

Article Type

Case Study

مطالعه موردی

نوع مقاله

Investigation of Changes in the Amount and Distribution of Extreme Precipitation and Its Effect on the Trend of Changes in the NDVI Index Changes in Southeast Iran

M. Nasry^{1*}, M. Rahimi^{2*}, F. Hadadi³, H. Jalili⁴, A.A. Damavandi⁵

1, 2- Ph.D. Graduate in Desert Control and Management and Professor, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.
3, 4- M.Sc. Graduate in Remote Sensing and GIS and Assistant Professor, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran. 5- Assistant Professor, Agricultural Education & Extension Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

Corresponding Author Email: mrahimi@semnan.ac.ir

Received 11-11-2024
Revised 20-12-2024
Accepted 03-01-2025
Available Online 21-06-2025

بررسی تغییرات میزان و توزیع فرین های بارش و تأثیر آن بر روند تغییرات شاخص NDVI در جنوب شرقی ایران

مائده نصری^۱، محمدرحیمی^۲، فرزانه حدادی^۳، هادی جلیلی^۴، علی اکبر دماوندی^۵

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری مدیریت و کنترل بیابان و استاد، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
۳ و ۴- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS و استادیار، مرکز تحقیقات پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران. ۵- استادیار، موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: mrahimi@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۸/۲۱
تاریخ بازنگری ۱۴۰۳/۰۹/۳۰
تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۱۰/۱۴
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۳/۳۱

Abstract

This study investigated the effect of extreme precipitation values on the trend of vegetation cover change in southeastern Iran. Extreme precipitation indices were selected using a fixed approach recommended by the Expert Team on Climate Change Detection and Indices, according to local needs and the climatic characteristics of the study area. These indices were extracted using daily precipitation data from the stations of the study area over a 21 years from 2000 to 2020 utilizing RclimDex software. The NDVI index of MODIS satellite images was used to analyze the trend of annual vegetation cover changes. Also, the multilayer perceptron neural network method was used to examine the relationship between changes in extreme precipitation indices and vegetation cover changes. The results showed that the NDVI index has an increasing trend spatially from the east to the west of the region. Areas with low NDVI were observed in the eastern, southern, and northern parts and areas with high NDVI were observed in the western part of the study area. The trend of NDVI index changes was significant and upward only at Rudan station ($P\text{-value} = 0.01$) and Kahnij station ($P\text{-value} = 0.0001$). The overall trend indicated an increase in precipitation extremes during the study period. The extreme precipitation indices Rx1, SDII, and PRCPTOT have the most significant on the trend of changes in vegetation cover in the southeastern region of Iran. A comprehensive study of the impact and trend of changes in extreme precipitation indices on vegetation cover in the southeastern region of Iran will lead to the development of sustainable management methods and resilience to climate change.

Keywords: Climate Extreme, Vegetation Cover, Artificial Neural Network, Satellite Images.

چکیده

فرین‌های اقلیمی شکل شدیدتر از تغییرات اقلیمی هستند و موجب برهم زدن سازوکارهای معمول می‌شود. در این پژوهش اثر مقادیر فرین‌های بارش بر روند تغییرات پوشش گیاهی جنوب شرق ایران بررسی شد. نمایه‌های فرین بارش با توجه به نیازهای محلی و ماهیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. این نمایه‌ها با استفاده از داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در یک بازه زمانی ۲۱ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی با استفاده از نرم‌افزار RclimDex استخراج شد. برای تحلیل روند تغییرات سالانه پوشش گیاهی از شاخص NDVI داده‌های مربوط به تصاویر ماهواره‌ای مودیس استفاده شد. همچنین از روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه برای بررسی رابطه بین تغییرات نمایه‌های فرین بارش بر تغییرات پوشش گیاهی استفاده شد. نتایج نشان داد شاخص NDVI از نظر مکانی با حرکت از شرق به غرب منطقه روند افزایشی دارد. مناطق با NDVI کم در بخش‌های شرقی، جنوبی و شمالی و مناطق با NDVI زیاد در غرب منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. روند تغییرات شاخص NDVI تنها در ایستگاه رودان ($P\text{-value} = 0.01$) و کهنوج ($P\text{-value} = 0.0001$) معنادار و صعودی بود. روند کلی نشان دهنده افزایش فرین‌های بارش در طول دوره مطالعه بود. نمایه‌های فرین بارش Rx1، SDII و PRCPTOT بیشترین تأثیر را بر روند تغییرات پوشش گیاهی منطقه جنوب شرق ایران دارند. بررسی جامع چگونگی تأثیر و روند تغییرات نمایه‌های فرین بارش بر پوشش گیاهی منطقه جنوب شرق ایران به گسترش شیوه‌های پایدار مدیریت تغییرات اقلیمی منجر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فرین‌های اقلیمی، پوشش گیاهی، شبکه عصبی مصنوعی، تصاویر ماهواره‌ای.

HomePage: <https://jwsd.um.ac.ir>

How to cite this article: Nasry, M., Rahimi, M., Hadadi, F., Jalili, H., & Damavandi, A.A. (2025). Investigation of Changes in the Amount and Distribution of Extreme Precipitation and Its Effect on the Trend of Changes in the NDVI Index Changes in Southeast Iran. Journal of Water and Sustainable Development, 12(1), 122-135. <https://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i1.2411-1381>

پوشش گیاهی یک عامل پیوند دهنده حیاتی بین بخش‌های مختلف اکوسیستم است و نقش مهمی را در تنظیم اقلیم، حفظ خاک، آب و تنوع زیستی دارد؛ بنابراین می‌توان گفت شاخص کلیدی تغییرات محیطی است (Eftymios و Athanasios، ۲۰۱۹). پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک اهمیت بیشتری دارد زیرا فراوانی، شدت و توزیع مکانی فرسایش بادی را کنترل می‌کند. اندام‌های هوایی گیاهان با افزایش زبری سطح خاک باعث افزایش سرعت آستانه فرسایش بادی می‌شوند و از تماس مستقیم بین باد و ذرات خاک جلوگیری می‌کند و اندام‌های زیرزمینی آن‌ها با افزایش چسبندگی و حفظ رطوبت ذرات خاک به یکدیگر مانع برداشت و انتقال آن‌ها می‌شود (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۷).

از بین عوامل مختلف محیطی، اقلیم یکی از اصلی‌ترین عوامل اولیه موثر بر پوشش گیاهی است (Shen و همکاران، ۲۰۱۹). در حالی که تغییرات اقلیمی در چند دهه گذشته به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیط زیستی پیش‌روی جوامع انسانی تبدیل شده است (Wang و همکاران، ۲۰۲۲). در پس زمینه تغییرات اقلیمی شدت و فراوانی رویدادهای فرین اقلیمی از جمله فرین‌های بارش در حال افزایش است که این روند افزایشی با پاسخ پوشش گیاهی همراه است (Liu و همکاران، ۲۰۲۳). در مقایسه با میانگین بلند مدت اقلیمی، فرین‌های بارش اثرات مهم‌تری بر پوشش گیاهی دارند (Jiang و همکاران، ۲۰۱۴). در مناطق خشک و نیمه خشک پوشش گیاهی به تغییرات فرین‌های بارش حساس‌تر هستند. به عنوان مثال مشخص شده است که هرچه خشکسالی قوی‌تر باشد رشد پوشش گیاهی کمتر است (Li و همکاران، ۲۰۲۴). بنابراین واضح است پویایی گیاهان بوته‌ای و مرتعی و همچنین وضعیت کشاورزی یک منطقه به طور قابل توجهی تحت تاثیر فرین‌های بارش قرار دارد. اثرات تغییر اقلیم بر رشد پوشش گیاهی معمولاً اثر تاخیر زمانی دارند و این اثرات به نوبه خود بر اساس نوع پوشش گیاهی و اقلیم اثرگذار است (Deng و همکاران، ۲۰۱۸).

از طرفی تغییرات در پوشش گیاهی به طور قابل توجهی بر دینامیک فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و خاک در مناطق خشک و نیمه خشک موثر است و می‌تواند منجر به تخریب اکولوژیکی و در نتیجه کاهش بهره‌وری کشاورزی و مرتعی و سایر مسائل محیط زیستی و اجتماعی-اقتصادی شود (Bai و همکاران، ۲۰۲۰). در نتیجه نظارت بر تغییرات پوشش گیاهی و بررسی نحوه واکنش آن به فرین‌های بارش اهمیت بالایی دارد. مناطق خشک و نیمه خشک تقریباً ۴۹ درصد از مساحت ایران

را پوشش می‌دهد و معیشت جمعیت زیادی از کشور به این مناطق وابسته است. از این رو ارزیابی جامع از واکنش پوشش گیاهی به فرین‌های بارش در این نواحی برای ارائه منابع علمی برای کاهش و مقابله با تغییرات شدید اقلیمی ضروری است (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۷). پاسخ پوشش گیاهی به نمایه‌های فرین بارش در مطالعات مختلفی در سراسر جهان بررسی شد. به‌طورمثال Zhang و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند در مناطق خشک سین کیانگ چین روند تغییرات پوشش گیاهی و بارش نسبتاً ثابت اما معنادار است. اما در مناطق مرطوب‌تر دماهای فرین نسبت به بارش فرین همبستگی بیشتری دارد. ازاین رو نتایج آن‌ها نشان داد قرار گرفتن طولانی مدت در برابر تغییرات شدید اقلیمی آسیب‌پذیری پوشش گیاهی مناطق خشک را افزایش می‌دهد که در این بین برخی از گیاهان می‌توانند خشک شوند و از بین بروند و در نتیجه پوشش گیاهی و تنوع گونه‌ای کاهش خواهد یافت. گرشاسبی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی اثر اجرای پروژه‌های بیولوژیک حفاظت از خاک بر رطوبت و دمای خاک با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در شهرستان هندیجان استان خوزستان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد وقوع طوفان‌های گرد و خاک در منطقه هندیجان استان خوزستان نسبت به کاهش پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک واکنش نشان می‌دهد و در سال‌هایی که پوشش گیاهی کاهش داشته است، فراوانی طوفان‌های گرد و خاک افزایش یافته است. Abbas و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود تغییر پوشش گیاهی و واکنش آن نسبت به فرین‌های اقلیمی در مناطق شمال چین را بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد به طور کلی شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی با نمایه‌های فرین اقلیمی همبستگی مثبت دارد. Jiang و همکاران (۲۰۱۴) پاسخ پوشش گیاهی به فرین‌های اقلیمی در مقیاس‌های مختلف در مناطق کشاورزی-اکولوژیکی شمال چین را بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد فرین‌های اقلیمی می‌تواند در برخی از مناطق باعث افزایش رشد گیاهان و طولانی شدن فصل رشد شود و در بخش‌های دیگر تاثیر منفی دارد. تاثیر تاخیر زمانی فرین‌های بارش بر روی پوشش گیاهی حداقل دو ماه و حداکثر سه ماه بعد از وقوع می‌باشد. همچنین نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد فرین‌های بارش اثرات محدودکننده قابل توجهی بر روی پوشش گیاهی دارند. نتایج مطالعه رحیم بیگی و همکاران (۱۴۰۰) برای ایستگاه‌های زابل، خاش، سراوان، ایرانشهر، چابهار، کرمان، بم، سیرجان، میناب، جاسک و بندرلنگه نشان داد سومین کانون بیشینه شدت بارش در ایران در سواحل مکران و جنوب شرق ایران در فصل

زمین یک واقعیت غیر قابل انکار است، بررسی اثرات آن بر روی تغییرات پوشش گیاهی این منطقه از کشور با استفاده از داده‌های هواشناسی و نمایه گیاهی تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی هدف اصلی این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

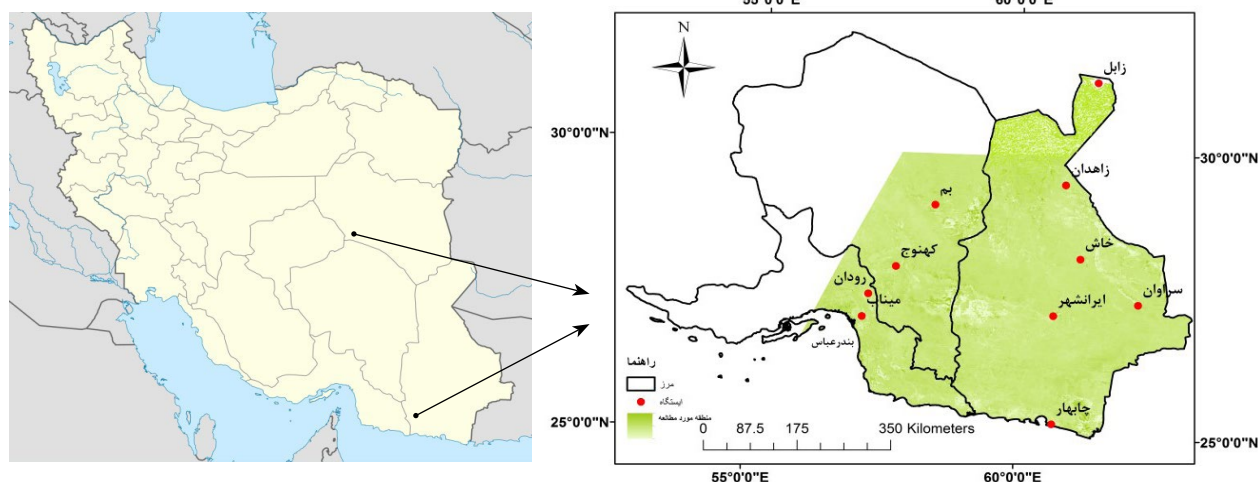
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرقی ایران می‌باشد (شکل ۱). انتخاب منطقه مطالعاتی بر اساس مختصات چارچوب تصویر ماهواره‌ای مودیس بر روی جنوب شرق ایران به مختصات h23v06 انجام شد. تصاویر مودیس ایران را در ۴ قاب پوشش می‌دهد که قاب به مختصات h23v06 بر روی منطقه جنوب شرق ایران قرار می‌گیرد (شکل ۱). این تصویر در مجموع بخش‌هایی از سه استان کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان است. کل مساحت منطقه مورد مطالعه برابر با ۷۷۶ کیلومتر مربع است. به‌طور کلی متوسط بارش مناطق جنوب شرق ایران ۲۱۶ میلیمتر می‌باشد که بیشترین مقدار مربوط به استان هرمزگان با ۳۲۶ میلیمتر و کمترین مقدار مربوط به استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان به ترتیب با میزان ۱۳۶ و ۱۰۳ میلیمتر است (زند و همکاران، ۱۴۰۰). بر اساس آمارهای سازمان حفاظت از محیط زیست کشور، پوشش گیاهی استان سیستان و بلوچستان به دو ناحیه رویشی خلیج عمانی و ایرانی و تورانی تفکیک می‌شود. در این استان بیش از ۲۰۰ تیپ، ۲۹ گونه و ۸ خانواده مهم شناسایی شده است. استان هرمزگان نیز در مرکز ناحیه رویشی خلیج و عمانی قرار گرفته است و بیش از ۹۰۰ گونه گیاهی دارد که به صورت پراکنده در استان وجود دارد. استان کرمان نیز دارای بیش از ۲۹۳ گونه گیاهی متعلق به ۲۱۰ جنس و ۶۴ تیره گیاهی می‌باشد.

تابستان دیده می‌شود که عمده دلیل آن نقش بادهای همگرا در انتقال رطوبت از دریای عرب و اقیانوس هند به این منطقه در طول فصل بارش‌های موسمی است که بارش‌های با شدت زیاد در جنوب شرقی ایران را باعث می‌شود.

نتایج مطالعه Jiang و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد فرین‌های اقلیمی می‌تواند در برخی از مناطق باعث افزایش رشد گیاهان و طولانی شدن فصل رشد شود و در بخش‌های دیگر تاثیر منفی داشته باشد. فرین‌های بارش (Rx1، Rx5، R10، R20) برای گیاهان در استپ‌های بیابانی و مناطق استپی بسیار اهمیت دارد. این مناطق اغلب مستعد تجربه خشکی‌های بیشتر و گرما فرین هستند. تشدید رخداد های فرین بارش به ویژه اگر همراه با وقوع فرین‌های دمایی بالا باشد باعث افزایش تبخیر و تعرق از خاک می‌شود و به این ترتیب خاک رطوبت کافی برای تامین حیات گیاهان را ندارد.

نتایج مطالعه Na و همکاران (۲۰۱۸) در مغولستان نشان داد روند تغییرات بارش‌های فرین در مناطق بیابانی‌های شنی و بیابان‌های استپی بیشتر از سایر مناطق است. از طرفی واکنش مناطق استپی و استپ بیابانی نسبت به نمایه‌های فرین بارش مانند SDII، R10، PRCPTOT، همچنین نتایج آن‌ها نشان داد بین نمایه‌های Rx5، Rx1، NDVI همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. تاثیر تاخیر زمانی فرین‌های بارش بر روی پوشش گیاهی حداقل دوماه و حداکثر سه ماه می‌باشد. منطقه جنوب شرق ایران دارای یک اکوسیستم حساس به تغییرات اقلیمی است. وجود شرایط آب و هوایی گرم و خشک و بادخیز همراه با فعالیت‌های انسانی فاقد مدیریت صحیح مانند تغییر کاربری اراضی این منطقه از کشور را با شرایط محیطی سختی مواجه کرده است. درحالی که گرم شدن کره



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

نام ایستگاه	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دوره آماری
۱ بم	کرمان	۵۸/۴	۲۹/۱	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰
۲ کهنوج		۵۷/۷	۲۸	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰
۳ میناب	هرمزگان	۵۷/۱	۲۷/۱	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰
۴ رودان		۵۷/۲	۲۷/۵	۲۰۰۳ - ۲۰۲۰
۵ بندرعباس		۵۶/۴	۲۷/۲	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰
۶ چابهار	سیستان و بلوچستان	۶۰/۷	۲۵/۳	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰
۷ ایرانشهر		۶۰/۷	۲۷/۲	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰
۸ خاش		۶۱/۲	۲۸/۲	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰
۹ سراوان		۶۲/۳	۲۷/۴	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰
۱۰ زابل		۶۱/۵	۳۱/۱	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰
۱۱ زاهدان		۶۰/۹	۲۹/۵	۲۰۰۰ - ۲۰۲۰

منعکس شده را برای یک NDVI پردازش می‌کند. دامنه این شاخص بین ۱- برای حداقل میزان و ۱+ برای حداکثر میزان فعالیت فتوسنتزی است. بازتابش کلروفیل در محدوده طول موج قرمز (RED) حدود ۲۰ درصد و در محدوده طول موج مادون قرمز نزدیک (NIR) حدود ۶۰ درصد است و تفاوت بین پاسخ‌های هردو باند اجازه کمی کردن انرژی جذب شده توسط کلروفیل را می‌دهد (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۷).

شاخص NDVI از طریق رابطه تفاضلی (۱) محاسبه می‌شود. به همین دلیل مقدار نهایی عددی بین ۱-/+ می باشد. هرچه عدد خروجی بزرگ‌تر باشد در تصویر خروجی پیکسل سفیدتر خواهد بود و این به معنی این است که پوشش گیاهی در آن پیکسل بیشتر است. مقادیر NDVI نزدیک به صفر به معنای پوشش گیاهی کم یا اصلاً وجود ندارد (زندى و همکاران، ۱۴۰۰). در رابطه (۱) RNIR باند مادون قرمز نزدیک و Rred باند قرمز می‌باشد که در سنجنده مودیس باند ۱ قرمز و باند ۲ مادون قرمز نزدیک است.

$$NDVI = \frac{RNIR - Rred}{RNIR + Rred} \quad (1)$$

در این رابطه RNIR باند مادون قرمز نزدیک و Rred باند قرمز می‌باشد که در سنجنده مودیس باند ۱ قرمز و باند ۲ مادون قرمز نزدیک است.

ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک انتخاب شده در جنوب شرقی ایران که دارای دوره آماری ۲۰ ساله هستند در جدول (۱) نمایش داده شده است.

محاسبه روند تغییرات نمایه NDVI

برای تحلیل روند تغییرات سالانه نمایه NDVI، محصول تصاویر ماهواره‌ای مودیس MOD13Q1 با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در یک بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ از ماه فوریه تا اکتبر (طول فصل رویش در منطقه) دانلود شد. در رابطه با تصاویر NDVI به طور معمول برای هر ماه دو تصویر وجود دارد. در وب سایت مودیس هر ۱۶ روز محصول پوشش گیاهی بارگذاری می‌شود؛ به این معنا که بیشترین مقدار شاخص در طول ۱۶ روز گذشته پس از حذف اثرات جوی، ارائه می‌شود. بعد از جمع‌آوری داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی داده‌ها با کمک نرم‌افزار ArcGIS10.2.2، ENVI 5.3 و image Erdas تحلیل شد. شاخص NDVI یک اندازه‌گیری غیرمستقیم از فعالیت فتوسنتزی گیاهان است. بازتاب گیاهان در محدوده خاصی از طیف الکترومغناطیسی رخ می‌دهد (Jiang و همکاران ۲۰۱۴). حسگرهای ماهواره‌ای در فضا طول موج نور بازتاب شده را اندازه‌گیری می‌کنند و این اساس محاسبه شاخص NDVI است. هر پیکسل تصویر ماهواره‌ای روی زمین طول موج‌های

محاسبه فرین های بارش^۱

پایگاه داده ها برای محاسبه نمایه های فرین بارش شامل بارندگی روزانه ایستگاه های منطقه مورد مطالعه در یک بازه زمانی ۲۱ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ می باشد که از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد. سپس با کمک نرم افزار R و افزونه RclimDex نمایه های فرین بارش محاسبه شد. این افزونه قابلیت محاسبه نمایه های فرین معرفی شده توسط تیم کارشناسی آشکارسازی و نمایش تغییر اقلیمی و نمایه ها را دارد. در محیط نرم افزار RclimDex نمایه های فرین در ۵ دسته شامل نمایه های فرین مبتنی بر صدک ها، نمایه های فرین مطلق، نمایه های آستانه ای، نمایه های فرین دوره های و سایر نمایه ها دسته بندی شده اند (Alexander و همکاران، ۲۰۰۶). این نمایه ها در سطح معنی داری ۰/۰۵ برآورد می شود. در محیط نرم افزار RclimDex از آزمون رگرسیون استفاده می شود و با توجه به میزان P-value محاسبه شده و شیب خط نرخ تغییرات نمایه در سال می توان به معنادار یا غیرمعنادار بودن روند و همچنین جهت روند برای هر کدام از نمایه های محاسبه شده پی برد (Alexander و همکاران، ۲۰۰۶). جدول (۲) مهم ترین نمایه های فرین بارش انتخاب شده برای این مطالعه را نشان می دهد که در مجموع شامل ۸ نمایه فرین بارش می باشد. انتخاب این نمایه ها با توجه به نیازهای محلی و ماهیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه صورت گرفت.

روش شبکه عصبی

در این مطالعه از روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای بررسی مهم ترین نمایه های فرین بارش موثر بر تغییرات شاخص NDVI استفاده شد. شبکه های عصبی مصنوعی سیستم های هوشمندی هستند که از هوش مصنوعی گرفته شده اند. این شبکه ها با تحلیل داده های ورودی ارتباط منطقی بین داده ها را تحلیل می. در جهان هستی ارتباط بین متغیرهای مختلف می تواند به صورت خطی یا غیرخطی باشد. یافتن ارتباط منطقی بین داده ها شبیه سازی احتمال وقوع پدیده ها را امکان پذیر می کند. هر شبکه عصبی از سه مولفه اصلی شامل وزن (W)، اریب (Bias) و تابع انتقال (F) تشکیل شده است. این سه ویژگی برای هر نورون در شبکه منحصر به فرد است. در فرایند آموزش شبکه عصبی پارامترهای W و b تا زمان به دست آمدن بهترین تقریب برای عضو مربوط به ورودی مورد نظر تغییر می کند (نجیب زاده و همکاران، ۱۳۹۸).

هدف از طراحی مدل پرسپترون چند لایه حل مسائل غیرخطی است. مدل سازی روابط بین متغیرها در شبکه عصبی پرسپترون به عنوان یکی از انواع مدل های شبکه عصبی، با استفاده از چند لایه نورون متصل به یکدیگر که شامل لایه ورودی، پنهان و خروجی انجام می شود (شوشتری و همکاران، ۱۳۹۷). در این نوع از شبکه بین لایه ورودی و

جدول ۲- فهرست نمایه های فرین بارش انتخاب شده

فرین بارش	تعریف به فارسی	واحد اندازه گیری
۱	Rx1	حداکثر بارش یک روزه
۲	Rx5	حداکثر بارش ۵ روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی
۳	SDII	نمایه ساده شدت روزانه، بارش کل سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب میزان بارش کمتر مساوی ۱ میلی متر در سال
۴	R10	(تعداد روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ده میلی متر)
۵	R20	(تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست میلی متر)
۶	CDD	(حداکثر طول دوره خشک، طول حداکثر روزهای متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی متر است)
۷	CWD	حداکثر طول دوره مرطوب، طول حداکثر روزهای متوالی که بارش بیشتر مساوی با ۱ میلی متر است)
۸	PRCPTOT	کل بارش سالانه در روزهای مرطوب

روند تغییرات فرین‌های بارش

مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین نمایه‌های فرین بارش ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین نمایه R10 برابر با ۱۵، ۳ و ۴ روز در سال در کل منطقه مورد مطالعه است. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین نمایه R20 برابر با ۰، ۱۰ و ۲ روز در سال است. در ارتباط با نمایه Rx1 مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین به ترتیب برابر با ۳، ۲۹ و ۶ میلی‌متر در سال است. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین نمایه Rx5 برابر با ۵، ۴۹ و ۹ میلی‌متر در سال می‌باشد. در ارتباط با نمایه SDII مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین برابر با ۶، ۳۳ و ۹ میلی‌متر در سال است. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین نمایه CDD در منطقه مورد مطالعه برابر با ۲۹۲، ۳۴۱ و ۱۷۸ روز می‌باشد. در ارتباط با نمایه CWD مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین برابر با ۲، ۶ و ۳ روز می‌باشد. کمینه، بیشینه و میانگین PRCPTOT برابر با ۱۰۵، ۵۵۰ و ۲۷۵ میلی‌متر در سال می‌باشد.

شکل (۲- الف تا ح) روند تغییرات مقادیر میانگین بلندمدت ۲۱ ساله در ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در هر شکل روندهای صعودی با مثلث قرمز، روندهای نزولی با مربع آبی و ایستگاه‌های بدون روند با دایره سیاه نشان داده شده است. شکل (الف) روند تغییرات نمایه Rx1 در ایستگاه‌های میناب، رودان، بندرعباس، بم، کهنوج، چابهار، ایرانشهر، خاش، زاهدان و زابل را صعودی نشان داد. در حالی که روند تغییرات این نمایه در ایستگاه سراوان نزولی است. شکل (ب) روند تغییرات نمایه Rx5 را نشان می‌دهد. تغییرات در ایستگاه میناب و رودان بدون روند بود. روند تغییرات این نمایه در ایستگاه بندرعباس، بم، کهنوج، چابهار، ایرانشهر، خاش، سراوان و زاهدان مثبت بود. روند تغییرات این نمایه در ایستگاه زابل منفی بود. شکل (ج) روند تغییرات نمایه SDII را نشان می‌دهد. روند تغییرات در ایستگاه بندرعباس و سراوان به صورت منفی بود. روند تغییرات این نمایه در ایستگاه‌های چابهار، ایرانشهر، خاش و زاهدان صعودی بود. تغییرات در ایستگاه بم، کهنوج، میناب، رودان و زابل بدون روند بود. شکل (د) روند تغییرات نمایه R10 را نشان می‌دهد. تغییرات این نمایه در ایستگاه میناب، رودان، ایرانشهر و زابل بدون روند بود. روند تغییرات در ایستگاه بندرعباس، بم، کهنوج، چابهار، خاش، سراوان و زاهدان مثبت بود. شکل (ه) روند تغییرات نمایه R20 را نشان می‌دهد. تغییرات در ایستگاه میناب، رودان، بم، زابل و زاهدان بدون روند بود. روند تغییرات این

خروجی چند لایه به عنوان لایه پنهان وجود دارد. در لایه اول به نام لایه ورودی، اطلاعات ورودی قرار می‌گیرد و وظیفه آن ارسال داده‌ها به ایه‌های بعدی است و هیچ پردازشی بر روی داده‌ها انجام نمی‌دهد. لایه بعدی لایه پنهان است که می‌تواند از یک تا چند لایه تشکیل شده باشد. این لایه از تعدادی نورون به وجود آمده است که وظیفه محاسبات داده‌های ارسالی از لایه ورودی را برعهده دارد و در نهایت خروجی محاسبات را به لایه خروجی منتقل می‌کند. لایه خروجی مقدار نهایی خروجی شبکه را مشخص می‌کند (شوشتری و همکاران، ۱۳۹۷). در شبکه عصبی پرسپترون داده‌های متغیرهای مستقل آموزشی به ورودی شبکه داده می‌شود و بر اساس اختلاف خروجی شبکه و مقدار واقعی (متغیر وابسته) وزن‌های شبکه با یک الگوریتم تکراری بهینه‌سازی و بروزرسانی شد. از آنجا که هدف از طراحی مدل پرسپترون چند لایه تحلیل مسائل غیرخطی است به این ترتیب نیاز است از یک سری توابع به نام توابع فعال‌سازی استفاده شود.

توابع فعال‌سازی تصمیم می‌گیرند چه نورون‌هایی در شبکه فعال باشند و خروجی کدام نورون‌ها نادیده گرفته شود. توابع فعال‌سازی نحوه پردازش نورون‌های شبکه را شبیه‌سازی می‌کنند و به شبکه این امکان را می‌دهند تا روابط پیچیده و غیرخطی بین داده‌های ورودی و مقدار خروجی شبکه را یاد بگیرند. از جمله توابع فعال‌سازی کاربرد در این زمینه تابع سیگموئیدی و تانژانت‌هایپربولیک است (نجیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). تعداد نورون‌های لایه ورودی شبکه پرسپترون چند لایه برابر با اندازه داده‌های ورودی است. نورون‌های لایه‌های پنهان با یک سری مقادیر (وزن‌های شبکه) به یکدیگر متصل هستند که میزان اهمیت نورون را برای پردازش داده‌ها مشخص می‌کند. قدرت ارتباط نورون‌ها با یکدیگر وزن نورون نامیده می‌شود. هر چقدر وزن‌ها بیشتر باشند، تاثیر نورون متصل به آن وزن در محاسبه بیشتر است و در پی این اتفاق، آن نورون بر روی محاسبه خروجی مسئله تاثیر بیشتری خواهد گذاشت (نجیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). طراحی شبکه عصبی در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد.

بررسی روند تغییرات شاخص NDVI به کمک روش رگرسیون انجام شد. در این مطالعه زمان متغیر مستقل و شاخص NDVI متغیر وابسته است برای این منظور معنی‌داری شیب به دست آمده برای هر خط از نظر آماری با استفاده از آماره t آزمون شد. سطح معنی‌داری در این پژوهش ۵ درصد است (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۳- مقادیر تغییرات نمایه‌های فرین بارش

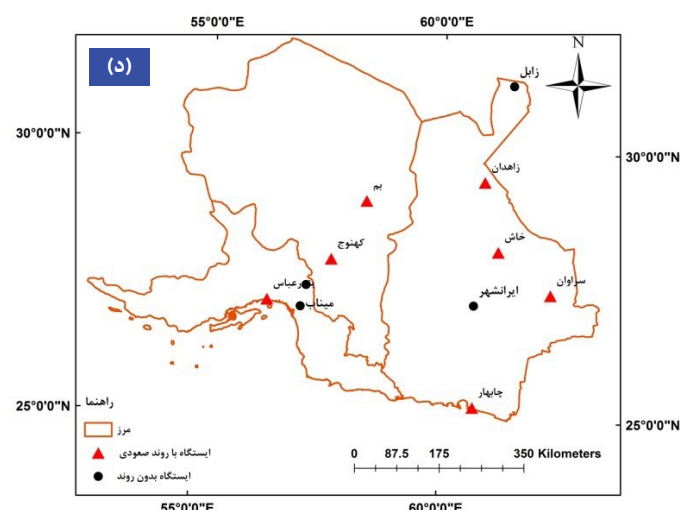
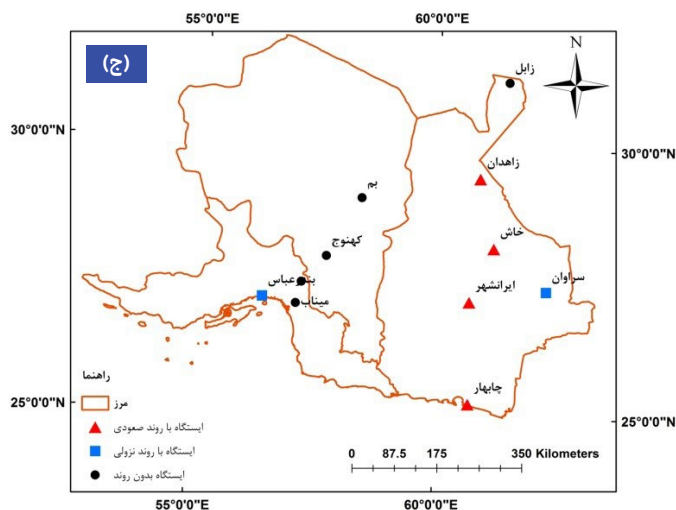
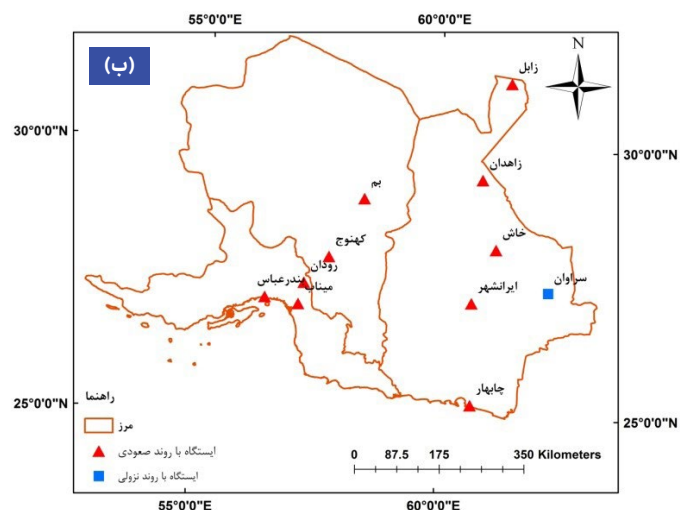
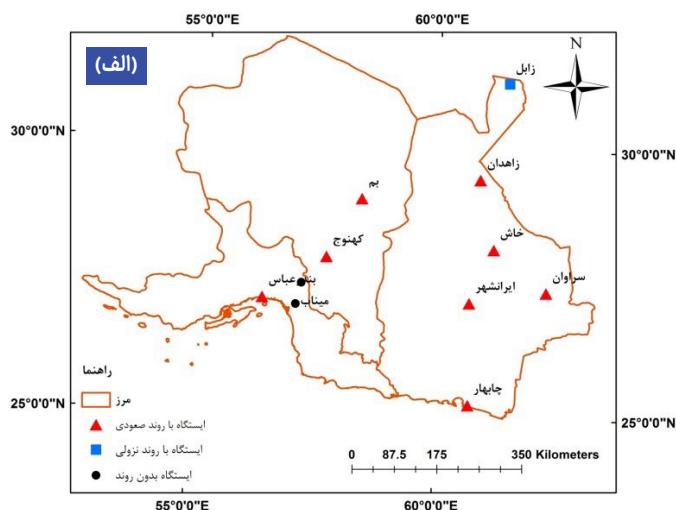
PRCPTOT (میلیمتر)	CWD (روز)	CDD (روز)	R20 (روز)	R10 (روز)	SDII (میلیمتر)	Rx5 (میلیمتر)	Rx1 (میلیمتر)		
۵	۱	۱۷	۰	۰	۲	۰	۰	کمینه	زاهدان
۱۰۵	۳	۳۳۷	۲	۵	۱۰	۷	۶	بیشینه	
۴۴	۲	۲۰۰	۰/۴	۱	۵	۸	۳	میانگین	
۴	۱	۵۷	۰	۰	۱	۰	۰	کمینه	زابل
۱۲۶	۳	۳۳۸	۲	۵	۸	۸	۵	بیشینه	
۳۸	۲	۲۱۱	۰/۲	۱	۴	۳	۲	میانگین	
۷	۱	۳۵	۰	۰	۲	۱	۱	کمینه	سراوان
۱۹۷	۵	۳۲۰	۴	۸	۱۴	۱۶	۱۳	بیشینه	
۹۳	۳	۱۴۵	۱	۳	۸	۸	۵	میانگین	
۶۴	۲	۶۴	۰	۰	۲	۴	۰	کمینه	رودان
۵۵۰	۴	۲۹۲	۹	۱۵	۳۱	۴۹	۲۹	بیشینه	
۲۴۲	۳	۱۸۴	۴	۷	۱۵	۲۲	۹	میانگین	
۳۰	۲	۱۰۹	۰	۱	۵	۳	۰	کمینه	میناب
۵۳۹	۶	۳۰۶	۱۰	۱۴	۳۳	۳۴	۲۱	بیشینه	
۱۹۹	۳	۲۱۳	۳	۶	۱۵	۱۴	۹	میانگین	
۲۴	۱	۲۰	۰	۱	۴	۳	۲	کمینه	بندرعباس
۳۰۱	۶	۳۴۱	۶	۱۰	۳۱	۲۲	۱۵	بیشینه	
۱۳۲	۲	۲۰۰	۲	۴	۱۲	۱۰	۷	میانگین	
۱۹	۲	۴۰	۰	۰	۳	۱	۱	کمینه	کهنوج
۴۲۲	۵	۲۹۳	۷	۱۳	۲۰	۲۷	۱۵	بیشینه	
۱۶۸	۳	۱۳۳	۲	۵	۱۱	۱۲	۸	میانگین	
۰	۰	۶۴	۰	۰	۱۵	۰	۰	کمینه	چابهار
۲۴۰	۳	۴۲۹	۵	۷	۱۷	۱۸	۱۴	بیشینه	
۱۰۴	۳	۱۹۹	۲	۳	۱۷	۸	۶	میانگین	
۵	۱	۴۵	۰	۰	۷	۱	۱	کمینه	ایران‌شهر
۲۰۵	۵	۲۹۲	۴	۸	۳۴	۱۶	۸	بیشینه	
۸۸	۲	۱۴۹	۱	۳	۱۷	۷	۵	میانگین	
۳۰	۲	۴۲	۰	۰	۳	۲	۲	کمینه	خاش
۲۴۵	۶	۳۱۵	۴	۹	۱۴	۱۶	۱۰	بیشینه	
۲۴۲	۳	۱۴۷	۱	۴	۸	۸	۶	میانگین	
۱۴	۱	۴۶	۰	۰	۳	۱	۱	کمینه	بم
۱۱۶	۴	۳۳۴	۱	۵	۱۲	۹	۷	بیشینه	
۴۱	۲	۱۸۰	۰	۱	۵	۴	۳	میانگین	

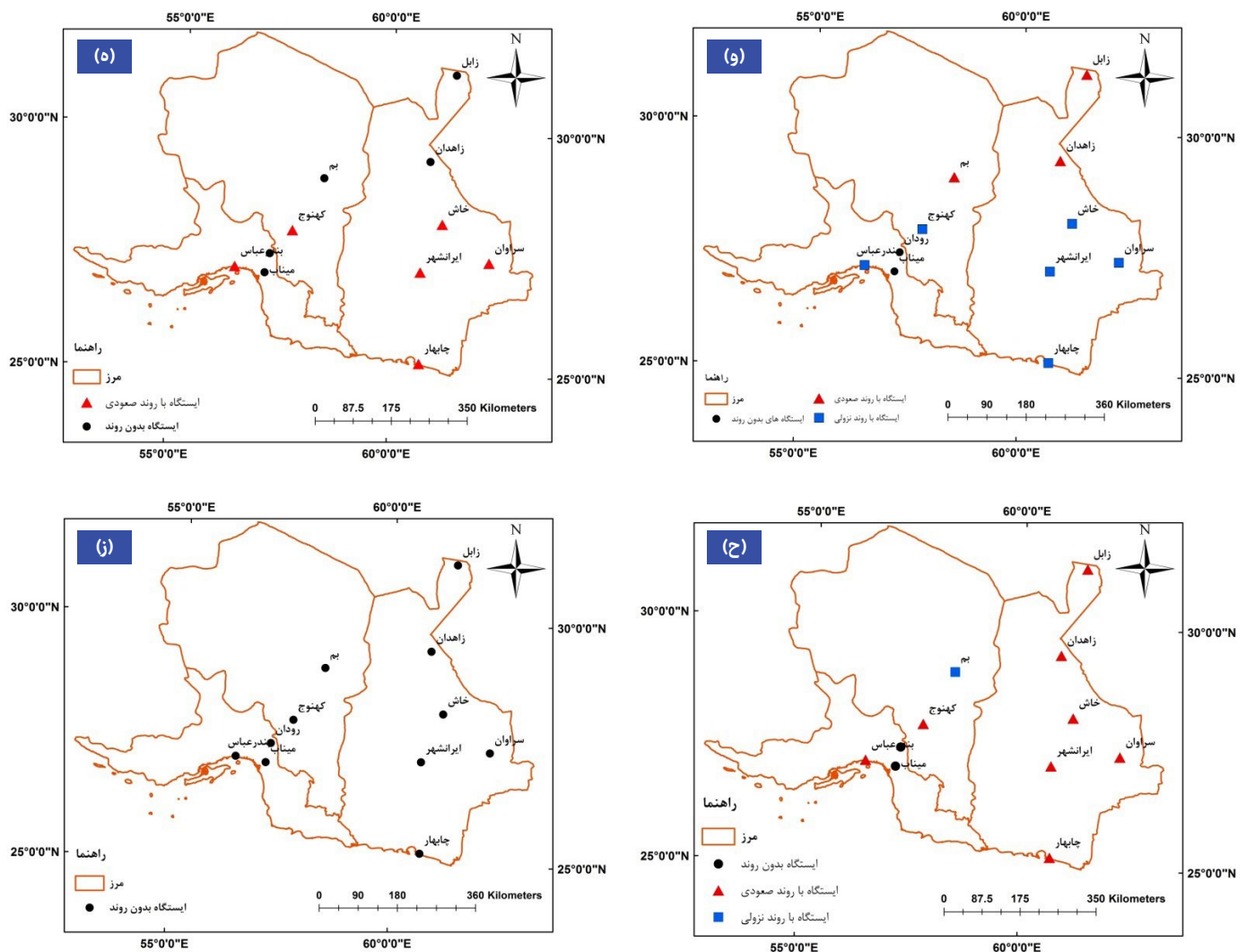
۲۰۰۵، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ سال‌هایی با وضعیت مطلوب از نظر پوشش گیاهی در منطقه می‌باشند. در مقابل سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ سال‌های با کمترین مقادیر NDVI است. سال ۲۰۱۱ کمترین مقدار شاخص NDVI برابر با ۰/۲۱ و سال ۲۰۱۴ بیشترین مقدار شاخص NDVI برابر با ۰/۲۷ مشاهده شد. برای گیاهان زنده مقادیر شاخص NDVI بین ۰/۱ تا ۰/۲+ می‌باشد. در این مطالعه مقادیر NDVI بین ۰/۱ تا ۰/۲ به عنوان پوشش گیاهی تنک و پراکنده و مقادیر ۰/۲ تا ۰/۳ به عنوان پوشش گیاهی متوسط و از ۰/۳ به بالا به عنوان پوشش گیاهی نسبتاً خوب در نظر گرفته شد (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۷). از نظر مکانی بخش‌های غرب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه بهترین وضعیت را از نظر پوشش گیاهی دارند. زندی و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند با حرکت از غرب به شرق در مناطق جنوبی ایران (استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان) پوشش گیاهی کاهش می‌یابد و به مساحت مناطق با پوشش گیاهی ضعیف و یا فاقد پوشش گیاهی افزوده می‌شود.

نمایه در ایستگاه بندرعباس، کهنوج، چابهار، ایرانشهر، خاش و سراوان مثبت بود. شکل (و) روند تغییرات نمایه حداکثر CDD را نشان می‌دهد. تغییرات در ایستگاه میناب و رودان بدون روند بود. روند تغییرات این نمایه در ایستگاه بندرعباس، کهنوج، چابهار، ایرانشهر، خاش و سراوان منفی بود. روند تغییرات این نمایه در ایستگاه بم، زابل و زاهدان مثبت بود. شکل (ز) روند تغییرات نمایه CWD را نشان می‌دهد. تغییرات این نمایه در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بدون روند بود. شکل (ح) روند تغییرات نمایه PRCPTOT را نشان می‌دهد. تغییرات در ایستگاه میناب، بم و رودان بدون روند بود. روند تغییرات در ایستگاه بندرعباس، کهنوج، چابهار، ایرانشهر، خاش، زاهدان، سراوان و زابل مثبت بود.

روند تغییرات زمانی و مکانی شاخص NDVI در ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه

روند تغییرات زمانی شاخص NDVI در شکل (۳) نشان داده شده است. طی دوره زمانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۰،





شکل ۲- روند تغییرات مکانی نمایه‌های فرین بارش طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰. شکل‌ها به ترتیب (الف) روند تغییرات نمایه R_{X1} ، شکل (ب) روند تغییرات نمایه R_{X5} ، شکل (ج) روند تغییرات نمایه $SDII$ ، شکل (د) روند تغییرات نمایه R_{10} ، شکل (ه) روند تغییرات نمایه R_{20} ، شکل (و) روند تغییرات نمایه CDD ، شکل (ز) روند تغییرات نمایه CWD و شکل (ح) روند تغییرات نمایه $PRCPTOT$ را نشان می‌دهد.

در مطالعه حاضر، سال ۲۰۱۱ خشک‌ترین سال از نظر پوشش گیاهی بود. روند تغییرات شاخص $NDVI$ تنها در ایستگاه رودان ($P\text{-value}=0.01$) و کهنوج ($P\text{-value}=0.0001$) معنادار و صعودی بود. روند تغییرات در ایستگاه‌های سراوان، ایرانشهر، بندرعباس، بم صعودی اما معنادار نبود. روند تغییرات در ایستگاه‌های زابل، چابهار، میناب، خاش و زاهدان منفی اما معنادار نبود.

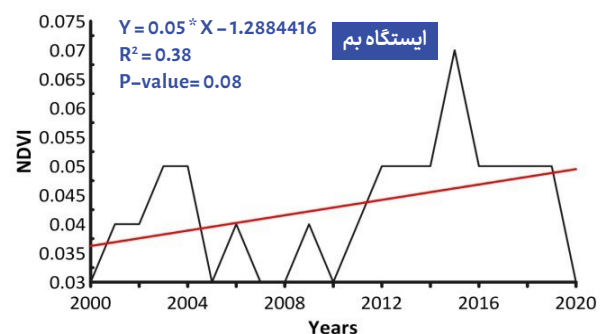
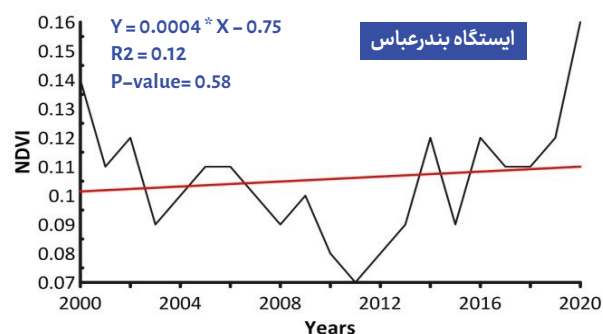
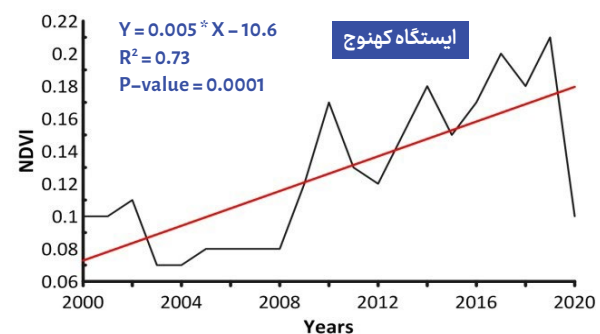
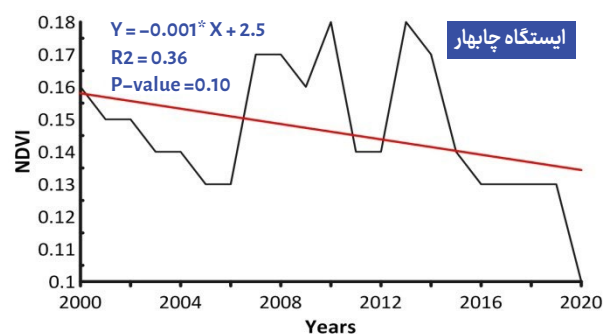
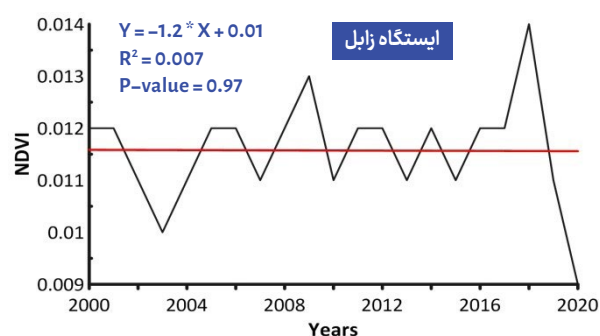
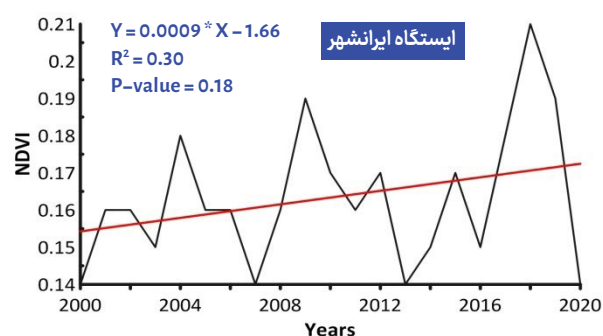
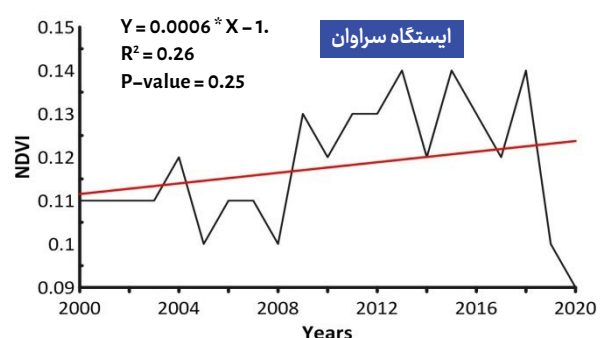
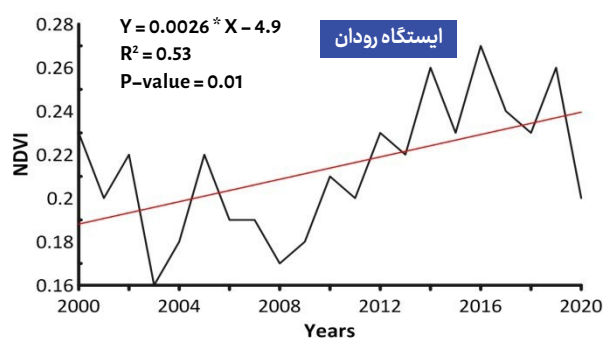
تحلیل‌های مربوط به رابطه بین شاخص $NDVI$ و فرین‌های بارش

تحلیل‌ها در این بخش به طور جداگانه در هر ایستگاه انجام شد. بر این اساس در هر ایستگاه مدل‌های مختلفی بر داده‌ها برازش داده شد و قبل از وارد کردن داده‌ها به مدل‌های

از نظر مکانی بیشترین مقدار شاخص $NDVI$ در ایستگاه میناب و رودان مشاهده شد. کمترین میانگین شاخص $NDVI$ نیز در ایستگاه بم مشاهده شد. از نظر مقایسه سال‌های با بیشترین و کمترین مقدار شاخص $NDVI$ ، می‌توان به نتایج مطالعه زندی و همکاران (۱۴۰۰) اشاره کرد. نتایج آن‌ها نشان داد در سال ۲۰۰۸ جنوب ایران شرایط خشکسالی متوسط را تجربه کرده است. همچنین در سال ۲۰۰۹ بخش‌های شمالی هرمزگان و نواحی شرقی سیستان و بلوچستان خشکسالی شدیدی را نسبت به سایر مناطق جنوبی تجربه کرده است. بر اساس نتایج آن‌ها سال ۲۰۱۰ در طول دوره مورد مطالعه خشک‌ترین سال بوده است و کرمان، سیستان و بلوچستان و هرمزگان خشکسالی شدیدی را تجربه کرده است در حالی که

نتایج اهمیت متغیرهای مستقل پیش‌بینی کننده در مدل‌های مختلف برازش داده شده نمایه‌هایی که بیشترین اهمیت را در پیش‌بینی مقادیر شاخص NDVI داشتند براساس جدول (۴) در هر ایستگاه مشخص شد. در این بخش به دلیل حجم بالای محاسبات تمام نتایج ارائه نشد و تنها نتایج نهایی ارائه شده است. نتایج نشان داد در ایستگاه‌های زاهدان و سراوان نمایه PRCPTOT، در ایستگاه‌های زابل، رودان، میناب، کهنوج و بم

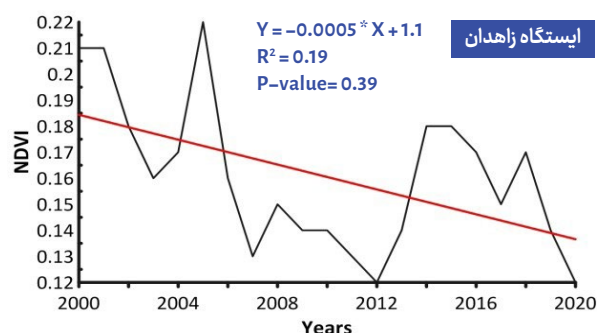
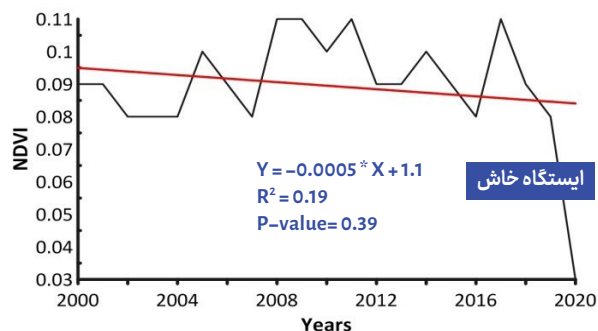
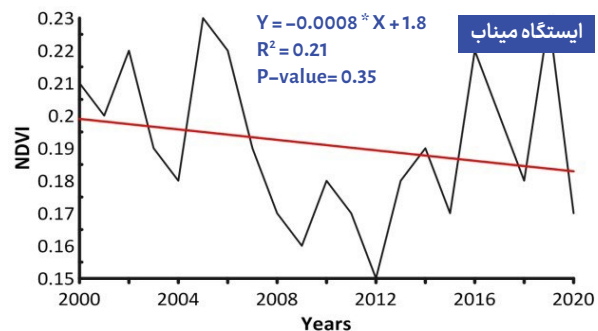
آماري آن‌ها به صورت یک جدول در گروه متغیرهای مستقل و وابسته در یک دوره زمانی ۲۰ ساله در جدول (۴) تنظیم شدند. متغیرهای وارد شده به مدل شامل نمایه‌های $Rx1$ ، $Rx5$ ، $SDII$ ، $R10$ ، $R20$ ، $PRCPTOT$ ، CDD و CWD می‌باشد. متغیر وابسته شاخص NDVI است. از بین مدهای برازش داده شده مناسب‌ترین مدل، مدلی انتخاب شد که مجموع مربعات خطا کمتری در مورد نمونه آموزشی دارد. همچنین با مقایسه



دارند. نمایه‌های بیشینه بارش یک روزه (RX1) و شدت بارش (SDII) به همراه بارش‌های سنگین (R10) اهمیت زیادی در تعیین مخاطرات طبیعی مانند بروز سیلاب در کشور دارند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد در منطقه جنوب شرق ایران توزیع مکانی فرین‌های بارش با حرکت از شرق به غرب و از شمال به جنوب با نزدیک شدن به سواحل دریا افزایش می‌یابد. در حالی که با حرکت از شرق به غرب منطقه وضعیت پوشش گیاهی نیز بهتر می‌شود.

با وجود افزایش فرین‌های بارش روند تغییرات پوشش گیاهی در برخی ایستگاه‌ها نیز منفی است. در توضیح این مساله می‌توان گفت در برخی ایستگاه‌ها بارش‌های فرین، نقش مثبتی در بهبود وضعیت پوشش گیاهی نداشته است. زیرا در زمان مناسبی رخ نمی‌دهند به عنوان مثال در مناطق جنوب شرقی ایران بارش‌ها به دلیل مونسون‌های تابستانی است. در فصل تابستان با افزایش دمای هوا میزان تبخیر و تعرق گیاهان اغلب دچار کم آبی می‌شوند که می‌تواند نشان دهنده تاثیر تاخیر زمانی فرین‌های بارش بر روی رشد پوشش گیاهی باشد که حداقل دو ماه و حداکثر سه ماه بعد از وقوع رخ می‌دهد که هم‌زمان با شروع فصول گرم و خشک در منطقه است و این زمانی که گیاهان منطقه مورد مطالعه دوره رشد خود را کامل کرده‌اند. نتایج پژوهش رحیم بیگی و همکاران (۱۴۰۰) برای ایستگاه‌های زابل، خاش، سراوان، ایرانشهر، چابهار، کرمان، بم، سیرجان، میناب، جاسک و بندرلنگه نشان داد سومین کانون بیشینه شدت بارش در ایران در سواحل مکران و جنوب شرق ایران در فصل تابستان دیده می‌شود که عمده دلیل آن نقش بادهای همگرا در انتقال رطوبت از دریای عرب و اقیانوس هند به این منطقه در طول فصل بارش‌های موسمی است که بارش‌های با شدت زیاد در جنوب شرقی ایران را باعث می‌شود.

نتایج مطالعه Jiang و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد فرین‌های اقلیمی می‌تواند در برخی از مناطق باعث افزایش رشد گیاهان و طولانی شدن فصل رشد شود و در بخش‌های دیگر تاثیر منفی داشته باشد. فرین‌های بارش (R10، RX5، RX1 و R20) برای گیاهان در استپ‌های بیابانی و مناطق استپی بسیار اهمیت دارد. این مناطق اغلب مستعد تجربه خشکی‌های بیشتر و گرما فرین هستند. رخداد‌های فرین بارش اگر با فرسایش آبی همراه باشد، با جابه‌جایی مواد ریزدانه خاک و در دسترس قرار دادن آن‌ها در برابر باد در فصول خشک می‌تواند تغذیه کننده طوفان‌های گرد و غبار باشد.



شکل ۳- روند تغییرات شاخص NDVI در دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ را در ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه

نمایه Rx1، در ایستگاه ایرانشهر نمایه CWD و در ایستگاه‌های چابهار، خاش و بندرعباس نمایه SDII بیشترین اهمیت را پیش‌بینی تغییرات شاخص NDVI دارد. میزان اهمیت نرمال شده (به درصد) و میزان اهمیت به ترتیب میزان مهم بودن متغیر مستقل را در پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته نشان می‌دهد.

به طور کلی بر اساس نتایج مدل‌های شبکه عصبی می‌توان نتیجه گرفت، از بین نمایه‌های فرین بارش به ترتیب نمایه حداکثر بارش یک روزه (RX1) بیشترین تاثیر و پس از آن نمایه‌های شدت روزانه بارش (SDII)، حداکثر طول دوره خشک (CDD) و کل بارش سالانه در روزهای مرطوب (PRCPTOT) به ترتیب حداکثر اهمیت را در تغییرات شاخص NDVI

جدول ۴- مدل‌های برازش داده شده و اهمیت متغیرهای فرین بارش در ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه

ایستگاه									تابع خطا	RX1	RX5	SDII	R10	R20	CDD	CWD	PRCPTOT
زاهدان	اهمیت نرمال شده (%)	-	۲۰	۲۵	۴۴	۶۱	۵۲	۶۵	۷۱	۱۰۰	-	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۵۸	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۲
	اهمیت	-	۰/۰۵۸	۰/۰۷۱	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۵۸	۰/۲۰	۰/۲۸	-	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۵۸	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۲
	مجموع مربعات خطا آموزش	۱/۶															
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۰/۰۷۶															
زابل	اهمیت نرمال شده (%)	۱۰۰	۰/۲	۴۵	۷۸	۶۷	-	-	-	-	-	۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۱۹
	اهمیت	-	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۱۹	-	-	-	-	۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۱۹
	مجموع مربعات خطا آموزش	۰/۴۵										۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۱۹
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۰/۰۲۹										۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۱۹
سراوان	اهمیت نرمال شده (%)	۸۶	۲۲	۸۶	۵۵	۴۰	۵۹	۵۵	۱۰۰	-	-	۰/۱۵	۰/۰۴۱	۰/۱۵	۰/۰۹۹	۰/۰۷۳	۰/۱۰
	اهمیت	-	۰/۱۵	۰/۰۴۱	۰/۱۵	۰/۰۹۹	۰/۰۷۳	۰/۱۰	۰/۰۹۸	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۰۴۱	۰/۱۵	۰/۰۹۹	۰/۰۷۳	۰/۱۰
	مجموع مربعات خطا آموزش	۰/۰۳۷										۰/۱۵	۰/۰۴۱	۰/۱۵	۰/۰۹۹	۰/۰۷۳	۰/۱۰
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۰/۰۰۶										۰/۱۵	۰/۰۴۱	۰/۱۵	۰/۰۹۹	۰/۰۷۳	۰/۱۰
روان	اهمیت نرمال شده (%)	-	۱۰۰	-	-	۵۶	-	۴۸	۱۱	۲۰	-	۰/۳۹	-	-	۰/۲۰	۰/۰۴۸	۰/۰۸۷
	اهمیت	-	۰/۳۹	-	-	۰/۲۳	-	۰/۲۰	۰/۰۴۸	۰/۰۸۷	-	۰/۳۹	-	-	۰/۲۰	۰/۰۴۸	۰/۰۸۷
	مجموع مربعات خطا آموزش	۲/۳										۰/۳۹	-	-	۰/۲۰	۰/۰۴۸	۰/۰۸۷
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۱/۱										۰/۳۹	-	-	۰/۲۰	۰/۰۴۸	۰/۰۸۷
میناب	اهمیت نرمال شده (%)	-	۱۰۰	۵۹	۵۴	۶/۹	۱۳	۶۰	۲/۱	۴۶	-	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۲۰	۰/۰۳۸	۰/۱۳
	اهمیت	-	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۲۰	۰/۰۳۸	۰/۱۷	۰/۰۰۶	۰/۱۳	-	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۲۰	۰/۰۳۸	۰/۱۳
	مجموع مربعات خطا آموزش	۱/۲										۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۲۰	۰/۰۳۸	۰/۱۳
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۰/۸۸										۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۲۰	۰/۰۳۸	۰/۱۳
خاش	اهمیت نرمال شده (%)	-	۵۵	-	۱۰۰	۳/۵	-	-	۱۰	۴/۷	-	۰/۳۱	-	-	-	۰/۰۶۱	۰/۰۳۵
	اهمیت	-	۰/۳۱	-	۰/۵۶	۰/۰۲	-	-	۰/۰۶۱	۰/۰۳۵	-	۰/۳۱	-	-	-	۰/۰۶۱	۰/۰۳۵
	مجموع مربعات خطا آموزش	۰/۷۳										۰/۳۱	-	-	-	۰/۰۶۱	۰/۰۳۵
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۰/۱۹										۰/۳۱	-	-	-	۰/۰۶۱	۰/۰۳۵
کهنوج	اهمیت نرمال شده (%)	-	۱۰۰	۴۱	۴۷	۱۸	۷۶	۴۱	۳۰	۴۲	-	۰/۲۲	۰/۰۹۲	۰/۱۰	۰/۰۴۲	۰/۱۷	۰/۰۹۵
	اهمیت	-	۰/۲۲	۰/۰۹۲	۰/۱۰	۰/۰۴۲	۰/۱۷	۰/۰۹۳	۰/۰۶۸	۰/۰۹۵	-	۰/۲۲	۰/۰۹۲	۰/۱۰	۰/۰۴۲	۰/۱۷	۰/۰۹۵
	مجموع مربعات خطا آموزش	۰/۹										۰/۲۲	۰/۰۹۲	۰/۱۰	۰/۰۴۲	۰/۱۷	۰/۰۹۵
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۲/۰										۰/۲۲	۰/۰۹۲	۰/۱۰	۰/۰۴۲	۰/۱۷	۰/۰۹۵
ایرانشهر	اهمیت نرمال شده (%)	-	-	۱۴	۹	-	-	۲۲	۱۰۰	-	-	۰/۸۹	-	-	-	۰/۶۸	-
	اهمیت	-	-	۰/۱	۰/۰۶۲	-	-	۰/۱۵	۰/۶۸	-	-	۰/۸۹	-	-	-	۰/۶۸	-
	مجموع مربعات خطا آموزش	۰/۸۹										۰/۸۹	-	-	-	۰/۶۸	-
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۰/۲۷										۰/۸۹	-	-	-	۰/۶۸	-

تغییرات	اهمیت نرمال شده (%)	-	-	۵۸	۱۰۰	۲۴	۲۲	۵۳	-	-
	اهمیت	-	-	۰/۲۲	۰/۳۸	۰/۰۹۳	۰/۰۸۵	۰/۲۰	-	-
	مجموع مربعات خطا آموزش	۰/۲۸								
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۰/۰۶۳								
تغییرات	اهمیت نرمال شده (%)	-	۷۷	۱۰	۱۰۰	۴۸	۹۹	۲۴	۲۳	۳۰
	اهمیت	-	۰/۱۸	۰/۰۲۶	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۲۴	۰/۵۹	۰/۰۵۵	۰/۰۷۴
	مجموع مربعات خطا آموزش	۱/۷								
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۰/۱۲								
تغییرات	اهمیت نرمال شده (%)	-	۱۰۰	-	-	-	-	۸۹	۲۱	۳۷
	اهمیت	-	۰/۴۷	-	-	-	-	۰/۴۲	۰/۱۰	۰/۰۵۸
	مجموع مربعات خطا آموزش	۱/۵								
	مجموع مربعات خطا آزمایش	۲/۴								

نتیجه‌گیری

شدت و میزان گسترش طوفان‌های گرد و خاک در منطقه جنوب شرق ایران یک نگرانی دائمی است. اغلب زمین‌های بایر و بدون پوشش در هنگام وزش بادهای شدید فصلی عامل اصلی تشکیل هسته‌های گرد و خاک در منطقه هستند. بنابراین افزایش پدیده گرد و خاک با کاهش پوشش گیاهی ارتباط مستقیم دارد. از این رو بررسی عوامل اقلیمی از جمله فرین‌های بارش که از جمله مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر پوشش گیاهی محسوب می‌شود، هدف اصلی این مطالعه بود. درک جامع از چگونگی روند و تاثیر فرین‌های بارش بر پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه خشک می‌تواند به گسترش شیوه‌های پایدارتر مدیریت این مناطق منجر شود. بر اساس نتایج، روند کلی نشان دهنده افزایش فرین‌های بارش در طول دوره مطالعه بود. نمایه‌های فرین بارش SDII، R_{x1} و PRCPTOT بیشترین همبستگی را با تغییرات پوشش گیاهی منطقه جنوب شرق ایران داشت. شاخص NDVI از نظر مکانی با حرکت از شرق به غرب منطقه روند افزایشی داشت. مناطق با NDVI کم در بخش‌های شرقی، جنوبی و شمالی و مناطق با NDVI زیاد در غرب منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. بیشترین مقدار شاخص NDVI مربوط به ایستگاه میناب و رودان با مقادیر ۰/۲۱ و ۰/۱۹ می‌باشد. کمترین میانگین شاخص NDVI نیز در ایستگاه بم با مقدار ۰/۰۳ مشاهده شد. روند تغییرات شاخص NDVI تنها در ایستگاه رودان (P-value = ۰/۰۱) و کهنوج (P-value = ۰/۰۰۱) معنادار و صعودی بود. روند

تغییرات در ایستگاه‌های سراوان، ایرانشهر، بندرعباس، بم صعودی اما معنادار نبود. روند تغییرات در ایستگاه‌های زابل، چابهار، میناب، خاش و زاهدان منفی معنادار نبود. وقوع فرین‌های بارش اگر با مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز همراه باشد فرصت مناسبی برای مدیریت پایدار منطقه جنوب شرق ایران فراهم می‌کند.

پی‌نوشت‌ها

1. Climate extremes

منابع

- آذرخشی، مریم، فرزاد مهر، جلیل، اصلاح، مهدی، و صحابی، حسین. (۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و عوامل دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. مجله منابع طبیعی ایران، ۱۶-۱، ۱۶۶-۱۶۷. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2013.35324>
- رحیم‌بیگی، نرگس، زرین، آذر، مفیدی، عباس، و داداشی رودباری، عباس‌علی. (۱۴۰۰). تحلیل پراکنش فصلی بارش‌های فرین در ایران با استفاده از پایگاه AgERA5. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۱۱)، ۲۷۳۷-۲۷۲۴. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.333263.669118>
- زند، رحمان، انتظار، علیرضا، باعقیده، محمد، و خسروی، مریم. (۱۴۰۰). ارزیابی خشکسالی و تأثیرات آن بر پوشش گیاهی در مناطق جنوبی ایران. مجله پژوهش‌های دانش زمین، ۱۲(۲)، ۳۶-۴۹. <https://doi.org/10.52547/esrj.12.2.36>

افروز. (۱۳۹۹). بررسی اثر اجرای پروژه‌های بیولوژیک حفاظت خاک بر رطوبت و دمای خاک با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در منطقه دهنو شهرستان هندیجان استان خوزستان. چهارمین کنفرانس ملی حفاظت از خاک و آب‌خیزداری با محوریت گرد و غبار. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.

• نجیب‌زاده، نازنین، قادری، کوروش، و احمدی، محمد مهدی. (۱۳۹۸). بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی بارش رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد صفاورد). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲(۶)، ۱۷۰۹-۱۷۲۰. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1398.13.6.15.1>

- Abbas, A., He, Q., Jin, L., Li, J., Salam, A., Lu, B., & Yasheng, Y. (2021). Spatial-Temporal Changes of Land Surface Temperature and the Influencing Factors in the Tarim Basin, Northwest China. *Remote Sensing*, 13, 3792. <https://doi.org/10.3390/rs13193792>
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G. & Tagipour, A. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5), 1-22. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- Bai, X., Lanhui, Z., Chansheng, He., & Yi, Z. (2020). Estimating regional soil Moisture distribution based on NDVI and LST time series data in the upstream of the Haihe river watershed, Northwest China. *Remote Sensing*, 12 (15), 2414 -2427. <https://doi.org/10.3390/rs12152414>
- Deng, Y., Wang, S., Bai, X., Tian, Y., Wu, L., Xiao, J., & Qian, Q. (2018). Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. *Scientific Reports*, 8(1), 641. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19088-x>
- Efthymios, T., & Athanasios, A. (2019). Uniform mixture model in the case of regression. *Annals of Operations Research*, 289, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-019-03475-w>
- Jiang, D., Zhang, H., & Zhang, Y. (2022). Interannual variability and correlation of vegetation cover and precipitation in Eastern China. *Theoretical and Applied Climatology*, 118, 93-105. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1054-2>
- Liu, L., He, G., & Wu, M. (2023). Climate change impacts on planned supply-demand match in global wind and solar energy systems. *Nature Energy*, 8, 870-880. <https://doi.org/10.1038/s41560-023-01304-w>

• شوشتری، شریف، اسماعیلی ساری، عباس، حسینی، سید محسن، و غلامعلی فرد، مهدی. (۱۳۹۷). کاربرد روش پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شرق استان مازندران. *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۹(۷۲)، ۱۲۵-۱۴۴. <https://doi.org/10.22108/gep.2019.97390.0>

• فیروزی، فاطمه، طاوسی، تقی، و محمودی، پیمان. (۱۳۹۷). بررسی رابطه آماری بین متغیرهای اقلیمی، هیدرولوژیک و پویایی پوشش گیاهی در دشت سیستان. *مجله مدیریت بیابان*، ۶(۱۱)، ۹۹-۱۱۱. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2018.32326>

• گرشاسبی، پرویز، توفیقی، اکرم، صباغی، محمد، و مشفق کوجل،

- Li, H., Hu, Y., & Ao, Z. (2024). Identification of critical drought thresholds affecting vegetation on the Mongolian Plateau. *Ecological Indicators*, 166, 112507. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112507>
- Na, L., Na, R., Zhang, J., Tong, S., Shan, Y., Ying, H., Li, X., & Bao, Y. (2018). Vegetation Dynamics and Diverse Responses to Extreme Climate Events in Different Vegetation Types of Inner Mongolia. *Atmosphere*, 9(10), 394-410. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos9100394>
- Shen, G., Chen, N., Wang, W., & Chen, Z. (2019). Improving the Climate Hazards Group Infrared Precipitation (CHIRP) using WHU-SGCC method over the Jinsha River Basin from 1990 to 2014. *PANGAEA*. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1711-2019>
- Wang, W., Samat, A., Abuduwaili, J., Ge, Y., De Maeyer, P., & Van de Voorde, T. (2022). Temporal characterization of sand and dust storm activity and its climatic and terrestrial drivers in the Aral Sea regio. *Atmospheric Research*, 275, 10624. <https://doi.org/10.1016/j.atmos-res.2022.106242>
- Zhang, X., Chen, Y., Zhang, Q., Xia, Z., Hao, H., & Xia, Q. (2023). Potential evapotranspiration determines changes in the carbon sequestration capacity of forest and grass ecosystems in Xinjiang, Northwest China. *Global Ecology and Conservation*, 48, e02737. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02737>