



Ferdowsi University of Mashhad

CERTIFICATE

Article Acceptance

*The 2st International Conference of GIScience:
Basis & Trans/Interdisciplinary Applications*

6th FUM-GIS Day

Certifies that article titled:

**Assessing Drought Impacts on Intensity of Desertification Hazard Using Vegetation Health Index
(Case Study: the Protected Area of Heidari on Neishabour Township in Khorasan Razavi Province)**

By:

Hadi Abbasi , Morteza Akbari , Kamal Naseri , Mahmood Azari

Has accepted in:

**The 2st International Conference of GIScience.Basis & Trans/Interdisciplinary Applications
20 December 2021, Ferdowsi University of Mashhad, Iran**

*Scientific Secretary
Dr. Masoud Minaei*



ارزیابی اثرات خشکسالی بر شدت خطر بیابانزایی با استفاده از شاخص سلامت پوشش گیاهی (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده حیدری نیشابور، خراسان رضوی)

هادی عباسی*، مرتضی اکبری، کمال الدین ناصری، محمود آذری

کارشناس ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، آدرس الکترونیکی:

abbasihadi167@gmail.com (نویسنده اصلی)

استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، آدرس الکترونیکی m_akbari@um.ac.ir

دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، آدرس الکترونیکی m.azari@um.ac.ir

استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، آدرس الکترونیکی klnaseri@yahoo.com

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثرات خشکسالی بر سلامت پوشش گیاهی و شدت بیابانزایی منطقه حفاظت شده حیدری نیشابور در استان خراسان رضوی انجام شد. برای بررسی خشکسالی از شاخص SPEI و برای بررسی سلامت پوشش گیاهی (VHI) از شاخص های VCI، VCI، NDVI و به کمک تصاویر سنجنده های ۵ و ۸ ماهواره لندست استفاده شد. داده های مورد استفاده در این پژوهش؛ شامل بارندگی، دمای هوا، تبخیر و تعرق است. این داده ها در یک بازه زمانی ۳۰ سال (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸) و با استفاده از آمار ۱۱ ایستگاه تبخیرسنجی و باران سنجی ایستگاه های مجاور و داخل محدوده منطقه مورد مطالعه در شهرستان نیشابور تهیه شد. برای بررسی شدت خطر بیابانزایی نیز از دو معیار اقلیم (میانگین بارش و شدت خشکی) و کیفیت پوشش گیاهی و بر اساس روش مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابانزایی (IMDPA) و با استفاده از میانگین هندسی در محیط GIS انجام گردید. نتایج بررسی خشکسالی منطقه مورد مطالعه نشان داد که در دوره سی سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸، شدت خشکسالی روندی کاهشی داشته است. بطوریکه در برخی از سال ها مانند سال ۱۳۹۸ این روند کاهشی و در سال های ۱۳۹۳ افزایشی بوده است. نتایج حاصل از شاخص های پوشش گیاهی نشان داد که سلامت پوشش گیاهی در سال های ۱۳۷۸، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۸ روند افزایشی و در سال های ۱۳۶۸، ۱۳۷۳، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ روند کاهشی داشته است. بطوریکه در سال های افزایشی منطقه مورد مطالعه در حدود ۴۰ درصد با شدت خشکسالی روبرو بوده است. اثرات دو معیار کیفیت اقلیم و کیفیت پوشش گیاهی در شدت بیابانزایی نشان داد شدت خطر بیابانزایی روندی سینوسی داشته است. بطوریکه در دوره زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۶۸ بیشترین مساحت شدت بیابانزایی منطقه زخ داده است و در طبقه متوسط یا کلاس II قرار گرفته است. ولی در دوره زمانی ۱۳۹۸_۱۳۸۸ شدت بیابانزایی کاهش یافته و بیشترین مساحت بیابانزایی منطقه در طبقه کم یا کلاس I قرار گرفت که نشانگر روند کاهشی بیابانزایی در این سال ها است. بطوریکه علت اصلی آن کاهش می تواند شدت خشکسالی در منطقه باشد. همچنین یافته ها نشان داد که شاخص بارش طی این دوره زمانی سی سال گذشته پدیده غالب بوده است و کاهش بارش سالانه بیشترین تاثیر را در افزایش شدت بیابانزایی منطقه حیدری داشته است.

واژه های کلیدی: خشکسالی، مدل IMDPA، شدت خطر بیابانزایی، GIS، منطقه حفاظت شده حیدری.

Assessing drought impacts on intensity of desertification hazard using vegetation health index (Case study: the protected area of Heidari on Neishabour township in Khorasan Razavi province)

Hadi Abbasi*, Morteza Akbari, Kamal Naseri, Mahmood Azari

Msc of Desert Management and Control, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad. Email: abbasihadi167@gmail.com (Corresponding Author)

Assistant Professor, Department of Desert Areas Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad. Email: m_akbari@um.ac.ir

Associate Professor, Department of Range land Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad. Email: klnaseri@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad.

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of drought on vegetation health and desertification intensity in Heidari Neishabour Protected Area in Khorasan Razavi Province. SPEI index was used to study drought and NDVI, VCI, TCI indices were used to assess vegetation health (VHI) using Landsat 5 and 8 satellite imagery. Data used in this study; Includes rainfall, air temperature, evaporation and transpiration. These data were prepared in a period of 30 years (1989 to 2019) using the statistics of 11 evaporation and rainfall stations of adjacent stations and within the study area in Neishabour city. To evaluate the intensity of desertification risk, two criteria of climate (average rainfall and drought intensity) and vegetation quality were evaluated based on the Iranian model method of desertification potential (IMDPA) using geometric mean in GIS environment. The results of drought study in the study area showed that in the period of 30 years from 1989 to 2019 the intensity of drought has a trend Reduction So that in some years, such as 2019 this trend has been decreasing and in 1989 and 2014 years has been increasing. The results of vegetation indices showed that vegetation health had an increasing trend in 1999, 2009 and 2019 years and a decreasing trend in 1989, 1994, 2004 and 2014 years. So that in the breeding years of the study area about 40 percent has been faced with severe drought. The effects of two criteria of climate quality and vegetation quality on desertification intensity showed that the intensity of desertification risk had a sinusoidal trend. As in the period of 1989 to 2009, the most area of desertification intensity in the region has been frozen and is located in the middle class or class II. However, in the period 1989-2019 the intensity of desertification decreased and most of the desertification area in the region was in the low class or class I, which indicates the decreasing trend of desertification in these years. As the main reason for the decrease can be the severity of drought in the region. The findings also showed that the rainfall index during this period of thirty years has been the dominant phenomenon and the decrease in annual rainfall has had the greatest impact on increasing the intensity of desertification in the Heidari region.

Keywords: Drought, IMDPA Model, Desertification Intensity, GIS, Heydari Protected Area

۱- مقدمه

خشکسالی یکی از فاکتورهای طبیعی و یک تهدید جدی برای محیط زیست و منابع طبیعی است که همواره با خسارات اجتماعی-اقتصادی و محیطی همراه می باشد (دماوندی و همکاران، ۱۳۹۵؛ اکبری و همکاران، ۱۳۸۶). خشکسالی پس از یک دوره طولانی مدت اقلیمی با بارشی کم و یا بدون بارش به صورت روندی آرام و کند در مناطق خشک و نیمه خشک آشکار می شود (اکبری و همکاران، ۲۰۱۶). لذا، بررسی تاثیر خشکسالی بر کاهش سلامت پوشش گیاهی (نصرتی، ۱۳۹۳) و افزایش شدت بیابانزایی بسیار اساسی و مهم است (اکبری و همکاران، ۲۰۱۶). اکوندایو^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی وقایع خشکسالی را با استفاده از شاخص های سنجش از دور یعنی شاخص سلامت گیاهی^۲ و شاخص هواشناسی یعنی شاخص استاندارد شده بارش ۱۲ ماهه^۳ در منطقه سودانو-ساحلی نیجریه بین سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ ارزیابی کردند. نتایج آنان نشان داد که VHI تأثیری بیشتری از شدت خشکسالی با مقادیر مکانی مداوم و سازگار در مقایسه با SPI ارائه نموده است. در کشور ایران نیز به دلیل گستردگی مناطق خشک و نیمه خشک و ویژگی های اقلیمی همچون بارش نامنظم و تغییرات زیاد دمای بین شب و روز و بیلان منفی تراز آب، وقوع خشکسالی اقلیمی به سختی قابل پایش و پیش بینی است (زارعی و همکاران، ۲۰۱۳). منطقه حفاظت شده حیدری که در استان خراسان رضوی و در شهرستان نیشابور قرار دارد از اثرات خشکسالی در امان نبوده و به خاطر بارش اندک آن در سال های اخیر، رطوبت خاک کم شده و در نتیجه پوشش گیاهی تنک و کم تراکم شده است. بطوریکه این شرایط موجب افزایش شدت بیابانزایی در دهه های اخیر شده است.

علاوه بر آن، با توجه به موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه و استان خراسان رضوی در اقلیم با آب و هوایی خشک و نیمه خشک، پوشش گیاهی آن همواره تحت تاثیر شرایط آب و هوایی و استمرار خشکسالی بوده و باعث آسیب های فراوانی به سلامت پوشش گیاهی منطقه وارد شده است. در این تحقیق، به منظور بررسی اثرات خشکسالی بر شدت بیابانزایی و در نتیجه کاهش سلامت پوشش گیاهی از داده های ماهواره ای سنجش از دور استفاده شد. به دلیل حساسیت شاخص های خشکسالی پوشش گیاهی به شرایط و کاهش سلامت پوشش گیاهی، این شاخص ها کاربردهای فراوانی در پایش و کنترل استرس آبی انواع اراضی دارای پوشش گیاهی دارند (فاضل دهکردی و همکاران، ۱۳۹۵). لذا هدف اصلی از انجام این پژوهش، ارزیابی زمانی-مکانی اثرات خشکسالی در شدت خطر بیابانزایی با استفاده از شاخص سلامت پوشش گیاه (VHI) و شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده بارندگی (SPEI) در منطقه خشک حفاظت شده حیدری در شهرستان نیشابور در استان خراسان رضوی می باشد. همچنین برای انجام این پژوهش، برخی از خصوصیات آب و هوایی مانند تغییر دما، تبخیر و تعرق و بارندگی در یک دوره زمانی ۳۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. لذا، برای انجام این پژوهش ۳ پرسش و در راستای آن ۳ فرضیه مطرح گردید، که جهت رسیدن به هدف اصلی این پژوهش سعی شد به آن فرضیات و متناسب با نتایج بدست آمده، پاسخ منطقی ارائه شود.

۲- داده ها و روش پژوهش

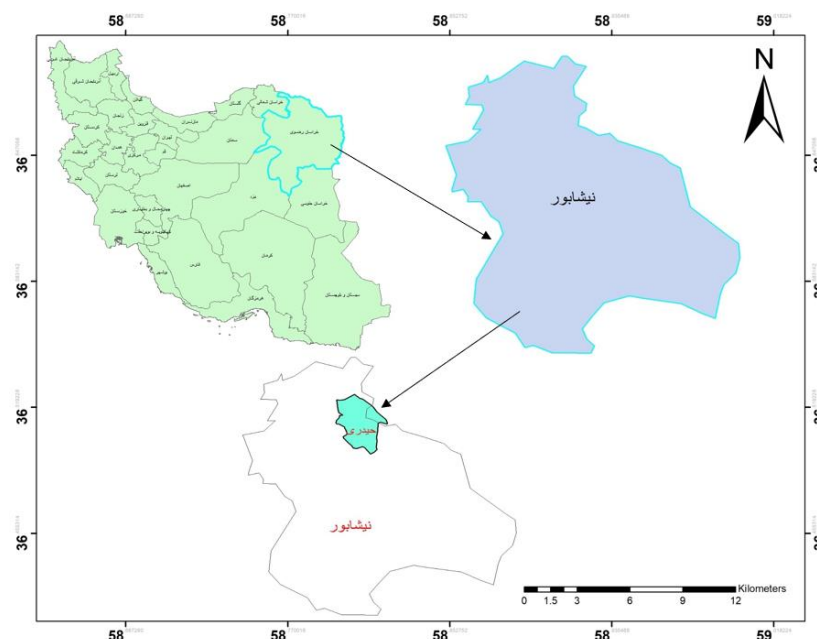
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، منطقه ی حفاظت شده حیدری نیشابور است که مساحتی بالغ بر ۴۶۳۵۰ هکتار دارد. این منطقه در موقعیت جغرافیایی $58^{\circ} 17' 59''$ تا $58^{\circ} 27' 36''$ طول جغرافیایی و $36^{\circ} 19' 12''$ تا $36^{\circ} 24' 29''$ عرض جغرافیایی و در شمال غربی شهرستان نیشابور و در حدود ۷۰ کیلومتری شهر نیشابور مجاور با رشته کوه بینالود و در استان خراسان رضوی قرار دارد. در مجاورت این منطقه روستاهای بقیع، بجنو، برمهان، خربره (قاسمیه)، کلیدر، برکشاهی و کلاته قرار دارند. از گونه های شاخص گیاهی منطقه ی حیدری نیشابور، می توان به گونه کرکو، داغداغان، سنجد، زرشک، باریجه، شیرخشت و بارهنگ و از گونه های مهم جانوری آن نیز می توان به قوچ و میش اورپال، گربه ی

1- Ekundayo

2 -Vegetation Health Index (VHI)

3 -Standardized Precipitation Index (SPI)

وحشی، سمور، پلنگ، کفتار، گرگ، گراز، روباه و انواع پرندگان شکاری از قبیل شاهین، بحری، کبک، تیهو و... اشاره نمود. (شکل ۱)، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در استان خراسان رضوی نشان می دهد.



شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه حیدری نیشابور در ایران و استان خراسان رضوی

داده های اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش

داده های مورد استفاده در این پژوهش شامل بارندگی، دمای هوا، تبخیر و تعرق محیط و گیاه است. این داده ها در یک بازه زمانی ۳۰ ساله از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸ و با استفاده از آمار ۱۱ ایستگاه تبخیرسنجی و باران سنجی شاخص ایستگاه های مجاور و داخل محدوده منطقه که نزدیک ترین ایستگاه های واقع در شهرستان نیشابور است و از لحاظ مکانی و اقلیمی مشابه اقلیم منطقه می باشند، استفاده شد. برای دستیابی به نتیجه بهتر برای استفاده از شاخص ها و درونیایی ها از ۱۱ ایستگاه روح آباد، عیش آباد، بار اریه، حسین آباد، کارخانه قند نیشابور، امین آباد، دیزباد علیا، تاغون، زرینه، ماروسک و باغی استفاده گردید.

شاخص های اقلیمی خشکسالی

وجود یا عدم وجود خشکسالی با استفاده از آمار هواشناسی منطقه و بوسیله شاخص هواشناسی SPEI (رابطه ۱ و ۲ و ۳) محاسبه شد. شاخص SPEI را نخستین بار ویسنه سرانو و همکاران (۲۰۰۹) استفاده و معرفی نمودند. این شاخص توانایی محاسبه شاخص خشکسالی در مقیاس های زمانی مختلف را دارد و همچنین می تواند اثرات تغییر درجه حرارت را در ارزیابی خشکسالی لحاظ نماید. در اقلیم های مختلف کشور به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند منطقه مورد مطالعه که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بسیار زیاد است، متغیر دما و تأثیر آن بر بیلان آب دارای اهمیت ویژه ای است (ویرجیلو و همکاران، ۲۰۱۸). دلیل استفاده از شاخص SPEI در این پژوهش، کاربرد تبخیر و تعرق پتانسیل در محاسبه شاخص خشکسالی است و نسبت به شاخص های پرکاربرد و رایج مانند SPI گسترده تر است (اکبری و همکاران، ۲۰۱۶). شاخص SPEI شاخصی چند کمیتی است که در آن داده های بارش و دما ترکیب می شود. در شاخص SPEI مقادیر اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل مورد استفاده قرار گرفت. این امر در واقع معرف تعادل اقلیمی بیلان آبی است که در شاخص SPEI مدنظر قرار گرفته شده است (ویسنه سرانو و همکاران، ۲۰۰۹).

$$D_i = P_i - PET_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

P_i = بارندگی در ماه i PET_i = تبخیر و تعرق در ماه i

$$Dn^k = \sum_{n=0}^{k-1} Pn-1 - PET_{n-1} \quad (\text{رابطه ۲})$$

k = تعداد ماه ها n = ماه مورد نظر P_{n-1} = بارندگی در ماه مورد نظر - ۱ PET_{n-1} = تبخیر و تعرق در ماه مورد نظر - ۱

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{a}{x} - \gamma \right) \right]^{-1} \quad (\text{رابطه ۳})$$

a = پارامتر مقیاس x = پارامتر شکل γ = پارامتر اصلی برای مقادیر D

بدین ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال مقادیر شاخص SPEI قابل استخراج خواهد بود. مقادیر مثبت SPEI بیانگر مثبت بودن بیلان آب و مقادیر منفی SPEI بیانگر منفی بودن بیلان آب است. لذا خشکسالی هنگام شروع می گردد که مقادیر شاخص به منفی یک برسد و با مثبت شدن مقادیر آن خشکسالی خاتمه می یابد. جدول ۲، مقادیر استاندارد برای شاخص خشکسالی اقلیمی SPEI را نشان می دهد.

جدول ۲، جدول استاندارد مقادیر شاخص خشکسالی اقلیمی SPEI (درگاهیان و همکاران، ۱۳۹۹)

مقائیر شاخص SPEI	کلاس بندی
< ۲	ترسالی خیلی زیاد
۲ - ۱/۵	ترسالی زیاد
۱ - ۱/۵	ترسالی متوسط
۰/۵ - ۱	ترسالی ملایم
-۰/۵ - -۰/۵	بدون خشکسالی (نرمال)
-۰/۵ - ۱	خشکسالی ملایم
-۱ - -۱/۵	خشکسالی متوسط
-۱/۵ - -۲	خشکسالی زیاد
> -۲	خشکسالی خیلی زیاد

داده های سنجش از دوری مورد استفاده جهت پایش خشکسالی

در این تحقیق از سری تصاویر ماهواره لندست ۵ و لندست ۸ که دارای سنجنده های TM^۱ و OLI است، استفاده شده است. ماهواره لندست ۵، ماهواره مدار نزدیک زمین است که در ادامه برنامه لندست در مارس ۱۹۸۴ برای تهیه تصاویر ماهواره ای از سطح زمین به فضا پرتاب شد. مدیریت لندست ۵ توسط سازمان زمین شناسی آمریکا و ناسا انجام شده است و داده های آن توسط مرکز علوم و دیده بانی منابع زمین متعلق به سازمان زمین شناسی آمریکا جمع آوری و منتشر می شود. همچنین ماهواره دیگر مورد استفاده در این تحقیق ماهواره لندست ۸، که به عنوان مأموریت تداوم داده های لندست در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ راه اندازی شد، شامل نمایشگر زمین عملیاتی (OLI) و سنسور مادون قرمز حرارتی (TIRS) است. OLI داده ها را با وضوح فضایی ۳۰ متری در ناحیه های طول موج مادون قرمز نزدیک IR و SWIR جمع آوری می کند و یک باند پانکروماتیک ۱۵ متری که اطلاعات را با محصولات مرسوم قبلی تامین می کند (نجفی و همکاران، ۱۳۹۴). منبع داتلود تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در این پژوهش سایت آمریکایی USGS بوده که داده هایی با کیفیت بالای سیستماتیک، هندسی، رادیومتری و زمینی را برای کاربران در سراسر جهان و از دسامبر ۲۰۰۸، بدون هیچ هزینه ای

برای کاربران ارائه کرده است. میلیون ها داده لندست از زمان انتقال به مدل آرشو باز و دانلود شده است. محصولات لندست سطح ۱ داده ها را به پارامترهای استاندارد پردازش شده تبدیل می کند. محصولات داده های لندست سطح ۱ به صورت استاندارد پردازش می شوند که شامل نقشه با سیستم تصویر UTM WGS 1984 می باشد. داده ها در فرمت (GeoTIFF) در فایل های فشرده برای بارگیری سریع تر تحویل داده می شوند. تعداد و اندازه فایل های داده بر اساس سنسورها متفاوت می باشد. داده های سطح بالا برای پشتیبانی از سری زمانی داده های مشاهدات که دارای طول کافی هستند و سازگاری و تداوم برای ثبت اثرات تغییرات اقلیمی پردازش می شوند. اطلاعات بازتابیده شده از سطح لندست تصحیح شده در فضای باز، اولین محصولات سطح ۲ تولید شده توسط USGS هستند. شاخص های طیفی مبتنی بر بازتاب سطح نیز در این سطح در دسترس هستند (شوندی و همکاران، ۲۰۲۱).

شاخص های پوشش گیاهی NDVI

شاخص NDVI به عنوان معروف ترین شاخص پوشش گیاهی، از طریق سنجش تغییرات جذب تابش کلروفیل گیاهی، برای ارزیابی سلامت و تراکم پوشش گیاهی استفاده شد (میراحسنی و همکاران، ۱۳۹۸). در سال های اخیر از این شاخص برای تعیین و ارزیابی خشکسالی در مناطق مختلف جهان استفاده فراوانی شده است. رابطه این شاخص که نسبت اختلاف طیف مادون قرمز نزدیک و طیف قرمز به مجموع آنها است (بوالحسنی و همکاران، ۱۳۹۶)، به شرح ذیل است:

$$NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3) \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$NDVI = (Band5 - Band4) / (Band5 + Band4) \quad (\text{رابطه ۵})$$

لازم به توضیح است برای محاسبه NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ از باند ۴ به عنوان باند NIR و از باند ۳ عنوان باند RED استفاده می شود و برای تصاویر ماهواره لندست ۸ از باند ۵ به عنوان باند NIR و از باند ۴ به عنوان باند RED استفاده می شود.

شاخص NDVI بر اساس رابطه طیفی بین باند قرمز و مادون قرمز نزدیک طراحی شده است. رفتارهای طیفی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک اساساً باعث ایجاد این شاخص شده اند. به عبارت دیگر گیاه در محدوده مادون قرمز نزدیک (دامنه طیفی ۰/۷ تا ۱/۱ میکرومتر) بازتاب بسیار بالا و در محدوده قرمز (دامنه طیفی ۰/۶ تا ۰/۷ میکرومتر) از بازتاب بسیار پایینی برخوردار است. چنین اختلاف بازتابی باعث می شود تا پوشش گیاهی در تصویر باند مادون قرمز نزدیک، به رنگ روشن و در تصویر باند قرمز کاملاً به رنگ سیاه دیده شود. بر اساس این رابطه طیفی در تمامی شاخص های طراحی شده برای پوشش گیاهی از باند مادون قرمز نزدیک و قرمز (یا سایر باندهای مرئی) استفاده می شود (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

به دلیل آنکه شاخص NDVI به تنهایی قابلیت نمایش خصوصیات خشکسالی را دارا نیست، استفاده از شاخص های ترکیبی با رویکرد بکارگیری سری های زمانی NDVI و LST^۱ در دهه ۹۰ میلادی مطرح گردید. بر این اساس با توجه به اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین، شاخص های VCI^۲ و TCI^۳ مبتنی بر سری های زمانی NDVI و LST ایجاد گردیدند (ثناکبیل و همکاران، ۲۰۰۴).

شاخص پوشش گیاهی VCI

شاخص برآورد رطوبت گیاهان و یکی از پارامترهای موثر در مطالعه خشکسالی از طریق تغییرات رطوبت گیاهان است. این شاخص با درصد بیان می شود و افزایش شاخص VCI در طول زمان نشان دهنده افزایش رطوبت گیاه و کاهش آن نشان دهنده کاهش رطوبت گیاهان است. کاهش رطوبت گیاهان در طول زمان، یکی از نشانه های وقوع خشکسالی است

1 - Land Surface Temperature (LST)

2 - Vegetation Condition Index (VCI)

3 - Temperature Condition Index (TCI)

(مسیئو و همکاران، ۲۰۱۹). با استفاده از باندهای حرارتی ماهواره لندست، شاخص VCI برای شناسایی شرایط خشکسالی و تعیین شروع آن، به ویژه در مناطقی که قسمتهایی خشکسالی محلی وجود دارند و بیمار تعریف شده اند، استفاده شد. این شاخص می تواند اطلاعات را در مورد شروع، مدت زمان و شدت خشکسالی با اشاره به تغییرات پوشش گیاهی ارائه دهد. همچنین شاخص VCI بر اساس ارتباط میان مقدار واقعی NDVI و مقادیر NDVI در بهترین NDVI_{max} و بدترین NDVI_{min} شرایط رطوبتی فصل رشد گیاهی ایجاد می گردد (دماوندی و همکاران، ۱۳۹۵). رابطه ۶ فاکتورهای مورد استفاده در محاسبه VCI را نشان می دهد.

$$VCI = (NDVI - NDVI_{min} / NDVI_{max} - NDVI_{min}) \times 100 \quad (\text{رابطه ۶})$$

NDVI = شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی $NDVI_{min}$ = حداقل شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی
NDVI_{max} = حداکثر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی

شاخص دمایی TCI

شاخص وضعیت دمایی (TCI)، شاخص برآورد خشکی گیاهان و یکی از پارامترهای موثر در مطالعه خشکسالی با استفاده از خشکی گیاهان است که از انعکاس باند حرارتی محاسبه می شود، معمولاً برای تعیین دمای مرتبط با تنش پوشش گیاهی و همچنین تنش ناشی از رطوبت بیش از حد استفاده می شود (یچینگ کائو و همکاران، ۲۰۱۹). در این شاخص هرچه حرارت منطقه بیشتر باشد، میزان شدت خشکسالی نیز بیشتر است و هنگامی که مقدار شاخص وضعیت دمایی (TCI) به ۱۰۰ درصد می رسد، دمای روشنایی TB^۱ برای این ماه برابر کمترین مقدار دراز مدت برای پیکسل است. مقادیر کم شاخص وضعیت دمایی (TCI)، نشان دهنده هوای بسیار گرم در سال موردنظر است و هنگامی که شاخص وضعیت دمایی (TCI) به صفر می رسد، دمای روشنایی آن سال برابر با بیشترین مقدار دمای روشنایی دراز مدت برای پیکسل است. این شاخص در مجموع برای مشاهدات آب و هواشناسی، ارتباط بین حرارت سطحی و رطوبت روی زمین، تأثیرات ناحیه ای خشکسالی استفاده می شود. از این رو شاخص وضعیت دمایی (TCI) می تواند نقش مهمی در پایش خشکسالی ایفا کند. همچنین شاخص TCI بر اساس ارتباط میان درجه حرارت واقعی سطح زمین و درجه حرارت شرایط پتانسیل (LST_{min}) و تنش گیاهی (LST_{max}) ایجاد گردیده است (تاکر و همکاران، ۱۹۷۹). رابطه ۷ نحوه محاسبه شاخص TCI را نشان می دهد.

$$TCI = (LST_{max} - LST / LST_{max} - LST_{min}) \times 100 \quad (\text{رابطه ۷})$$

LST = دمای سطح زمین LST_{min} = حداقل دمای سطح زمین LST_{max} = حداکثر دمای سطح زمین

شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI

شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) در حقیقت ترکیبی از شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و شاخص وضعیت دمایی (TCI) بوده که اثرات ترکیبی پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین را در پایش خشکسالی نمایش می دهد. این شاخص دارای رویکرد شبه واقعی از ارزیابی خشکسالی کشاورزی است و هدف آن دخیل کردن وضعیت رطوبت پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین در یک شاخص مجموع است. با ترکیب وضعیت پوشش گیاهی با دمای سطح زمین در شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) می توان درک جامع تری از وجود یا عدم وجود خشکسالی در یک ناحیه داشت (ویرجیلیو و همکاران، ۲۰۱۸). رابطه ۸ نحوه محاسبه شاخص VHI را با استفاده از دو شاخص VCI و TCI نشان می دهد.

$$VHI = (0.5 \times VCI) + (0.5 \times TCI) \quad (\text{رابطه ۸})$$

VCI = شاخص وضعیت پوشش گیاهی TCI = شاخص وضعیت دمایی

VHI شاخص سلامت پوشش گیاهی در یک منطقه است، مقادیر کم VHI نشان دهنده پوشش گیاهی ناسالم به دلیل کمبود آب و مواد مغذی موجود در خاک برای رشد گیاه است. از این رو، برای شناسایی شدت خشکسالی استفاده می شود، زیرا این مقادیر کم (کمتر از ۴۰٪) نیز نشان دهنده رویداد خشکسالی است. جدول ۳، نیز مقادیر استاندارد برای شاخص سلامت پوشش گیاهی را نشان می دهد.

جدول ۳، جدول استاندارد مقادیر شاخص سلامت پوشش گیاهی (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸)

مقدار VHI	کلاس بندی
<۱۰	خشکسالی خیلی شدید (حاد)
۱۰-۲۰	خشکسالی شدید
۲۰-۳۰	خشکسالی متوسط
۳۰-۴۰	خشکسالی کم
>۴۰	بدون خشکسالی

بررسی ارتباط بین شاخص خشکسالی اقلیمی و سلامت پوشش گیاهی

برای انجام این کار از ۳۰ سال آمار هواشناسی (از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸) (بارندگی، دما و تبخیر و تعرق) برای محاسبه شاخص SPEI استفاده شد. همانطور که اشاره گردید این شاخص میزان کمبود بارش سالانه را ارائه می دهد و همچنین میزان و شدت خشکسالی هواشناسی در طولانی مدت را نشان می دهد (گالاردو و همکاران، ۲۰۱۹). نحوه استفاده از داده های سنجش از دوری پوشش گیاهی ماهواره های لندست ۵ و لندست ۸ به صورت شش تصویر ماهواره ای با بازه های ۵ ساله (۵- ۱۰- ۱۵- ۲۰- ۲۵ و ۳۰ ساله) برای شاخص های VHI - VCI - TCI - NDVI است، یعنی برای هر بازه ۵ ساله تحلیل هایی را بر اساس این شاخص ها از تصاویر ماهواره ای بدست آورده و محاسبه گردید. شروع آمار هواشناسی از سال ۱۳۶۸ و پایان آن ۱۳۹۸ می باشد. برای تحلیل شاخص ها، تصاویر سال ۱۳۶۸ - ۱۳۷۳ - ۱۳۷۸ - ۱۳۸۳ - ۱۳۸۸ - ۱۳۹۸ - ۱۳۹۳ را دریافت کرده و برای هر سال چهار شاخص ها محاسبه گردید. لازم به توضیح است که شاخص خشکسالی اقلیمی SPEI و شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI برای پایش خشکسالی به وقوع پیوسته در منطقه حیدری مکمل همدیگر هستند (زارعی و همکاران، ۲۰۱۳).

بررسی شدت بیابان زایی با استفاده از مدل IMDPA

به منظور تهیه نقشه شدت خطر بیابان زایی در منطقه مورد نظر با استفاده از دو معیار کلیدی خشکسالی و پوشش گیاهی بر اساس مدل ایرانی^۱ IMDPA که سازگار با شرایط اقلیمی و محیطی ایران است، انجام گردید (داوری و همکاران، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷). این مدل یکی از جدیدترین مدل های ارزیابی بیابان زدایی است که توسط سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور در پروژه ای تحت عنوان تدوین شرح خدمات و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص های بیابان زایی به کمک گروهی از محققین در سال ۱۳۸۴ ارائه شده است (اکبری و همکاران، ۲۰۱۶؛ ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰). در این روش هر معیار از میانگین هندسی شاخص های خود طبق رابطه ۹ بدست می آید. جدول ۴، میانگین وزنی هر یک از شاخص ها و معیارهای استفاده شده در مدل IMDPA را به همراه طبقه شدت بیابان زایی آن ها نشان می دهد (داوری

¹ Iranian Model of Desertification Potential Assessment

و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین با استفاده از میانگین هندسی دو معیار اصلی تاثیر گذار در افزایش شدت خطر بیابانزایی منطقه، یعنی معیارهای اقلیم و پوشش گیاهی بر اساس مدل IMDPA نیز، نقشه شدت بیابانزایی منطقه طبق رابطه ۱۰ و براساس میانگین هندسی معیارها در محیط GIS بدست می آید. جدول ۵، طبقه بندی طبقه های بیابانزایی در مدل IMDPA را نشان می دهد (داوری و همکاران، ۱۳۹۷).

$$Index - X = [(Layer-1).(layer-2)...(Layer - n)]^{1/n} \quad (\text{رابطه ۹})$$

Index-x = معیار مورد نظر، Layer = شاخص های هر معیار، n = تعداد شاخص های هر معیار

$$DM = (QC.QV)^{1/2} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

QC=معیار کیفیت اقلیم، QV=معیار کیفیت پوشش گیاهی، DM=نقشه شدت بیابانزایی

جدول ۴، متوسط وزنی ارزش کمی شاخص ها و معیارهای استفاده شده در مدل IMDPA (اکبری و همکاران، ۲۰۲۰)

معیار	شاخص	منبع و روش تهیه شاخص	ارزش کمی شاخص	طبقه شاخص	ارزش کمی معیار	طبقه معیار
اقلیم	مقدار بارش سالانه	ایستگاه هواشناسی نیشابور، روش درون یابی	۳/۰۵	شدید	۲/۰۴	متوسط
	استمرار خشکسالی	ایستگاه هواشناسی نیشابور، شاخص SPEI	۰/۸	کم و ناچیز		
پوشش گیاهی	وضعیت پوشش گیاهی	نقشه پوشش گیاهی	۳/۸	شدید	۳/۲۴	شدید

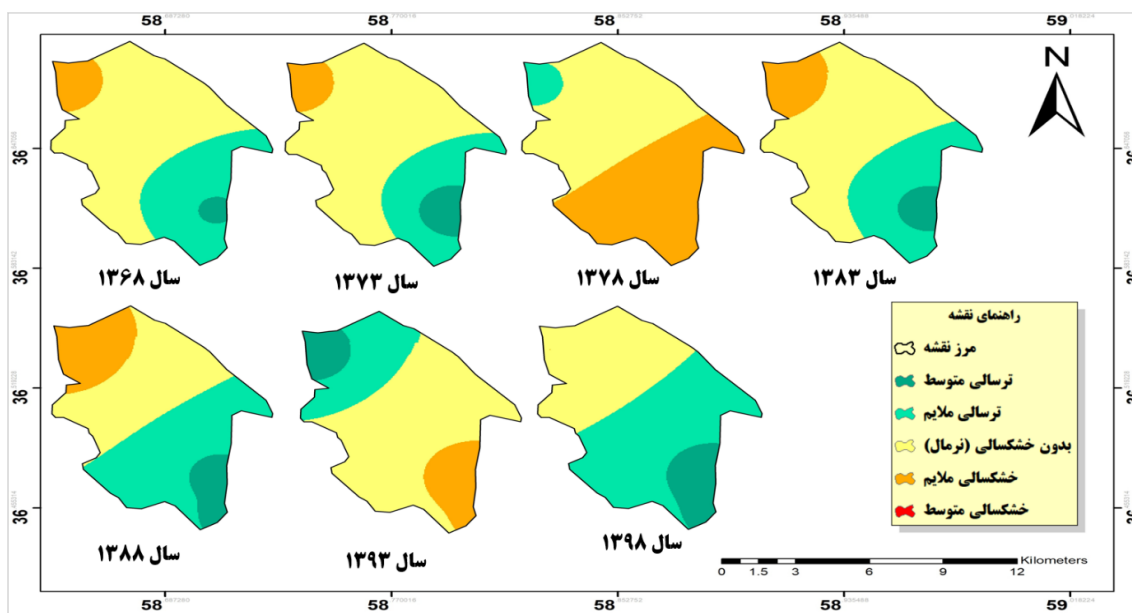
جدول ۵، طبقه بندی شدت خطر بیابانزایی در مدل IMDPA (اکبری و همکاران، ۲۰۲۰)

کلاس / طبقه	دامنه اعداد	علامت
کم و ناچیز	۰ - ۱/۵	I
متوسط	۱/۶ - ۲/۵	II
شدید	۲/۶ - ۳/۵	III
خیلی شدید	۳/۶ - ۴	IV

در این مرحله، نتایج بدست آمده با استفاده از روش دورنیابی SPEI براساس روش IMDPA ارزشگذاری شده و کلاس تغییرات هر طبقه و کلاس شدت بیابانزایی بدست می آید (داوری و همکاران، ۱۳۹۷). در ارتباط با تغییرات پوشش گیاهی و تراکم آن نیز با استفاده از نقشه های NDVI و کلاسه بندی آن تغییرات در مدل IMDPA نقشه تغییرات پوشش گیاهی نیز بدست آمد. در نهایت با استفاده از رابطه ۱۰ و میانگین هندسی معیارها، در محیط GIS نقشه شدت بیابانزایی برای هر سال و در دوره زمانی ۳۰ سال بدست آمد.

۳- نتایج و بحث

نتایج بررسی تغییرات و وضعیت خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص SPEI نشان داد که در این مطالعه طبقات بدون خشکسالی و ترسالی ملایم دارای فراوانی نسبی بیشتری در مقایسه با دیگر طبقات هستند که می تواند دلیلی بر حساسیت شاخص SPEI به تغییرات بارندگی و منظور نمودن پارامتر درجه حرارت در این شاخص باشد (شکل ۲). لذا وضعیت اقلیمی مناسبی را بروز نمی دهد.

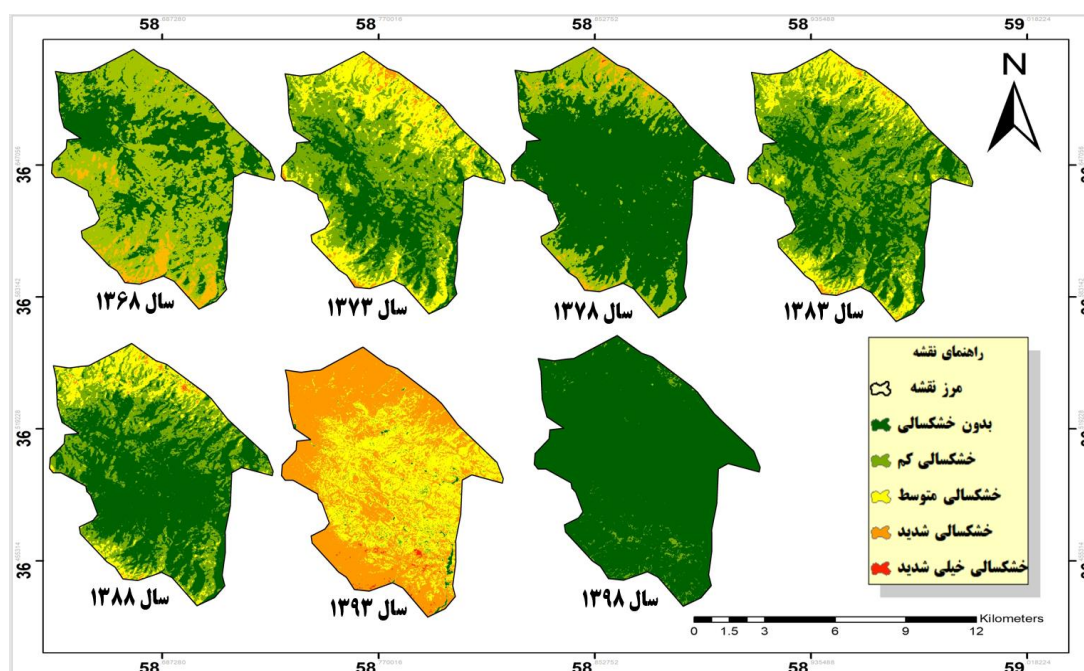


شکل ۲، نقشه خشکسالی منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص SPEI

شاخص خشکسالی SPEI با در نظر گرفتن اثرات ترکیبی بارندگی و تبخیر _ تعرق می تواند تغییرات منابع آب را در مقایسه با شاخص هایی که تنها از بارندگی استفاده می نمایند، توجیه نماید. تغییرات نشان داد که در طی ۳۰ سال گذشته سال های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۳ دارای خشکسالی ملایم بوده و در سال ۱۳۸۸ از شدت میزان خشکسالی کاسته شده است. علت آن نیز می تواند بهبود وضعیت بارندگی و کاهش تبخیر_تعرق پتانسیل در این سال باشد. اما در سال ۱۳۹۸ به دلیل افزایش تبخیر_تعرق پتانسیل و افزایش دما در قسمت های شمالی منطقه حیدری دوباره بر شدت خشکسالی افزوده شده که این تغییر نیز منجر به کاهش پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش شدت بیابان زایی شده است. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از مطالعه اکبری و همکاران، (۲۰۱۶) و اکوندایو و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. بطوریکه نتایج مطالعات آنان بر اثر خشکسالی بر کاهش پوشش گیاهی و افزایش شدت بیابان زایی اشاره نموده اند.

بررسی و تحلیل سلامت پوشش گیاهی بر اساس شاخص VHI

با بررسی نتایج حاصل از شاخص VHI در منطقه حفاظت شده حیدری مشخص شد که در مساحت کل منطقه بجز قسمت های با مساحت کم در بخش های حاشیه شمال شرقی و برخی از قسمت های جنوب غربی منطقه، در کلاس با طبقه بدون خشکسالی از لحاظ پوشش گیاهی منطقه بوده و تنها ۲ درصد از منطقه با شرایط خشکسالی ملایمی همراه بوده است (شکل ۳). مناطق خاص از این منطقه از خشکسالی آسیب ندیده اند.

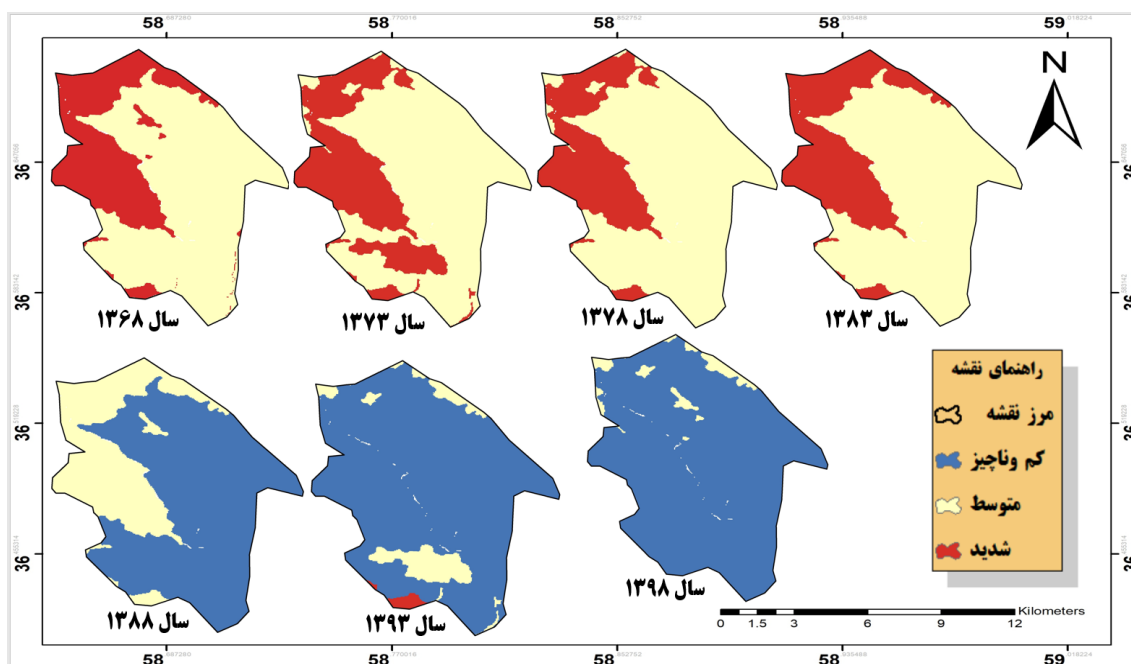


شکل ۳، نقشه سلامت پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص VHI

نتایج حاصل از نقشه VHI نشان داد که بیشترین مساحت طبقه خشکسالی برای شاخص سلامت پوشش گیاهی مربوط به طبقه بدون خشکسالی با مساحت ۴۵۳۲۶ هکتار (۹۸ درصد) در بخش های شمالی و مرکزی منطقه و کمترین مساحت طبقه خشکسالی از بُعد سلامت پوشش گیاهی مربوط به طبقه خشکسالی کم با مساحت ۶۷۱ هکتار در بخش های جنوبی منطقه (۲ درصد) می باشد.

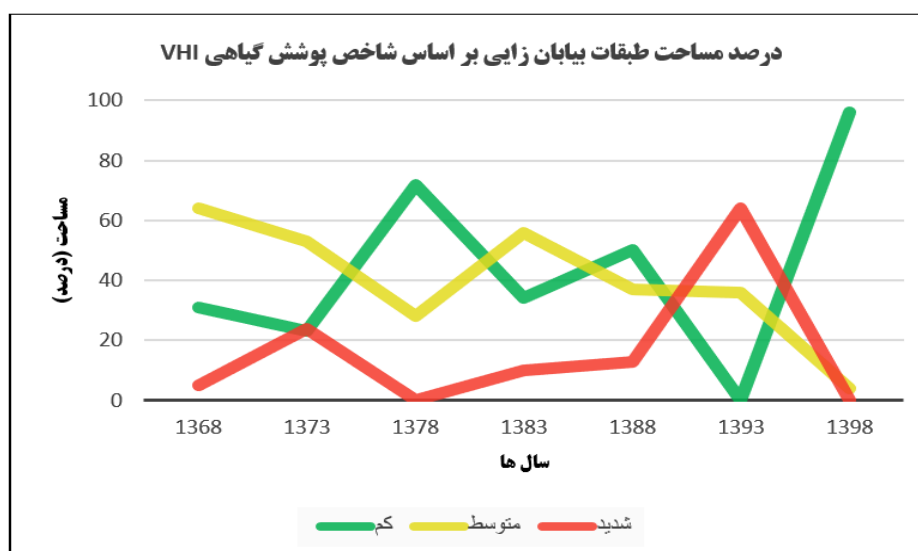
شدت خطر بیابان زایی منطقه حفاظت شده حیدری

نتایج نشان داد که شاخص اقلیمی بارش سالانه بیشترین تاثیر و شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI کمترین تاثیر را بر روی شدت خطر بیابان زایی داشته است. از بین دو شاخص معیار خشکسالی (بارش سالانه و شدت خشکی) در مدل IMDPA، معیار بارش سالانه روندی خطی را نشان داده و کلاس این شاخص در تمام دوره زمانی مورد نظر در کلاس خیلی شدید قرار داشته که نشان دهنده تاثیر بسزای این شاخص در شدت خطر بیابان زایی است. شاخص خشکی ترانسو در این مدل در سال های ۱۳۷۳، ۱۳۸۸، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ روند کاهشی را از خود نشان داد که بیانگر بهبود شرایط اقلیمی در این منطقه در سال های پایانی این دوره مورد نظر ما می باشد که با شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه حیدری در این سال ها کاملاً همخوانی دارد. شکل ۴، نقشه شدت خطر بیابان زایی را براساس دو شاخص معیار اقلیم نشان میدهد.



شکل ۴، نقشه بیابانزایی منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل IMDPA

بررسی تغییرات سلامت پوشش گیاهی و اثرات آن در شدت خطر بیابانزایی منطقه مورد مطالعه نشان داد که با تغییرات خشکسالی و اثر آن در پوشش گیاهی، میزان شدت بیابانزایی نیز دارای تغییراتی بوده است. بطوریکه بر اساس شکل ۵، این میزان دارای شدت بیشتری در سال ۱۳۷۳ و ۱۳۹۳ بوده است. علت این تغییرات می تواند کاهش بارندگی های موثر و یا حتی افزایش دمای منطقه باشد. این نتایج با مطالعات داوری و همکاران (۱۳۹۶)، راهداری و همکاران (۱۳۹۳) و زهتابیان و همکاران (۱۳۹۷) همخوانی دارد.



شکل ۵، درصد مساحت طبقات نقشه بیابانزایی مبتنی بر کاهش سلامت شاخص VHI برای سال های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸

همچنین در شکل ۵، حاصل از تجزیه و تحلیل معیارها و شاخص های بیابانزایی مشخص شد که شاخص های مورد بررسی بجز شاخص بارش سالانه طی دوره مورد بررسی بیابانزایی روند غیرخطی داشته اند. بطوریکه بر اساس شاخص

NDVI روند کاهشی را از خود نشان داد و برای شاخص خشکسالی پوشش گیاهی VHI نیز روند کاهشی را از خود نشان داده است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر ارزش کیفی بیابانزایی منطقه با شدت کم و متوسط بوده است.

۴ - نتیجه گیری و جمع بندی

با توجه به شرایط منطقه‌ای ایران و مخصوصاً استان خراسان رضوی و شهرستان نیشابور، خشکسالی‌های سال‌های اخیر که تأثیرات مخرب بسزایی در تمام جنبه‌ها بر پیکره پوشش گیاهی و اقلیم ایران وارد نموده است، اقدام به بررسی شدت خطر بیابانزایی حائز اهمیت است. همچنین به منظور کمی‌سازی معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار بر روند بیابانزایی، برای تهیه نقشه جامع بیابانزایی منطقه حیدری نیشابور از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل شدت بیابانزایی (IMDPA) استفاده شده است. در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف تخریب سرزمین در این روش باعث شده است تا برآورد دقیقی از شدت و وضعیت بیابانزایی و تعیین شاخص‌های مؤثر در تخریب اراضی صورت گیرد.

در بررسی فرضیه اول، بررسی پهنه بندی شرایط اقلیمی منطقه این مطلب را بیان می‌کند که در طول دوره مطالعاتی در سطح شهرستان نیشابور و منطقه حفاظت شده حیدری در طی بازه سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۳ شرایط بیابانزایی در طبقات متوسط و شدید قرار داشته که در این سال‌ها بیابانزایی منطقه بیشتر متأثر از افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل و در نتیجه کاهش تراکم پوشش گیاهی بوده و این شرایط بر این منطقه حاکم بوده است. ولی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ وضعیت شدت بیابانزایی کم و متوسط بوده است. لذا، نتایج بدست آمده این فرضیه را که در نتیجه استمرار خشکسالی منطقه به شدت بیابانزایی منطقه افزوده شده است، را تایید می‌کند و این مطلب با مطالعات مرتبط انجام شده توسط دماوندی و همکاران (۱۳۹۵)، اکبری و همکاران (۱۳۸۶)، نصرتی (۱۳۹۳)، اکبری و همکاران (۲۰۱۶)، اکوندایو و همکاران (۲۰۲۰) و زارعی و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد.

در بررسی فرضیه دوم، وضعیت نقشه‌های سلامت پوشش گیاهی در سال ۱۳۶۸ نشان داد که ۳۴ درصد از سطح منطقه در کلاس شدید بیابانزایی قرار دارد و از مناطق تحت تأثیر پدیده بیابانزایی است که سطح آن معادل ۱۵۳۵۹ هکتار محاسبه شده است. این روند طبقه‌بندی تا سال ۱۳۸۸ تقریباً وضعیت مشابهی را نشان می‌دهد. بطوریکه در سال ۱۳۸۸، ۳۱ درصد از سطح منطقه در بخش‌های شمالی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه با مساحت در حدود ۳۱ درصد در کلاس شدید بیابانزایی قرار دارد. اما این وضعیت از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ دچار تغییر شده و از مساحت طبقات شدید کاسته شده بنحویکه در سال ۱۳۹۳، ۲ درصد از منطقه و در سال ۱۳۹۸، صفر درصد از مساحت منطقه در کلاس بیابانزایی شدید قرار گرفته است. این نتایج فرضیه دوم را تایید می‌کند. زیرا هرچند از شدت خشکسالی کاسته شده است، اما به دلیل استمرار بر شدت بیابانزایی افزوده است. و این مطلب با مطالعات مرتبط انجام شده توسط دماوندی و همکاران (۱۳۹۵)، اکبری و همکاران (۱۳۸۶)، نصرتی (۱۳۹۳)، اکبری و همکاران (۲۰۱۶)، همخوانی دارد.

در بررسی فرضیه سوم که به بررسی تأثیر کاهش سلامت پوشش گیاهی و استمرار خشکسالی بر شدت بیابانزایی می‌پردازد، می‌توان گفت که در سال‌هایی که استمرار خشکسالی اقلیمی وجود داشته است مانند سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۳ بر شدت بیابانزایی منطقه افزوده شده و همچنین در سال ۱۳۹۳ که سلامت پوشش گیاهی در قسمت‌های جنوب غربی از منطقه کاهش داشته است، مشاهده می‌شود که در همان قسمت‌ها بر شدت بیابانزایی منطقه افزوده شده است. بنابراین فرضیه سوم در این پژوهش نیز تایید می‌شود. و این مطلب با مطالعات مرتبط انجام شده توسط فاضل دهکردی و همکاران (۱۳۹۵)، اکوندایو و همکاران (۲۰۲۰) و زارعی و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد.

آگاهی از وضعیت سلامت پوشش گیاهی و عکس‌العمل آن نسبت به تغییرات بارندگی بلند مدت و آشفته‌گی‌های محیطی چون رخدادهای خشکسالی، موفقیت برنامه‌ریزی‌های مدیریتی منابع طبیعی تجدید شونده را تضمین می‌کند. همچنین مطالعه حاضر توانسته است به عنوان نمونه‌ای در مبحث سلامت پوشش گیاهی اکوسیستم مناطق خشک با شرایط مشابه نسبت به درگیر بودن منطقه به خشکسالی و بیابانزایی به شمار آید. با وجود شرایط سخت و تداوم آن، پوشش گیاهی بومی محدوده منطقه حفاظت شده حیدری به خوبی توانسته است، نه تنها با رفع نسبی آشفته‌گی تا حدی به وضعیت مرجع خود در سال‌های قبل از وقوع بیابانزایی بازگردد، بلکه مرحله ترمیم پوشش گیاهی در بعضی قسمت‌های آسیب

دیده از بیابان زایی را نیز تجربه نماید. با حضور چنین مکانیسم های دفاعی و ساز و کار شگفت انگیز در پوشش گیاهی مناطق خشک است که حفظ و احیاء این مناطق را با برنامه ریزی های مدیریتی مناسب امکان پذیر می سازد.

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله براساس نتایج پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان در دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد تدوین شده است. لذا، نویسندگان بر خود لازم می دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از اساتید و همه کسانی که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

۶- منابع

اکبری، م؛ و کریم زاده، ح؛ و مدرس، ر؛ و چکشی، ب. ۱۳۸۶. ارزیابی و طبقه بندی بیابان زایی با فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه خشک شمال اصفهان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران. بوالحسنی، ک؛ زارعی، ح؛ کابلی زاده، م. ۱۳۹۶. بررسی و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی در دهه های اخیر با استفاده از RS و GIS - همایش ملی ژئوماتیک.

داوری، س؛ راشکی، ع؛ ر؛ اکبری، م؛ طالبان فرد، ع؛ ا. ۱۳۹۶. ارزیابی شدت و ریسک بیابان زایی و ارائه برنامه های مدیریتی (منطقه مورد مطالعه: دشت قاسم آباد بجستان، استان خراسان رضوی).

دماوندی، ع؛ ا؛ رحیمی، م؛ یزدانی، م؛ ر؛ نوروزی، ع؛ ا. ۱۳۹۵. پایش مکانی خشکسالی کشاورزی از طریق سری های زمانی شاخص های NDVI و LST داده های MODIS (مطالعه موردی: استان مرکزی).

داوری، س؛ راشکی، ع؛ ر؛ اکبری، م؛ طالبان فرد، ع؛ ا. ۱۳۹۷. پایش تغییرات زمانی-مکانی شاخص های موثر بیابان زایی مناطق خشک جنوب خراسان رضوی.

ذوالفقاری، ف؛ شهریاری، ع؛ ر؛ فخریه، ا؛ راشکی، ع؛ ر؛ نوری، س؛ خسروی، ح. ۱۳۹۰. ارزیابی شدت بیابان زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA. پژوهش های آبخیزداری، ۲۴.

زهنابیان، ر؛ خسروی، ح؛ اسکندری دامنه، ح؛ ابوالحسنی زرجوع، ا. ۱۳۹۷. مدل ایرانی ارزیابی پدیده بیابان زایی برای توسعه پایدار منطقه ای. پژوهش های فرسایش محیطی.

سلامت، ع؛ ر؛ آل یاسین، م؛ ر. ۱۳۸۰. راهنمای مقابله با خشکسالی، چاپ اول، بازخوانی و ویرایش حسن رحیمی. سعادت فی، ر؛ زنگنه اسدی، م؛ ع؛ مختاری، ل. ۱۳۹۹. اهمیت زمین گردشگری و (پیشنهادی برای ژئوپارک) یک اولویت در اقتصاد منطقه شمال غرب نیشابور- خراسان رضوی. توسعه پایدار محیط جغرافیایی 2(1), 69-83. doi: 10.52547/sdge.2.1.69

شوندی، ر. ۲۰۲۱. ماهواره لندست Landsat را بهتر بشناسید. <https://mapscale.ir>. فاضل دهکردی، ل؛ و آذرنیوند، ح؛ و زارع چاهوکی، م؛ و محمودی کهن، ف؛ و خلیقی سیگارودی، ش. (۱۳۹۵). پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI (مطالعه موردی: مراتع استان ایلام). مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۶۹(۱)، ۱۵۴-۱۴۱.

میراحسنی، م؛ س؛ ماهینی، س؛ سفیانیان، ع؛ محمدی، ج؛ مدرس، ر. ۱۳۹۸. ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سری زمانی و آزمون من-کندال در حوضه آبخیز گاوخونی.

نجفی، ا. ۱۳۹۴. نگاهی به ماهواره های لندست (از ابتدا تا لندست ۹). <https://girs.ir>. نصرتی، ک. ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) جهت شناسایی خشکسالی در اقلیم های مختلف ایران، علوم محیطی.

Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H.R., Sadoddin, A., & Khosravi, H. (2016). Drought Monitoring based on the SPI and RDI Indices under Climate Change Scenarios (Case Study: Semi-Arid

- Areas of West Golestan Province). ECOPERSIA. 4: 1585-1602.
- Akbari, M., Jafari Shalamzari, M., Memarian, H., & Gholami, A. (2020). Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological Indicators*, 111, 106011. <https://doi.org/10.1016/j.ecoli.2019.106011>.
- Cao, Y., Chen, S., Wang, L., Zhu, B., Lu, T., & Yu, Y. (2019). An agricultural drought index for assessing droughts using a water balance method: A case study in Jilin Province, Northeast China. *Remote Sensing*, 11(9), 1066.
- Ekundayo, O. Y., Okogbue, E. C., Akinluyi, F. O., Kalumba, A. M., & Orimoloye, I. R. (2020). Spatiotemporal drought assessment using vegetation health index and standardized precipitation index over Sudano-Sahelian region of Nigeria. *African Geographical Review*, 1-13.
- Gallardo, Peña, M., Vicente-Serrano, S. M., Domínguez-Castro, F., & Beguería, S. (2019). The impact of drought on the productivity of two rainfed crops in Spain. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 19(6).
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2020). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32, 1-6.
- Masitoh, F., & Rusydi, A. N. (2019, November). Vegetation Health Index (VHI) analysis during drought season in Brantas Watershed. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 389, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.
- Tucker, C. J., & Choudhury, B. J. (1987). Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote sensing of Environment*, 23(2), 243-251.
- Salamat, A., and Alyasin, M. 2002. Guidance of combating with drought. Iranian national committee of irrigation and drainage, 71p. (In Persian)
- Tucker C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*.
- Tucker, C. J., & Choudhury, B. J. (1987). Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote sensing of Environment*, 23(2), 243-251.
- Vicente-Serrano S. M., Santiago M. & Juan L.M. (2009). A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Climate*, 26:1996-1718.
- Virgílio, Bento, V. A., Gouveia, C. M., DaCamara, C. C., & Trigo, I. F. (2018). A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. *Agricultural and Forest Meteorology*, 259, 286-295.
- Wang, F., Wang, Z., Yang, H., Zhao, Y., Li, Z., & Wu, J. (2018). Capability of remotely sensed drought indices for representing the spatio-temporal variations of the meteorological droughts in the Yellow River Basin. *Remote Sensing*, 10(11), 1834.
- Zarei, R., Sarajian, M., & Bazgeer, S. (2013). Monitoring meteorological drought in Iran using remote sensing and drought indices. *Desert*, 18(1), 89-97.