

Evaluation of the relationship between hydrological drought and vegetation using Landsat images in the eastern part of the Sistan region

Mansoor Sarani^{1*} , Zohreh Hashemi²

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor of research, Department of plant protection, Agricultural and natural resources research and education center of sistan, Zabol, Iran

2. Expert of research, Department of natural resources, Agricultural and natural resources research and education center of sistan, Zabol, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 24 December 2022

Revised: 20 May 2023

Accepted: 10 June 2023

Keywords:

Normalized Difference
Vegetation Index, Streamflow
Drought Index, Floristic,
Sistan region.

ABSTRACT

The aim of this study is evaluation of the relationship between vegetation changes associated with hydrological drought in the eastern part of the Sistan region. This region with an area of 875,052 hectares is located in the north of Sistan and Baluchistan province, with an average height of 478 meters above sea level. To, Landsat 8 satellite images (OLI) associated with ground monitoring and the normalized difference vegetation index (NDVI) and streamflow drought index (SDI) were used in 2019 and 2021. Also, the floristic list of the study area was randomly scrutinized in the vegetative seasons of the plant in 2019 and 2021. The life form of plants was also determined by Raunkiaer (1934). The results indicated that the average SDI in 2019 and 2021 was estimated at 1.33 and -0.38, respectively. Also, the water normal class and the weak drought class were identified in 2019 and 2021, respectively. Changes in the NDVI and SDI were observed in correlation relationships in 2019 and 2021. Vegetation changes have occurred as a result of the hydrological drought in 2021, indicating hydrological drought-affected vegetation. The study of the flora of the region in 2019 showed that plants including 191 plant species from 141 genera and 42 families are distributed in the region. Also, on the occurrence of hydrological drought conditions in 2021, the number of species decreased to 162 species, 123 genera, and 34 families. The life form of plants using the Raunkiaer method showed that 40% of therophytes, 18.4% of cryptophytes, 17.9% of hemicryptophytes, 15.3% of phanerophytes and 8.4% charophytes are included in 2019. In 2021, therophytes decreased to 34.7%, cryptophytes to 9.5%, hemicryptophytes to 17.4%, and charophytes to 7.9%, whereas, phanerophytes were unchanged at 15.3% compared to 2019. It shows the resistance of phanerophyte plants to drought and lack of water in the studied area.

Cite this article: Sarani, M., & Hashemi, Z. (2023). Evaluation of the relationship between hydrological drought and vegetation using Landsat images in the eastern part of the Sistan region. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(38), 75-96. DOI: 10.22111/jneh.2023.44340.1938



© Mansoor Sarani.
DOI: 10.22111/jneh.2023.44340.1938

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

* Corresponding Author Email: m.sarani@areeo.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۸، دی ۱۴۰۲

بررسی ارتباط بین خشکسالی هیدرولوژیکی و پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر لندست در بخش شرقی منطقه سیستان

منصور سارانی^{۱*}، زهره هاشمی^۲

۱. استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران (نویسنده مسئول)
۲. کارشناس پژوهشی بخش منابع طبیعی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>هدف از این مطالعه، بررسی رابطه تغییرات پوشش گیاهی با خشکسالی هیدرولوژیکی در بخش شرقی منطقه سیستان است. این منطقه با مساحت ۸۷۵۰۵۲ هکتار در شمال استان سیستان و بلوچستان، با ارتفاع متوسط ۴۷۸ متر از سطح دریا قرار دارد. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به همراه پایش زمینی، از شاخص‌های تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی و خشکسالی جریان رودخانه در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ استفاده شد. همچنین فهرست فلوربستیک منطقه مورد مطالعه به روش پیمایشی و به‌طور تصادفی در فصول رویشی گیاه در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ تهیه شد. شکل زیستی گیاهان نیز براساس رده‌بندی ران‌کیتر (۱۹۳۴) تعیین گردید. نتایج نشان داد میانگین شاخص شدت خشکسالی در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ به ترتیب ۱/۳۳ و ۰/۳۸- برآورد شد. سال ۲۰۱۹ در طبقه نرمال آبی و سال ۲۰۲۱ در طبقه خشکسالی ضعیف شناسایی شد. بررسی تغییرات شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص خشکسالی جریان رودخانه در سال‌های مورد نظر دارای رابطه همبستگی است. تغییرات پوشش گیاهی حاصل از خشکسالی هیدرولوژیکی در سال ۲۰۲۱ رخ داده است که بیانگر متأثر بودن پوشش گیاهی از خشکسالی هیدرولوژیک است. بررسی فلور منطقه در سال ۲۰۱۹ نشان داد، گیاهان شامل ۱۹۱ گونه گیاهی از ۱۴۱ جنس و ۴۲ تیره در منطقه پراکنش دارند که با حادث شدن شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی در سال ۲۰۲۱ تعداد گونه‌ها به ۱۶۲ گونه، ۱۲۳ جنس و ۳۴ تیره کاهش یافته است. طیف‌زیستی گیاهان به‌روشن ران‌کیتر نشان داد که در سال ۲۰۱۹، ۴۰ درصد تروفیت‌ها، ۱۸/۴ درصد کریپتوفیت‌ها، ۱۷/۹ درصد همی کریپتوفیت‌ها، ۱۵/۳ درصد فانروفیت‌ها و ۸/۴ درصد کامفیت‌ها را شامل می‌شود. در سال ۲۰۲۱ تروفیت‌ها به ۳۴/۷ درصد، کریپتوفیت‌ها به ۹/۵ درصد، همی کریپتوفیت‌ها به ۱۷/۴ درصد و کامفیت‌ها به ۷/۹ درصد کاهش یافته است اما فانروفیت نسبت به سال ۲۰۱۹ بدون تغییر ۱۵/۳ درصد باقی مانده است که بیانگر مقاومت گیاهان فانروفیت به خشکسالی و کمبود آب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.</p>	<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰</p> <p>واژه‌های کلیدی: شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص خشکسالی جریان رودخانه، فلوربستیک، منطقه سیستان.</p>

استناد: سارانی، منصور، هاشمی، زهره. (۱۴۰۲). بررسی ارتباط بین خشکسالی هیدرولوژیکی و پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر لندست در بخش

شرقی منطقه سیستان. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲(۳۸)، ۶۶-۷۵. DOI: 10.22111/jneh.2023.44340.1938



© منصور سارانی، زهره هاشمی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

خشکسالی عبارت است از کمبود بارش در دوره‌ای بلندمدت، به نحوی که باعث کمبود رطوبت در خاک، کاهش آب-های جاری و مختل شدن روند طبیعی فعالیت‌های انسانی، حیات گیاهی و زندگی جانوری می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵). خشکسالی انواع مختلفی داشته و به چهار دسته هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی طبقه‌بندی می‌شود. خشکسالی هواشناسی به دلیل کمبود یا کاهش میزان بارندگی در طی دوره‌ای از زمان، نسبت به شرایط میانگین درازمدت به وقوع می‌پیوندد. در ادامه رخداد خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی که از مهم‌ترین انواع خشکسالی‌ها است اتفاق افتاده و باعث افت سطح آب رودخانه‌ها، مخازن آب و آب-های زیرزمینی به پایین‌تر از میانگین بلندمدت می‌شود (علوی‌نیا و همکاران، ۲۰۱۲). خشکسالی هیدرولوژیکی از دیدگاه آب‌شناسی، در مواردی در طول سال آبی (از مهر تا مهر سال دیگر) مقدار آبی که در یک رودخانه جریان می‌یابد، از مقدار متوسط آن در سال‌های گذشته کمتر باشد، خشکسالی هیدرولوژیکی حاکم گشته است (کردوانی، ۱۳۸۰).

اکوسیستم‌های طبیعی به‌خصوص پوشش گیاهی نیز تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرند (بادنر و روبلز^۱، ۲۰۱۷). همبستگی بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی از عوامل تأثیرگذار بر پراکنش پوشش گیاهی به حساب می‌آید. اقلیم باعث شکل‌دهی الگوهای پوشش گیاهی از طریق تعادل بین ذخایر انرژی، رطوبت و زمان‌بندی فصلی بین این دو می‌شود (استفنسون^۲، ۱۹۹۰). بنابراین اقلیم یک منطقه، یک کنترل از بالا به پایین بر الگوهای اکوسیستم و فرآیندهای آن ایجاد می‌کند. اختلالات اکوسیستم به‌ویژه اختلالات بزرگ و نادر به‌عنوان یک مکانیسم کلیدی در شکل‌دهی الگوهای چشم‌اندازی در جنگل‌ها و مراتع شمرده می‌شود (ترنر و همکاران^۳، ۱۹۹۸). اثر خشکسالی بر گیاهان مختلف، متفاوت است. به‌عبارت دیگر گیاهان مختلف از لحاظ فصلی، یکساله یا دائمی بودن و نیز علفی، بوته-ای و درختچه‌ای مقاومت متفاوتی در مقابله با خشکسالی و مبارزه با آن از خود نشان می‌دهند. از این‌رو، برخی از آنها زود از بین می‌روند و برخی دیگر اگر خشکسالی هم ادامه یابد، مقاومت کرده و به حیات خود ادامه می‌دهند (کردوانی، ۱۳۸۰). برای تحلیل خشکسالی وجود یک شاخص جهت تعیین دقیق دوره‌های ترسالی و خشکسالی بسیار ضروری است. شاخص‌های پوشش گیاهی توسط بسیاری از دانشمندان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها برای نقشه‌برداری زمین‌های کشاورزی، بررسی بارش، تخمین اثرات آب‌وهوایی، محاسبه میزان بیوماس، بازدهی محصول و فرآوری چراگاه، شرایط خشکسالی و تعیین مقدار توان گیاهان مطرح شده است (دابروسکا و همکاران^۴، ۲۰۱۰). یکی از مؤثرترین شاخص‌ها، شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی^۵ می‌باشد (جنسن^۶، ۱۹۹۶).

امروزه بررسی تغییرات مکانی و زمانی پدیده‌های پیچیده‌ای مانند تخریب پوشش گیاهی به‌منظور ارزیابی و پیش‌مستمر آنها برای مدیریت و بهره‌برداری صحیح آنها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. انتظار آن است با ورود فناوری سنجش-ازدور^۷ و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱، امکان بررسی‌های بهتر و دقیق‌تر پدیده‌های زمینی میسر گردد. بنابراین، علی-

1 - Bodner and Robles

2 - Stephenson

3 - Turner et al

4 - Dabrowska et al

5 - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

6 - Jensen

7 - Remote sensing

رغم محدودیت‌هایی که در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در ارزیابی پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد

(آذرخشی و همکاران^۲، ۲۰۱۱)؛ اطلاعات صحیح‌تری را در اختیار مدیران و محققان مربوط در سطوح مختلف قرار می‌دهند. بدین مفهوم که اطلاعات حاصل از روش‌های سنجش‌ازدور به‌دلیل پویایی بیشتر تطابق بیشتری با واقعیات زمینی دارد و قابلیت توصیه بیشتری را داراست (درویشی بلورانی و همکاران، ۱۳۹۰). در این راستا با توجه به تغییرپذیری پوشش گیاهی و از طرفی نوسانات عوامل محیطی، ارزیابی و پایش پوشش گیاهی از جمله موارد حیاتی در مدیریت این اکوسیستم‌ها به‌شمار می‌آیند. بروز پدیده زوال پوشش گیاهی در سال‌های اخیر که یکی از عوامل موثر بر پیدایش آن می‌تواند پدیده خشکسالی باشد؛ ضرورت و برنامه‌ریزی برای مدیریت بهینه این منابع اهمیت ویژه‌ای می‌یابد (علیزاده، ۱۳۸۷).

مؤسسه دلف هلند، پروژه‌ای برای مطالعه پوشش گیاهی دریاچه هامون تحت‌عنوان مدیریت جامع منابع آب سیستان را به تقاضای موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو اجرا کرد. در بخشی از پروژه برای مطالعه پوشش گیاهی دریاچه هامون

از شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی استفاده شد و توانست تغییرات منفی پوشش گیاهی را به وضوح آشکار سازد (دلف^۳، ۲۰۰۷).

ژانگ و ژانگ در بررسی رابطه بین پوشش گیاهی و خشکسالی در کشور چین بیان داشتند که همبستگی پیرسون بین شاخص شدت خشکسالی پالمر^۴ و شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی در فصل رشد بین ۴۷/۴- تا ۰/۸۴ متغیر بود و حداکثر همبستگی بین شاخص‌های بارش تبخیر و تعرق استانداردشده^۵ و تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی در فصل رشد در محدوده ۰/۳۱ تا ۰/۸۶ بود که در آن همبستگی منفی بیشتر در مناطق جنگلی در جنوب چین مشاهده گردید (ژانگ و ژانگ^۶، ۲۰۱۹).

عطافی تاثیر خشکسالی بر عملکرد تولید کشاورزی در استان بصره کشور عراق با استفاده از دو شاخص بارش استاندارد و شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای اجرا شد. نتایج نشان داد افزایش شدت خشکسالی منجر به کاهش تولید محصولات کشاورزی گردیده است. الگوی زمانی بلندمدت شاخص بارش استاندارد، به‌دلیل خشکسالی، فعالیت‌های کشاورزی را در وضعیت بحرانی نشان داد (عطافی و همکاران^۷، ۲۰۲۱).

حسینی و همکاران تاثیر خشکسالی‌ها بر تخریب پوشش گیاهی در منطقه سیستان را با استفاده از تصاویر لندست سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲ بررسی نمودند. تغییرات پوشش گیاهی از طریق برآورد شاخص اختلاف وزنی پوشش

1 - Geographical information system

2 - Azarakhshi et al

3 - Delf

4 - Palmer Drought severity Index (PDSI)

5 - Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

6 - Zhang and Zhang

7 - Attafi et al

گیاهی^۱ صورت گرفت. نتایج نشان داد که سطح پوشش گیاهی منطقه سیستان از ۱۰۱۰۰۰ هکتار در سال ۱۹۹۸ (زمان ترسالی) به ۲۴۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۰۲ (زمان خشکسالی) کاهش یافته است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۲). شایان و همکاران، شناسایی و تحلیل خشکسالی در رودخانه مرزی الوند را با استفاده از داده‌های هیدرومتری، هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای لندست انجام دادند. تغییرات پوشش گیاهی به کمک شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بیانگر روند منفی تغییرات و کاهش پوشش گیاهی است. در اثر خشکسالی ۱۸۰۱۸۹ هکتار پوشش گیاهی از بین رفته است و آورده‌های رسوبی انشعابات فرعی و فرسایش آبی حاصل از خشکسالی، به تخریب مراتع در پایاب رودخانه منجر شده است. در نتیجه همبستگی بین شاخص میانگین متحرک خشکسالی و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی موید تحلیل و تفسیر خشکسالی در مناطق نیمه‌خشک می‌باشد (شایان و همکاران، ۱۳۹۶).

زندگی و همکاران، خشکسالی و تاثیرات آن بر پوشش گیاهی در مناطق جنوبی کشور شامل استان‌های خوزستان، فارس، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال بختیاری، بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان را ارزیابی نمودند. در این بررسی شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص بارش استاندارد طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ محاسبه و پهنه‌بندی شد. نتایج نشان داد پوشش گیاهی طی سال‌های مورد بررسی به میزان قابل توجهی کاهش یافته و به اراضی بایر و یا پوشش گیاهی ضعیف تبدیل شده است. پوشش گیاهی از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است. همچنین رابطه همبستگی بین شاخص‌های بارش استاندارد و تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی بیانگر روند کاهشی میزان پوشش گیاهی با افزایش شدت خشکسالی می‌باشد (زندگی و همکاران، ۱۴۰۰).

گیلوری و همکاران تاثیر خشکسالی هواشناسی بر روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از سنجنده مودیس و شاخص‌های بارش استاندارد و تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۸۰ در اقلیم‌های خشک و خشک نیمه مرطوب حوزه آبخیز حبله رود بررسی نمودند. نتایج بیانگر خشکسالی شدید در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۲ می‌باشد و اوج شاخص پوشش گیاهی در سال ۱۳۸۴ اتفاق افتاده است. ماتریس همبستگی نشان‌دهنده همبستگی یکسان شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی نسبت به دو شاخص بارش استاندارد و بارندگی سالیانه است. همبستگی نیز در سطح دو اقلیم خشک و خشک نیمه مرطوب به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۲۵ بوده است که حاکی از همبستگی پایین ولی رابطه مثبت در سطح اقلیم‌های مختلف یک منطقه متفاوت است (گیلوری و همکاران، ۱۴۰۱). هدف از این پژوهش، بررسی تاثیرات خشکسالی بر پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور می‌باشد که از طریق شاخص‌های تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی و شدت خشکسالی جریان رودخانه^۲ صورت می‌پذیرد. همچنین در ادامه تغییرات حاصل از اثرات خشکسالی بر فلوریستیک منطقه مورد مطالعه، از طریق پایش زمینی در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ بررسی می‌شود.

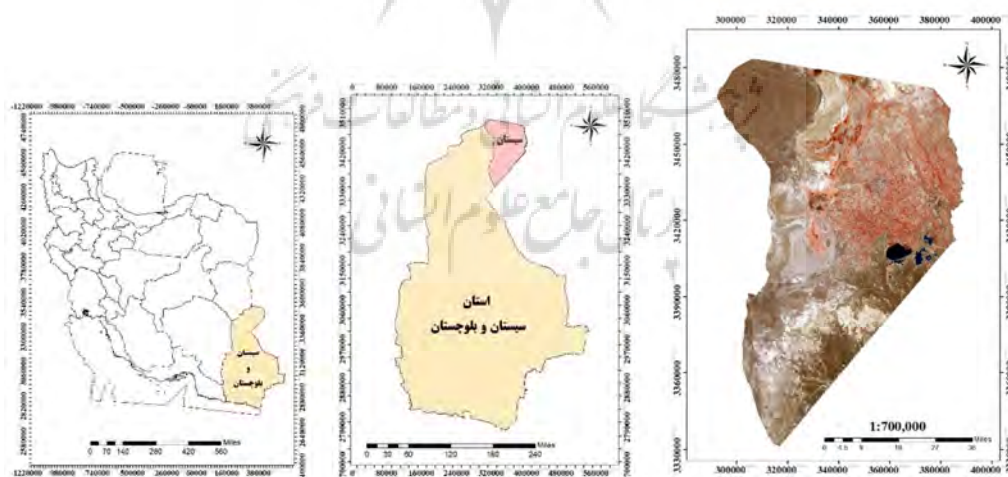
1 - Weighted Difference Vegetation Index (WDVI)

2 - Streamflow Drought Index (SDI)

داده‌ها و روش‌ها

الف- معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۸۷۵۰۵۲ هکتار، در شرق ایران در شمال استان سیستان و بلوچستان و به مختصات جغرافیایی ۶۰ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۶۱ درجه ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه ۲۶ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع متوسط ۴۷۸ متر از سطح دریا (نرم‌افزار گوگل ارث^۱)، در مرز افغانستان واقع شده است (شکل ۱). بخش شرقی دشت سیستان به صورت یک فروافتادگی تکتونیکی در شرق رشته کوه‌های شرق ایران جای گرفته است. اقلیم منطقه سیستان بر اساس طبقه‌بندی کوپن اصلاح‌شده اقلیم صحرایی با آب‌وهوای خیلی گرم و خشک بیابانی یعنی تابستان‌های طولانی و زمستان ملایم قلمداد شده است. متوسط بارندگی سالانه در سیستان ناچیز و برابر ۵۵ میلی‌متر بوده که در حدود ۷ درصد متوسط بارندگی در جهان است. میزان تبخیر سالانه آن بسیار بالا و در حدود ۴۸۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. متوسط حداکثر دمای منطقه ۳۴/۵ و متوسط حداقل آن ۸/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رودخانه هیرمند در مرز شرقی کشور ایران از خاک افغانستان وارد دشت سیستان شده و تنها منبع تأمین آب منطقه محسوب می‌شود. اراضی منطقه مورد مطالعه متشکل از رسوبات انتقالی حوزه آبخیز هیرمند در عرصه‌های بالادست این رودخانه می‌باشد. خاک‌های منطقه مورد مطالعه شامل خاک‌های عمیق، تکامل نیافته و جوان است. بافت خاک شنی و رسی سیلت‌دار تا رس و شنی سیلت‌دار می‌باشد. در قسمت‌هایی از اراضی به علت تاثیر املاح زیاد و تجمع املاح در سطح خاک، اغلب دارای سطح پف‌کرده می‌باشد. گیاهان مشاهده‌شده در منطقه‌ی مورد مطالعه اغلب از خانواده‌های اسفناجیان، اوریاسلام و گونه‌های درختچه‌ای گز است. (مهندسین مشاور جامع ایران، ۱۳۸۳).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه. منبع: وب‌سایت سازمان نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا

¹ - Google Erath

ب- روش پژوهش

داده های منطقه مورد مطالعه

تصاویر ماهواره‌ای در این مطالعه از ماهواره لندست با ردیف‌های ۳۸ و ۳۹، مسیر ۱۵۷ مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر مربوط به ماه ژوئن در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ بررسی گردید. تصاویر انتخاب‌شده از لندست^۱ می‌باشد. این تصاویر از وبسایت سازمان نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا^۲ تهیه شد. مشخصات تصاویر در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده در این بررسی

ماهواره	نوع سنجنده	ستون	سطر	تاریخ برداشت	باندهای مورد استفاده
لندست	OLI	۱۵۷	۳۸ و ۳۹	۲۰۱۹/۰۶/۱۲	۴ (باند قرمز) و ۵ (باند مادون قرمز نزدیک)
لندست	OLI	۱۵۷	۳۸ و ۳۹	۲۰۲۱/۰۶/۱۷	۴ (باند قرمز) و ۵ (باند مادون قرمز نزدیک)

پردازش داده‌ها

در مرحله پیش‌پردازش، ابتدا اقدام به تصحیحات رادیومتری و اتمسفری جهت حذف خطاهای ناشی از سنجنده و اتمسفر در محیط انوی ۳/۵ صورت گرفت. سپس در مرحله پردازش داده‌ها شاخص طیفی تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی برآورد شد.

شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی

شاخص طیفی تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی، شاخصی پایه جهت تعیین سایر متغیرهای پوشش گیاهی می‌باشد که مزایای آن نسبت به سایر شاخص‌ها این است که شاخص تفاضل بین بیشینه جذب در ناحیه قرمز ناشی از رنگدانه‌های کلروفیل و حداکثری بازتاب در ناحیه مادون قرمز ناشی از ساختار سلولی برگ را مشخص می‌کند (علوی پناه، ۱۳۹۱). این شاخص محل‌های احتمالی پوشش گیاهی را با تغییرات عددی بین ۱- و ۱+ نشان می‌دهد. مناطقی که دارای پوشش گیاهی متراکم باشند این شاخص به سمت ۱+ و نواحی که از لحاظ تراکم پوشش گیاهی ضعیف باشند به سمت ۱- میل می‌نمایند (کاظمی نیا، ۱۳۹۶). برآورد شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی از رابطه ۱ به‌دست می‌آید:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

در این رابطه NIR مقدار بازتاب در ناحیه مادون قرمز نزدیک برای هر پیکسل در تصویر و RED مقدار بازتاب در ناحیه باند قرمز برای هر پیکسل در تصویر است.

1 - Landsat OLI
2 - The United States Geological Survey
3 - ENVI 5.3

شاخص شدت خشکسالی جریان رودخانه

برای توصیف خشکسالی‌های هیدرولوژیکی از شاخص شدت خشکسالی جریان رودخانه استفاده می‌گردد. شاخص شدت خشکسالی براساس جریان ماهانه استاندارد می‌باشد. جهت محاسبه این شاخص از داده‌های دبی منطقه مورد مطالعه استفاده می‌گردد. فرض می‌شود برای داده‌های دبی، گروه زمانی ماهانه $Q_{i,j}$ مناسب است. درحالی‌که i مشخص‌کننده سال آبی و j بیانگر ماه در سال آبی می‌باشد. بر این اساس مقدار تجمعی دبی از رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه می‌شود:

$$V_{i,k} = \sum_j^k Q_{i,j} \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad j = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

$V_{i,k}$ مقدار تجمعی دبی سال آبی k ام و دوره آن و k بیانگر دوره‌های سه ماهه است (نالبانتیس و تساکیریس^۱، ۲۰۰۹).

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{v}_k}{S_k} \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad j = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

\bar{v}_k و S_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم دبی‌های تجمعی برای دوره مبنای k است و تراز آستانه \bar{v}_k تعریف شده است.

جدول ۲: طبقه‌بندی شاخص شدت خشکسالی. منبع: کریمی و همکاران، ۱۳۹۵

شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی	طبقات شدت خشکسالی
۰ - +۱	نرمال
-۱ - ۰	خشکسالی ضعیف
-۱/۵ - -۱	خشکسالی متوسط
-۲ - -۱/۵	خشکسالی شدید
کمتر از -۲	خشکسالی بسیار شدید

پس از تعیین مقادیر شاخص خشکسالی جریان رودخانه در سال‌های مورد نظر، طبق جدول ۲ به طبقه‌بندی شدت خشکسالی پرداخته شد. در آخرین مرحله با استفاده از روش میان‌یابی معکوس فاصله^۲ به پهنه‌بندی توزیع خشکسالی در سطح منطقه مورد مطالعه اقدام گردید.

شناسایی و معرفی فلوریستیک منطقه

به منظور تهیه فهرست فلوریستیک منطقه مورد مطالعه، با مراجعه حضوری در فصول رویشی، نمونه گیاهی براساس روش مرسوم پیمایش‌های منطقه‌ای و به صورت تصادفی در مطالعات فلوریستیک طی سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ جمع-آوری و از آن‌ها نمونه‌های هرباریومی تهیه شد. اطلاعات هر نمونه گیاهی شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع محل رویش از سطح دریا با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب^۳ ثبت و از آن‌ها تصاویر دیجیتال تهیه شد. نمونه‌های گیاهی گفته‌شده در هرباریوم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان نگهداری می‌شود. جهت شناسایی دقیق نمونه‌ها از متخصصین گیاه‌شناسی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد دعوت به عمل آمد

1 - Nalbantis and Tsakiris

2 - Inverse Distance Weighted (IDW)

3 - GPS

تا نمونه‌ها را در محل شناسایی نمایند. همچنین از منابع گیاه‌شناسی نظیر فلور ایرانیکا (ریچینگر^۱، ۲۰۱۵-۱۹۶۳)، فلور رنگی ایران (قهرمان، ۱۳۶۰) و کروموفیت‌های ایران (قهرمان، ۱۳۸۳) نیز جهت شناسایی و نام‌گذاری استفاده شد.

شکل زیستی گیاهان براساس رده‌بندی ران‌کیائتر^۲ (۱۹۳۴) تعیین گردید. در این رده‌بندی گیاهان براساس موقعیت جوانه‌های تجدیدکننده حیات به گروه‌های فانروفیت‌ها^۳، کامفیت‌ها^۴، همی کریپتوفیت‌ها^۵، کریپتوفیت‌ها^۶ (شامل ژئوفیت‌ها^۷ به‌همراه هیدروفیت‌ها^۸ و هلوفیت‌ها^۹ می‌باشند) و تروفیت‌ها^{۱۰} تقسیم می‌شوند. بعد از آنکه درصد اشکال زیستی تمام گونه‌های گیاهی منطقه در دوره زمانی ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ تعیین شد، درصد فراوانی هر کدام از آنها به‌صورت نمودار ستونی ترسیم گردید.

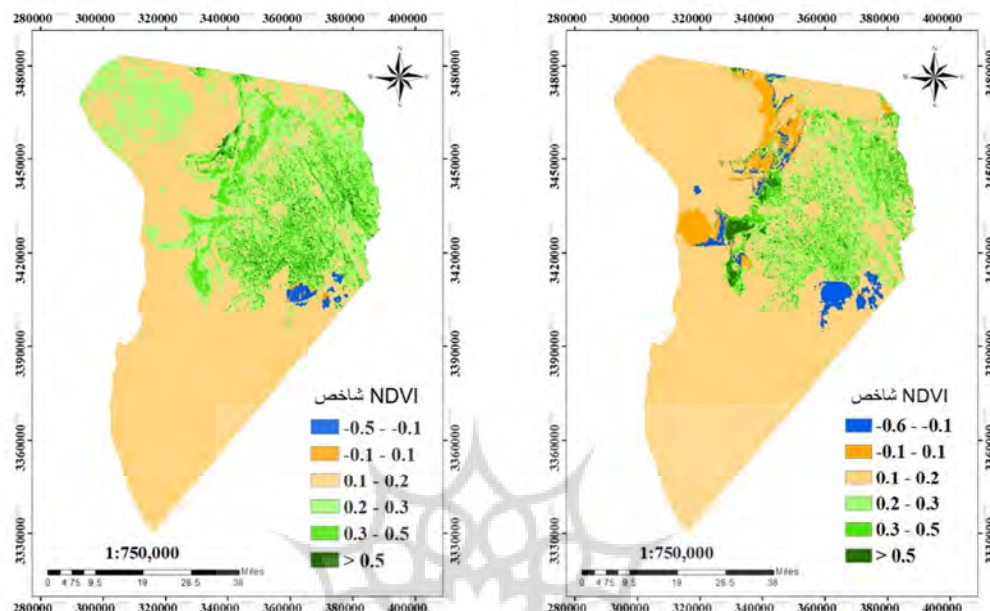
یافته‌های پژوهش

روند تغییرات شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی

شکل‌های ۲ و ۳ نقشه‌های حاصل از برآورد شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی و میزان تغییرات شاخص یادشده در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ را بیان می‌کند. در این بررسی مقادیر بین ۰/۶- تا ۰/۱- نواحی مرطوب و پهنه‌های آبی، ۰/۱- تا ۰/۱ مناطق دست‌ساخت و پوشش سنگی، ۰/۱ تا ۰/۲ به عرصه‌های ماسه‌ای و بایر، ۰/۲ تا ۰/۳ پهنه‌های با پوشش گیاهی تنک و کم تراکم، ۰/۳ تا ۰/۵ عرصه‌های دارای پوشش گیاهی متوسط و مقادیر بیشتر از ۰/۵ شامل نواحی پوشش گیاهی متراکم در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
مرکز جامع علوم انسانی

-
- 1 - Rechanger
 - 2 - Runkiaer
 - 3 - Phanerophytes
 - 4 - Chamophytes
 - 5 - Hemicryptophytes
 - 6 - Cryptophytes
 - 7 - Geophytes
 - 8 - Hydrophytes
 - 9 - Halophytes
 - 10 - Therophytes



شکل ۳: نقشه شاخص پوشش گیاهی در سال ۲۰۲۱

شکل ۲: نقشه شاخص پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۹

طبق شکل ۴، نواحی مرطوب و آبی در سال ۲۰۱۹ به میزان $29937/187$ هکتار ($3/4$ درصد) و در سال ۲۰۲۱ به میزان $7369/29$ هکتار ($0/84$ درصد) است، این عرصه از سال ۲۰۱۹ تا سال ۲۰۲۱ روند کاهشی را نشان می‌دهد. مناطق دست‌ساخت و پوشش سنگی در سال ۲۰۱۹ به مساحت $631636/2$ هکتار ($72/2$ درصد) و در سال ۲۰۲۱ به مساحت $644136/48$ هکتار ($73/6$ درصد) با مقایسه با سال ۲۰۱۹ روند افزایشی دارد. اراضی بایر و ماسه‌ای در سال ۲۰۱۹ به میزان $116711/1$ هکتار ($13/3$ درصد) و در سال ۲۰۲۱ به میزان $186233/31$ هکتار ($21/3$ درصد)، نسبت به سال ۲۰۱۹ روند افزایشی را نشان می‌دهد. مناطق با پوشش گیاهی تنک و کم تراکم در سال ۲۰۱۹ به مساحت $53292/51$ هکتار ($6/1$ درصد)، در سال ۲۰۲۱ به مساحت $31962/69$ هکتار ($3/64$ درصد) با مقایسه با سال ۲۰۱۹ روند کاهشی را نشان می‌دهد. پهنه‌های با پوشش گیاهی متوسط در سال ۲۰۱۹ به مساحت $37317/96$ هکتار ($4/3$ درصد) و در سال ۲۰۲۱ به مساحت $5099/58$ هکتار ($0/6$ درصد) نسبت به سال ۲۰۱۹ روند کاهشی را دارد. اراضی با پوشش گیاهی متراکم در سال ۲۰۱۹ به میزان $6054/12$ هکتار ($0/7$ درصد) و در سال ۲۰۲۱ به میزان $148/32$ هکتار ($0/02$ درصد) نیز نسبت به سال ۲۰۱۹ روند کاهشی را نشان می‌دهد. با مقایسه سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۱۹ اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که در سال ۲۰۱۹ با ورود آب در منطقه سیستان علاوه بر افزایش سطوح آبی، مناطق دارای پوشش گیاهی مهم از پوشش با تراکم کم و تنک، با تراکم متوسط و متراکم افزایش یافته است. اما در سال ۲۰۲۱ به علت قطع جریان آب ورودی از رودخانه هیرمند به منطقه سیستان ضمن کاهش سطوح آبی و سطوح دارای پوشش گیاهی، عرصه‌های دست‌ساخت و پوشش سنگی، اراضی بایر و ماسه‌ای افزایش سطح را نشان می‌دهد. علت آن بر اثر خشکی محیط و وزش طوفان‌های موسمی

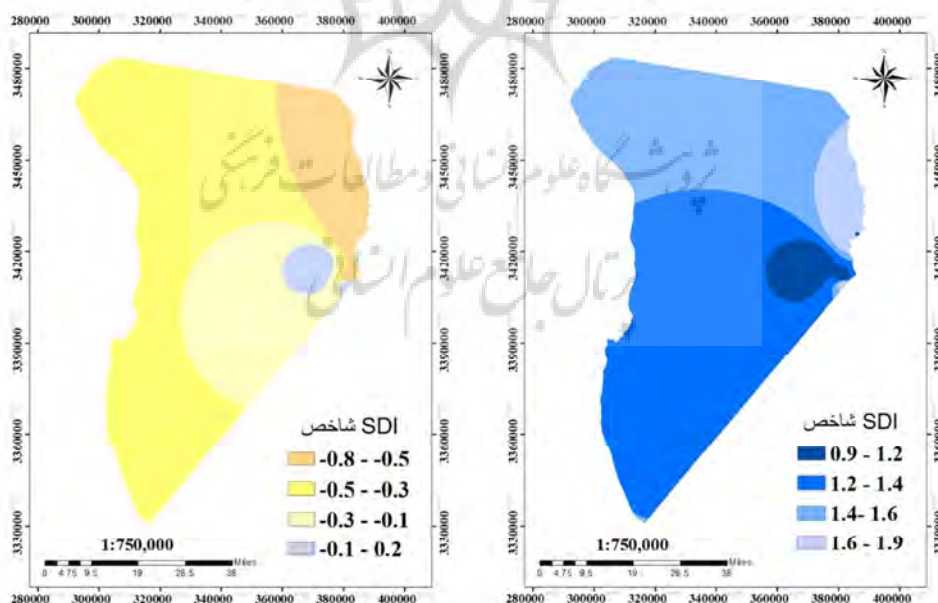
(بادهای ۱۲۰ روزه) در فصل خشک و تبدیل دریاچه هامون به یکی از کانون‌های برداشت فرسایش بادی می‌باشد که از موثرترین عوامل در تخریب خاک، تضعیف و تغییر در پوشش گیاهی به‌شمار می‌رود.



شکل ۴: روند تغییرات شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۱۹

روند تغییرات شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی

شکل‌های ۵ و ۶ نقشه حاصل از محاسبه شاخص شدت خشکسالی در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

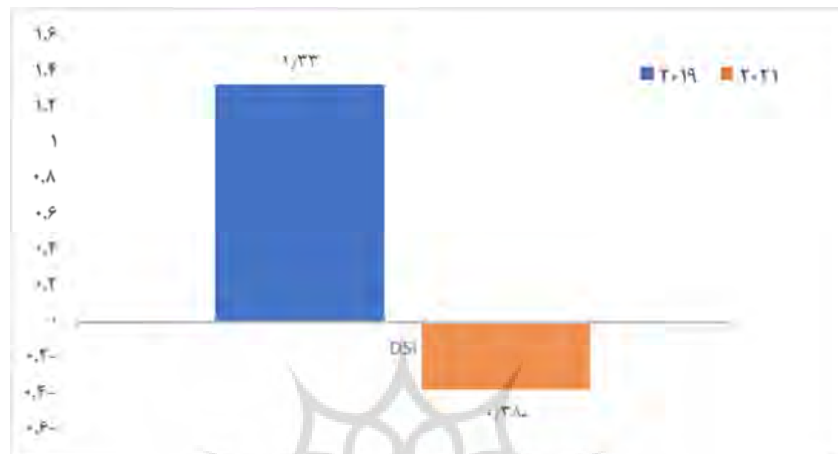


شکل ۶: نقشه شاخص شدت خشکسالی در سال ۲۰۲۱

شکل ۵: نقشه شاخص شدت خشکسالی در سال ۲۰۱۹

شکل ۷ میانگین شاخص شدت خشکسالی در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ را بیان می‌کند. در این شکل محاسبه حاصل از برآورد شاخص شدت خشکسالی هیدرولوژیکی است. همچنین اعداد به‌دست‌آمده براساس جدول ۲ شاخص شدت

خشکسالی طبقه‌بندی می‌شود. نتیجه طبقه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی در سال ۲۰۱۹ با میانگین $+1/33$ در طبقه نرمال و این شاخص در سال ۲۰۲۱ با میانگین $-0/38$ در خشکسالی ضعیف قرار می‌گیرد.



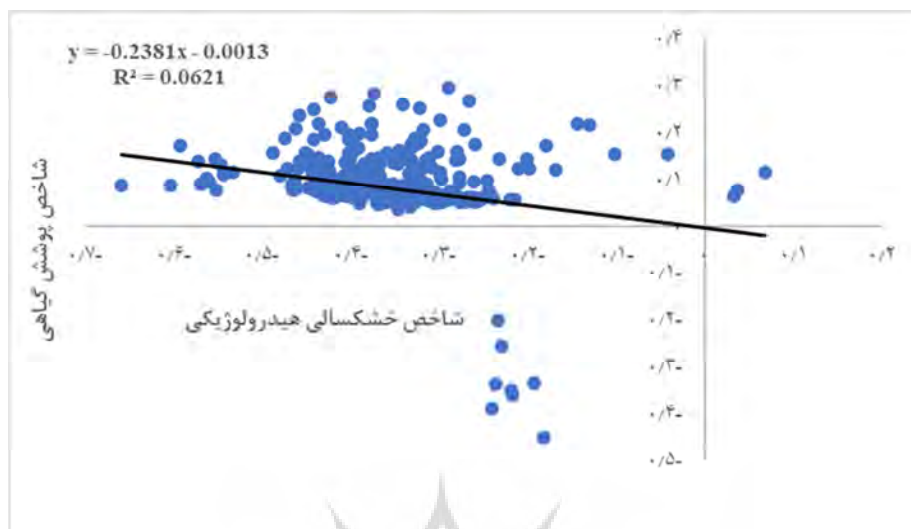
شکل ۷: میانگین تغییرات شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در سال ۲۰۲۱ و ۲۰۱۹

رابطه بین شاخص شدت خشکسالی هیدرولوژیکی و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی

شکل‌های ۸ و ۹ نتایج تحلیل رگرسیون بین شاخص‌های شدت خشکسالی و تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ را نشان می‌دهد. رابطه همبستگی بین دو شاخص شدت خشکسالی و تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، طبق عدد R^2 و تابع به دست آمده در سطح $(p < 0/01)$ معنی دار است. رابطه بین دو شاخص یادشده در سال ۲۰۱۹ دارای همبستگی مثبت است. به طوری که با افزایش شاخص شدت خشکسالی هیدرولوژیکی و تمایل آن به اعداد مثبت شاخص پوشش گیاهی نیز افزایش یافته است. در سال ۲۰۲۱ دارای همبستگی منفی است. به طوری که با کاهش شاخص شدت خشکسالی هیدرولوژیکی و تمایل آن به اعداد منفی، شاخص پوشش گیاهی نیز کاهش یافته است.



شکل ۸: رابطه بین شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، سال ۲۰۱۹



شکل ۹: رابطه بین شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، سال ۲۰۲۱

روند تغییرات فلور

در این پژوهش و در منطقه مورد مطالعه برای سال ۲۰۱۹ تعداد ۱۹۱ گونه، ۱۴۸ جنس و ۴۲ تیره شناسایی شدند. در سال ۲۰۲۱ با حادث شدن شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی تعداد گونه‌ها به ۱۶۲ گونه، ۱۲۳ جنس و ۳۴ تیره کاهش یافته است (جدول ۳).

جدول ۳- فهرست گونه‌های گیاهی، روند تغییرات و شکل زیستی گیاهان منطقه سیستان

نام علمی	۲۰۱۹	۲۰۲۱	شکل زیستی
Alismataceae			
<i>Alisma lanceolatum</i> With.	*	-	Cr
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	*	-	Cr
Apiaceae			
<i>Apium graveolens</i> L.	*	*	He
<i>Dorema ammoniacum</i> D. Don	*	*	He
<i>Ducrosia anethifolia</i> (DC.) Boiss.	*	*	He
Asclepiadaceae			
<i>Cynanchum acutum</i> L. subsp. acutum	*	*	He
<i>Pergularia tomentosa</i> L.	*	*	Ph
Asteraceae			
<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	*	*	He
<i>Aegopordon berardioides</i> Boiss.	*	*	Cr
<i>Amberboa turanica</i> (Boiss.) Iljin	*	*	Th
<i>Anthemis rhodocentra</i> Iranshar	*	*	Th
<i>Artemisia scoparia</i> Waldst. et Kit.	*	*	Ch
<i>Artemisia sieberi</i> Besser subsp. Sieberi	*	*	Ch
<i>Carthamus tinctorius</i> L.	*	*	Cr
<i>Centaurea brugueriana</i> (DC.) Hand. Subsp. Belangerana (DC.) Bornm.	*	*	Th
<i>Cichorium intybus</i> L.	*	*	He
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	*	*	He
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cornquist	*	*	Th
<i>Conyzanthus squamatus</i> (Spreng.) Tamamsch.	*	*	He
<i>Crepis kotschyana</i> (Boiss.) Boiss.	*	-	Th
<i>Echinops</i> sp.	*	*	

<i>Filago hurdwarica</i> (DC.) Wagenitz	*	-	Th
<i>Gnaphalium luteo- album</i> L.	*	-	Th
<i>Grantia aucheri</i> Boiss.	*	-	Ch
<i>Gymnarrhena micrantha</i> Desf.	*	*	Th
<i>Heteroderis pusilla</i> (Boiss.)Boiss. var. <i>gymnocephala</i> Rech. f.	*	*	Th
<i>Ifloga spicata</i> (Forssk.) Schultz. Bip	*	*	Th
<i>koelpinia linearis</i> Pall.	*	*	Th
<i>Lactuca serriola</i> (L.)	*	*	Th
<i>Launaea acanthodes</i> (Bioss.) O. Kuntze	*	*	Cr
<i>Oligochaete minima</i> (Boiss.) Briq.	*	-	Th
<i>Pulicaria gnaphalodes</i> (Vent.) Boiss.	*	*	He
<i>Reichardia orientalis</i> (L.) Hochreatiner (Lactuceae).	*	*	He
<i>Scorzonera tortuosissima</i> Boiss.	*	*	He
<i>Senecio flavus</i> (Decne.) Schultz-Bip.	*	*	Th
Boraginaceae			
<i>Arnebia grandiflora</i> (Trautv.) M. Pop	*	*	Th
<i>Gastrocotyle hispida</i> (Forssk.) C.B. Clarke	*	*	Th
<i>Heliotropium europium</i> L.	*	*	Th
<i>Heliotropium lasiocarpum</i> Fisch. Et C.A. Mey.	*	*	He
<i>Heterocaryum subsessile</i> Vatke	*	*	Th
<i>Trichodesma africanum</i> (L.) R. Br.	*	*	He
Brassicaceae			
<i>Alyssum linifolium</i> Steph. Et Willd.var. <i>linifolium</i>	*	-	Th
<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv.	*	*	He
<i>Descuirainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl.	*	*	Th
<i>Eruca sativa</i> Miller	*	*	Th
<i>Fortuynia garcinii</i> (Burm.) Shuttlew.	*	*	He
<i>Goldbachia laevigata</i> (M. Bieb.) DC.	*	*	Th
<i>Isatis minima</i> Bge.	*	*	Th
<i>Lepidium sativum</i> L.	*	*	He
<i>Malcolmia africana</i> (L.) R. Br.	*	*	Th
<i>Matthiola chenopodifolia</i> Fisch. et C.A. Mey.	*	-	Th
<i>Moricandia sinaica</i> (Boiss.) Boiss.	*	*	Th
<i>Nasturtium officinale</i> R. Br.	*	-	Cr
<i>Savignya parviflora</i> (Delile) Webb.	*	*	Th
<i>Sisymbrium irio</i> L.	*	-	Th
Capparidaceae			
<i>Capparis spinosa</i> L.	*	*	Cr
<i>Cleome oxypetala</i> Boiss.	*	*	He
<i>Cleome heratensis</i> Bunge et Bien.ex Boiss.	*	*	He
Caryophyllaceae			
<i>Acanthophylum sordidum</i> Bge. ex Boiss.	*	*	Ch
<i>Gymnocarpus decander</i> Forssk.	*	*	Ch
<i>Gypsophila pilosa</i> Huds	*	*	Th
<i>Pteranthus dichotomus</i> Forssk.	*	*	Th
<i>Silene conoidea</i> L.	*	*	Th
<i>Spergularia diandra</i> (Guss.) Heldr. et Sart.	*	*	Th
Chenopodiaceae			
<i>Agriophyllum minus</i> Fisch. & C. A. Mey. Ex Fenzel	*	*	Th
<i>Anabasis aphylla</i> L.	*	*	Ch
<i>Anabasis setifera</i> Moq	*	*	Ch
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh.) Nutt.	*	*	Ch
<i>Atriplex dimorphostegia</i> (Kar. et Kir.) Allen	*	*	Th
<i>Atriplex halimus</i> L.	*	*	Ph
<i>Atriplex lentiformis</i> S. Wats	*	*	Ph
<i>Atriplex leuoclada</i> (Boiss.) Aellen.	*	*	Ch
<i>Atriplex moneta</i> Bge.	*	*	Th
<i>Chenopodium album</i> L.	*	*	Th
<i>Chenopodium chenopodioides</i> (L.) Aellen	*	*	Th
<i>Chenopodium rubrum</i> L.	*	*	Th
<i>Cornulaca aucheri</i> Moq. Subsp. <i>Leucacantha</i> (Charif & Aellen) Assadi	*	*	Th
<i>Cornulaca leucacantha</i> Charif et Aellen	*	*	Ch
<i>Cornulaca monacantha</i> Delile.	*	*	Ch

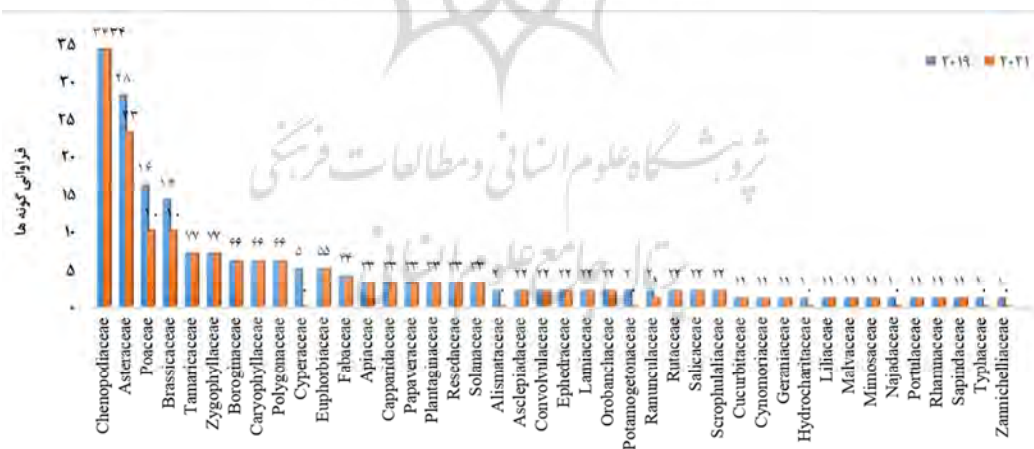
<i>Halostachys belangeriana</i> Bunge ex Boiss.	*	*	Ph
<i>Halothamnus subaphyllus</i> (A.C. Mey.) Botsch.	*	*	Ch
<i>Haloxyton ammodendron</i> (C.A. Mey.) Bge.	*	*	Ph
<i>Haloxyton persicum</i> Bge. & Boiss. et Buhse	*	*	Ph
<i>Haloxyton recurvum</i> Bunge ex Boiss.	*	*	Ph
<i>Hammada salicornica</i> (Moq.) Iljin	*	*	Ph
<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	*	*	Th
<i>Londesia eriantha</i> Fisch. & C.A. Mey.	*	*	Th
<i>Salicornia europaea</i> L.	*	*	Th
<i>Salsola crassa</i> M. B.	*	*	Th
<i>Salsola cyclophylla</i> Barker	*	*	Th
<i>Salsola imbricata</i> Forssk.	*	*	Ch
<i>Salsola incanescens</i> C.A. Mey.	*	*	Th
<i>Salsola nitraria</i> Pall.	*	*	Th
<i>Salsola tomentosa</i> (Moq.) Spach	*	*	Th
<i>Seidlitzia cinerea</i> (Moq.) Bge. ex Botsch	*	*	Th
<i>Seidlitzia rosmarinus</i> Ehrenb. ex Boiss.	*	*	Ph
<i>Suaeda aegyptiaca</i> (Hasselq.) Zohary	*	*	Ph
<i>Suaeda vermiculata</i> Forssk. ex Gmelin	*	*	He
Convolvulaceae			
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	*	*	Cr
<i>Cressa cretica</i> L.	*	*	He
Cucurbitaceae			
<i>Citrullus colocynthis</i> (L.) Schrad.	*	*	He
Cynomoriaceae			
<i>Cynomorium coccinium</i> L.	*	*	Cr
Cyperaceae			
<i>Cyperus longus</i> L.	*	-	Cr
<i>Cyperus rotundus</i> L.	*	-	Cr
<i>Eleocharis uniglumis</i> Link.	*	-	Cr
<i>Scirpus littoralis</i> Schrad. var. <i>oligostachys</i> Boiss.	*	-	Cr
<i>Scirpus wardianus</i> J. R. Orummond.	*	-	Cr
Ephedraceae			
<i>Ephedra distachya</i> L.	*	*	Ph
<i>Ephedra strobilacea</i> Bge. ex A.Lehm	*	*	Ph
Euphorbiaceae			
<i>Andrachne telephioides</i> L.	*	*	Cr
<i>Chrozophora obliqua</i> (Vahl.) Juss. et Spreng.	*	*	Th
<i>Chrozophora tinctoria</i> (L.) A. Juss	*	*	Th
<i>Euphorbia granulata</i> Forssk.	*	*	Th
<i>Euphorbia turcomanica</i> Boiss.	*	*	Th
Fabaceae			
<i>Alhagi camelorum</i> Fisch.	*	*	Ch
<i>Astragalus pinetorum</i> Boiss. subsp. <i>Declinatus</i> Podl.	*	*	Th
<i>Melilotus indicus</i> (L.) All.	*	*	Th
<i>Onobrychis aucheri</i> Boiss. Subsp. <i>Psammophila</i> (Bornm.) Rech.f.	*	*	Th
Geraniaceae			
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L Her.	*	*	Th
Hydrocharitaceae			
<i>Vallisneria spiralis</i> L.	*	-	Cr
Lamiaceae			
<i>Mentha longifolia</i> (L.) Hudson	*	*	Cr
<i>Salvia macilenta</i> Boiss.	*	*	Cr
Liliaceae			
<i>Gagea gageoides</i> (Zucc.) Vved.	*	*	Cr
Malvaceae			
<i>Malva neglecta</i> Wallr.	*	*	He
Mimosaceae			
<i>Prosopis farcta</i> (Banks & Sol.) Macbr.	*	*	Ch
Najadaceae			
<i>Najas Marina</i> L.	*	-	Cr
Orobanchaceae			
<i>Cistanch tubulosa</i> (Schrenk) R. Wight	*	*	Cr
<i>Orobanch aegyptiaca</i> Pers.	*	*	Cr

Papaveraceae			
<i>Hypercoum pendulum</i> L. Var. pendulum	*	*	Th
<i>Papaver rhoeas</i> L. var. albidum Ghahreman & Mozaffarian.	*	*	Th
<i>Roemeria hybrida</i> (L.) DC.	*	*	Th
Plantaginaceae			
<i>Plantago coronopus</i> L. subsp. coronopus	*	*	He
<i>Plantago lanceolata</i> L.	*	*	He
<i>Plantago ovate</i> Frossk.	*	*	He
Poaceae			
<i>Aeluropus lagopoides</i> (L.) Trin et Thwaies	*	*	He
<i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.	*	*	He
<i>Arundo donax</i> L.	*	-	Cr
<i>Boissiera squarrosa</i> (Banks et Soland.) Nevski	*	-	Th
<i>Bothriochloa ischaemum</i> (L.) Keng	*	*	He
<i>Bromus japonicus</i> Thund. Var. japonicus	*	*	Th
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	*	*	Cr
<i>Desmostachya bipinnata</i> (L.) Stapf.	*	*	He
<i>Imperata cylindrica</i> (L.) P.Beauv.	*	-	Cr
<i>Lolium temulentum</i> L.	*	-	Th
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. et Steud. var. australis	*	-	Cr
<i>Poa sinaica</i> Steud.	*	-	He
<i>Saccharum griffithii</i> Munro et Boiss.	*	*	Cr
<i>Schismus arabicus</i> Nees.	*	*	Th
<i>Setaria glauca</i> (L.) P.Beauv.	*	*	Th
<i>Stipagrostis plumosa</i> (L.) Munro ex T. Anders. Var. plumosa	*	*	He
Polygonaceae			
<i>Calligonum bungee</i> Boiss.	*	*	Ph
<i>Calligonum polygonoides</i> L.	*	*	Ph
<i>Polygonum aviculare</i> L.	*	*	Th
<i>Polygonum patulum</i> M. B.	*	*	Ph
<i>Pteropyrum aucheri</i> Jaub.et Spach	*	*	Ph
<i>Rumex vesicarius</i> L.	*	*	Th
Portulacaceae			
<i>Portulaca oleracea</i> L.	*	*	Th
Potamogetonaceae			
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	*	-	Cr
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	*	-	Cr
Ranunculaceae			
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	*	-	Th
<i>Consolida regalis</i> Gray.	*	*	Th
Resedaceae			
<i>Ochradenus aucheri</i> Boiss.	*	*	Ph
<i>Oligomeris linifolia</i> (Vahl) Macbr.	*	*	Th
<i>Reseda aucheri</i> Boiss. subsp. Rechingeri (Abdallah et De Wit) Rech. f.	*	*	Th
Rhamnaceae			
<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.	*	*	Ph
Rutaceae			
<i>Haplophyllum robustum</i> Bunge	*	*	Cr
<i>Haplophyllum tuberculatum</i> (Forssk.) Juss.	*	*	Cr
Salicaceae			
<i>Populus euphratica</i> Olivier	*	*	Ph
<i>Salix acmophylla</i> Boiss	*	*	Ph
Sapindaceae			
<i>Stocksia brahuica</i> Benth.	*	*	Th
Scrophulariaceae			
<i>Schweinfurthia papilionaceae</i> Burm.	*	*	Cr
<i>Scrophularia deserti</i> Delile.	*	*	Cr
Solanaceae			
<i>Datura innoxia</i> Mill.	*	*	Th
<i>Lycium ruthenicum</i> Murray	*	*	Ph
<i>Solanum nigrum</i> L.	*	*	Th
Tamaricaceae			
<i>Reaumuria cistoides</i> Adam	*	*	Ch

<i>Tamarix aphylla</i> (L.) Karsten	*	*	Ph
<i>Tamarix dioica</i> Roth	*	*	Ph
<i>Tamarix indica</i> Willd.	*	*	Ph
<i>Tamarix kotschy</i> Bunge	*	*	Ph
<i>Tamarix passerinoides</i> Delil ex Desv.	*	*	Ph
<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	*	*	Ph
Typhaceae	*		
<i>Typha latifolia</i> L.	*	-	Cr
Zannichelliaceae			
<i>Zannichelia palustris</i> L.	*	-	Cr
Zygophyllaceae			
<i>Fagonia bruguieri</i> Dc. Var. bruguieri	*	*	He
<i>Fagonia ovalifolia</i>	*	*	He
<i>Peganum harmala</i> L.	*	*	He
<i>Tribulus longipetalus</i> Viv. Subsp. Macropterus (Boiss.) Maire. Ex Ozenda et Qzenda et Quezel	*	*	Th
<i>Tribulus terrestris</i> L.	*	*	Th
<i>Zygophyllum atriplicoides</i> Fisch. & C.A. Mey.	*	*	Ph
<i>Zygophyllum eurypterum</i> Boiss. et Buhse subsp. Eurypterum	*	*	Ph

علامت در جدول عبارتند از: Th: تروفیت، Ch: کاموفیت، He: همی کریپتوفیت، Cr کریپتوفیت، Ph فانروفیت

طبق شکل ۱۰، بزرگ‌ترین تیره‌های گیاهی در منطقه مورد مطالعه به تیره اسفناجیان^۱ با ۱۵ جنس و ۳۴ گونه، سپس تیره آفتابگردان^۲ با ۲۸ جنس و ۲۸ گونه، تیره گندمیان^۳ با ۱۵ جنس و ۱۶ گونه و تیره شب‌بو^۴ با ۱۴ جنس و ۱۴ گونه تعلق دارند. در سال ۲۰۲۱ نیز همان تیره‌های گیاهی اسفناجیان با ۱۵ جنس و ۳۴ گونه بدون تغییر، سپس آفتابگردان ۲۳ جنس و ۲۳ گونه، گندمیان با ۹ جنس و ۱۰ گونه و شب‌بو با ۱۰ جنس و ۱۰ گونه که دارای روند کاهشی است.

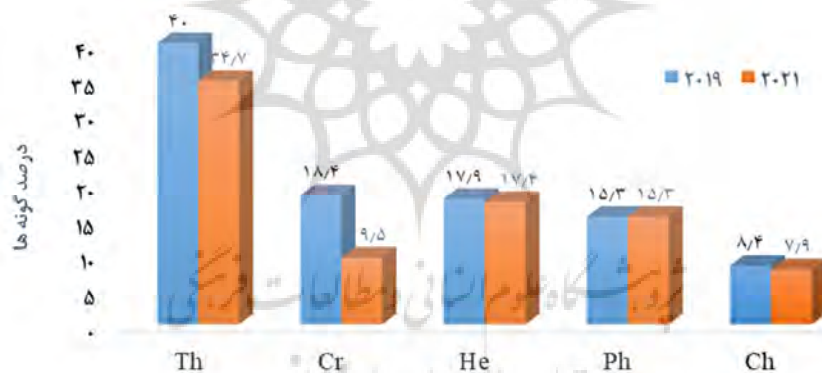


شکل ۱۰: نمودار تعداد گونه‌های گیاهی در هر تیره، در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۱۹ در منطقه مورد مطالعه

- 1 - Chenopodiaceae
- 2 - Asteraceae
- 3 - Poaceae
- 4 - Brassicaceae

در بررسی شکل‌های زیستی، براساس سیستم طبقه‌بندی گیاهان توسط ران‌کیائر در منطقه تحت‌مطالعه نشان داد بیشترین شکل زیستی مربوط به تروفیت‌ها با تعداد ۷۶ گونه (۴۰ درصد) در سال ۲۰۱۹ می‌باشد. در سال ۲۰۲۱ تعداد گونه‌های تروفیت به تعداد ۶۶ گونه (۳۴/۷ درصد) کاهش یافته است. سایر شکل‌های زیستی کریپتوفیت‌ها با تعداد ۳۵ گونه (۱۸/۴ درصد) در سال ۲۰۱۹ و در سال ۲۰۲۱ کریپتوفیت‌ها به تعداد ۱۸ گونه (۹/۵ درصد) کاهش را نشان می‌دهد. همی کریپتوفیت‌ها با تعداد ۳۴ گونه (۱۷/۹ درصد) در سال ۲۰۱۹ و در سال ۲۰۲۱ همی کریپتوفیت‌ها به تعداد ۳۳ گونه (۱۷/۴ درصد) کاهش یافته است. فانروفیت‌ها با تعداد ۲۹ گونه (۱۵/۳ درصد) در سال ۲۰۱۹ و فانروفیت‌ها در ۲۰۲۱ با تعداد ۲۹ گونه (۱۵/۳ درصد) بدون تغییر می‌باشد. کامفیت‌ها با تعداد ۱۶ گونه (۸/۴ درصد) در سال ۲۰۱۹ و فانروفیت‌ها در سال ۲۰۲۱ با تعداد ۱۵ گونه (۷/۹ درصد) کاهش را نشان می‌دهد (شکل ۱۱).

بیشترین عناصر گیاهی تشکیل دهنده فلور منطقه مورد مطالعه، اختصاص به شکل‌های حیاتی تروفیت با فراوانی ۴۰ درصد دارد. فراوانی گیاهان تروفیت در یک منطقه نشان‌دهنده اقلیم بیابانی است (بتولی، ۱۳۹۷). وجود گونه‌های تروفیت بیانگر اتمام دوره رویشی از بذر تا بذر این گیاهان در مدتی کوتاه و در زمان وجود بارندگی و رطوبت بیشتر است. در سایر ماه‌های سال حضور این گونه‌ها اندک است و گاهی بقایای آن‌ها دیده می‌شوند (نقی‌پور، ۱۳۹۳).



شکل ۱۱: اشکال زیستی گیاهان منطقه مورد مطالعه (علائم عبارتند از: Th: تروفیت، Ch: کاموفیت، He: همی کریپتوفیت، Cr: کریپتوفیت، Ph فانروفیت)

شکل‌های ۱۲ و ۱۳ وضعیت سال‌های نرمال آبی ۲۰۱۹ و خشکسالی ۲۰۲۱ را نشان می‌دهد. به طوری که در مواقع پرآبی بستر دریاچه هامون گونه‌های هیدروفیت مانند نی^۱، لویی^۲ و جگن^۳ رشد و نمو می‌یابند. اما در سال ۲۰۲۱ با قطع جریان رودخانه هیرمند و بروز خشکسالی هیدرولوژیکی، گونه‌های یادشده از فلور منطقه مورد مطالعه حذف گردید.

1 - Phragmites australis
2 - Typha latifolia
3 - Cyperus longus



شکل ۱۳: شرایط پوشش گیاهی دریاچه هامون در سال ۲۰۲۱



شکل ۱۲: شرایط پوشش گیاهی دریاچه هامون در سال ۲۰۱۹

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین شاخص هیدرولوژیکی و پوشش گیاهی براساس شاخص‌های شدت خشکسالی جریان رودخانه و تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی نشان داد که منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ از لحاظ هیدرولوژیکی در وضعیت نرمال آبی و در سال ۲۰۲۱ در شرایط خشکسالی قرار می‌گیرد. بین شاخص‌های شدت خشکسالی و تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ دارای همبستگی می‌باشد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ با افزایش شاخص شدت خشکسالی، شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی افزایش یافته است؛ ولی در سال ۲۰۲۱ با کاهش شاخص شدت خشکسالی و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی نیز کاهش را نشان می‌دهد. در نتیجه خشکسالی هیدرولوژیکی بر پوشش گیاهی و در نهایت فلور بخش شرقی منطقه سیستم تأثیر مطلوبی را نشان نمی‌دهد. به طوری که در اثر قطع شدن جریان آب رودخانه هیرمند و به تبع آن خشک شدن دریاچه هامون، از بین رفتن نیزارها و عدم دسترسی به منابع آب جایگزین و نداشتن منابع آب زیرزمینی و یا عدم وجود منابع آب سطحی جایگزین که از مهم‌ترین عوامل تخریب پوشش گیاهی محسوب می‌گردد.

در این راستا در اثر خشکسالی هم کمیت و هم کیفیت گیاهان کاهش می‌یابد و امکان دارد که عوارض کوتاه شدن طول دوره رویش، زیاد شدن رقابت گیاهان برای گرفتن آب بیشتر از خاک، کاهش کیفیت آنها هم بر اثر کاهش ارزش غذایی آنها، کم شدن قدرت زادآوری که امکان دارد با طولانی شدن دوره خشکی (خشکسالی)، نسل آنها به کلی از بین برود، کاهش حجم و وزن گیاه، نابودی گونه‌های مقاوم و مفید بومی و جایگزین شدن گونه‌های مزاحم و مضر (خاردار و غیره)، از بین رفتن گیاهان خوشخوراک و جایگزین شدن گیاهان بدخوراک یا غیرخوراکی برای دام‌ها، از بین رفتن گیاهان تثبیت‌کننده خاک که در طول سالیان دراز خاک را از فرسایش آبی و بادی حفظ کرده بودند و در مواردی جایگزین شدن گیاهانی که قدرت تثبیت و حفظ خاک را ندارند، مریض شدن گیاهان و بروز آفات گیاهی بر اثر خشکسالی که ممکن است خود از یک طرف عوارضی چون جلوگیری از زادآوری و تولید بذر و تخم از طرف دیگر با حمله شدید آفات، مرگ گیاه و محو شدن آن از سطح مراتع، ظاهر گردند. با خشک شدن و کم شدن منابع

آب، دام‌های مراتع، فشار دام‌ها به مراتع آبدار یا اطراف منابع آب بیشتر شده و موجبات نابودی آنها فراهم می‌شود. پیش‌روی بیابان و در شرایطی که خاک تحت تأثیر نمک باشد، پیشروی کویر اتفاق می‌افتد (کردوانی، ۱۳۸۰).

نتایج نشان داد از آثار برجسته خشکسالی هیدرولوژیکی در بخش شرقی منطقه سیستان، کاهش در تراکم و میزان پوشش گیاهی می‌باشد. نتایج دیگر محققان از جمله حسینی و همکاران (۱۳۹۲)، نوروزی و محمدی (۱۳۹۵)، گیلوری و همکاران (۱۴۰۱)، باجگین و همکاران^۱ (۲۰۱۵)، اکسیو و همکاران^۲ (۲۰۱۶)، بادنر و روبلز (۲۰۱۷)، ژانگ و ژانگ (۲۰۱۹) و توپینامبا سیموئز و همکاران^۳ (۲۰۲۲) نیز یافته‌های حاصل از این پژوهش را تأیید می‌نمایند. همچنین در بررسی و شناسایی رستنی‌های بخش شرقی منطقه سیستان از لحاظ اکولوژیکی بیانگر عدم تنوع و غنای گونه‌ای مطلوب است. دلیل آن پست و هموار بودن اراضی، شرایط سخت آب‌وهوایی و داشتن اقلیم بیابانی، بارندگی کم، درجه حرارت و تبخیر زیاد و وزش بادهای موسمی در فصل خشک منجر به عدم زادآوری و کاهش پتانسل پوشش-گیاهی در منطقه مورد مطالعه گردیده است. در این راستا اکوسیستم بخش شرقی دشت سیستان با وجود خشکسالی-های هیدرولوژیکی بسیار حساس و شکننده می‌باشد. بررسی‌های ایران‌بخش و همکاران (۱۳۸۷) در منطقه گرمسار استان سمنان به علت قرار گرفتن در ناحیه خشک و بیابانی ایران مرکزی از تنوع گونه‌ای کم برخوردار قرار دارد و کربی و همکاران^۴ (۲۰۲۲) موید نتایج حاصل از این پژوهش است.

نتیجه‌گیری

این مطالعه، الگوهای زمانی-مکانی شاخص‌های تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی و خشکسالی جریان رودخانه در دو دوره ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ را نشان می‌دهد. جهت بررسی دقیق‌تر، ارتباط بین دو شاخص یادشده لیست فلوریستیک از گونه‌های گیاهی موجود در دوره زمانی مورد نظر جمع‌آوری گردید. سال ۲۰۱۹ سال نرمال آبی و سال ۲۰۲۱ سال خشکسالی هیدرولوژیکی به دست آمد. در سال ۲۰۱۹ با توجه به مهیا بودن شرایط رطوبت خاک، پوشش گیاهی دارای رشد ایده‌آل و زادآوری مطلوب می‌باشد. در سال ۲۰۲۱ به علت فقدان آب ناشی از قطع جریان آب رودخانه هیرمند در منطقه مورد مطالعه، تراکم و تنوع پوشش گیاهی کاهش یافته است. در این راستا برخی از گونه‌های مقاوم و سازگار بوته‌ای و درختچه‌ای مانند گز شاهی، تاغ و اشنان به شرایط خشکسالی مقاومت نموده و قادر به ادامه حیات هستند. اما گونه‌های گیاهی واقع در دریاچه هامون که رشد و نمو آن وابسته به آب است از جمله گونه‌های نی، لویی و جگن از لیست فلوریستیک منطقه سیستان حذف گردیده است. از لحاظ اکولوژیکی، حیات گونه‌های گیاهی منطقه سیستان وابسته به آب است؛ به طوری که با جاری شدن آب در بخش شرقی منطقه سیستان پوشش گیاهی قادر به بازسازی و احیا می‌باشد. از اطلاعات به دست آمده از این پژوهش برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها با هدف مدیریت آب و ایجاد شرایط بهینه هیدرولوژیکی، روند تخریب پوشش گیاهی کاهش داده شود. همچنین با اجرای پروژه‌های احیای بیولوژیک جهت توسعه و افزایش پوشش گیاهی گام‌های موثری در منطقه سیستان برداشته شود.

1 - Bajgain et al

2 - Xu et al

3 - Tupinamba-Simoes et al

4 - Kirby

منابع

- ایرانبخش، علیرضا؛ حمدی، سیدمحمد مهدی؛ اسدی، مصطفی. (۱۳۸۷). معرفی فلور، شکل‌های زیستی و کوروتیپ‌های گیاهان منطقه گرمسار در استان سمنان. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۹(۲)، ۱۷۹-۱۹۹.
- بتولی، ح. (۱۳۹۷). معرفی فلور، شکل‌های زیستی و پراکنش جغرافیایی گیاهان مناطق بیابانی آران و بیدگل (استان اصفهان)، مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳۱(۲)، ۲۵۸-۲۷۸.
- حسینی، سید محمود؛ شفیعی، حامد؛ اختصاصی، محمدرضا؛ محتشم‌نیا، سعید. (۱۳۹۲). تأثیر خشکسالی‌ها بر تخریب پوشش گیاهی منطقه سیستان. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۰(۲)، ۲۲۷-۲۳۹.
- درویشی بلورانی، علی؛ رشیدیان، آرش؛ جوکارارسنجانی، جمال؛ شایگان، مهرا. (۱۳۹۱). بررسی کاربردهای علوم و فن‌آوری‌های سنجش-ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در نظام سلامت (قسمت اول: مروری بر منابع خارجی). مجله پژوهشی حکیم، ۱۵(۲)، ۸۷-۱۰۰.
- زند، رحمان؛ انتظاری، علیرضا؛ باعقیده، محمد؛ خسرویان، مریم. (۱۴۰۰). ارزیابی خشکسالی و تأثیرات آن بر پوشش گیاهی در مناطق جنوبی ایران. مجله پژوهش‌های دانش زمین، ۴۶(۲)، ۳۶-۴۹. <https://doi.org/10.52547/esrj.12.2.36>
- شایان، سیاوش؛ شریفی‌کیا، محمد؛ ناصری، ناهید. (۱۳۹۶). تحلیل خشکسالی رودخانه مرزی الوند با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور. مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲۷(۳)، ۵۵-۶۹. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1396.7.3.5.9>
- علوی پناه، سیدکاظم. (۱۳۹۱). اصول سنجش‌ازدور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس هوایی. انتشارات دانشگاه تهران، ص ۷۸۴.
- علیزاده، عسگر؛ مهدوی، فاطمه؛ اسکندری، نگهدار. (۱۳۸۷). سیاست‌های مرتعداری در ایران، انتشارات پونه، ص ۱۹۶.
- قهرمان، احمد. (۱۳۶۰). فلور رنگی ایران، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۲۸ جلد.
- قهرمان، احمد. (۱۳۸۳). کروموفیت‌های ایران (سیستماتیک گیاهی)، مرکز نشر دانشگاهی، ص ۷۳۶.
- کاظمی‌نیا، عبدالرضا. (۱۳۹۶). کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در بررسی پوشش گیاهی. نشریه علمی - ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، ۱۹(۱)، ۷۵-۸۵. <http://gej.issge.ir/article-1-260-fa.html>
- کردوانی، پرویز. (۱۳۸۰). خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران. انتشارات دانشگاه تهران، ص ۳۹۲.
- کریمی، مهشید؛ شاهدی، کاکا؛ خسروی، خهبات. (۱۳۹۵). بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی در حوضه آبخیز قره‌سو. مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۱)، ۱۵۹-۱۷۰. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2016.54241>
- گیلوری، احمد؛ زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ آذرینوند، حسین؛ زارع، سلمان. (۱۴۰۱). تأثیر خشکسالی هواشناسی بر روند تغییرات پوشش گیاهی در اقلیم‌های خشک و خشک نیمه‌مرطوب (حوزه آبخیز حبله‌رود). مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۵(۱)، ۱۱۷-۱۰۳. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2020.287930.1416>
- مهندسین مشاور جامع ایران. (۱۳۸۳). مطالعات جامع بیابان‌زدانی و مقابله با فرسایش بادی دشت سیستان.
- نقی‌پور برج، علی‌اصغر؛ نوروزی، مصطفی؛ بشری، حسین. (۱۳۹۳). بررسی فلور، شکل زیستی و پراکنش جغرافیایی گیاهان منطقه حفاظت‌شده میمند، کهکیلویه و بویر احمد، مجله تاکسونومی و بیوسیستماتیک، ۶(۱۹)، ۸۴-۶۷. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088906.1393.6.19.7.8>
- نوروزی، اصغر؛ محمدی، زهرا. (۱۳۹۵). بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی و آثار آن بر کشاورزی منطقه لنجان. فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، ۲۱(۲)، ۹۷-۱۱۶.
- Alavi Nia, S., Sadati Nejad, S., Abdollahi, Kh. (2012). Presentation of the model to simulate the hydrological drought in the Karoon basin. Journal of Environmental Erosion Researches, 1(1), pp 1-11.
- Attafi, R., Darvishi Boloorani, A., Al-Quraishi, A.F., Amiraslani, F. (2021). Comparative analysis of NDVI and CHIRPS-based SPI to assess drought impacts on crop yield in Basrah Governorate, Iraq. Caspian Journal of Environmental Sciences, 1(3), 547-557. <https://doi.org/10.22124/cjes.2021.4941>
- Azarakhshi, M., Mahdavi, M., Arzani, H., Ahmadi, H. (2011). Assessment of the Palmer drought severity index in arid and semi-arid rangeland:(Case study: Qom province, Iran). Journal of Desert, 16(2), pp 77-86. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2012.24739>
- Bajgain, R., Xiao, X., Wagle, P., Basara, J., Zhou, Y. (2015). Sensitivity analysis of vegetation indices to drought over two tallgrass prairie sites. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 108, pp 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.07.004>

- Bodner, G.S., Robles, M.D. (2017). Enduring a decade of drought: Patterns and drivers of vegetation change in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments*, 136, pp 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.09.002>
- Dabrowska-Zielinska, K., Kogan, F., Ciolkosz, A., Gruszynska, M., Kowalik, W. (2010). Modeling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. *International Journal of Remote Sensing*, 23(6), pp 1109-1123. <https://doi.org/10.1080/01431160110070744>
- Delf Hydraulics. (2007). Integrated water resources management for the Sistan closed inland delta. Water research institute, Netherlands.
- Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Upper Saddle River, 2nd Edition, 307 p.
- Kirby, K. J., Bazely, D. R., Goldberg, E. A., Hall, J. E, Lsted, R., Perry, S. C., Thomas, R. C. (2022). Five decades of ground flora changes in a temperate forest: The good, the bad, and the ambiguous in biodiversity terms. *Journal of Forest Ecology and Management*, 505, pp 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119896>
- Nalbantis, I., Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Journal of Water Resources Management*, 23, pp 881- 897. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9305-1>
- Raunkiaer, C. (1934). *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford University Press, Clarendon.
- Rechinger, K.H. (1963-2015). *Flora Iranica*. Akademische Druck University Verlagsanstalt, Graz, vols: 1-181.
- Stephenson, N. L. (1990). Climatic control of vegetation distribution: the role of the water balance. *Journal of The American Naturalist*, 135 (5), pp 649-670. <https://www.jstor.org/stable/2462028>
- Tupinamba-simoes, F., Bravo, F., Guerra-Hernandez, J. (2022). Assessment of drought effects on survival and growth dynamics in eucalypt commercial forestry using remote sensing photogrammetry. A showcase in Mato Grosso, Brazil. *Journal of Forest Ecology and Management*, 505, pp 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119930>
- Turner, M. G., Baker, W. L., Peterson, C. J., Peet, R. K. (1998). Factors influencing succession: lessons from large. *Journal of infrequent natural disturbances. Ecosystems*, 1 (6), pp 511-523. <https://www.jstor.org/stable/3658752>
- Xu, H., Wang, X., Zhang, X. (2016). Decreased vegetation growth in response to summer drought in Central Asia from 2000 to 2012. *Journal of Applied Earth Observation and Geoformation*, 52, pp 390-402. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.010>
- Zhang, X., & Zhang, B. (2019). The responses of natural vegetation dynamics to drought during the growing season across China. *Journal of Hydrology*, 574, pp 706-714. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.084>.

References

References (in Persian)

- Alavipanah, S. K. (2012). Principles of modern remote sensing and interpretation of satellite images and aerial photographs. University of Tehran Press, p 784. [In Persian]
- Alizadeh, A., Mahdavi, F., Eskandari, N. (2008). Range management policies in Iran. Pooneh publication, p 196. [In Persian]
- Comprehensive consulting engineers of Iran. (2004). Comprehensive studies on desertification and dealing with Wind Erosion in the Sistan Plain. [In Persian]
- Batooli, H. (2018). Introduction of the flora, life form, and chorology of the Aran & Bidghol deserts area in Isfahan province. *Journal of Plant Research*, 31(2), pp 258-278. [In Persian]
- Darvishi Bolorani, A., Rashidian, A., Jokar Arsanjani, J., Shaygan, M. (2012). Developed approaches of remote sensing and GIS sciences in health systems (Part I: A Literature Review). *Journal of Hakim Research*, 15(2), pp 87-100. [In Persian]
- Gharehman, A. (1981). Color flora of Iran. Publications of the Research Institute of Forests and Rangelands, 28. [In Persian]
- Gharehman, A. (2004). Iranian Chromophytes (Plant Systematics). Academic Publishing Center, p 736. [In Persian]
- Gillvare, A., Zahtabian, Gh. R., Khosravi, H., Azarnivand, H., Zareh, S. (2022). Impact of meteorological drought on vegetation change trends in arid and semi-humid climates (HablehRood Watershed). *Journal of Range and Watershed Management*, 75(1), pp 103-117. . <https://doi.org/10.22059/jrwm.2020.287930.1416> [In Persian]
- Hosseini, S. M., Shafei, H., Ekhtesassi, M. R., Mohtasham Nia, S. (2013). Drought effects on vegetation degradation of Sistan. *Journal of Range and Desert Research*, 20(2), pp 227-239. [In Persian]
- Iranbakhsh A. R., Hamdi, S. M., Assadi, M. (2008). Flora, life forms, and chorotypes of plants of Garmsar region in Semnan province. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, 79(2), pp 179-199. [In Persian]
- Kardavani, P. The drought and contrasting styles with that in Iran. Tehran University Press, p 392. [In Persian]
- Karimi, M., Shahdi, K., Kosravi, Kh. (2016). Investigation of meteorological and hydrological drought using drought indices in the Qarehsou river basin. *Journal of Earth and Space Physics*, 42(1), pp 159-170. . <https://doi.org/10.22059/jesphys.2016.54241> [In Persian]
- Kazemini, A. R. (2017). The application of remote sensing and GIS in vegetation investigation. *Journal of Scientific and Promotional of Mapping and Spatial Information Engineering*, 9(1), pp 75-85. . <http://gej.issge.ir/article-1-260-fa.html> [In Persian]
- Naghypour Borj, A. A., Nowroozi, M., Bashari, H. (2014). Investigation of the flora, life forms, and chorotypes of the plants in the Meymand Protected Area Kohkilouyeh va Boyer Ahmad province. *Journal of Taxonomy and Biosystematics*, 6(19), pp 67-82. . <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088906.1393.6.19.7.8> [In Persian]
- Noroozi, A., Mohammadi, Z. (2016). Survey of hydrological drought and its effects on lenjan agricultural Region. *Spatial Planning Scientific Research Quarterly (Geography)*, 6(2), 97-116. [In Persian]
- Shayan, S., Sharifikia, M., Naseri, N. (2017). Drought analysis of Alvand boundary river using remote sensing. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 27(3), pp 55-69. . <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1396.7.3.5.9> [In Persian]
- Zandi, R., Entehzari, A.R., Bahaghdeh, M., Khosravian, M. (2021). Evaluation of drought and its effects on vegetation in the southern regions of Iran. *Journal of Earth Science Research*, 46(2), pp 36-49. . <https://doi.org/10.52547/esrj.12.2.36> [In Persian]

References (in English)

- Alavi Nia, S., Sadati Nejad, S., Abdollahi, Kh. (2012). Presentation of the model to simulate the hydrological drought in the Karoon basin. *Journal of Environmental Erosion Researches*, 1(1), pp 1-11.
- Attafi, R., Darvishi Bolorani, A., Al-Quraishi, A.F., Amiraslani, F. (2021). Comparative analysis of NDVI and CHIRPS-based SPI to assess drought impacts on crop yield in Basrah Governorate, Iraq. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 1(3), 547-557. <https://doi.org/10.22124/cjes.2021.4941>
- Azarakhshi, M., Mahdavi, M., Arzani, H., Ahmadi, H. (2011). Assessment of the Palmer drought severity index in arid and semi-arid rangeland:(Case study: Qom province, Iran). *Journal of Desert*, 16(2), pp 77-86. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2012.24739>
- Bajgain, R., Xiao, X., Wagle, P., Basara, J., Zhou, Y. (2015). Sensitivity analysis of vegetation indices to drought over two tallgrass prairie sites. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, pp 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.07.004>
- Bodner, G.S., Robles, M.D. (2017). Enduring a decade of drought: Patterns and drivers of vegetation change in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments*, 136, pp 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.09.002>
- Dabrowska-Zielinska, K., Kogan, F., Ciolkosz, A., Gruszynska, M., Kowalik, W. (2010). Modeling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. *International Journal of Remote Sensing*, 23(6), pp 1109-1123. <https://doi.org/10.1080/01431160110070744>
- Delf Hydraulics. (2007). Integrated water resources management for the Sistan closed inland delta. Water research institute, Netherlands.

- Jensen, J. R. (1996). Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. Upper Saddle River, 2nd Edition, 307 p.
- Kirby, K. J., Bazely, D. R., Goldberg, E. A., Hall, J. E., Lsted, R., Perry, S. C., Thomas, R. C. (2022). Five decades of ground flora changes in a temperate forest: The good, the bad, and the ambiguous in biodiversity terms. *Journal of Forest Ecology and Management*, 505, pp 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119896>
- Nalbantis, I., Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Journal of Water Resources Management*, 23, pp 881- 897. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9305-1>
- Raunkiaer, C. (1934). The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford University Press, Clarendon.
- Rechinger, K.H. (1963-2015). *Flora Iranica*. Akademische Druck University Verlagsanstalt, Graz, vols: 1-181.
- Stephenson, N. L. (1990). Climatic control of vegetation distribution: the role of the water balance. *Journal of The American Naturalist*, 135 (5), pp 649-670. <https://www.jstor.org/stable/2462028>
- Tupinamba-simoes, F., Bravo, F., Guerra-Hernandez, J. (2022). Assessment of drought effects on survival and growth dynamics in eucalypt commercial forestry using remote sensing photogrammetry. A showcase in Mato Grosso, Brazil. *Journal of Forest Ecology and Management*, 505, pp 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119930>
- Turner, M. G., Baker, W. L., Peterson, C. J., Peet, R. K. (1998). Factors influencing succession: lessons from large. *Journal of infrequent natural disturbances. Ecosystems*, 1 (6), pp 511-523. <https://www.jstor.org/stable/3658752>
- Xu, H., Wang, X., Zhang, X. (2016). Decreased vegetation growth in response to summer drought in Central Asia from 2000 to 2012. *Journal of Applied Earth Observation and Geoformation*, 52, pp 390-402. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.010>
- Zhang, X., & Zhang, B. (2019). The responses of natural vegetation dynamics to drought during the growing season across China. *Journal of Hydrology*, 574, pp 706-714. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.084>

