شاخص مذکور می‌باشد. همبستگی منفی بین مناطق خشک و پوشش گیاهی ۰/۹۷- با رگرسیون خطی و سطح معنی‌داری $P=0/05$ و مناطق غیر خشک با مساحت پوشش گیاهی با همبستگی ۰/۹۷۳ در سطح معنی‌داری $P=0/05$ به دست آمدند. (جدول ۳) بیانگر همبستگی دسته‌های مختلف EVI با مساحت خشک است. مساحت پوشش ضعیف با مساحت خشک همبستگی منفی بالا ۰/۹۸- دارد. با نزدیک شدن پوشش گیاهی به طبقه پوشش خوب و انبوه ($EVI > 0/4$)، همبستگی ۰/۳۷- کم شده و معنی‌داری از بین می‌رود.

جدول ۳. همبستگی مساحت دسته‌های مختلف EVI با مساحت خشک در حوضه آبریز شمال افغانستان از سال ۲۰۰۱ - ۲۰۲۰

مجموع مساحت پوشش گیاهی	$EVI \geq 0/5$	$0/5 - 0/4$	$0/4 - 0/3$	$0/3 - 0/15$	EVI
- ۰,۹۷۳*	- ۰,۳۶۷	- ۰,۳۷۹	- ۰,۴۴۴*	- ۰,۹۸۴*	مساحت خشک

شکل ۶ تراکم پوشش گیاهی فصل بهار در سال‌های مرطوب و خشک را نشان می‌دهد که مطابق آن، قسمت‌های هموار حوضه که شامل مراکز استان‌های سمنگان، بلخ، جوزجان، سرپل، فاریاب و اطراف آن می‌باشد، متراکم‌ترین پوشش گیاهی را داشته و عمدتاً منطقه کشاورزی را تشکیل می‌دهد. دلیل آن هم علاوه بر بارش، می‌تواند جریان رودخانه‌های خلم، بلخ‌آب، سرپل و شیرین تکاب در منطقه باشد. این روند به تدریج به سمت کوه‌های مرتفع حوضه کاهش یافته و پوشش گیاهی تنها در کف دره‌ها محدود شده است. قابل ذکر است که شمال منطقه مورد مطالعه را مساحت بزرگی از دشت کویری تشکیل داده است.



شکل ۶. نمونه میانگین EVI فصل بهار از سال‌های خشک و مرطوب در حوضه آبریز شمالی افغانستان ۲۰۰۱ - ۲۰۲۰

تغییرات فصلی و سالانه EVI

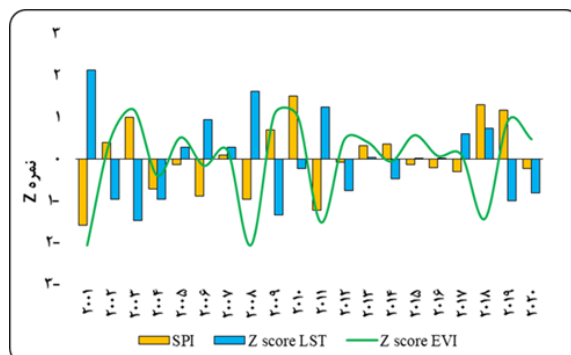
جدول ۴ بیانگر نتایج همبستگی بین تغییرات پوشش گیاهی با طبقات مختلف EVI سالانه و فصلی می باشد که بر اساس آن، در فصل تابستان همبستگی معناداری با تمام طبقات مشاهده می شود. به طوری که در پوشش ضعیف، بیشترین همبستگی این فصل دیده می شود؛ در حالی که بر اساس جدول ۵، بیشترین همبستگی پوشش ضعیف در فصل بهار بوده است، چراکه تأثیر میزان متوسط بارندگی و تغییرات LST در این فصل باعث اوج پوشش گیاهی از انواع گیاهان خودرو و مرتعی شده است. قابل ذکر است که طبقات پوشش ضعیف با EVI سالانه و فصلی همبستگی معنی داری در سطح $(p < 0.05)$ دارد. نکته مهم اینکه $EVI < 0.3$ برای زمستان و پاییز هیچ همبستگی معنی داری از خود نشان نمی دهند. چراکه احتمالاً پایین بودن LST و نیز نبود بارندگی کافی و تأثیرات جوی در فصل زمستان و پاییز باعث کاهش پوشش گیاهی شده است.

جدول ۴. همبستگی کلاس های مختلف پوشش گیاهی با EVI سالانه و فصلی طی دوره آماری ۲۰۰۱ - ۲۰۲۰

پاییز EVI	تابستان EVI	بهار EVI	زمستان EVI	سالانه EVI	
۰,۴۵۴*	۰,۶۹۳*	۰,۹۸۱*	۰,۶۴۱*	۰,۷۸۲*	EVI ۰,۳-۰,۱۵
۰,۳۳۵	۰,۶۰۵*	۰,۵۸۱*	۰,۱۴۶	۰,۸۳۳*	EVI ۰,۴-۰,۳
۰,۳۳۹	۰,۵۶۳*	۰,۵۱۹*	۰,۰۸۴	۰,۷۶۷*	EVI ۰,۵-۰,۴
۰,۲۵۶	۰,۴۹۱*	۰,۳۸۷	- ۰,۰۵۵	۰,۳۵۶	EVI ≥ 0.5

رابطه بین شاخص EVI با LST و SPI

شکل ۷ رابطه بین شاخص EVI و LST فصل بهار با میزان بارندگی در حوضه آبریز شمالی افغانستان را نشان می دهد. بر اساس نتایج بین EVI و بارش همبستگی ($r = 0.60$ و $p < 0.05$) و بین EVI با LST همبستگی ($r = 0.82$ و $p < 0.05$) رابطه معنی دار وجود دارد. رابطه بین شاخص EVI با LST و SPI در بهار ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۱ معنادار است؛ اما در ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ معنادار نیست. همچنین، ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ با به ترتیب ۳۶/۹، ۳۵/۴، ۳۴/۳ درجه سانتی گراد، گرم ترین و ۲۰۰۳، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ با به ترتیب ۲۶/۲، ۲۶/۶ و ۲۷/۶ درجه سانتی گراد به عنوان سردترین فصول بهار در طول دوره مورد مطالعه شناسایی شده اند. سال های ۲۰۰۱، ۲۰۱۱، ۲۰۱۷ و ۲۰۰۸ کمترین میزان بارندگی را به ترتیب با ۹۶/۷، ۱۱۷/۴، ۱۲۸ و ۱۳۳ میلی متر و سال های ۲۰۱۰، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۰۳ بیشترین میزان بارندگی را به ترتیب با ۲۶۲/۱، ۲۵۸، ۲۴۹/۵ و ۲۳۹/۳ میلی متر تجربه کرده اند. از این روی، می توان نتیجه گرفت که اثر LST و بارش به رطوبت خاک نقش اساسی در افزایش/کاهش روند پوشش EVI در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنان که، ۲۰۰۱ به دلیل SPI کم و LST زیاد و کاهش رطوبت خاک با LST بالا و در نتیجه کم بارشی، یکی از کمترین پوشش ها را با مساحت ۶۹۹۱/۵ کیلومتر مربع (۹/۸ درصد) طی دوره آماری دارد؛ LST بالاتر و بارش کمتر از حد نرمال، هر دو آن ها می توانند باعث ایجاد شرایط تنش برای پوشش گیاهی شوند. باتوجه به شکل ۷، در سال ۲۰۰۴ هر دو LST و SPI پایین تر از صفر قرار گرفتند که شرایط نرمال بوده است. چنان که ذکر شد، ۲۰۱۰ با بیشترین بارش در دوره و LST نرمال باعث افزایش مساحت پوشش گیاهی در این دوره شده است. چراکه LST نیز نرمال بوده است. بالاین حال، منابع آب کافی از قبیل آب های سطحی و زیرزمینی و همچنین توسعه مناطق آبی در وضعیت پوشش گیاهی اثرگذار بوده است (شکل ۷).



شکل ۷. سری زمانی ناهنجاری پوشش گیاهی با ناهنجاری SPI و LST، فصل بهار در حوضه آبریز شمالی افغانستان ۲۰۲۰-۲۰۰۱

نکته قابل توجه و چالش برانگیز، بهار ۲۰۱۸ است که پیش تر این سال به عنوان سال خشک معرفی شد، اما در شکل ۷، SPI بالای نزدیک به ۱ و دمای نسبتاً گرم نشان دهنده یک سال مرطوب است. بر اساس نتایج به دست آمده، بارش زمستان ۲۰۱۸ با ۹۰ میلی متر از میانگین زمستان کل دوره که ۱۲۱ میلی متر بوده است، کمتر بوده و این سال پس از ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ کمترین میزان بارندگی زمستان را داشته است (شکل ۸). در مقابل، میانگین دمای سطح زمین فصل زمستان طی دوره آماری ۵/۲ درجه سانتی گراد بوده است، در حالی که ۲۰۱۸ با میانگین ۸ درجه سانتی گراد بیشترین درجه حرارت برای زمستان را داشته است. بررسی بارش روزانه همچنین نشان داد که ۵ روز ماه مارس با شدیدترین بارش، روزهای ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۲۰ به ترتیب با ۹/۷، ۶/۷، ۸، ۱۶/۶ و ۱۰/۵ بوده که باعث افزایش بارش در این ماه شده است. از آنجاکه بارش با شاخص SPI رابطه مستقیم دارد، افزایش آبی بارش باعث افزایش در میانگین بارش و افزایش مقدار SPI شده است؛ بنابراین، بارش ناچیز ۹۰ میلی متر زمستان و دمای بیش از حد نرمال ۸ درجه سانتی گراد، باعث نفوذناپذیری خاک و کم شدن پوشش گیاهی و بارش آبی زیاد یک هفته ای روزهای نامبرده در زمان که موجب از بین رفتن زراعت از بی آبی زمستان شده، باعث تخریب بیش از حد آن شده است.

مقایسه تغییرات فصلی و سالانه پوشش گیاهی با دمای سطح زمین و بارش

جدول ۵، همبستگی شاخص EVI با دمای سطح زمین و بارش در یک سری زمانی ۲۰ ساله را نشان می دهد. مساحت پوشش گیاهی سالانه و بهار با بارش و دما همبستگی معنی دار در سطح $p=0/05$ دارند؛ در حالی که فصل های تابستان، پاییز و زمستان هیچ همبستگی معنی داری با میزان دما و بارش ندارند. شکل ۸ پراکندگی میزان بارش با مساحت پوشش گیاهی را نشان می دهد که جز مساحت پوشش گیاهی بهار و سالانه، فصول دیگر ارتباط معنی داری از خود با دما و بارش نشان نداده اند. جدول ۶ تغییرات درصد مساحت پوشش گیاهی فصلی و سالانه را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که نظر به آن سال های مرطوب و خشک که در این تحقیق فصل بهار به دست آمد با تأیید میزان تغییرات درصد پوشش گیاهی سالانه واقع شد.

جدول ۵. ماتریس همبستگی شاخص EVI با دما و بارش در حوضه آبریز شمالی افغانستان طی دوره آماری ۲۰۰۱ - ۲۰۲۰

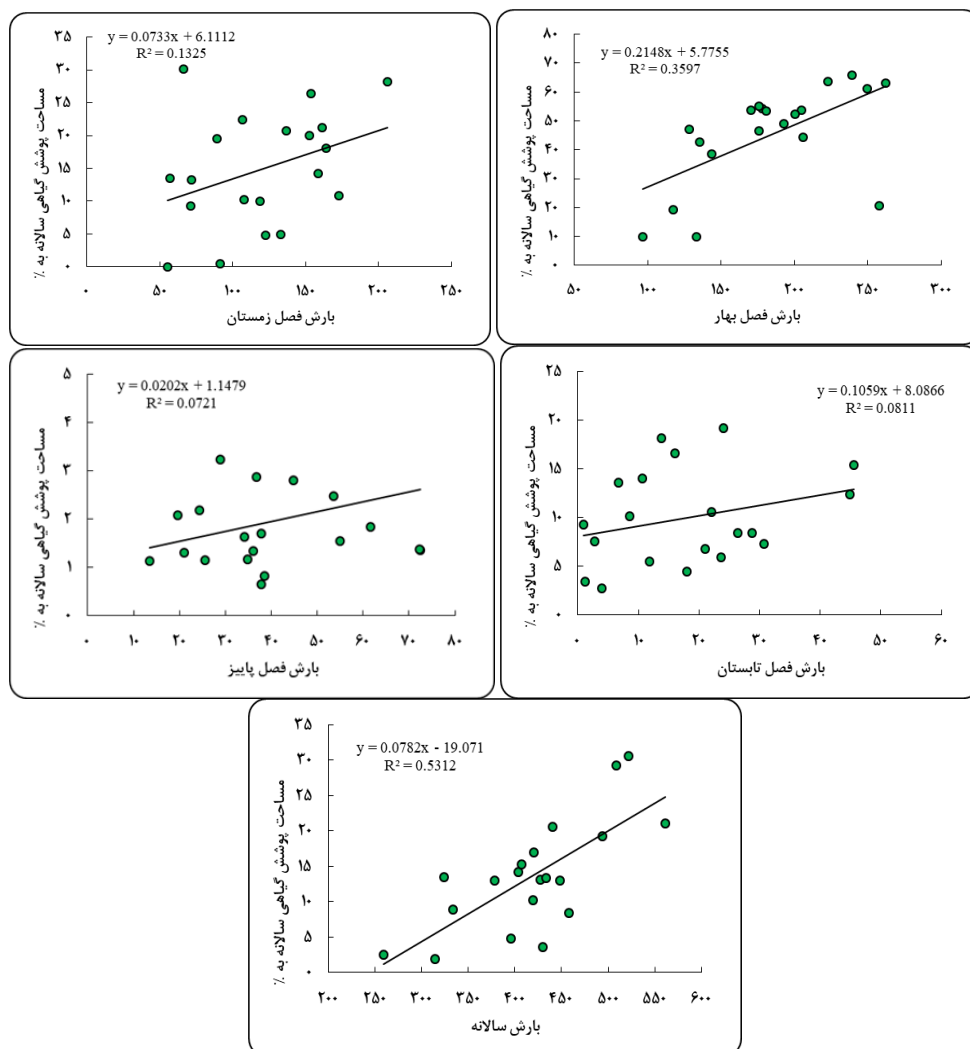
EVI					
پاییز	تابستان	بهار	زمستان	سالانه	بارش
۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۶۰*	۰,۳۶	۰,۷۳*	بارش
- ۰,۳۷	- ۰,۳۷	- ۰,۸۷*	۰,۳۱	- ۰,۵۵*	دما

جدول ۶. تغییرات درصد مجموع مساحت پوشش گیاهی فصول چهارگانه و سالانه در حوضه آبریز شمال افغانستان طی ۲۰۰۱ - ۲۰۲۰

پاییز	تابستان	بهار	زمستان	سالانه	سال
۰,۶۵	۲,۷۴	۹,۸۶	۹,۲۳	۲,۵۳	۲۰۰۱
۱,۱۵	۱۰,۱۸	۵۳,۶۴	۲۲,۳۶	۱۶,۹۲	۲۰۰۲
۳,۲۳	۱۴,۰۲	۶۵,۷۱	۱۸,۰۳	۲۹,۲۳	۲۰۰۳
۱,۱۸	۵,۹۲	۳۸,۵۷	۲۶,۴۵	۱۳,۰۷	۲۰۰۴
۱,۳۵	۱۵,۴۳	۵۴,۳۰	۱۹,۹۴	۱۳,۰۲	۲۰۰۵
۱,۳۷	۵,۵۲	۴۲,۶۳	۴,۹۳	۸,۳۵	۲۰۰۶
۱,۱۳	۷,۲۹	۴۸,۹۲	۲۱,۱۵	۱۳,۳۲	۲۰۰۷
۰,۸۳	۳,۴۶	۹,۹۱	۰,۰۳	۱,۸۶	۲۰۰۸
۲,۸۰	۱۹,۱۷	۶۳,۶۸	۱۴,۲۳	۳۰,۵۸	۲۰۰۹
۲,۰۸	۱۲,۳۸	۶۳,۱۴	۲۸,۱۶	۲۱,۰۴	۲۰۱۰
۱,۳۸	۴,۴۳	۱۹,۳۰	۴,۸۴	۴,۸۴	۲۰۱۱
۲,۴۸	۱۸,۱۵	۵۳,۴۲	۱۳,۲۰	۱۴,۲۴	۲۰۱۲
۱,۶۴	۸,۴۵	۵۲,۳۳	۱۹,۵۳	۱۵,۳۲	۲۰۱۳
۱,۵۵	۱۰,۵۵	۴۴,۴۲	۱۰,۲۲	۱۰,۱۷	۲۰۱۴

ادامه جدول ۶.

پاییز	تابستان	بهار	زمستان	سالانه	سال
۶,۶۷	۸,۴۲	۵۵,۲۱	۲۰,۷۴	۲۰,۵۷	۲۰۱۵
۱,۳۰	۶,۸۳	۴۶,۶۴	۳۰,۰۸	۱۳,۰۲	۲۰۱۶
۱,۷۱	۷,۵۶	۴۷,۱۵	۱۰,۰۳	۸,۹۲	۲۰۱۷
۱,۸۳	۹,۳۰	۲۰,۷۳	۰,۵۰	۳,۶۲	۲۰۱۸
۲,۸۷	۱۶,۶۰	۶۱,۱۶	۱۰,۷۸	۱۹,۲۷	۲۰۱۹
۲,۱۸	۱۳,۵۹	۵۳,۵۸	۱۳,۴۶	۱۳,۵۰	۲۰۲۰



شکل ۸. پراکندگی مجموع پوشش گیاهی فصول چهارگانه و سالانه با میزان بارش در حوضه آبریز شمال افغانستان طی ۲۰۲۰-۲۰۰۱

بحث

در این پژوهش روند تغییرات مساحت پوشش گیاهی و شناسایی خشک سالی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در ۲۰ سال گذشته ۲۰۲۰-۲۰۰۱ در حوضه آبریز شمالی افغانستان بررسی شد. از آنجاکه شمال افغانستان فاقد مناطق جنگلی بوده و بیشتر مرتعی است، بیشترین مساحت منطقه را پوشش گیاهی ضعیف تشکیل داده است که نظر به شاخص EVI مساحت تمام طبقات پوشش گیاهی به استثنای پوشش انبوه هیچ تغییری نشان ندادند. پوشش گیاهی انبوه با همبستگی و سطح معنی‌داری ($05/0P.t = 0/57$) افزایشی نسبی نشان دادند که این افزایش از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ است، دلیل آن هم گسترش جمعیت و شهرنشینی استان‌های بلخ، سمنگان، جوزجان، سرپل و فاریاب که شامل منطقه مطالعه هستند

و باعث ایجاد فضاهای سبز از قبیل هرس انواع درختان، ایجاد پارکها و باغها شده است (روستا و همکاران، ۱۳۹۹). بر اساس نتایج به دست آمده که تغییرات مساحت پوشش گیاهی فصل بهار مدنظر است، کمترین و بیشترین پوشش گیاهی نظر به شاخص EVI در ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ و به همین ترتیب ۲۰۰۳، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ با مقادیر ۹/۸، ۹/۹، ۱۹/۳ و ۲۰/۷ درصد و ۶۵/۷، ۶۳/۷، ۶۳/۱ و ۶۱/۱۶ درصد دارند که شاخص VCI نیز به ترتیب سالهای نامبرده با ۸۳/۵، ۸۱/۹، ۷۴/۹ و ۶۰/۵ درصد بیشترین مساحت خشک را در منطقه مطالعه تایید می کند که با نتایج پژوهش (Razipoor, 2019) مشابهت دارد. در سالهای نامبرده که شرایط خشک را تجربه کرده اند، قسمت های مرکزی تا رود آمو در شمال حوضه که بیشتر مناطق هموار و متشکل از زمین های زراعتی و مرتعی است بیشترین مساحت خشک را نظر به شاخص VCI دارند چون در سال های که خشک سالی رخ داده است، میانگین دمای بهار همان سال نسبت به سال های مرطوب با ۳۶/۹، ۳۵/۴، ۳۴/۳ و ۳۲/۵ درجه سانتی گراد بیشتر بوده است، بنابراین کمبود بارندگی و دمای بالا باعث نفوذناپذیری خاک در اوایل بهار شده است، از طرفی کاهش بارش در فصل رشد و افزایش دما باعث تبخیر و تعرق بیش از حد و تحت تنش آبی قرار گرفتن پوشش گیاهی و کاهش رطوبت گیاهان شده است. کاهش رطوبت گیاهان در طول زمان باعث تغییر رنگ گیاه و از بین رفتن آن گردیده است که یکی از نشانه های وقوع خشک سالی است. در سال های با شرایط خشک در شمال حوضه مناطق مرکزی شهرها طبق شاخص EVI و VCI شرایط تقریباً نرمال را نشان داده اند که آن هم به آب رودخانه ها بستگی دارد. در سال های که شرایط مرطوب دارند، بر اساس شاخص های VCI و SPI مناطق مرکزی و شمال حوضه شرایط مرطوب و خیلی مرطوب داشته اند که به علت بارش و دمای مناسب فصل بهار و پرآب بودن رودخانه ها می باشد که با یافته های (Rousta et al., 2020 a; Rousta et al., 2020 c) و (روستای و همکاران، ۱۳۹۶) مطابقت دارد.

بیشترین مساحت پوشش گیاهی را بین فصل ها، فصل بهار دارد، چراکه رشد هر نوع گیاه در منطقه مطالعه به دلیل بارندگی در این فصل، دمای متوسط و پرآب بودن رودخانه های خلم، بلخ آب، سرپل و شیرین تگ آب باعث افزایش مساحت پوشش گیاهی شده است (Rousta et al., 2020 b; Measho et al., 2019). در فصل تابستان پوشش گیاهی به دلیل نبود بارندگی کافی، دمای بلند و کم شدن آب رودخانه ها باعث شده است که پوشش گیاهی تنها در قسمت های هموار حوضه که شامل مراکز استان های سمنگان، بلخ، جوزجان، سرپل، فاریاب می شود کاهش یابد. در فصل پاییز و زمستان هم به دلیل شرایط اقلیمی کمترین پوشش گیاهی را در منطقه مطالعه داشته اند.

در حوضه آبریز شمالی افغانستان برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی دما و بارش هر دو اثرگذار بوده اند، اما آب رودخانه ها نیز تأثیر بر کاهش و افزایش پوشش گیاهی داشته است، به طور مثال رود سرپل در استان های جوزجان و سرپل بعد از دما و بارش بر پوشش گیاهی اثرگذار بوده است که سال ۲۰۱۷ با دمای ۲۶/۳C بیشتر از میانگین ۲۵/۱C و بارندگی ۱۲۸/۴ میلی متر کمتر از میانگین ۱۸۳/۵ میلی متر دوره پوشش گیاهی آن با ۴۷/۲ درصد باتوجه به میانگین ۴۵/۲ درصد دوره بیشتر بوده است که تأثیر آب رودخانه سرپل است.

در حوضه آبریز شمالی افغانستان پوشش گیاهی را نمی توان تنها با استفاده از بارش پیش بینی کرد، چراکه تغییرات دما ارتباط مستقیم و تأثیرگذار بر تغییرات پوشش گیاهی دارد. هم بارش و هم دما باید برای بررسی پوشش گیاهی در نظر گرفته شوند. در منطقه مطالعه کاهش بارندگی و افزایش دما سبب کاهش پوشش گیاهی و در نتیجه خشک سالی به وقوع پیوسته است و همچنان بارش متوسط و دمای کمتر از میانگین دوره نیز باعث کاهش پوشش گیاهی شده است، افزایش هم بارندگی و هم دما در منطقه مورد مطالعه باعث شرایط تقریباً نرمال شده است و اما دمای نزدیک به میانگین دوره و بارش بیشتر از میانگین باعث افزایش پوشش گیاهی و شرایط مرطوب شده است، بنابراین هم بارش و هم دما باعث افزایش یا کاهش پوشش گیاهی شده اند (منصوری، ۱۳۹۴).

نتیجه گیری

مطالعه حاضر باهدف بررسی پایداری روند تغییرات پوشش گیاهی و شناسایی خشک سالی و تغییرات مساحت پوشش

گیاهی در حوضه آبریز شمالی افغانستان با استفاده از داده‌های سنجش از دور انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده، مشخص شد که VCI به دست آمده از شاخص EVI می‌تواند با بارش و تصاویر LST، برای ارزیابی خشک‌سالی در حوضه آبریز شمالی افغانستان مفید باشد. میزان شاخص EVI فصل بهار از ۰/۱۵ تا ۰/۵ برای کل منطقه مورد مطالعه هیچ روند افزایشی نداشته و مجموع مساحت پوشش گیاهی نیز در دوره آماری افزایش نکرده بود. تنها طبقه $EVI > 0.5$ در منطقه افزایش یافته بود که آن هم احتمالاً به دلیل افزایش جمعیت شهری و ایجاد فضاهای سبز و باغ‌ها در مراکز و اطراف شهرها بود که باعث پایداری پوشش گیاهی شده است. همچنین بین شاخص VCI و EVI در منطقه مورد مطالعه رابطه معنی‌داری به دست آمد که رگرسیون بین EVI و مساحت خشک $r = -0.973$ و $r^2 = 0.95$ و EVI با مساحت غیر خشک $r = 0.973$ و $r^2 = 0.95$ یکسان بود. همبستگی بین تمام طبقات EVI با شرایط خشک سالی شدید و متوسط منفی بوده و روابط مثبت معنی‌داری بین تمام دسته‌های EVI با شرایط مرطوب شدید، خیلی مرطوب، متوسط و نرمال به دست آمد. هر دو شاخص EVI و VCI سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ را به عنوان سال‌هایی که در آن خشک‌سالی به وقوع پیوسته و سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ را به عنوان سال‌های مرطوب نشان دادند. همچنین، در تمام محاسبه‌های این مطالعه، بارش با دما رابطه منفی، بارش با EVI رابطه مثبت و دما با EVI رابطه منفی از خود نشان داد. در دوره ۲۰ ساله، بارش تا سال ۲۰۰۹ هیچ افزایشی نداشت اما پس از این سال، بارش تا سال ۲۰۲۰ به میزان ناچیزی افزایش یافته بود. در این دوره آماری دمای سطح زمین تغییری از خود نشان نداده بود. یکی از موضوعات مهم و ضروری در حوضه آبریز شمالی افغانستان پایداری اکولوژیکی است، زیرا عوامل مختلف اقلیمی، اجتماعی و فرهنگی می‌توانند باعث کاهش و از بین رفتن پوشش گیاهی منطقه شوند. در صورت ناپایداری در یک محیط با علائم مانند بیابان زایی، فرسایش خاک، تغییر اقلیم و غیره مواجه خواهد شد که پیامدهای مخرب اقتصادی، اجتماعی و اقلیمی خواهد داشت.

منابع

- انصاری، سلطان محمد (۱۳۹۴). *جغرافیای عمومی ولایات افغانستان*. کابل: انتشارات بین‌المللی سرور سعادت. مؤسسه تحقیقاتی مؤسسه تحصیلات عالی راه سعادت.
- رستمی، امین؛ بزانه، محمد؛ رائینی، محمود (۱۳۹۶). پایش مکانی و زمانی خشک‌سالی کشاورزی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و فن‌آوری سنجش از دور (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی). *دانش آب و خاک*، ۲۷ (۱)، ۲۱۳-۲۲۶.
- روستا، ایمان؛ محمود، سید عبدالروف؛ صابری، محمد عارف (۱۳۹۹). بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI و سنجنده مودیس در استان بلخ افغانستان. *دومین کنفرانس ملی اندیشه‌ها و فناوری‌های نوین در علوم جغرافیا*. زنجان: دانشگاه زنجان.
- عظیمی، محمد عظیم (۱۳۹۵). *جغرافیای شهری افغانستان*. کابل: کانون فرهنگی حکیم ناصر خسرو بلخی.
- علوی پناه، سید کاظم (۱۳۸۶). *سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین*. تهران: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- فاطمی، سیدباقر و رضائی، یوسف (۱۳۹۶). *مبانی سنجش از دور*. تهران: انتشارات آزاده.
- منصوری، شهرزاد (۱۳۹۴). *ارزیابی اثر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی مراتع استان گلستان با استفاده از تصاویر ماهواره ایی MODIS* پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مرتع و آبخیزداری و شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- محمود، سید عبدالروف؛ روستا، ایمان؛ مزیدی، احمد (۱۴۰۰). بررسی تأثیر خشک‌سالی در تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه بلخ آب افغانستان). *دومین همایش بین‌المللی علم اطلاعات جغرافیایی بنیادها و کاربردهای بین‌رشته‌ای*. مشهد: دانشگاه فردوسی.

References

- Almazroui, M. (2011). Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. *Atmospheric Research*, 99(3-4), 400-414.
- Alavi Panah, K. (2007). *Thermal remote sensing and its application in earth sciences*. Tehran:

- Publishing and Printing of Tehran University. (In Persian).
- AghaKouchak, A., Farahmand, A., Melton, F. S., Teixeira, J., Anderson, M. C., Wardlow, B. D., & Hain, C. R. (2015). Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities. *Reviews of Geophysics*, 53(2), 452-480.
- Ansari, S. M. (2015). *General Geography of Afghanistan Provinces*. Kabul: Sarwar Saadat International Publications. Research Institute of Rahe Saadat Higher Education Institute. (In Persian).
- Azimi, M. A. (2016). *Urban Geography of Afghanistan*. Kabul: Hakim Naser Khosrow Balkhi Publication Center (In Persian).
- Breckle, S. W. (2007). Flora and vegetation of Afghanistan. *Basic and Applied Dryland Research*, 1(2), 155-194.
- Cancelliere, A., Di Mauro, G., Bonaccorso, B., & Rossi, G. (2007). Drought forecasting using the standardized precipitation index. *Water resources management*, 21(5), 801-819.
- Flohn, H. (1969). Zum Klima und Wasserhaushalt des Hindukuschs und der benachbarten Hochgebirge (The Climate and Water-Budget of the Hindu Kush and Neighbouring Mountain Ranges). *Erdkunde*, 23(3) 205-215.
- Favre, R., & Kamal, G. (2004). Watershed Atlas of Afghanistan. Food and Agricultural Organization (FAO) and Afghanistan Information Management Service (AIMS).
- Fatami S.B., & Rezaei, y. (2017). Principles of Remote Sensing. Tehran: Azadeh Publications (In Persian).
- Ghafarian Malamiri, H. R., Roustai, I., Olafsson, H., Zare, H., & Zhang, H. (2018). Gap-filling of MODIS time series land surface temperature (LST) products using singular spectrum analysis (SSA). *Atmosphere*, 9(9), 334.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, 195-213.
- Huete, A., Justice, C., & Liu, H. (1994). Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49, 224-234.
- Huete, A., Justice, C., & Van Leeuwen, W. (1999). MODIS vegetation index (MOD13). *Algorithm theoretical basis document*, 3(213), 295-309.
- Huete, A., Liu, H. Q., Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59, 440-451.
- Hong, Y., Hsu, K., Sorooshian, S., & Gao, X. (2004). Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system. *J. Appl. Meteor.*, 43, 1834-1852.
- Kamal, G.M. (2004). River Basins and Watersheds of Afghanistan; Afghanistan Information Management Services (AIMS): Kabul, Afghanistan. 1, 1-7.
- Kogan, F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655-668.
- Kogan, F. N. (1997). Global Drought Watch from Space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621-636.
- Liu, Q., Zhang, S., Zhang, H., Bai, Y., & Zhang, J. (2020). Monitoring drought using composite drought indices based on remote sensing. *Science of The Total Environment*, 711, 134585.
- Liu, W. T., & Kogan, F. N. (1996). Monitoring regional drought using the vegetation condition index. *International Journal of Remote Sensing*, 17(14), 2761-2782.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17 (22), 179-183.
- Martiny, N., Camberlin, P., Richard, Y., & Philippon, N. (2006). Compared regimes of NDVI and rainfall in semi-arid regions of Africa. *International Journal of Remote Sensing*,

- 27(23), 5201-5223.
- Measho, S., Chen, B., Trisurat, Y., Pellikka, P., Guo, L., Arunyawat, S., & Yemane, T. (2019). Spatio-Temporal Analysis of Vegetation Dynamics as a Response to Climate Variability and Drought Patterns in the Semiarid Region, Eritrea. *Remote Sensing*, 11(6), 724.
- Mahmood, S. A. R., Rousta, I., & Mazidi, A. (2021). Investigation of Drought Effect on Vegetation Changes using Remote Sensing (Case study: Balkhab Watershed, Afghanistan). *2nd International Conference on Geographic Information Science of Interdisciplinary Foundations and Applications*, Mashhad, Ferdowsi university (In Persian).
- Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M., Mokhtari, M., Karimi Firozjaei, M., & Alavipanah, S. (2021). Study and prediction of land surface temperature changes of Yazd city: assessing the proximity and changes of land cover. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(4), 1-27.
- Mansourmoghaddam, M., Ghafarian Malamiri, H. R., Rousta, I., Olafsson, H., & Zhang, H. (2022). Assessment of Palm Jumeirah Island's Construction Effects on the Surrounding Water Quality and Surface Temperatures during 2001–2020. *Water*, 14(4), 634.
- Mansouri, S. (2015). *Assessment of Drought Impact on Golestan Province Rangeland Vegetation Using MODIS satellite images*. M.Sc. Thesis in Range Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (In Persian).
- Mir Yaghoubzadeh, M. H., Khosravi, S. A., & Zabihi, M. (2018). A review of drought indicators and their performance. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(1), 103-112. (In Persian).
- Nguyen, P., Ombadi, M., Gorooh, V. A., Shearer, E. J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., & Ralph, M. F. (2020). PERSIANN dynamic infrared–rain rate (PDIR-now): A near-real-time, quasi-global satellite precipitation dataset. *Journal of hydrometeorology*, 21(12), 2893-2906.
- Nguyen, P., Ombadi, M., Gorooh, V. A., Shearer, E. J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., ... & Ralph, M. F. (2020). PERSIANN dynamic infrared–rain rate (PDIR-now): A near-real-time, quasi-global satellite precipitation dataset. *Journal of hydrometeorology*, 21(12), 2893-2906.
- Nguyen, P., Shearer, E. J., Ombadi, M., Gorooh, V. A., Hsu, K., Sorooshian, S., & Ralph, M. (2020). PERSIANN Dynamic Infrared–Rain rate model (PDIR) for high-resolution, real-time satellite precipitation estimation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(3), 286-302.
- Nguyen, P., Shearer, E. J., Tran, H., Ombadi, M., Hayatbini, N., Palacios, T., & Sorooshian, S. (2019). The CHRS Data Portal, an easily accessible public repository for PERSIANN global satellite precipitation data. *Scientific data*, 6(1), 1-10.
- Olafsson, H., & Rousta, I. (2021). Influence of atmospheric patterns and North Atlantic Oscillation (NAO) on vegetation dynamics in Iceland using Remote Sensing. *European Journal of Remote Sensing*, 54(1), 351–363.
- Peng, J., Liu, Z., Liu, Y., Wu, J. & Han, Y. (2012). “Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai–Tibet Plateau using Hurst Exponent”. *Ecological Indicators*, 14(1), 28-39.
- Peters E (2003). *Propagation of drought through groundwater systems-illustrated in the Pang (UK) and Upper-Guadiana (ES) catchments*. Ph.D. Thesis, Wageningen University, the Netherlands.
- Rathjens, C. (1974). Die Wälder von Nuristan und Paktia. Standortbedingungen und Nutzung der ostafghanischen Waldgebiete. *Geographische Zeitschrift*, 62(4), 295-311.
- Rousta, I., Saberi, M. A., Mahmood, S. A. R., Moghaddam, M. M., Olafsson, H., Krzyszcza, J., & Baranowski, P. (2020 a). Climate Change impacts on vegetation and agricultural drought in the basin of Panjshir River in Afghanistan. *Climate Change Research*, 1(4), 77-88.
- Rousta, I., Olafsson, H., Moniruzzaman, M., Ardö, J., Zhang, H., Mushore, T. D., ... & Azim, S. (2020 c). The 2000–2017 drought risk assessment of the western and southwestern basins in Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(2), 1201-1221.

- Rousta, I., Olafsson, H., Moniruzzaman, M., Zhang, H., Liou, Y. A., Mushore, T. D., & Gupta, A. (2020 b). Impacts of drought on vegetation assessed by vegetation indices and meteorological factors in Afghanistan. *Remote Sensing*, 12(15), 2433.
- Rousta, I., Javadizadeh, F., Dargahian, F., Ólafsson, H., Shiri-Karimvandi, A., Vahedinejad, S. H., & Asadolahi, A. (2018). Investigation of Vorticity during Prevalent Winter Precipitation in Iran. *Advances in Meteorology*, 2018(4), 1–13.
- Rousta, I., Khosh Akhlagh, F., Soltani, M., & Modir Taheri Sh, S. (2014). Assessment of blocking effects on rainfall in northwestern Iran. *Proceedings of COMECAP 2014*, 291.
- Rousta, I; Mahmood, S. A. R; & Saberi, M. A, (2020). Investigation of vegetation change using NDVI index and MODIS sensor in Balkh province of Afghanistan. Second National Conference on New Thoughts and Technologies in Geographical Sciences, Zanjan: Zanjan University (In Persian).
- Rostami, A., Bazaneh, M., & Raeini, Mahmood. (2017). Spatial and temporal monitoring of agricultural drought using MODIS sensor images and remote sensing technology (Case study: East Azarbaijan Province). *Water and soil science*, 27(1), 213-226 (In Persian).
- Razipoor, M. E. (2019). Assessing the vegetation Condition of Herat Province, Afghanistan Using GIS. *Applied geology and Geophysics*, 7(4), 92-97.
- Salazar, L., Kogan, F., & Roytman, L. (2008). Using vegetation health indices and partial least squares method for estimation of corn yield. *International Journal of Remote Sensing*, 29(1), 175-189.
- Snetkov, A. (2013). *The Regional Dimensions to Security: Other Sides of Afghanistan*. Springer.
- Shah, R., Bharadiya, N., & Manekar, V. (2015). Drought index computation using standardized precipitation index (SPI) method for Surat District, Gujarat. *Aquatic Procedia*, 4, 1243-1249.
- Shahriar Pervez, M., Budde, M., & Rowland, J. (2014). Mapping irrigated areas in Afghanistan over the past decade using MODIS NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 149, 155–165.
- Savage, M., Dougherty, B., Hamza, M., Butterfield, R., & Bharwani, S. (2009). Socio-economic impacts of climate change in Afghanistan. *Stockholm Environment Institute: Oxford, UK*.
- Tate, E. L., & Gustard, A. (2000). Drought Definition: A Hydrological Perspective. *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, 23–48.
- Wan, Z., Wang, P., & Li, X. (2004). Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International journal of remote sensing*, 25(1), 61-72.

