

Analysis of Climate Change Impact on Zagros Oak Forest Cover (Northeastern Khuzestan)¹

Mossa Molaye

Ph.D. Student in Climatology, Department of Physical Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Dariush Rahimi

Associate Professor in Climatology, Department of Physical Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Reza Zakerinezhad

Assistant Professor in Remote Sensing and Geographical Information System, Department of Physical Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Received: 12 April 2025 Revised: 21 April 2025 Accepted: 2 May 2025

Abstract

Forests are considered one of the main chains of life due to their important role in the oxygen, water and carbon cycles. Zagros oak forests are the dominant species of Zagros forests. In this study, the forest cover of the northeastern Khuzestan in the counties of Dezpart, Izeh and Baghmalek was investigated. MODIS satellite images from 2000 to 2020 were used to investigate the effect of climate change on forest cover in the region, data on precipitation, temperature, annual mean temperature and land surface temperature from meteorological stations, as well as NDVI, LST, TCI, and VCI indices. The trend of the variables was examined using the Pettitt test. The results of the P-test confirmed an increase in air and land surface temperature by 1 °C, a decline in water levels and medium and dense vegetation cover, a surge in the VCI and a reduction in the TCI. In addition, it was found that the year 2007 marked the data trend change. The results of the non-parametric test of turning points (Pettitt's Test) of the mean annual temperature and precipitation (1975-2020) in the region revealed that the air temperature

1. The article is extracted from the first author's doctoral thesis of submitted to the University of Isfahan.

2. Corresponding Author, Email: d.rahimi@geo.ui.ac.ir



©2024 The author(s). This is an open access article under the CC BY license:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

How to Cite This Article: Molaye, M., Rahimi, D. and Zakerinezhad, R. (2025). Analysis of Climate Change Impact on Zagros Oak Forest Cover (Northeastern Khuzestan). Journal of Geography and Regional Development, 23(1), 257 -292. Doi: 10.22067/jgrd.2025.93010.1548

had a significant trend at a 95% CI (P-value = 0.011). The spring temperature has increased by about 1.8 °C since 2009. The results of this test were not significant for annual precipitation (P-value = 0.175). The findings suggested that the range of changes in the water condition of the region dropped from 3.08 to 0.08 in the 2007-2020 period. The anomaly of the annual precipitation in the region confirms a long-term drought period from 2007 to 2017. Changes in vegetation and humidity in the region denote rising humidity fluctuations during this time period. These two indicators suggest a fall in forest cover in the region from 2000 to 2020. These changes, along with rising temperatures and continuing droughts, serve as positive feedback. The continuity of the current climate trend will decrease carbon sequestration and base flow, and change river water regime. The cybernetic effects of these actions will wreak havoc on economic and social structure and fuel climate migration.

Keywords: Climate Change, Oak Forest, Vegetation Condition Index (VCI), Thermal Condition Index (TCI), Zagros Mountain.

واکاویی اثر تغییر اقلیم بر پوشش جنگلی بلوط زاگرس (شمال شرق استان خوزستان)^۱

موسی مولایی (دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران)

mossamolaye55@gmail.com

داریوش رحیمی (استاد هیئت‌واقلیم، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، نویسنده مسئول)

d.rahimi@geo.ui.ac.ir

رضا ذاکری نژاد (استادیار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران)

reza.zakerinezhad@gmail.com

چکیده

جنگل‌ها به دلیل نقش مؤثری که در چرخه‌های اکسیژن، آب و کربن دارند، جزء حلقه‌های اصلی تداوم حیات محسوب می‌شوند. جنگل‌های بلوط زاگرس گونه غالب جنگل‌های زاگرس محسوب می‌شوند. در این مطالعه منطقه جنگلی شمال شرق استان خوزستان در شهرستان‌های دزپارت، ایذه و باغملک بررسی شده‌اند. در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر پوشش جنگلی منطقه از تصاویر ماهواره MODIS ۲۰۰۰-۲۰۲۰، داده‌های بارش و میانگین سالانه دمای سطح زمین ایستگاه‌های هواشناسی و شاخص‌های TCI, VCI, NDVI, LST استفاده شد. روند متغیرها با Pettitt-Test بررسی شد. نتایج آزمون P-test افزایش دمای هوا و دمای سطح زمین به میزان $C^{\circ} 1$ ، کاهش سطوح آبی و پوشش‌های گیاهی متوسط و متراکم، افزایش شاخص VCI و کاهش TCI را تأیید کرد. علاوه بر این مشخص گردید سال ۲۰۰۷ زمان تغییر روند داده‌ها است. نتایج آزمون ناپارامتری نقاط چرخش (Pettitt's Test) میانگین دما و بارش سالانه (۱۹۷۵-۲۰۲۰) منطقه نشان می‌دهد دمای هوا در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای روند معنی‌دار است ($P\text{-value}=0.011$). میزان دمای فصل بهار از سال ۲۰۰۹ حدود ۱.۸ درجه سلسیوس افزایش یافته است. نتایج این آزمون برای بارش سالانه معنی‌دار نبود ($P\text{-value}=0.175$). یافته‌ها نشان داد دامنه تغییرات پوشش آبی منطقه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۷ از ۳.۰۸ به ۰.۰۸ کاهش یافته است. ناهنجاری بارش سالانه منطقه رخداد یک دوره بلندمدت خشکسالی از ۲۰۰۷ تا

۱. مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول مقاله در دانشگاه اصفهان است.

۲۰۱۷ را تأیید می‌نماید. تغییرات پوشش گیاهی و رطوبتی منطقه بیانگر افزایش نوسان‌های رطوبتی در این دوره زمانی است. این دو شاخص نشان‌دهنده کاهش پوشش جنگلی منطقه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ است. این تغییرات همزمان با افزایش دما و تداوم خشکسالی‌ها به صورت یک پسخوراند مثبت عمل می‌کند. از پیامدهای تداوم روند شرایط اقلیمی فعلی کاهش میزان ترسیب کربن، کاهش جریان پایه و تغییر رژیم آبدهی رودخانه خواهد بود. اثرات سیبرنتیکی این عمگرها منجر به تخریب ساختار اقتصادی و اجتماعی و افزایش مهاجرت‌های اقلیمی خواهد شد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، جنگل بلوط، زاگرس، شاخص TCI و شاخص VCI.

۱. مقدمه

جنگل‌ها، کلیماکس زیست‌بوم‌های طبیعی هستند که نقش مؤثری در پایداری سایر زیست‌بوم‌ها (گیاهی، جانوری و انسانی)، چرخه آب، خاک و تأمین منابع غذایی دارند (آلن، برشرز و مکداول^۱، ۲۰۱۵) (تعدیل ترکیبات جو (چرخه اکسیژن)، حفاظت خاک، چرخه آب و ترسیب کربن (چرخه کربن) از عملکردهای جنگل هستند (کاوپپی^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). در دهه‌های اخیر گستردگی تخریب جنگل‌ها و تغییر اقلیم منجر به شکل‌گیری یک پسخوراند مثبت در چرخه کوتاه‌مدت کربن شده است (پیترسون^۳ و همکاران، ۲۰۲۲؛ فائو، ۲۰۲۰؛ سایاز^۴ و همکاران، ۲۰۰۸؛ و پان^۵ و همکاران، ۲۰۱۱).

تجارت چوب، پاک کردن اراضی از پوشش جنگل‌ها و تغییرات کاربری اراضی بدون احیای جنگل نتیجه چیرگی ایده استحصال سود حداکثری است. این رویکرد در جنگل‌های استوایی (آمریکای جنوبی، آسیا و آفریقای حاره‌ای) منجر به جنگل‌زدایی گسترده شده است. نتایج این ایده و فعالیت‌ها در سامانه‌های اقلیمی تغییر ایجاد کرده است (آلبرچت و کاندجی^۶، ۲۰۰۳؛ آلیمان^۳، ۲۰۱۸). پیوستگی اجزای سامانه‌های اقلیمی حرکت دومینووار افزایش دما، خشکسالی‌های بلندمدت،

1. Allen, Breshears, & McDowell

2. Kauppi

3. Petersson

4. Ciais

5. Ciais

6. Albrecht & Kandj

آتش سوزی، شیوع آفات گیاهی و تغییرات کاربری اراضی را تسریع می نماید (فورستر^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). (در این فرایند، تخریب جنگل، افزایش مصرف سوخت های فسیلی، کاهش ترسیب کربن و افزایش اثر گلخانه ای این فرایند را شتاب داده و در نهایت منجر به تغییرات اکولوژی گسترده به ویژه در چرخه خاک، آب و کربن می شود.

خشکسالی های بلندمدت آغازگر تکانه تنش آبی، کاهش در منابع آب در دسترس و رطوبت خاک، افزایش گردوغبار، دما، تبخیر و استرس های آبی برای درختان شده است. یافته ها نشان می دهد که جنگل های سراسر جهان در معرض رویدادهای فرین اقلیمی قرار دارند. خشکسالی های بلندمدت ساختار و عملکرد جنگل ها را بدتر و منجر به کاهش تنوع و افزایش تخریب درختان شده است (بیلویو^۲، ۲۰۲۲).

اثرگذاری جنگل ها بر چرخه آب یکی از فاکتورهای مؤثر بر پایداری منابع آب است. یافته ها نشان می دهد با تخریب جنگل ها تبخیر از سطح خاک، رواناب، بار رسوب و سیلاب های بزرگ افزایش و برگاب و تبخیر و تعرق و نفوذ کاهش می یابد (ورگوپولان و فیش^۳، ۲۰۱۶؛ سوکولوف^۴ و همکاران، ۲۰۱۹).

بررسی واکنش اقلیم و جنگل بر حساسیت هیدرولوژیکی حوضه های آبی مانند بارش، دما، نسبت تبخیر و تعرق و بیلان آبی متناسب با جنگل های متراکم و مخروبه فرق دارد (هوی^۵ و همکاران، ۲۰۲۳). ارزیابی اثر جنگل در حوضه های آبخیز نشان داد جنگل زدایی منجر به کاهش رواناب و نفوذ، افزایش سیل خیزی و زمان تمرکز شده است، اما در جنگل های متراکم نفوذ تا ۷۰ درصد بارش و رواناب حدود ۱.۲٪ از بارش را شامل می گردد (هلاسنی^۶ و همکاران، ۲۰۱۵).

1. Aleman

2. Forster

3. Beloiue

4. Vergopolan & Fische.

5. Sokolova

6. Hou

7. Hlasny

مطالعات زیست‌بوم‌های جنگلی نشان می‌دهد در اثر تغییر اقلیم، خشکسالی‌های بلندمدت، گردوغبار و تنش‌های آبی منجر به خشکیدگی درختان جنگلی، آتش‌سوزی، افزایش قارچ‌ها و حشرات و آفات گیاهی در رویشگاه‌های مختلف جنگل‌ها در بیشتر مناطق جهان از جنگل‌های بارانی و حاره، مناطق نیمه‌خشک مانند رویشگاه بلوط ایرانی، بلوط ژاپنی، مناطق جنگلی آمریکای شمالی و اروپا تا مناطق جنگلی تایگا شده است. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید، متان، سولفات گوگرد و... اثرات مخرب بر جنگل‌ها را تشدید نموده است (رستم‌نیا و آخوندزاده، ۱۳۹۵)؛ (بروان^۱، ۱۹۹۹)؛ (هکیلا^۲ و همکاران، ۲۰۰۲)؛ (کلارک^۳ و همکاران، ۲۰۰۴)؛ (کومورا^۴ و همکاران، ۲۰۰۵)؛ (وانگ^۵ و همکاران، ۲۰۰۷)؛ (مورا^۶ و همکاران، ۲۰۱۲)؛ (گونسالس^۷ و همکاران، ۲۰۰۷)؛ (گاریتی^۸ و همکاران، ۲۰۱۳)؛ (اوگایا^۹ و همکاران، ۲۰۱۵) و (هوانگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۹).

جابه‌جایی قلمرو گونه‌های جنگلی (IPCC, 2007)، ایجاد استرس‌های ناشی از آلودگی مانند باران‌های اسیدی، روند آینده مدیریت جنگل، کنترل آتش‌سوزی‌ها و تغییر کاربری اراضی (جعفری، ۱۳۸۷)، تغییرات مکانی گونه‌های مناسب در تولید چوب، فعالیت‌های تفریحی و گردشگری، کاهش کیفیت آب، از بین رفتن تنوع حیات وحش و میزان ذخیره کربن (فائو^{۱۱}، ۲۰۰۶)؛ (IPCC, ۲۰۰۷)؛ و (لال^{۱۲}، ۲۰۰۴) از دیگر اثرات تغییر اقلیم بر جنگل است. داده‌های سنجش از دور ابزار مناسبی جهت بررسی تغییرات پوشش گیاهی محسوب می‌شوند. به‌منظور تسهیل در کاربرد داده‌های سنجش از دور در شناخت تغییرات پوشش گیاهی از شاخص‌های متعددی مانند شاخص

1. Brown
2. Heikkilä
3. Clark
4. Komura
5. Wang
6. Mora
7. Gonzalez
8. Garrity
9. Ogaya
10. Huang
11. FAO
12. Lal

تفاضل پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، شرایط رطوبتی و حرارتی استفاده می‌شود. نتایج مطالعات شاهدی و کوشاهی (۱۴۰۱)، فیروزی و همکاران (۱۳۹۸)، عفیفی (۱۴۰۰) و مجردی و همکاران (۱۳۹۹) در مورد رطوبت خاک، پوشش گیاهی، تغییرات پوشش گیاهی و تعیین خشکسالی مناسب بودن این شاخص‌ها را برای استفاده در آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی تأیید می‌نماید.

مساحت مناطق جنگلی ایران معادل ۱۷۶۴۹۹ کیلومتر مربع معادل ۱۰.۷٪ مساحت ایران است. اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران منجر به کم بودن سطح پوشش جنگلی کشور شده است. عمده مناطق جنگلی ایران در سواحل دریای کاسپین و مناطق جنگلی زاگرس است. جنگل‌های انبوه ایران در شمال کشور است، اما مناطق جنگل زاگرس با تراکم متوسط و تنک است. گونه غالب جنگل‌های زاگرس بلوط ایرانی است.

ایران به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک به جز در ساحل دریای خزر و ارتفاعات زاگرس فاقد پوشش جنگلی مؤثر و انبوه است. این پوشش جنگلی به دلیل شرایط مدیریتی، ارزش‌گذاری اقتصادی و جنگل‌نشینان از ۱۳۴۰ رو به کاهش بوده است، اما از میانه‌های دهه ۱۳۷۰ شمسی و محسوس شدن آثار تغییر اقلیم با تهدید جدیدی روبه‌رو شده است. تغییر اقلیم به دلیل افزایش دما، خشکسالی‌های بلندمدت، آتش‌سوزی و گردوغبار، منجر به شیوع آفات درختی مانند سوسک‌ها ساقه‌خوار، حشرات برگ‌خوار، خشکیدگی و تخریب جنگل شده است. بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد در جنگل‌های بلوط استان‌های کرمانشاه، ایلام، لرستان، خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد این فرایند تخریبی شدیدتر بوده است (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، ۱۴۰۰).

بررسی مخاطرات اقلیمی در رویشگاه‌های بلوط از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان‌دهنده افزایش گردوغبار و خشکسالی و کاهش پهنه‌های آبی (محمدی و همکاران ۲۰۲۴)، است. به نظر می‌رسد ارتباط قابل قبولی بین این رخداد‌های اقلیمی و تخریب جنگل‌های این مناطق وجود داشته باشد. با این رویکرد ارزیابی تغییرات دما و بارش، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین انجام و اثرات این تغییر بر پوشش جنگلی منطقه سنجیده می‌شود. خشکیدگی و آفت‌زدگی جنگل‌های بلوط به‌ویژه در

محدوده استان ایلام تا کهگیویه و بویراحمد منجر به تخریب گسترده آنها شده است. بررسی چرای این رخداد در پوشش جنگلی بلوط این مناطق در نتیجه تغییر اقلیم، مهم‌ترین هدف این مطالعه است.

۲. روش پژوهش

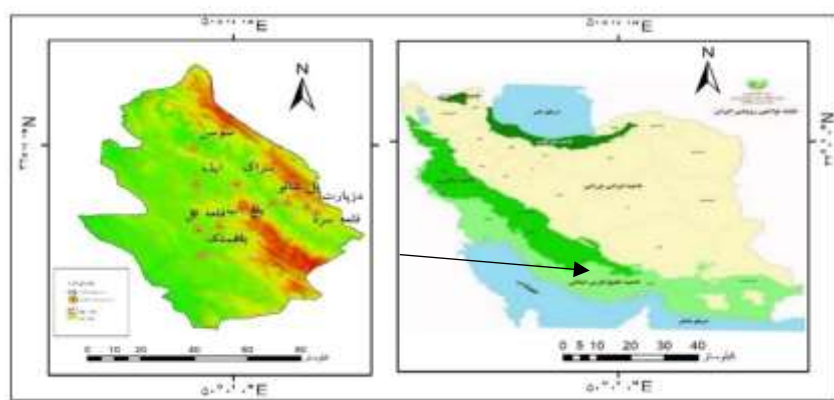
۲.۱. منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه قسمتی از جنگل‌های زاگرس میانی به وسعت معادل ۶۰۸۶ کیلومتر مربع است. این محدوده در دامنه‌های جنوب غربی زاگرس میانی محدود به ارتفاعات منگشت، دزپارت و سوسن در ارتفاع ۳۳۷-۳۵۸۹ ارتفاع سطح دریا در استان خوزستان قرار دارد (شکل ۱). بارش سالانه ۶۱۷ میلیمتر و دمای سالانه ۲۱.۱، دمای بیشینه ۲۸.۵ و دمای کمینه ۱۳.۵ درجه سلسیوس است. این منطقه دارای دو فصل مرطوب (نوامبر-مارس) و فصل خشک (آوریل-اکتبر) است. در طبقه‌بندی آمبرژه در طبقات اقلیمی نیمه مرطوب قرار دارد (اداره کل جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری استان خوزستان، ۱۳۹۹).

جنگل‌های محدوده مطالعاتی شامل بلوط ایرانی است. درختی است با ارتفاع حدود ۹ متر، دارای تاج گسترده و انبوه، پوست خاکستری روشن و شیاردار، برگ‌های پهن، به‌طور عمده تخم‌مرغی و گاهی کشیده، دانه دوکی‌شکل، باریک، پیاله‌قیفی شکل و خیلی شکننده و محدوده پراکنش آن کمتر از دو میلیون هکتار است و در طبقه آسیب‌پذیر قرار می‌گیرد (پناهی، ۱۳۹۰). علاوه بر گونه بلوط

-
1. Q.Persica
 2. Acer Monspessulanum- Pistacia atlantica
 3. Amygdalus.
 4. Lonicera Nummulariifolia
 5. Amygdalus Lycioides Spach
 6. Celtis

ایرانی گونه‌های درختی و درختچه‌ای نظیر بنه- کیکم^۱، بادام^۲، شن^۳، تنگرس^۴ و داغداغان^۵ همراه بلوط^۶ سازگاری یافته است (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۹۹).
در این محدوده به علت وجود شرایط سخت کلماتیک - اداپیک (شرایط اقلیمی - خاک)، جنگل‌های انبوه گسترده‌ای مشاهده نمی‌گردد (شکل ۱).



شکل ۱- مناطق پنج‌گانه اکولوژی ایران

منبع: (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۹۹).

۲.۲. داده و روش

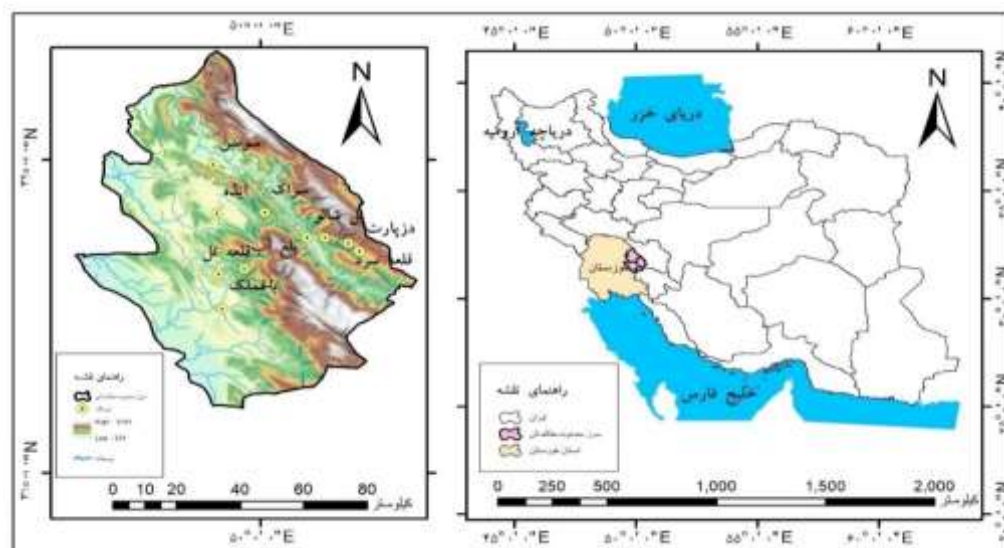
داده: برای ارزیابی تغییرات پوشش جنگلی و ارتباط آن با تغییر اقلیم در شمال شرق استان خوزستان از دو گروه داده استفاده می‌شود. گروه اول شامل متغیرهای اقلیمی میانگین دما و مجموع بارش سالانه ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه در دوره ۲۰۲۰-۱۹۷۵ است (جدول ۱ و شکل ۲).

گروه دوم داده‌های مکانی مربوط به پوشش گیاهی منطقه است. این داده‌ها شامل تصاویر ماهواره‌ای از سنجنده MODIS در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ است. این تصاویر از سایت Google Earth Engin اخذ شده‌اند. اندازه هر سلول نیز 250×250 متر تصویربرداری می‌شود. برای محاسبه شاخص NDVI تصاویر هر ۱۶ روز برداشت شده است که در این مطالعه میانگین ماهانه آن در نظر گرفته شده است. برای بررسی تغییرات دمای سطح زمین تصاویر دارای گام‌های زمانی ۸ روزه است که میانگین آن نیز محاسبه شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی منطقه (۱۹۷۵-۲۰۲۰)

منبع: سازمان هواشناسی و وزارت نیرو

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	طول دوره آماری	نوع ایستگاه
۱	باغملک	۷۱۳	۱۹۸۶-۲۰۲۰	هواشناسی
۲	دزپارت	۱۴۷۱	۱۹۹۹-۲۰۲۰	هواشناسی
۳	ایذه	۸۳۳	۱۹۸۲-۲۰۲۰	هواشناسی
۴	رکعت نعل کنان	۱۱۸۹	۱۹۹۵-۲۰۲۰	هواشناسی
۵	سوسن	۶۵۸	۱۹۸۱-۲۰۲۰	هواشناسی
۶	پل شالو	۶۹۸	۱۹۹۰-۲۰۲۰	هواشناسی
۷	بارانگرد	۸۲۵	۱۹۹۱-۲۰۲۰	هواشناسی
۸	مال آقا	۱۰۶۹	۱۹۷۹-۲۰۲۰	باران‌سنجی
۹	قلعه سرد	۱۷۱۲	۲۰۰۱-۲۰۲۰	باران‌سنجی
۱۰	سراک	۱۰۳۲	۱۹۹۵-۲۰۲۰	باران‌سنجی
۱۱	قلعه تل	۸۷۰	۱۹۷۵-۲۰۲۰	باران‌سنجی
۱۲	بلاغ آب	۱۱۵۵	۱۹۹۱-۲۰۲۰	باران‌سنجی



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

۳.۲. روش

روش مطالعه از نوع تجربی و تحلیلی است. در این نوشتار در ابتدا تغییرات عناصر اقلیمی و شاخص‌های سنجش از دور شامل دمای سطح زمین و پوشش گیاهی و در ادامه اثر تغییر اقلیم بر پوشش جنگلی واکاوی شده است. در مدل مفهومی پژوهش الگوریتم انجام کار ارائه گردیده است (شکل ۳).

۴.۲. تحلیل روند

برای آشکارسازی روند تغییرات عناصر اقلیمی و شاخص‌های سنجش از دور گیاهی از آزمون ناپارامتری (P-Test) در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شده است (رابطه ۱) (Pettitt, 1979) و (پولرت ۲۰۱۸).

$$K_T \max |U_{t,T}|, \quad U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \operatorname{sgn}(X_i - X_j) \quad p \approx 2 \exp\left(\frac{-6 K_T^2}{T^3 + T^2}\right) \quad \text{رابطه ۱}$$

که: چرخش نقاط $U_{t,T}$. سطح اطمینان: K_T

به منظور بررسی تغییر پوشش جنگلی از شاخص‌های سنجش از دور NDVI, LST, TCI, VCI و برای محاسبات دمای سطح زمین از متغیر LST استفاده گردید. این شاخص‌ها از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS به صورت ماهانه در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ که در سایت Google Earth Engin در دسترس هستند، استخراج گردیدند (روابط ۲, ۳, ۶, ۷).

۲.۵. شاخص تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)

مقدار این شاخص بین -۱ تا +۱ است. مقادیر کمتر از صفر و منفی آن پوشش آب، صفر تا ۰.۲ خاک بدون پوشش گیاهی، ۰.۲-۰.۴ برای پوشش گیاهی تنک، ۰.۴-۰.۶ پوشش گیاهی متوسط و بیشتر ۰.۶ برای پوشش‌های متراکم استفاده می‌شود. این شاخص با رابطه (۲) محاسبه گردید:

رابطه ۲

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

۲.۶. دمای سطح زمین^۱

دمای سطح زمین نماگر مناسبی در تعیین تغییرات محیطی است. دما به بیان دیگر پس‌داد انرژی تابشی را نشان می‌دهد. سطح زمین با توجه به پوشش سطح خود، انرژی تابشی در طول موج‌های مختلف را جذب می‌نماید و سپس در طول موج بلند آن را پس می‌دهد. از این متغیر برای اندازه دمای سطح زمین استفاده می‌شود. تغییرات آن نشان‌دهنده تغییرات آلودگی زمین و میزان جذب انرژی تابشی است (رابطه ۳). همچنین برای تعیین میزان خطا از رابطه (۴) و میزان درخشندگی از رابطه (۵) استفاده شده است:

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * \ln(\epsilon))) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\epsilon = 0.004 * Pv + 0.986, \text{ Brightness Temperature} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$BT = (1321.0789 / \ln((774.8853 / (\%TOA\%)) + 1)) - 273.15 \quad \text{رابطه ۵}$$

۲.۷. شاخص وضعیت شرایط گیاهی^۲

1. Land Surface Temperature, (LST)
2. (Vegetation Condition Index, (VCI)

برای پایش تغییرات خشکی گیاهان از شاخص حرارتی در بازه زمانی بلندمدت استفاده شد. این شاخص برای تعیین تغییرات رطوبت گیاه است (کوگان، ۱۹۹۵). تابعی از حداقل و حداکثر NDVI برای یک دوره چندساله است. VCI نه تنها پوشش زمین و تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، بلکه اثرات آب‌وهوا روی پوشش گیاهی را تعیین می‌کند. مقدار شاخص VCI بین صفر تا یک متغیر است. هنگامی که شاخص مذکور به سمت عدد صفر میل کند، نشانگر یک ماه بسیار خشک و هنگامی که به سمت عدد یک میل کند، وضعیت خشکسالی بهبود می‌یابد (رابطه ۶). مقادیر این شاخص در جدول ۲ تعریف شده‌اند:

$$VCI = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$$

رابطه ۶:

در این رابطه NDVI_{max} و NDVI_{min} به ترتیب میانگین حداقل و حداکثر طولانی‌مدت NDVI برای هر سلول است. این شاخص با تصاویر ماهواره‌ای MOD13Q1 تهیه گردید.

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص VCI

منبع: کوگان، ۱۹۹۵

مقدار VCI	طبقه
0-0.1	خشکسالی بسیار شدید
0.1-0.2	خشکسالی شدید
0.2-0.3	خشکسالی متوسط
0.3-0.4	خشکسالی ضعیف
>0.4	مرطوب

۸.۲ شاخص وضعیت دما^۱

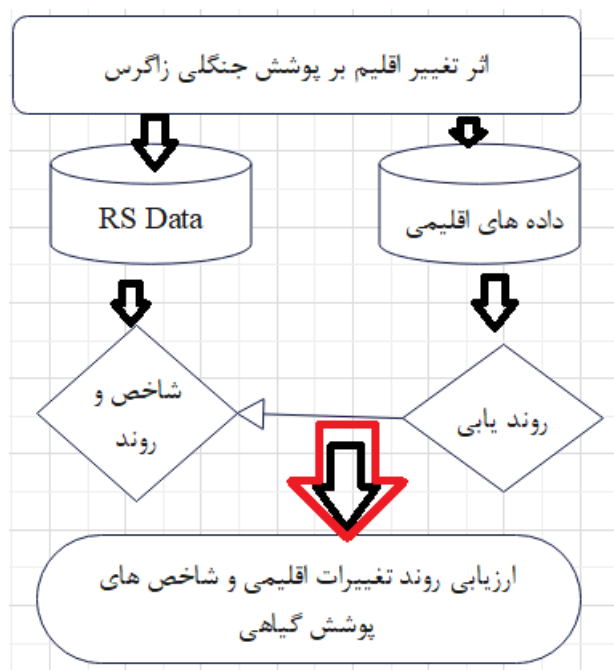
این شاخص برای پایش تغییرات خشکی گیاهان در بازه زمانی طولانی به کار می‌رود (کوگان، ۱۹۹۵). (رابطه ۷):

$$TCI = (maxLST -$$

رابطه ۷:

$$LST) / (maxLST - minLST)$$

در این رابطه LST_{min} و LST_{max} به ترتیب مقادیر کمینه دمای سطح زمین و مقادیر بیشینه دمای سطح زمین برای هر سلول است که از تصاویر ماهواره‌ای MOD11A1 به دست می‌آید. براساس این دو شاخص (VCI, TCI) اگر در بلندمدت مقدار خشکی گیاهان در زمین‌های زراعی افزایش و میزان رطوبت آنها کاهش یابد، بدین معنی است که در آن منطقه خشکسالی رخ داده است. روند افزایشی شاخص TCI در بلندمدت نشان‌دهنده روند افزایشی خشکی گیاهان در زمین‌های زراعی است.



شکل ۳- مدل مفهومی پژوهش

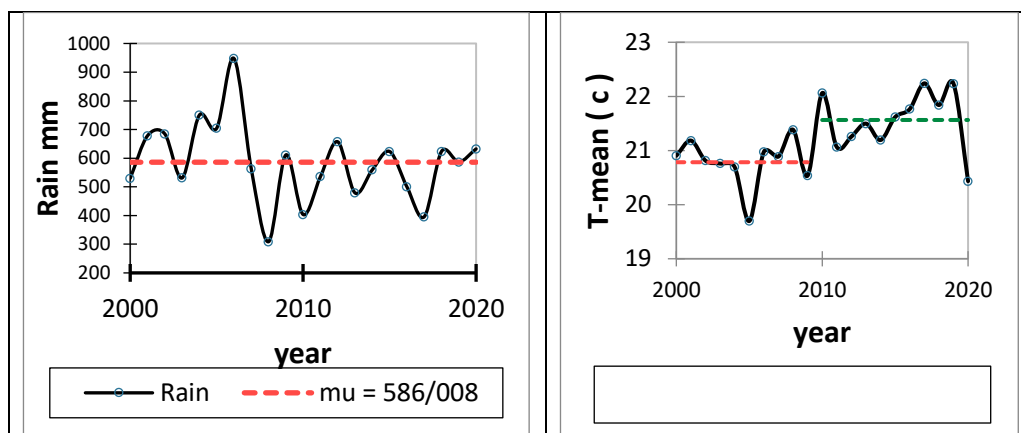
منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

۳. یافته‌های پژوهش

۳.۱. بررسی شرایط اقلیم، آشکارسازی، روند عناصر اقلیمی

استان خوزستان از نظر جغرافیایی به دو بخش کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. بخش جلگه‌ای در طبقات ارتفاعی کمتر از ۵۰۰ متر و بیش از ۸۵٪ وسعت استان را در بر گرفته است. منطقه کوهستانی که از تپه ماهورها با ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر شروع می‌شود نیز ۱۵ درصد مساحت استان را شامل می‌شود. این منطقه تا ارتفاع ۳۷۵۰ متر در ارتفاعات منگشت در شمال شرقی استان را در بر می‌گیرد. این منطقه شرایط اقلیمی متفاوتی از بخش جنوبی استان دارد. میانگین دمای سالانه این منطقه ۲۰.۵ درجه سلسیوس است که در مقایسه با مناطق جنوبی استان ۵ تا ۶ درجه سلسیوس خنک‌تر است. بارش سالانه منطقه ۵۸۶ میلیمتر است که در مقایسه با مناطق جنوبی بیش از دو برابر است.

این شرایط اقلیمی و ارتفاعی منجر به شکل‌گیری اکوسیستم جنگلی بلوط شده است. نتایج آزمون ناپارامتری نقاط چرخش (Pettitt's Test) میانگین دما و بارش سالانه (۱۹۷۵-۲۰۲۰) منطقه نشان می‌دهد که دمای هوا در سطح اطمینان ۹۵٪ روند معنی‌داری دارد ($P\text{-value}=0.011$). میزان دمای فصل بهار از سال ۲۰۰۹ حدود ۱.۸ درجه سلسیوس افزایش یافته است. نتایج این آزمون برای بارش سالانه معنی‌دار نبود ($P\text{-value}=0.175$) (شکل ۴). لازم به ذکر است که جهت آشکارسازی تغییر اقلیم در منطقه با روش‌های آماری میانگین این عناصر برای منطقه محاسبه گردید. نتایج آزمون P-Test وجود تغییر در دمای سالانه را تأیید نمود.



شکل ۴ - روند تغییرات دما و بارش سالانه منطقه با آزمون ناپارامتری Pettitt's-Test

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

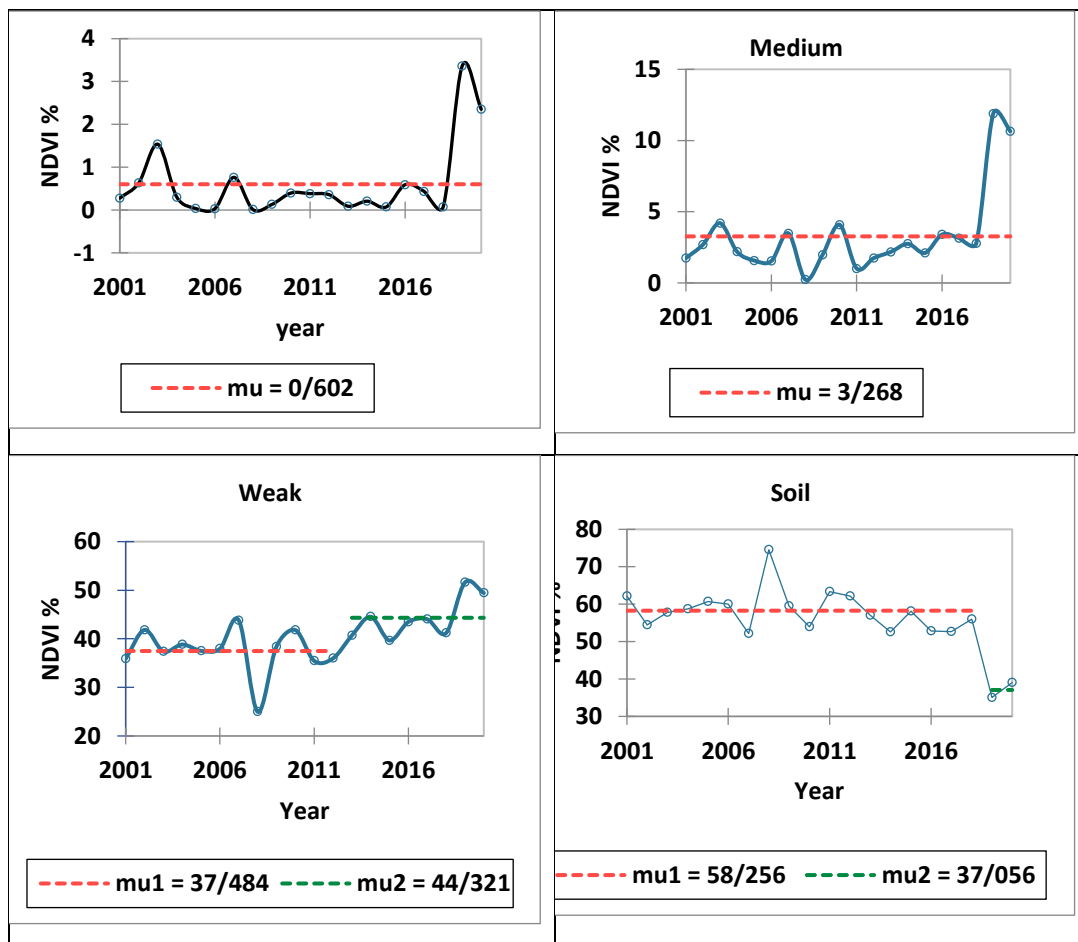
۳.۲. شاخص NDVI

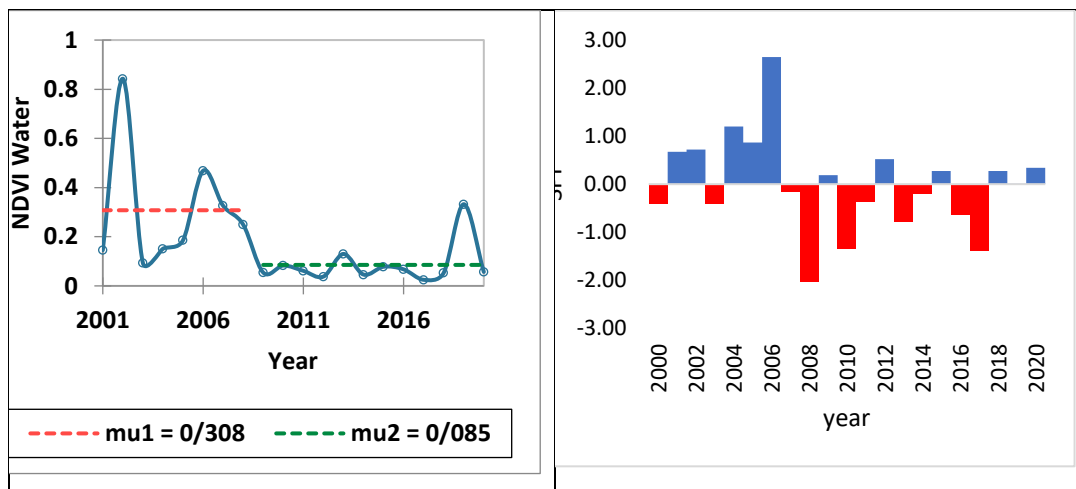
شاخص NDVI بیانگر پوشش سطح زمین است. نتایج تغییرات زمانی این شاخص در آزمون ناپارامتری (P-Test) برای پوشش آب و خاک کاهشی است. تغییرات زمانی پوشش گیاهی متوسط و متراکم در آزمون مذکور بدون روند و نقاط چرخش و در پارامتر پوشش تنک دارای روند افزایشی است (شکل ۵ و جدول ۳). این آماره تغییرات پوشش سطح زمین را نشان می‌دهد (شکل ۶).

جدول ۳- شاخص‌های آماری آزمون Pettitt's Test در شاخص NDVI

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

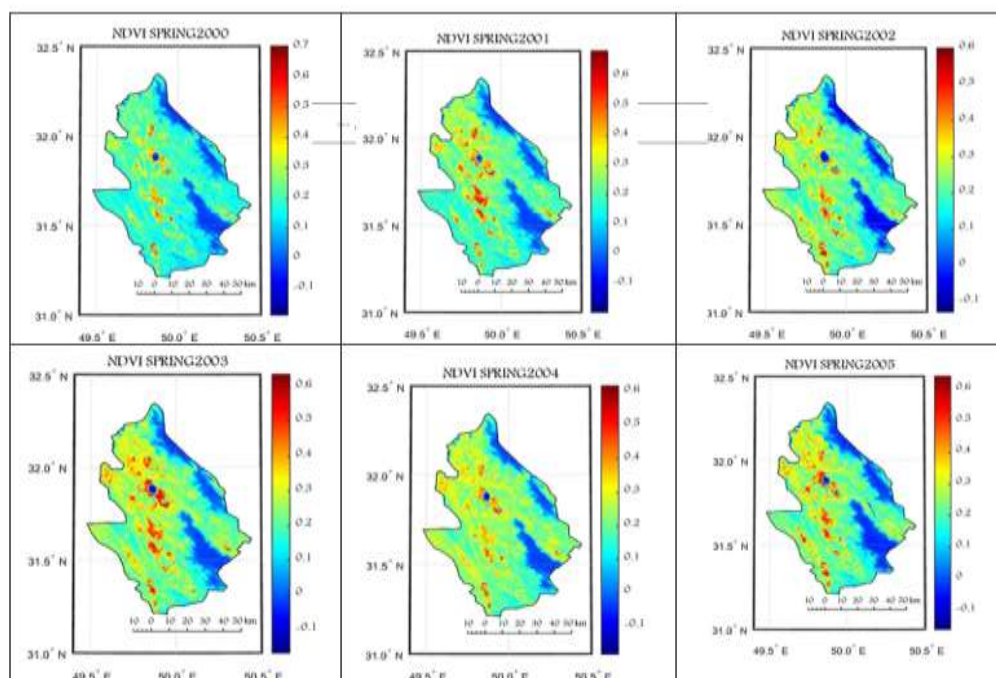
شاخص	زمان چرخش	دامنه تغییرات %	p-value
آب	۲۰۰۸	از ۳۰.۰۸ به ۰.۰۸	۰.۰۰۵
خاک	۲۰۱۸	از ۵۸.۲۵ به ۳۷.۰۵	۰.۰۰۵
پوشش گیاهی تنک	۲۰۱۲	از ۲۶.۷۸ به ۴۰.۲۲	۰.۰۱۶
پوشش گیاهی متوسط	۲۰۱۵	بدون تغییر 3.268	۰.۱۹۳
پوشش گیاهی متراکم	۲۰۱۵	بدون تغییر 0.62	۰.۹۷

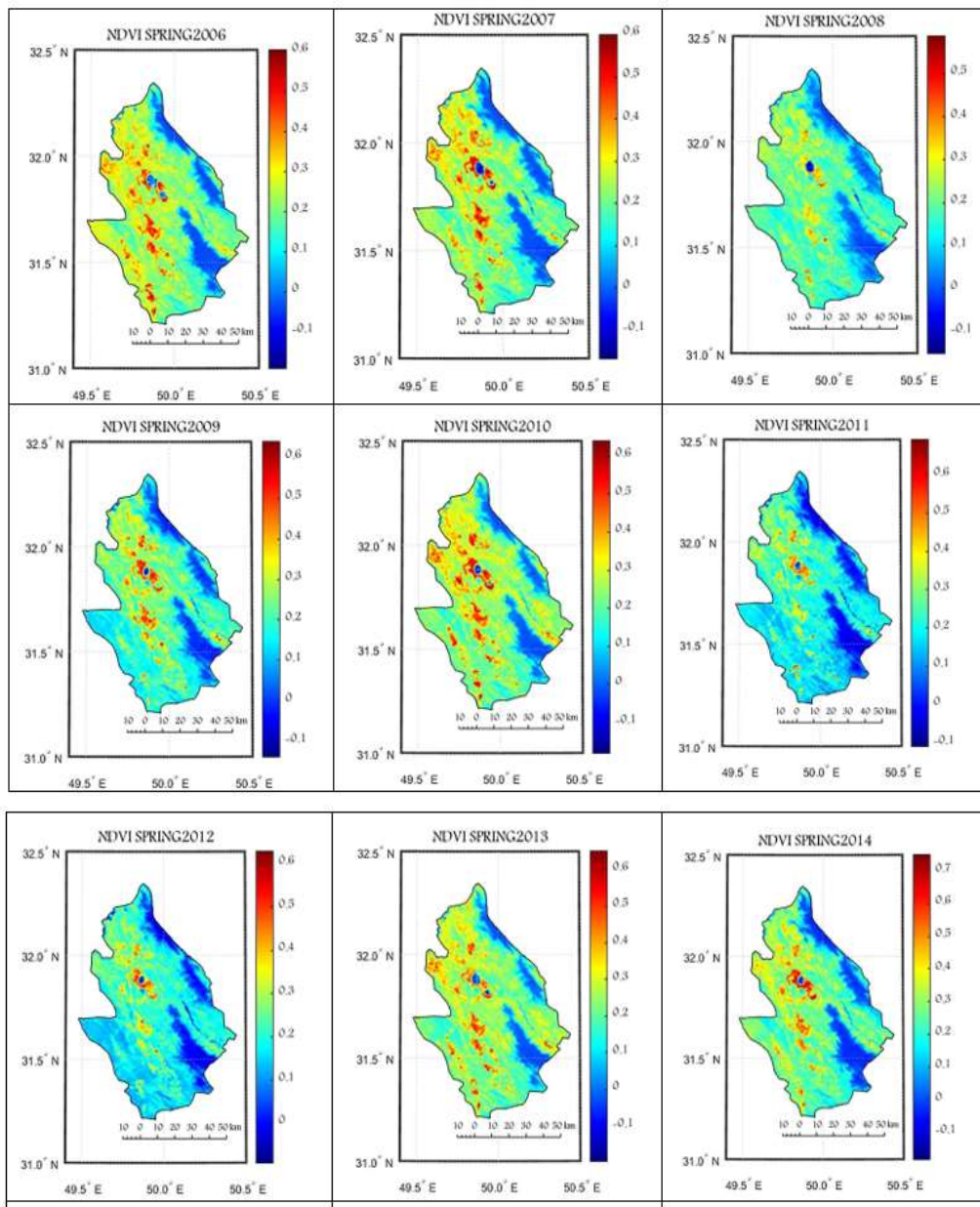


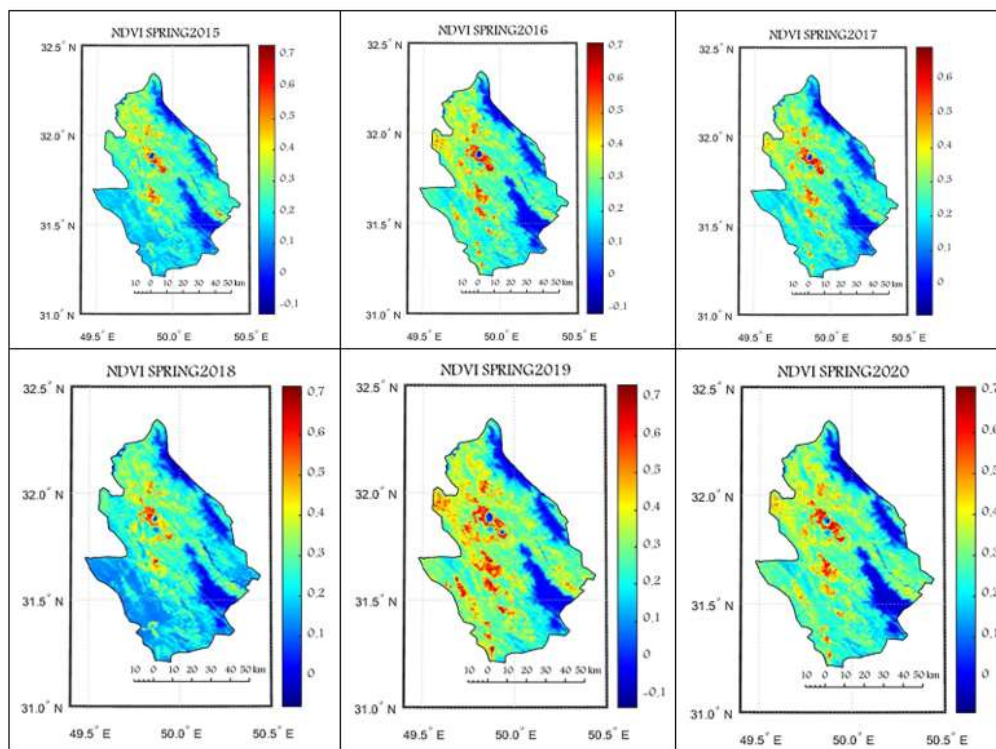


شکل ۵ - روند تغییرات شاخص NDVI منطقه با آزمون ناپارامتری Pettitt's-Test

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴







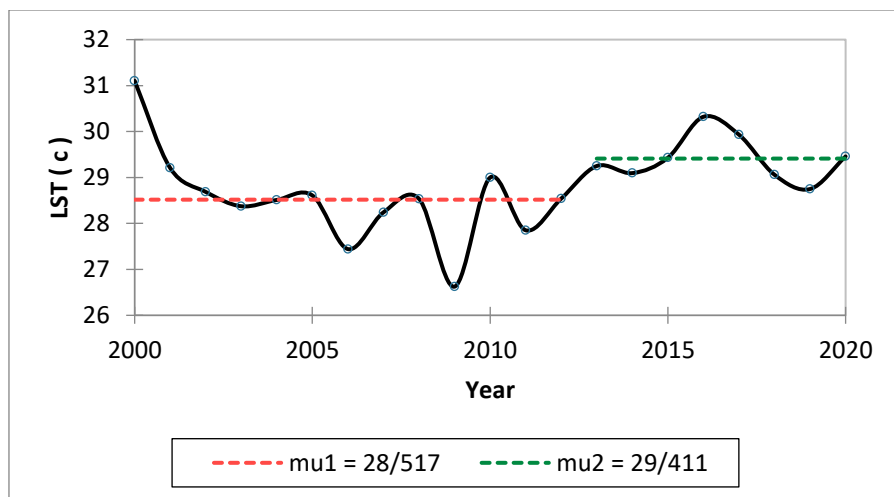
شکل ۶- شاخص NDVI فصل بهار ۲۰۲۰-۲۰۲۰ منطقه

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

۳.۳. دمای سطح زمین

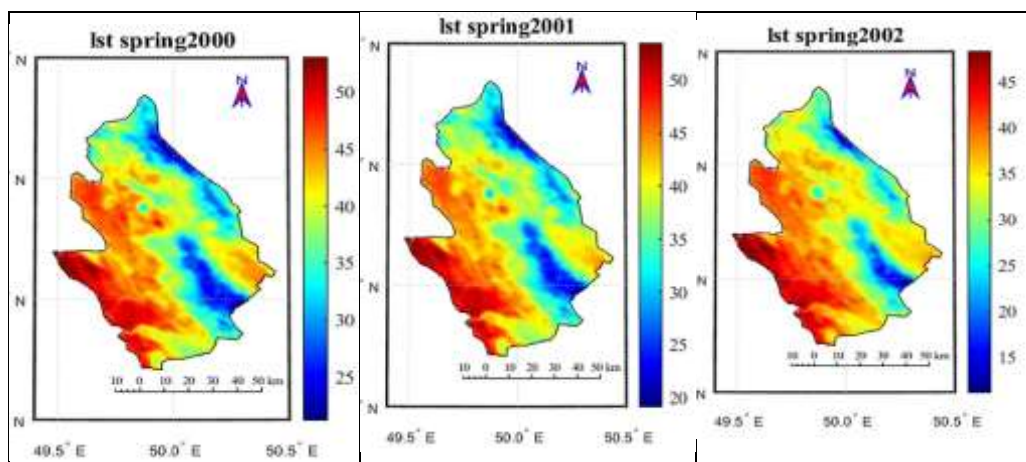
دمای سطح زمین نشانگر مناسبی برای بیان تغییر پوشش زمین و دخالت‌های انسان در محیط و تغییر اقلیم است. همان‌گونه که یافته‌های تغییرات زمانی LST نشان داد پوشش زمین منطقه دارای تغییرات معنی‌داری است. اثر این یافته‌ها در تغییرات دمای سطح زمین منعکس شده است. نتایج آزمون Pettitt's Test نشان داد دمای سطح زمین از ۲۰۱۲ دارای تغییرات معنی‌دار است ($P=0.02$). دمای سطح زمین منطقه از ۲۸.۵ درجه سلسیوس به ۲۹.۴ درجه سلسیوس افزایش

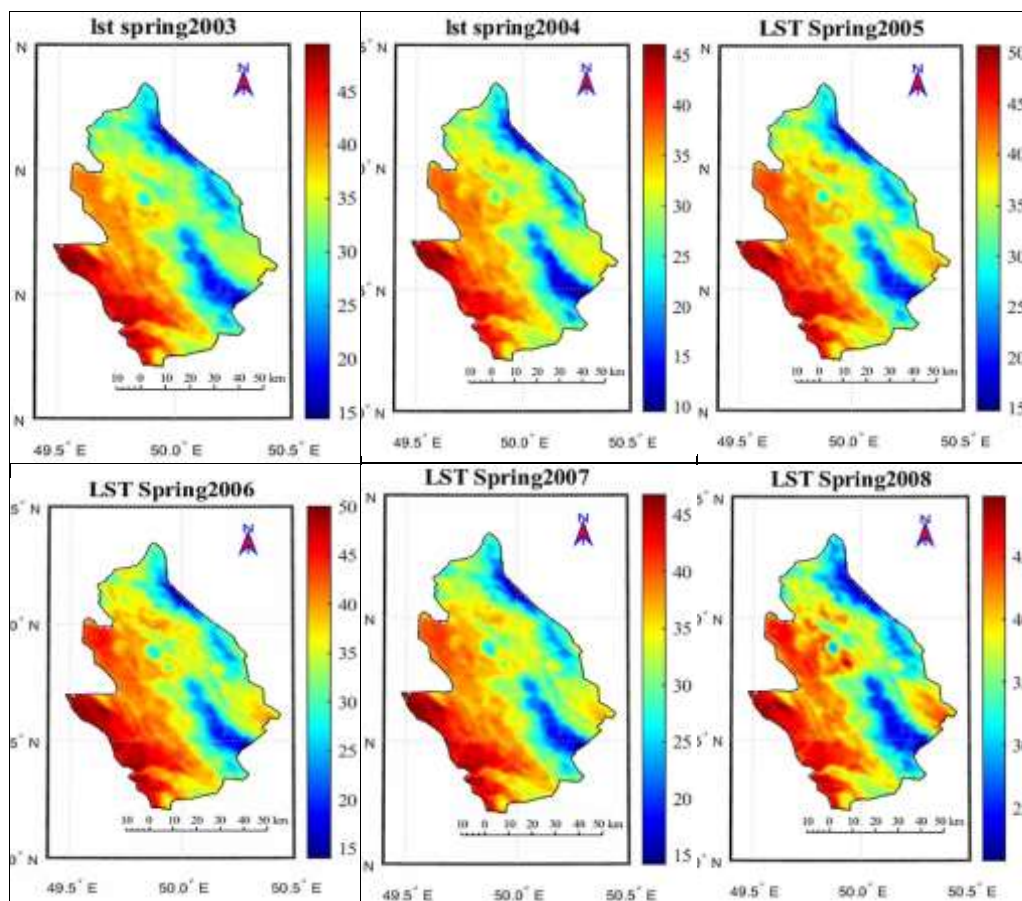
یافته است (شکل ۷). این آماره تغییرات دمای سطح زمین در فصل بهار و دوره آماری را نشان می دهد (شکل ۸).

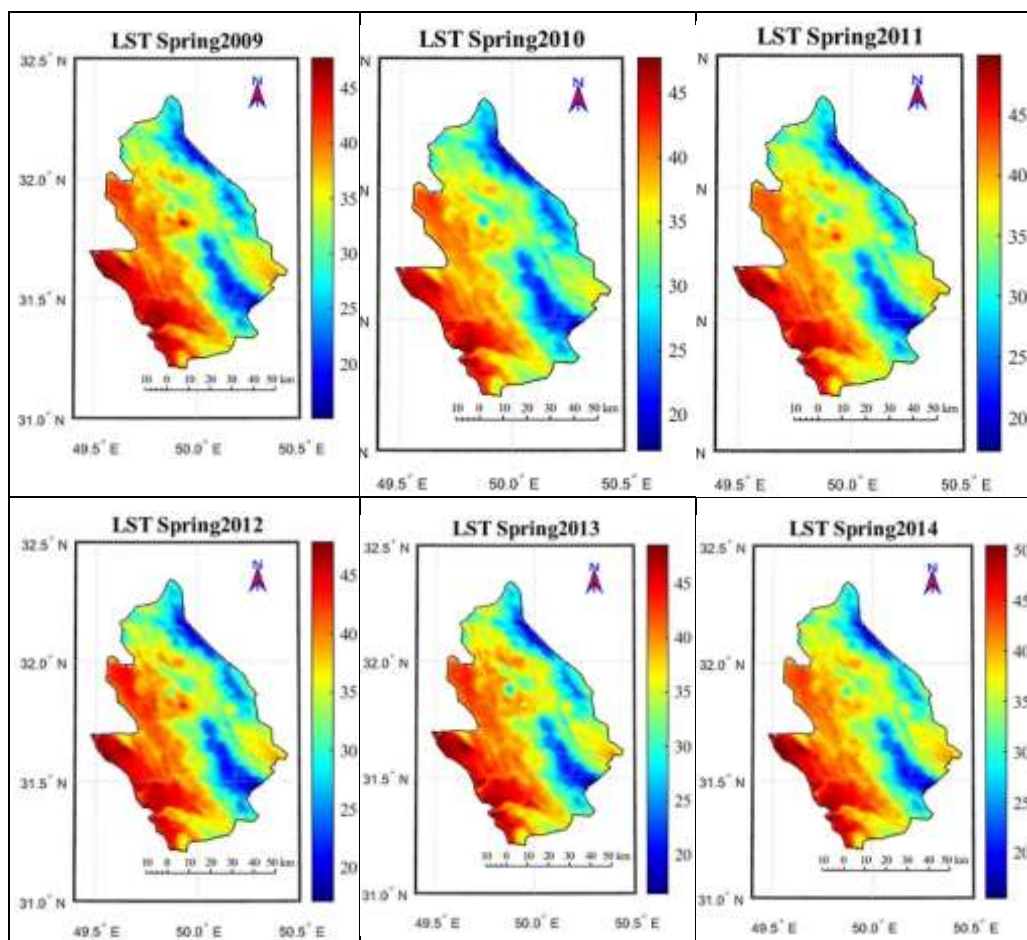


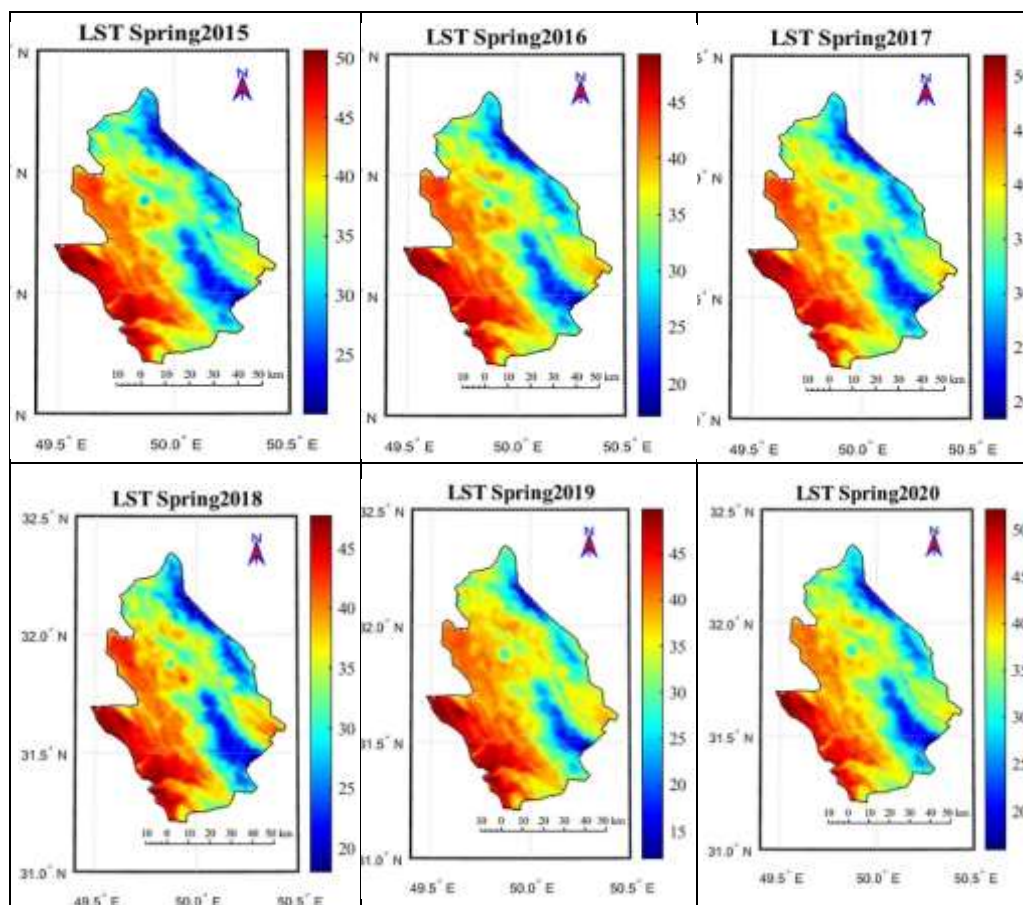
شکل ۷ - روند تغییرات شاخص LST منطقه با آزمون ناپارامتری Pettitt's-Test

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴







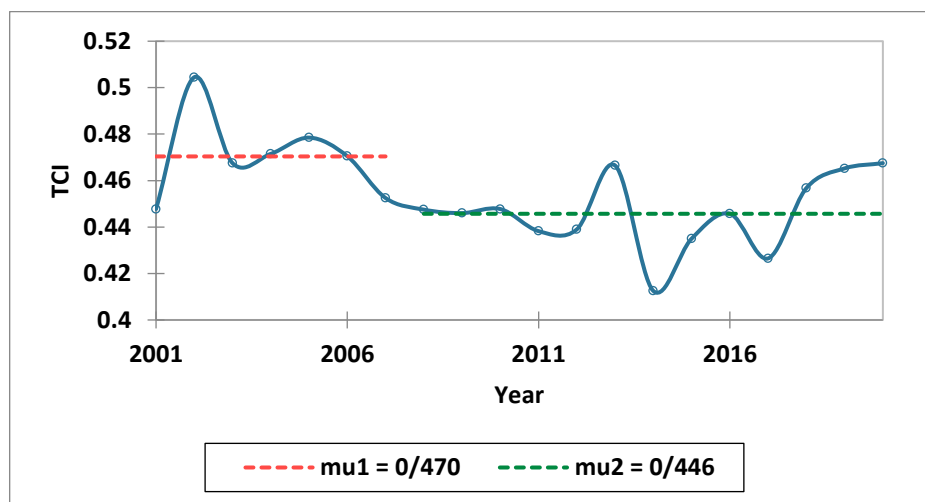


شکل ۸ - شاخص LST فصل بهار ۲۰۲۰-۲۰۰۰ منطقه

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

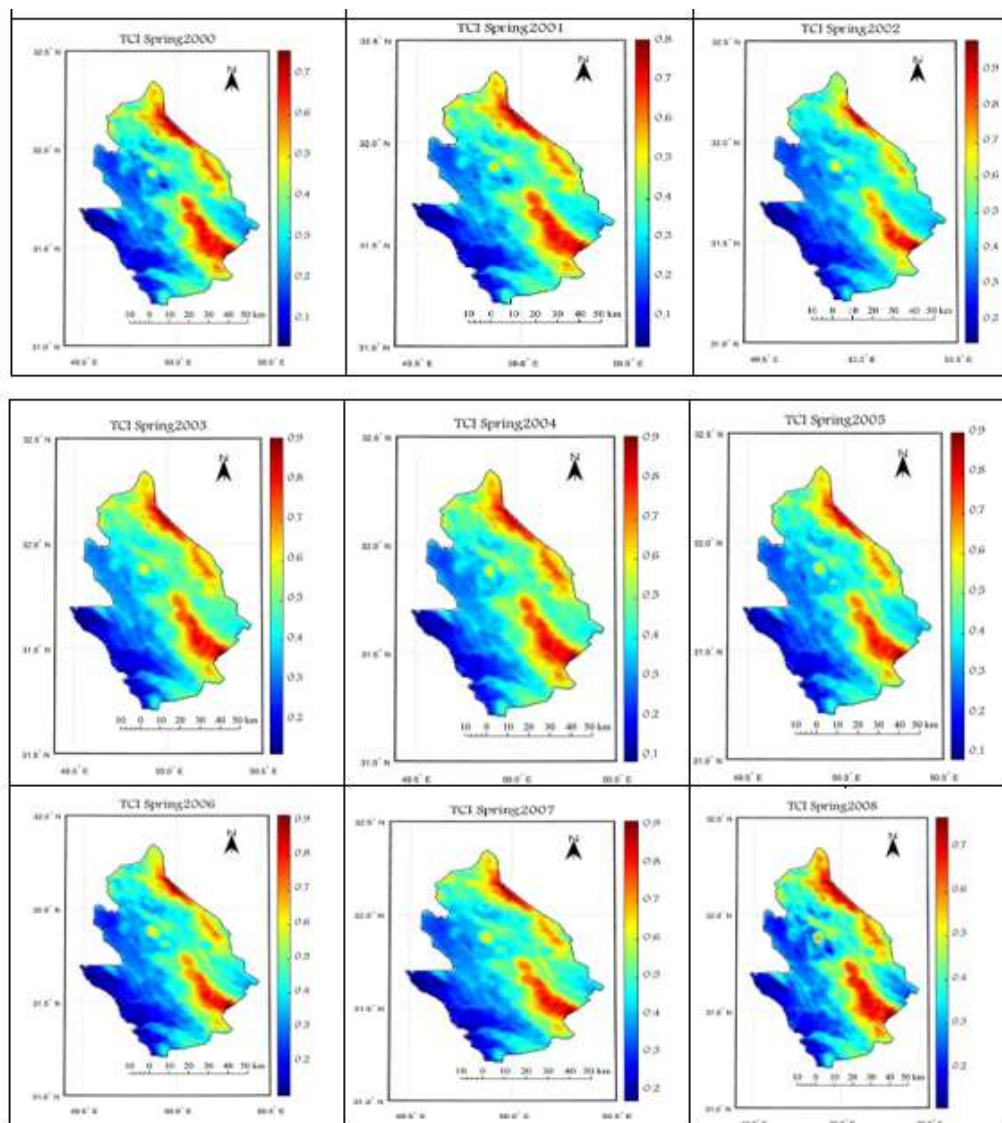
۳.۴. شاخص TCI

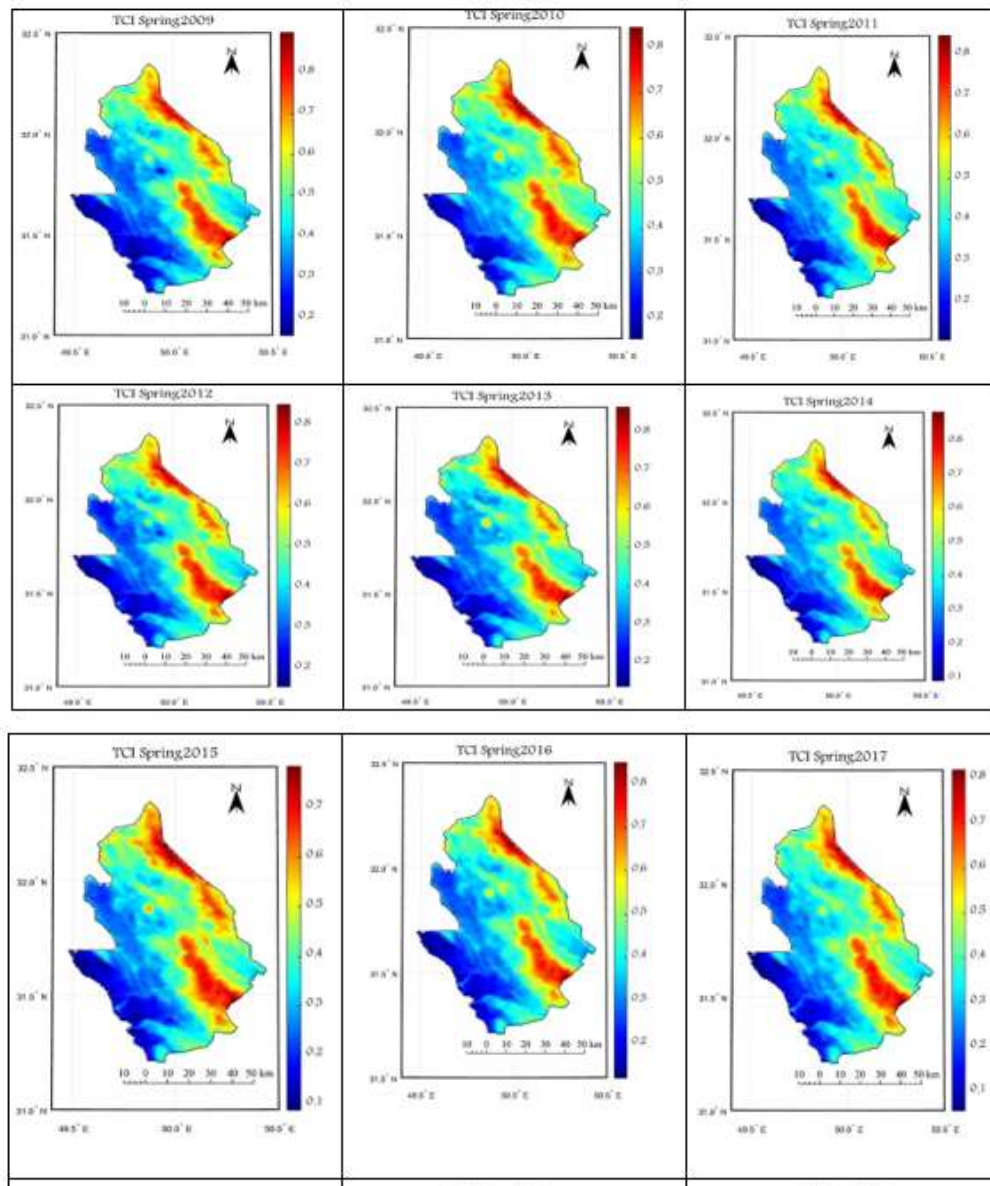
طبق این شاخص اگر در بلندمدت مقدار خشکی گیاهان در زمین‌های زراعی افزایش و میزان رطوبت آنها کاهش یابد، بیانگر رخداد خشکسالی است. نتایج آزمون ناپارامتری نقاط چرخش (Pettitt's Test) نشان می‌دهد که شاخص TCI در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰، از سال ۲۰۰۷ دارای روند کاهشی معنی‌دار ($P\text{-value}=0.028$) است (شکل ۹). این آماره تغییرات کاهشی پوشش گیاهی منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

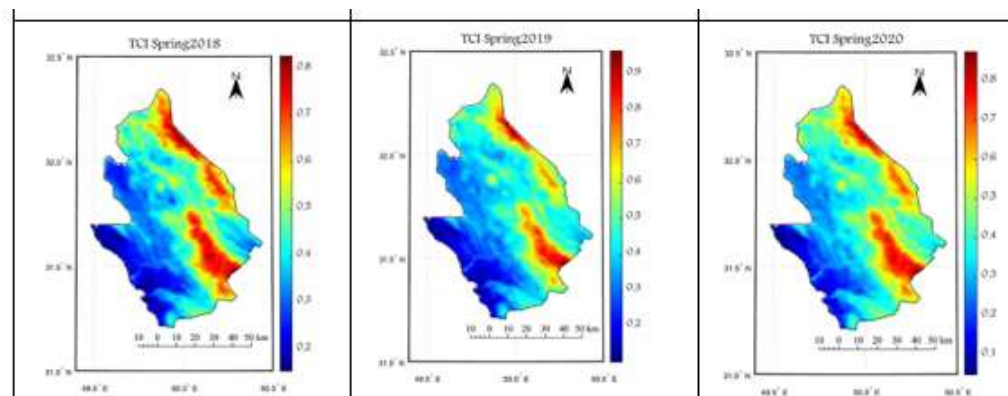


شکل ۹- روند تغییرات شاخص TCI منطقه با آزمون ناپارامتری Pettitt's-Test

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴





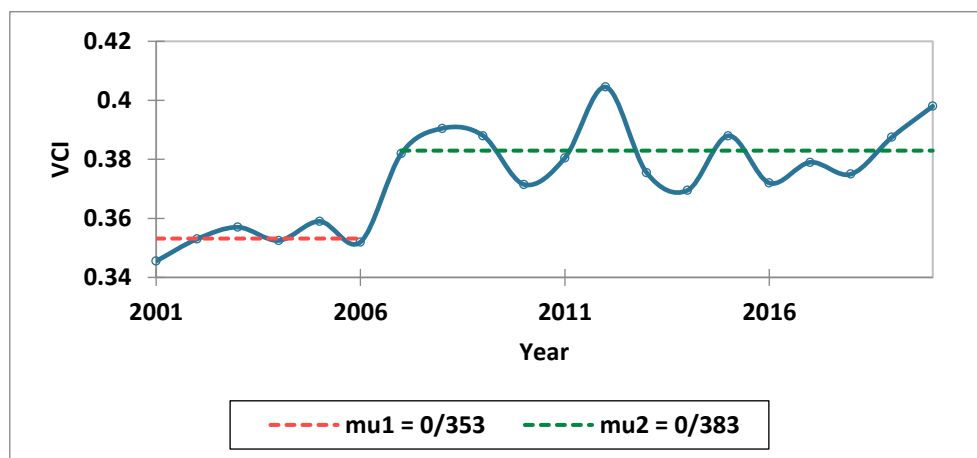


شکل ۱۰- شاخص TCI فصل بهار ۲۰۲۰-۲۰۰۰ منطقه

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

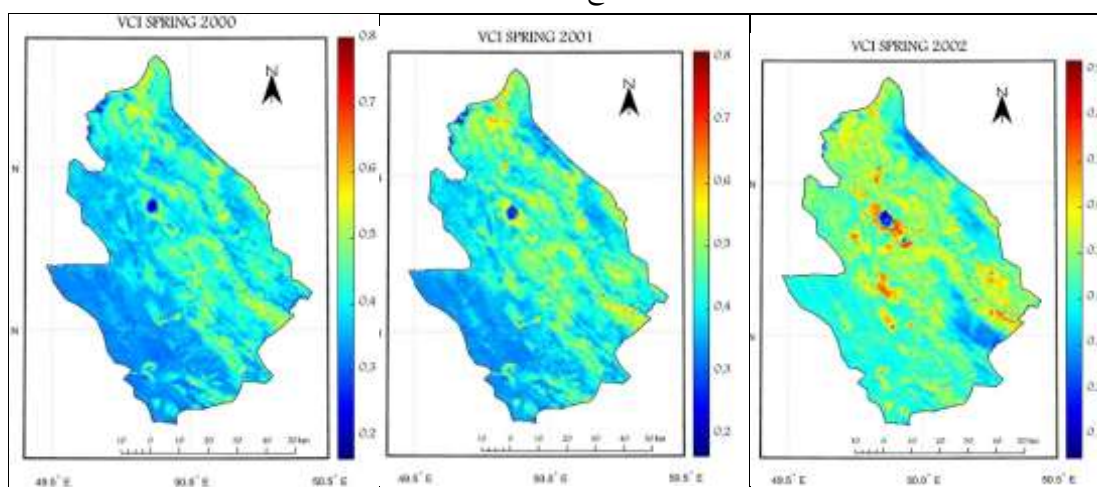
۳.۵. شاخص VCI

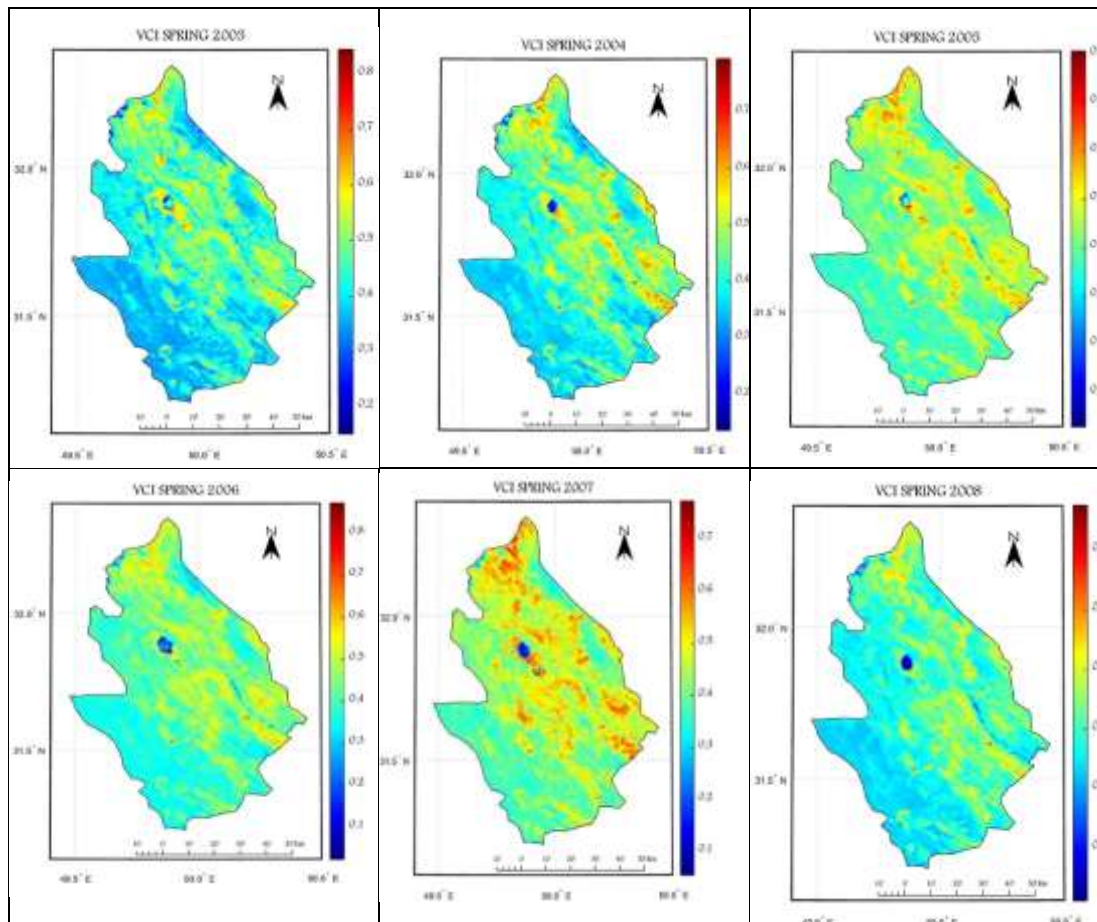
شاخص VCI گویای درصد تغییرات رطوبت گیاه است. این شاخص تابعی از حداقل و حداکثر NDVI برای یک دوره چندساله است. شاخص مذکور برای ارزیابی اثر اقلیم بر پوشش گیاهی استفاده می‌شود. نتایج آزمون نقاط چرخش وجود روند افزایشی تغییرات در این شاخص را تأیید می‌نماید ($P\text{-value} = 0.004$) (شکل ۱۱). همان‌گونه که شاخص VCI نشان می‌دهد شاخص رطوبت، تغییرات نسبتاً زیادی را نشان می‌دهد. این تغییرات با نوسان‌های بارش و خشکسالی‌های بلندمدت منطقه منطبق است. میزان تغییرات شاخص رطوبتی ۰.۰۳ از سال ۲۰۰۷ است (شکل ۱۲).

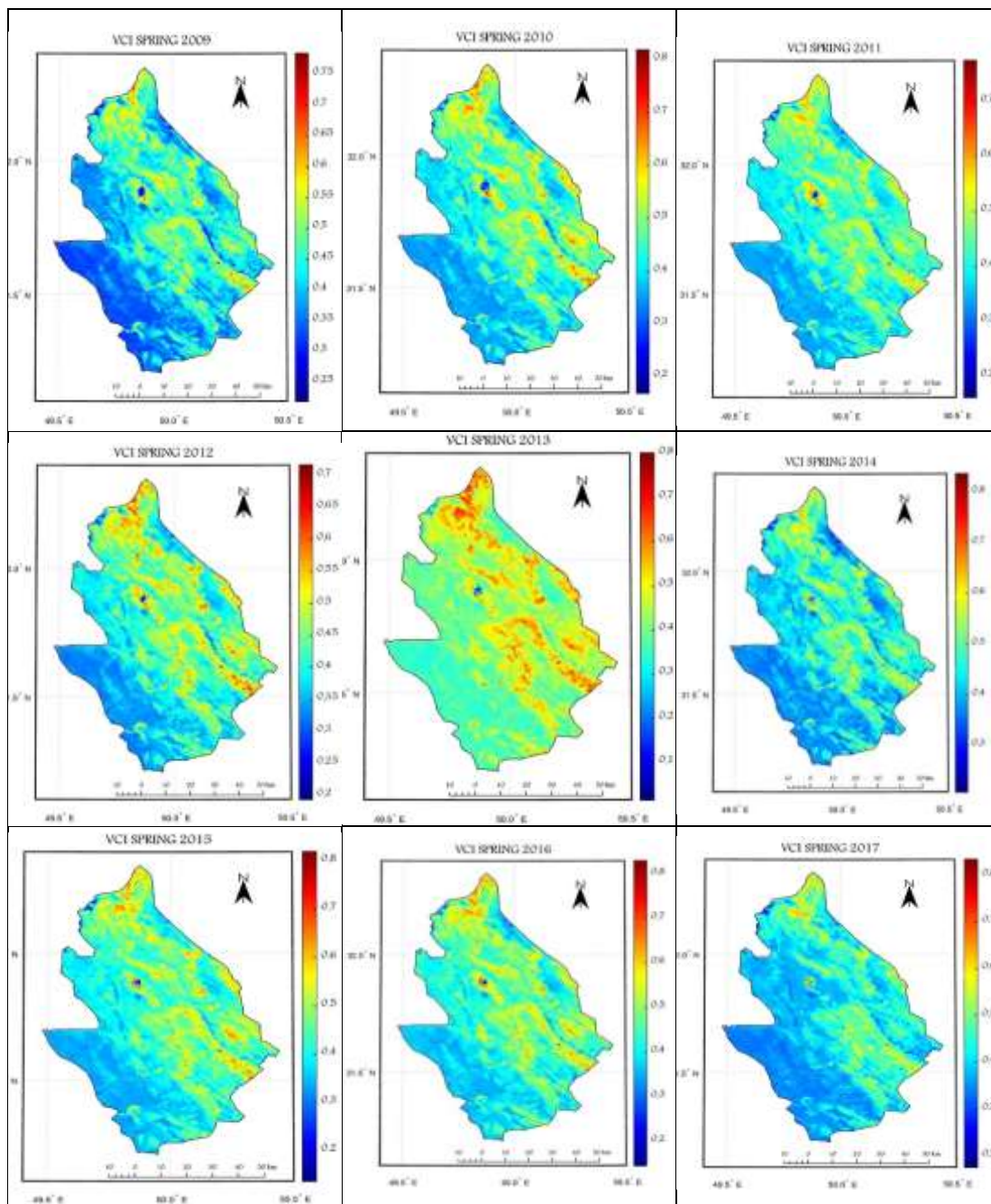


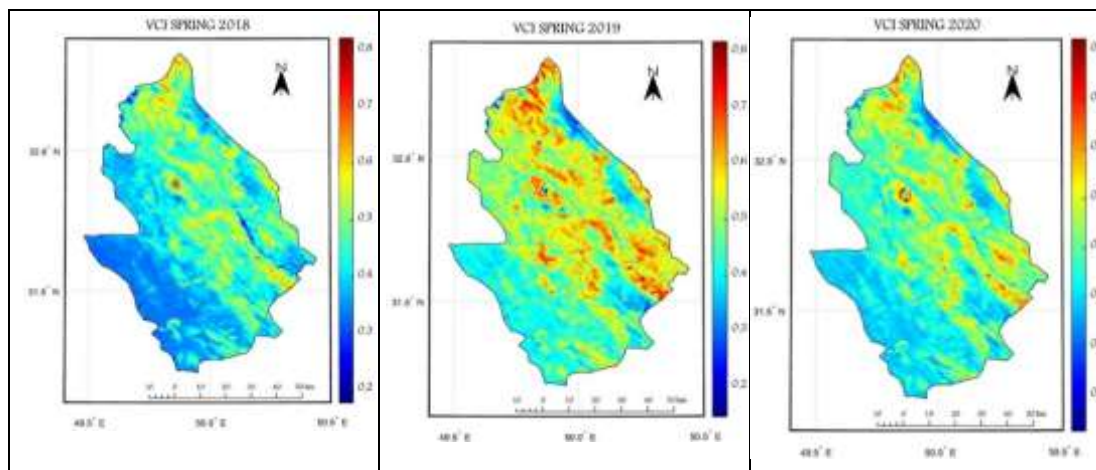
شکل ۱۱- روند تغییرات شاخص VCI منطقه با آزمون ناپارامتری Pettitt's-Test

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴









شکل ۱۲- شاخص VCI فصل بهار ۲۰۲۰-۲۰۰۰ منطقه

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

۴. بحث

نتایج نشان داد در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰ پوشش آبی منطقه از ۳.۰۸ به ۰.۰۸ کاهش یافته است. نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای منطقه و شاخص‌های TCI و VCI روندی معنی‌دار دارند. شاخص TCI منطقه در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰، کاهش یافته است. در واقع در این دوره زمانی میزان خشک‌شدگی پوشش جنگلی منطقه افزایش یافته است. این روند تغییرات کاهشی از سال ۲۰۰۷ (P-value=0.028) شروع و تا ۲۰۲۰ ادامه یافته است. نتایج آنومالی بارش سالانه منطقه نیز رخداد یک دوره بلندمدت خشکسالی از ۲۰۰۷ در منطقه را تأیید می‌نماید. همچنین شاخص تغییرات پوشش گیاهی و رطوبتی منطقه (شاخص VCI) بیانگر افزایش نوسان‌های رطوبتی در این دوره زمانی است (P-value=0.004). این دو شاخص و میزان تأییدیه آماری آنها نشان‌دهنده تغییرات معنی‌دار پوشش جنگلی منطقه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ است. آزمون روند میانگین دمای سالانه، شاخص NDVI و LST رخداد تغییر معنی‌دار آنها را تأیید می‌نماید؛ به نحوی که میانگین دمای سالانه از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۰ حدود ۲ درجه سلسیوس، و دمای سطح زمین نیز حدود ۱ درجه سلسیوس از ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۰ افزایش یافته است. همچنین بررسی تغییرات NDVI نشان می‌دهد سطوح آبی، پوشش جنگلی متوسط

و متراکم منطقه نیز کاهش یافته است. یافته‌های این مطالعه با یافته‌های بیلینو و همکاران (۲۰۲۲)، در مورد اثرات خشکسالی بر روی پایداری جنگل‌ها، و یافته‌های هوی و همکاران (۲۰۲۳)، هلاسینی و همکاران (۲۰۱۵)، شاهدی و کوشاهی (۱۴۰۱)، فیروزی و همکاران (۱۳۹۸)، عفیفی (۱۴۰۰) و مجردی و همکاران (۱۳۹۹) در مورد رطوبت خاک، پوشش گیاهی، تغییرات پوشش گیاهی و تعیین خشکسالی منطبق است.

کوتاه بودن دوره آماری تصاویر ماهواره‌ای با سنجنده MODIS و تغییرات شدید ارتفاع و تخریب انسانی پوشش گیاهی در منطقه از مشکلات در دقت یافته‌های این پژوهش است. بررسی میزان ترسیب کربن، اثرات هیدرولوژیکی تخریب پوشش جنگلی بر پایداری منابع آب و تنوع زیست از اولویت‌های مطالعاتی برای آینده است.

۵. نتیجه‌گیری

طبق یافته‌های این پژوهش روند افزایش دمای هوا حدود ۲ و دمای سطح زمین ۱ درجه سلسیوس افزایش یافته است. علاوه بر آن خشکسالی‌های متناوب از ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰ نقش مؤثری بر پوشش جنگلی منطقه داشته است. همان‌گونه که شاخص‌های NDVI, VCI, TCI نشان داد، تغییرات قابل توجهی در پوشش جنگلی منطقه اتفاق افتاده است. برآیند این فعالیت‌ها و تخریب جنگل‌ها به‌عنوان یک پسخوراند مثبت آثار ناگواری بر چرخه‌های آب و فرایند ترسیب کربن و فتوسنتز دارد. از نتایج کاهش پوشش جنگلی و تخریب آن تشدید فرسایش خاک، ناپایداری محیط طبیعی، کاهش جریان پایه رودخانه‌ها و تغییر رژیم آبدهی آنها و خشک شدن چشمه‌ها است. در نهایت هم‌افزایی این عمگرها ساختار اقتصادی و اجتماعی را از بین برده و مهاجرت‌های اقلیمی را دامن می‌زند.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از سازمان هواشناسی کشور، وزارت نیرو و همچنین سایت نوآ تشکر و قدردانی می‌نمایند.

کتابنامه

۱. پناهی، پ. (۱۳۹۰). بررسی تنوع گونه‌های بلوط ایران با استفاده از ریزریخت‌شناسی برگ و دانه گرده و تعیین موقعیت حفاظتی آنها. رساله دکتری جنگل‌داری، دانشگاه مازندران.
۲. جعفری، م. (۱۳۸۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی اکوسیستم‌های جنگلی، مرتع و بیابانی ایران، آسیب‌پذیری و انطباق برنامه‌ها. نشر سازمان حفاظت محیط زیست کشور، دومین گزارش ملی ارزیابی آسیب‌پذیری به تغییرات اقلیمی ۷۱.
۳. رستم‌نیا، م؛ و آخوندزاده‌هنزائی، م. (۱۳۹۵). بررسی ارتباط خشکیدگی پوشش جنگلی استان ایلام با میزان بارش و ورود ریزگردها با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست. اولین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها، اردبیل، ۱۹-۳۳.
۴. شاهدی، ک؛ و روزبه کوشاهی، س. (۱۴۰۱). تحلیل خشکسالی کشاورزی استان مازندران با استفاده از شاخص‌های مناسب سنجش از دور و هواشناسی. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳(۱)، ۳۲۶-۳۴۶.
۵. عفیفی، م. ا. (۱۴۰۰). بررسی اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، مطالعه موردی: حوضه آبریز سد درودزن. جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)، ۱۹(۷۰)، ۱۵۳-۱۷۲.
۶. فیروزی، ف؛ طاووسی، ت؛ و محمودی، پ. (۱۳۹۸). بررسی حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک؛ مطالعه موردی: دشت سیستان ایران. اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۸(۱۱۰)، ۱۶۳-۱۷۹.
۷. مجردی، ب؛ میرمیری، ج؛ و علیزاده، ح. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص وضعیت پوشش گیاهی VCI با استفاده از شاخص بارش استاندارد اصلاح شده MSPI به منظور پایش و پهنه‌بندی خشکسالی. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲(۳)، ۷۲۵-۷۳۶.
8. Afifi, M. E. (2021). Investigation of the Effect of Drought on Vegetation Using Remote Sensing Techniques (Case Study of Dorodzan Dam Catchment). *Journal of Geography*, 19(70), 153-172.
9. Albrecht, A., & Kandji, S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 99(1-3), 15-27.

10. Aleman, J.C., Jarzyna, M.A., & Staver, A.C. (2018). Forest extent and deforestation in tropical Africa since 1900. *Nat Ecol Evol* 2, 26–33 (2018).
11. Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6(8), 1-55.
12. Beloiu, M., Stahlmann, R., & Beierkuhnlein, C. (2022). Drought impacts in forest canopy and deciduous tree saplings in Central European forests, *Forest Ecology and Management*. Volume 509, 1 April 2022, 120075.
13. Ciais, P., Borges, A. V., Abril, G., Meybeck, M., Folberth, G., Hauglustaine, D., & Janssens, I. A. (2008). The impact of lateral carbon fluxes on the European carbon balance. *Biogeosciences*, 5(5), 1259-1271.
14. *FAO Corporate Document Repository*. (2006). Carbon sequestration in dryland soils. <http://www.fao.org>.
15. FAO. (2020). Global Forest Resources Assessment. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>.
16. 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). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(110), 163-179.
17. Forster, E. J., Healey, J. R., Dymond, C., & Styles, D. (2021). Commercial afforestation can deliver effective climate change mitigation under multiple decarbonization pathways. *Nature communications*, 12(1), 3831.
18. Gadek, P. A. (Ed.). (1999). Patch deaths in tropical Queensland rainforests: association and impact of *Phytophthora cinnamomi* and other soil borne organisms. *Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management*.
19. Garrity, S. R., Allen, C. D., Brumby, S. P., Gangodagamage, C., McDowell, N. G., & Cai, D. M. (2013). Quantifying tree mortality in a mixed species woodland using multitemporal high spatial resolution satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 129, 54-65.
20. Gonzalez, P., Tucker, C. J., & Sy, H. (2006). A climate change threshold for forest dieback in the African Sahel.
21. Heikkilä, J., Nevalainen, S., & Tokola, T. (2002). Estimating defoliation in boreal coniferous forests by combining Landsat TM, aerial photographs and field data. *Forest ecology and Management*, 158(1-3), 9-23.

22. Hlásny, T., Kocicky, D., Mareta, M., Sitkova, Z., Barka, I., Konopka, M., & Hlavata, H. (2015). Effect of deforestation on watershed water balance: hydrological modelling-based approach/Vplyv odlesnenia na vodnú bilanciu povodia: prístup na báze hydrologického modelovania. *Central European Forestry Journal*, 61(2), 89-100.
23. Hou, Y., Wei, X., Zhang, M., Creed, I. F., McNulty, S. G., & Ferraz, S. F. (2023). A global synthesis of hydrological sensitivities to deforestation and forestation. *Forest Ecology and Management*, 529, 120718.
24. Huang, C. Y., Anderegg, W. R., & Asner, G. P. (2019). Remote sensing of forest die-off in the Anthropocene: From plant ecophysiology to canopy structure. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111233.
25. IPCC, A. S. (2007). *Climate change 2007: synthesis report*. Summary for Policymakers.
26. Kauppi, P. E., Posch, M., & Pirinen, P. (2014). Large impacts of climatic warming on growth of boreal forests since 1960. *PLoS One*, 9(11), e111340.
27. Kauppi, P. E., Stål, G., Arnesson-Ceder, L., Sramek, I. H., Hoen, H. F., Svensson, A.; ... & Nordin, A. (2022). Managing existing forests can mitigate climate change. *Forest Ecology and Management*, 513, 120186.
28. Komura, R., Kamata, N., Kubo, M., & Muramoto, K. I. (2005, July). Identification of dead tree of Japanese oak wilt (JOW) using high spatial resolution satellite imagery. In *Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS'05*. (Vol. 6, pp. 4351-4354). IEEE.
29. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22.
30. Mohammadi, Z., Rahimi, D., Najafi, M. R., & Zakerinejad, R. (2024). The impact of environmental degradation and climate change on dust in Khuzestan province, Iran. *Natural Hazards*, 1-20.
31. Mojaradi, B., Mirmiri, J., & Hosein, A. (2020). Assessment of Vegetation Condition Index Using Modified Standard Precipitation Index to Monitor and zoning Drought. *Watershed Engineering and Management*, 12(3), 725-736.
32. Mora, B., Fournier, R. A., & Foucher, S. (2012). Mapping the health of mature deciduous forest stands by fusing multisource geospatial data with Dempster's combination rule. *International journal of remote sensing*, 33(4), 1139-1163.
33. Ogaya, R., Barbeta, A., Bařnou, C., & Peñuelas, J. (2015). Satellite data as indicators of tree biomass growth and forest dieback in a Mediterranean holm oak forest. *Annals of Forest Science*, 72(1), 135-144.
34. Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993.

35. Petersson, H., Ellison, D., Appiah Mensah, A., Berndes, G., Egnell, G., Lundblad, M., ...& Wikberg, P-E. (2022). On the role of forests and the forest sector for climate change mitigation in Sweden. *GCB Bioenergy*, 14, 793–813.
36. Rahimi, D., Mirhashemi, H., & Alizadeh, T. (2017). The Mechanism Analysis of Thermal Waves in the West and Southwest of Iran. *Geography and Environmental Planning*. 28(3), 69-80.
37. Shahedi, K., & Koshahi, R. (2022). Analyzing Agricultural Drought in Mazandaran Province Using Remote Sensing and Meteorological Indicators. *Irrigation and Water Engineering*, 13(1), 326-346.
38. Sokolova, G. V., Verkhoturov, A. L., & Korolev, S. P. (2019). Impact of deforestation on streamflow in the Amur River Basin. *Geosciences*, 9(6), 262.
39. Vergopolan, N., & Fisher, J. B. (2016). The impact of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia as observed from remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 37(22), 5412-5430.
40. Wang, C., Lu, Z., & Haithcoat, T. L. (2007). Using Landsat images to detect oak decline in the Mark Twain national forest, Ozark highlands. *Forest ecology and management*, 240(1-3), 70-78.