

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۳ (۱۵۲-۱۳۵)

تحلیل اقلیمی و ارزیابی ماهواره ای وضعیت خشکسالی استان دهوک اقلیم کردستان عراق

سرکفت جبار حاجی^۱

سهیلا جوانمرد^{۲*}

sjavanmard2004@yahoo.com

زهرآ عزیزی^۳

مجید حبیبی نوخندان^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۷

چکیده

زمینه و هدف: خشکسالی یکی از بلایای طبیعی رایج و مکرر است که به طور قابل توجهی بر بخش کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی مناطق خشک و نیمه خشک تأثیر می گذارد. بنابراین، درک ویژگی های تکامل و گسترش انواع مختلف خشکسالی، اطلاعات مفیدی در مورد راهکارهای سازگاری و کاهش خسارات ناشی از خشکسالی بر تولید محصولات کشاورزی، پوشش گیاهی و غیره ارائه می دهد. هدف از این تحقیق ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI در استان دهوک، منطقه کردستان عراق می باشد.

روش برر سی: در این تحقیق بر اساس داده های هوا شناسی، تصاویر ماهواره ای و وضعیت اقلیمی استان و شهر دهوک به منظور پایش خشکسالی، مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. ابتدا مولفه های اقلیمی از جمله میانگین ماهانه و سالانه بارندگی و دمای ایستگاههای هواشناسی استان دهوک (دهوک، آکری و آمیدی) طی ۶ سال (۲۰۲۰ - ۲۰۱۵) استخراج شد. سپس با استفاده از پارامترهای هواشناسی طبقه بندی اقلیمی بلر و دومارتن اقلیم سه ایستگاه هوا شناسی استان دهوک تعیین گردید. همچنین به منظور ارزیابی خشکسالی از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI طی سالهای (۲۰۲۰ - ۲۰۱۵) استفاده شده است.

۱- دانشجوی گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- دانشیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

یافته ها: بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی بلر هر سه شهر دھوک، آکری و شهر آمیدی جزو مناطق نیمه مرطوب به شمار می‌آیند. همچنین بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دوماترین شهر دھوک جزو مناطق نیمه خشک و دو شهر آکری و آمیدی جزو مناطق نیمه مرطوب طبقه‌بندی شده‌اند. با توجه به شاخص SPI مشخص شد که خشک‌ترین ماه در ژوئن سال ۲۰۱۷ با $SPI = -1/67$ (بسیار خشک) و مرطوب‌ترین ماه در مارس سال ۲۰۱۹ با $SPI = 3/48$ (شدیداً مرطوب) اتفاق افتاده است. سپس با استفاده از شاخص NDVI درصد پوشش گیاهی استان دھوک نیز طی ۶ سال (۲۰۲۰ - ۲۰۱۵) استخراج گردید. شاخص‌های درصد پوشش گیاهی خوب و متوسط از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ روند کاهشی داشته‌اند، به طوری که در سال ۲۰۱۷ نسبت به سالهای دیگر کمترین (خشک‌ترین) شده است. شاخص درصد پوشش گیاهی خوب طی دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ با سیر صعودی مواجه شده و تا حد مرطوب و بسیار مرطوب پیش رفته است. درصد پوشش گیاهی ضعیف از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ روند افزایشی و در سالهای ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ روند کاهشی داشته است به طوری که با نتایج شاخص SPI در توافق و هماهنگی بسیار خوبی بوده است.

بحث و نتیجه گیری: مقادیر شاخص SPI نشان می‌دهد که سال ۲۰۱۷ خشکسالی در استان دھوک رخ داده است. به طوری که از ۲۰۱۵ روند خشکسالی آغاز شده، در سال ۲۰۱۶ تداوم یافته و در سال ۲۰۱۷ به اوج خود رسیده است. این مقادیر و روند منطبق بر درصد پوشش گیاهی در شهر دھوک بوده است. به عبارتی، مقادیر شاخص خشکسالی SPI با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی دھوک، آکری و آمیدی منطبق با شاخص پوشش گیاهی NDVI مستخرج از داده‌های ماهواره‌ای لندست می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص SPI، شاخص پوشش گیاهی NDVI، اقلیم کردستان، سنجنده MODIS.

Climatic analysis and satellite assessment of the drought situation in Dahuk Province, Kurdistan Region of Iraq

Jabar Haji Sarkaft¹

Sohaila Javanmard^{2 *}

sjavanmard2004@yahoo.com

Zahra Azizi³

Majid Habibi Nokhandan²

Admission Date: June 12, 2024

Date Received: November 28, 2023

Abstract

Background and Objective: Investigating regional climatic and natural characteristics is one of the most important issues in environmental research. Studying natural and climatic features and knowing them is necessary for planning.

Material and Methodology: First, climatic components, including monthly and annual average rainfall and temperature of weather stations of Dahuk province (Dahuk, Akri and Amidi) were extracted during 6 years (2015-2020). Then, three meteorological stations of Dahuk province were determined by using meteorological parameters of Blair and Dumarten climate classification. Also, in order to evaluate the drought, the standardized rainfall index (SPI) and the normalized NDVI vegetation difference index have been used during the years in question.

Findings: According to Blair's climate classification, all three cities of Dahuk, Akri and Amidi are considered semi-humid areas. Also, based on Dumarten's climate classification, Dahuk city is classified as semi-arid and Akri and Amidi cities are classified as semi-humid regions. According to the SPI index, it was found that the driest month happened in June 2017 with SPI -1.67 (very dry) and the wettest month in March 2019 with SPI 3.48 (extremely wet). Using the NDVI index, the vegetation percentage of Dahuk province was also extracted during 6 years (2015-2020). After this year of drought, the two years of 2018 and 2019, the index faced an upward trend and reached the wet and very wet level. NDVI vegetation percentage of Dahuk station was investigated during 6 years. The average vegetation cover has been higher than the other grades in all years. Since 2017, the average vegetation cover has decreased compared to other years. Weak vegetation has increased from 2015 to 2017. Since 2017, this value has decreased until 2020.

Discussion and Conclusion: Discussion and conclusion: SPI index values show that in 2017 drought occurred in Dahuk province. So that the drought started in 2015, continued in 2016 and reached its peak

1- Master student, Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Natural Resources and Environment, Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran.

2- Associated professor, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences, Tehran, Iran.
*(Corresponding Author)

3- Assistant professor, Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Natural Resources and Environment, Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran.

in 2017. These values and trends were consistent with the percentage of vegetation in Dahuk city. The data related to Dahuk, Akri and Amidi meteorological stations on the table and graphs are consistent with the satellite data provided by the Landsat satellite

Keywords: drought, SPI index, NDVI vegetation index, Kurdistan climate, MODIS sensor.

مقدمه

خشکسالی یکی از بلایای طبیعی رایج و مکرر است که به طور قابل توجهی بر بخش کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی کشور ما تأثیر می گذارد. مطالعات منتشر شده اخیر نشان داده است که خشکسالی باعث کاهش قابل توجهی در بهره وری اکوسیستم جهانی شده است (۱). خشکسالی در دوره های زمانی طولانی تری ایجاد و تشدید می شود. شرایطی به عنوان شرایط خشکسالی نامیده می شود که منابع آب به حدی کاهش می یابد که دیگر نتواند تقاضای منطقه را تأمین کند. از آنجایی که آب نقش مهمی در زندگی روزمره انسان دارد، کمبود آن بر جنبه های مختلف زندگی انسان تأثیر بسزایی دارد (۲).

به طور کلی خشکسالی ها به چهار دسته مختلف تقسیم می شوند: خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، آبشناسی و خشکسالی اجتماعی-اقتصادی. خشکسالی هواشناسی به دلیل کاهش بارندگی در یک منطقه رخ می دهد و خشکسالی کشاورزی در یک زمان بحرانی در طول فصل رشد به دلیل کمبود رطوبت خاک رخ می دهد، در حالی که خشکسالی آبشناسی در نتیجه کمبود جریان آب و کاهش آب زیرزمینی رخ می دهد. خشکسالی اجتماعی و اقتصادی نیز اثرات منفی شرایط فیزیکی ذکر شده بر جنبه های زندگی جمعیت انسانی مانند افزایش قیمت کالاها و جابجایی جمعیت می باشد (۳).

مطالعات مرتبط با خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره ای به طور کلی منجر به توسعه شاخص های خشکسالی شده است که پس از محاسبه و پایش شاخص های گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) و شاخص رطوبت تفاوت نرمال شده (NDMI) ایجاد می شوند. NDVI و NDMI اغلب به عنوان شاخص های مرتبط با خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره ای Landsat که از سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS)،

TERRA/AQUA یا Sentinel مدیریت می شود، توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی (NASA) استفاده می شوند. Saravanan & Prakasam (2022) (۴) در مطالعه ای با عنوان ارزیابی خشکسالی کشاورزی با استفاده از GIS بیان کردند که خشکسالی کشاورزی کمبود آب از منابع هواشناسی یا آبشناسی است که به نوبه خود باعث کاهش آب آبیاری برای تولید محصول می شود. در این دوره کاهش رطوبت خاک و در نتیجه خسارت محصول رخ می دهد. ارزیابی خشکسالی کشاورزی و همچنین مدیریت را می توان با کمک روشهای زمین فضایی با دقت بیشتری انجام داد. این روش ها به پایش روند وقوع خشکسالی یا دلایل تغییرات زمانی آن کمک می کند. Ji (2003) Peters & (۵) نیز همبستگی بین NDVI و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) را برای زمین های کشاورزی و علفزار در منطقه شمال مرکزی ایالات متحده تجزیه و تحلیل کردند و نشان دادند که بالاترین همبستگی بین NDVI و SPI3 وجود دارد. Zhao et al. (2022) (۶) نیز شاخص شدت خشکسالی طیف رادیومتر تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) را برای پایش خشکسالی در سراسر جهان توسعه و ارزیابی کردند. مطالعات بر روی تخمین خشکسالی در درجه اول از داده های هواشناسی اندازه گیری شده با استفاده از ایستگاه های هواشناسی می باشد. Jianzhu et al. (2015) (۷) امکان تغییر در گستره مکانی، مدت و تعداد وقوع چهار شاخص خشکسالی (SPI، شاخص رواناب استاندارد (SRI)، شاخص استاندارد تبخیر و ترق بارش (SPEI) و شاخص خشکسالی عرضه تقاضا (SDDI) را ارزیابی کردند. با این حال، داده های ماهواره ای به شرایط آب و هوایی و چرخه های تصویربرداری طولانی حساس هستند و ایجاد

با توجه به پراکنده بودن و کمبود ایستگاههای هواشناسی در مناطق ارتفاعات بلند و صعب العبور، تخمین خشکسالی در منطقه با استفاده از شاخص SPI که مبتنی بر داده های بارش دریافت شده از ایستگاههای هواشناسی می باشد، کافی نیست. لذا لازم است از تصاویر و داده های ماهواره ای که پوشش کاملتری از منطقه را می دهد نیز بهره برد و یکی از شاخص های مهم در این زمینه شاخص NDVI می باشد. به همین علت هدف از این تحقیق ارزیابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI و مقایسه این دو شاخص در استان دهوک، منطقه کردستان عراق طی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ می باشد.

روش بررسی

منطقه ی مورد مطالعه:

دهوک مرکز شمالی ترین استان عراق و سومین شهر بزرگ کردستان عراق است. منطقه دهوک با مساحتی بالغ بر ۱۰۹۵۶ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳ دقیقه شمالی و ۴۳ درجه و ۹ دقیقه شرقی واقع شده است. این محدوده از نظر جغرافیایی در بخش شمال کشور عراق قرار گرفته و به ترتیب از شرق، غرب، شمال و جنوب با استان های اربیل، نینوا، جنوب ترکیه، استان صلاح الدین همسایه است. ارتفاع از سطح دریا در این منطقه ۱۲۶۷ متر است. موقعیت جغرافیایی استان دهوک در شکل (۱) نشان داده شده است.

بررسی مولفه های اقلیمی استان دهوک

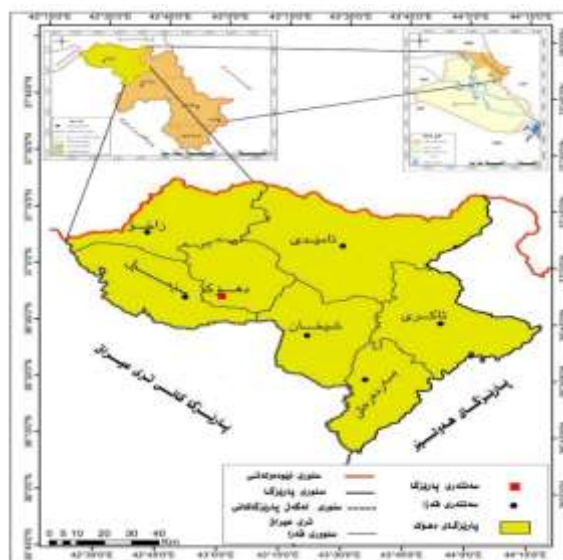
کشور عراق، سرزمینی با آب و هوای متنوع است. گوناگونی و تنوع ساختاری کشور عراق از مسایل انسانی، اجتماعی و سیاسی گرفته تا ویژگی های طبیعی و جغرافیایی به چشم می خورد. یکی از جلوه های این گوناگونی، شرایط جوی و آب و هوای کشور عراق است. استان دهوک به عنوان بخشی مهم از جغرافیای کشور عراق از نظر آب و هوایی بر تنوع مذکور افزوده است. بر اساس طبقه بندی آب و هوایی، می توان گفت که استان دهوک دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است. این استان که

کیفیت داده های پیوسته و ثابت را دشوار می سازد، بنابراین، مطالعات تخمین خشکسالی با استفاده از این داده ها نادر است. Kim et al. (2020) (۸) در پژوهشی با عنوان توسعه یک مدل رگرسیون خطی چندگانه برای تخمین شاخص خشکسالی هواشناسی بر اساس تصاویر ماهواره ای Landsat، بیان کردند که قطبی شدن آب و هوا به دلیل گرمایش زمین، شدت خشکسالی را در برخی مناطق افزایش داده است و نیاز به مطالعات تخمین خشکسالی برای کمک به حداقل رساندن خسارت در حال افزایش است. این محققان از شاخص های خشکسالی هواشناسی (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9) استفاده کردند. سپس تجزیه و تحلیل آماری را به مدل توسعه یافته اعمال و توانایی آن را به عنوان یک ابزار برآورد شاخص خشکسالی با استفاده از داده های سنجش از دور ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مقدار adj.R2 آن که با استفاده از بارش تجمعی به مدت یک ماه به دست آمد، بسیار کم بود (تقریباً ۰/۰۳)، در حالی که برای مدل های SPI3, SPI6, SPI9، مقادیر adj.R2 به طور قابل توجهی بالاتر از مدل های دیگر بود.

Mtilatila et al. (2020) (۹) در پژوهشی با عنوان ارزیابی خشکسالی هواشناسی و آبشناسی در حوضه دریاچه مالاوی و رودخانه شایر (۱۹۷۰-۲۰۱۳)، با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص بارش و تبخیر استاندارد شده (SPEI) برای خشکسالی های هواشناسی و شاخص تغییر سطح دریاچه، بیان کردند که خشکسالی های هواشناسی به دلیل کاهش بارندگی در حال افزایش است که با افزایش دما (تبخیر و تعرق بالقوه) تشدید می شود. سامانه آبشناسی دریاچه مالاوی به نظر می رسد حافظه ای بیش از ۲۴ ماه نسبت به شرایط هواشناسی داشته باشد، زیرا SPEI 36 ماهه می تواند خشکسالی های آبشناسی را ۱۰ ماه قبل پیش بینی کند. همچنین سطح بحرانی دریاچه که باعث خشکسالی آبشناسی می شود، ۴۷۴/۱ متر در روز است و افزایش خشکسالی نگران کننده است زیرا این امر تأثیرات جدی بر منابع آب و تامین برق آبی در مالاوی خواهد داشت.

مختلف استان تغییر می‌کند. موقعیت جغرافیایی و توزیع نقاط آب و هوایی متنوع در سطح استان دهوک، این استان را به عنوان منطقه ای دارای تنوع آب و هوا معرفی کرده است. به طوری که شاید بتوان این استان را استانی چهار فصل نامید.

نزدیک به ۱۱ هزار کیلومتر مربع از مساحت خاک کشور عراق را در بر می‌گیرد، در سردترین ماه سال دمای هوای زیر صفر را در برخی از شهرها تجربه کرده و میانگین دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال به حدود چهل درجه سانتیگراد می‌رسد و بارش باران سالانه در این منطقه از ۳۵۰ تا ۱۲۰۰ میلی متر بر اساس نقاط



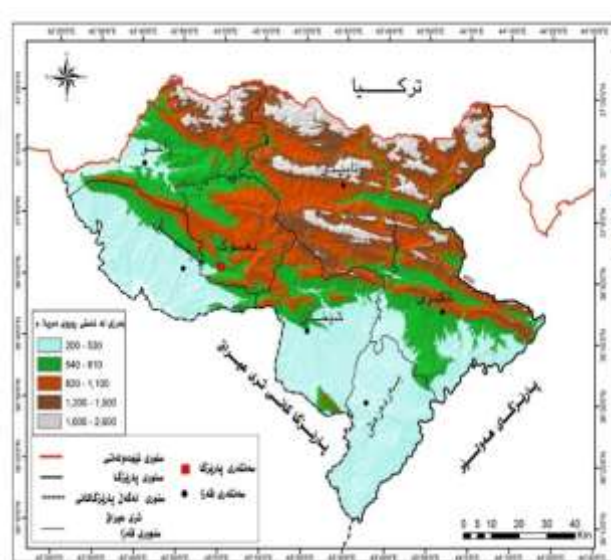
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان دهوک

Figure 1. Geographical location of Dahuk province.

بارش

آسیب‌های بسیاری در زمینه‌های کشاورزی، اقتصادی و ... می‌شود. در نتیجه بررسی این پارامتر برای شناخت وضعیت منطقه اهمیت اساسی دارد. یکی از عواملی که بر بارندگی تاثیرگذار است، توپوگرافی منطقه می‌باشد (شکل ۲).

یکی از علت‌های اصلی خشکسالی و کاهش تراکم و پوشش گیاهی روی زمین، کاهش میزان بارش در منطقه‌ای خاص می‌باشد. بسیاری از تعریف‌هایی که از خشکسالی در دست است بر مبنای متغیر بارندگی تدوین یافته است. کاهش بارندگی نسبت به متوسط آن در یک دوره سبب بروز خسارت و



شکل ۲- توپوگرافی استان و شهر دهوک بر اساس ارتفاع از سطح دریا (m).

Figure 2. Topography of Dahuk province and city based on height above sea level (m).

دما

کرد (۱۰)، تقسیم‌بندی آب و هوایی و شناسایی کردن عوامل مؤثر بر هر ناحیه یکی از رهیافت‌های شناخت اقلیمی به شمار می‌آید. آب و هوای هر منطقه‌ای متشکل از تمامی عوامل و مولفه‌های آب و هوایی آن منطقه خواهد بود و هنگام تقسیم‌بندی باید تمامی عوامل و مولفه‌های تأثیرگذار در نظر گرفته شوند (۱۱). در این تحقیق، از طبقه‌بندی اقلیمی بلر و دومارتن برای طبقه‌بندی اقلیمی استان استفاده می‌شود که در ادامه به معرفی آنها پرداخته می‌شود.

طبقه‌بندی اقلیمی بلر

طبقه‌بندی بلر ساده‌ترین طبقه‌بندی اقلیمی است که صرفاً بر مبنای بارندگی سالیانه استوار است و بر اساس آن، اگر میانگین مجموع بارندگی سالانه (P) کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر باشد منطقه از نوع خشک به شمار می‌آید. طبقه‌بندی بلر مطابق جدول ۱ در مجموع پنج نوع منطقه را نشان می‌دهد

درجه حرارت یا دما عبارت است از اندازه‌گیری انرژی گرمایی که در خاک و هوا قابل ارزیابی و سنجش می‌باشد. دما متغیری ترمودینامیک و از متغیرهای مهم جوی است که با تغییر آن بسیاری از تغییرات فیزیکی و شیمیایی و زیست‌محیطی رخ می‌دهد و سنجش دما و میزان تغییرات دمایی در جو و مقایسه کردن آن با دیگر مولفه‌های جوی سابقه‌ای طولانی در مطالعات جغرافیایی دارد. دمای هوا همچنین نقشی اساسی در شکل‌گیری شرایط پوشش گیاهی دارد و در پیوند مستقیم با پدیده خشکسالی در مناطق مختلف است. به این جهت پارامتری ضروری به شمار می‌آید. آب و هوای کشور عراق با آب و هوای منطقه شمال این کشور (اقلیم کردستان) و بویژه آب و هوای استان دهوک اندکی متفاوت است.

طبقه‌بندی اقلیمی

نخستین طبقه‌بندی در دانش جغرافیا توسط الکساندر فون همبولت انجام شد. وی سال ۱۸۱۷، نقشه میانگین دمای جهان را ترسیم کرد. ولادیمیر کوپن (۱۸۴۶-۱۹۴۰) نقشه مذکور را اصلاح کرد و در سال ۱۸۸۴ نقشه دمای فصلی جهان را ارائه

جدول ۱- طبقه‌بندی اقلیمی بلر

Table 1. Blair's climate classification

نوع اقلیم	میانگین بارش سالیانه (P) به میلی متر
خشک	۲۵۰
نیمه خشک	۵۰۰ - ۲۵۰
نیمه مرطوب	۱۰۰۰ - ۵۰۰
مرطوب	۲۰۰۰ - ۱۰۰۰
بسیار مرطوب	بیشتر از ۲۰۰۰

طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن

بر اساس فرمول طبقه‌بندی دومارتن ($I = \frac{P}{T+10}$)، P، متوسط بارندگی سالانه بر مبنای میلی متر، T میانگین درجه حرارت سالانه بر مبنای سانتیگراد و I ضریب خشکی است و بر اساس مقادیر I شش نوع اقلیم مطابق جدول ۲ از یکدیگر متمایز می‌شوند.

جدول ۲- شاخص طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن.

Table 2. Dumarten climate classification.

نوع اقلیم	ضریب خشکی دومارتن
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۲/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

به خشکسالی و ترسالی پیشنهاد شده است. این شاخص امروزه در سطحی گسترده به کار می‌رود و از سوی جوامع علمی متعددی مورد پذیرش قرار گرفته است. انعطاف‌پذیری شاخص SPI در مطالعه بر روی انواع مختلف خشکسالی از جمله ویژگی‌های اساسی این شاخص است.

McKee et al. (1993) (۱۲)، شاخص استاندارد بارش (SPI) را برای تعیین کمیت کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی متعدد طراحی کردند. این مقیاس‌های زمانی منعکس‌کننده تاثیر خشکسالی در مورد کمیت در دسترس بودن آب‌های مختلف است. برای مثال، ناهنجاری‌های بارش در مقیاس زمانی کوتاه منعکس‌کننده منابع شرایط رطوبت خاک می‌باشد. در

اگر دمای متوسط هوا در یک منطقه بسیار سرد و به عنوان مثال در حد ۱۰- سلسیوس باشد ضریب خشکی دومارتن به سمت بی‌نهایت می‌رود. این موضوع نشان‌گر یک منطقه بسیار مرطوب است. حال آن که ممکن است آن منطقه چنین شرایطی نداشته باشد

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

یکی از مراحل اساسی در مطالعات خشکسالی که بر روی مناطق مختلف انجام می‌شود، تعیین شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آن، میزان، شدت، و تداوم خشکسالی مربوط به یک منطقه را ارزیابی کرد. شاخص SPI یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌هایی است که در زمینه مطالعات مربوط

میانگین می باشد. شاخص SPI مطابق رابطه ۱ محاسبه می شود.

$$SPI = \frac{P - \bar{P}}{\sigma} \quad (1)$$

که در آن P بارش، $\bar{P}$ میانگین بارش، و σ انحراف معیار بارندگی می باشد. بر اساس شاخص SPI خشکسالی زمانی رخ می دهد که SPI به طور مستمر منفی باشد و به مقدار ۱- یا کمتر از آن برسد. همچنین خشکسالی زمانی پایان می یابد که SPI مثبت شود و مقادیر تجمعی آن شدت و بزرگی دوره خشکسالی را نشان دهد. جدول ۳ طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI را نشان می دهد.

حالی که آب زیرزمینی، جریان، و ذخیره سازی مخزن منعکس کننده ناهنجاریهای طولانی مدت بارش است. لذا، McKee et al. (1993) SPI را برای مقیاسهای زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کردند. محاسبه SPI برای هر مکان مبتنی بر آمار بلند مدت بارش برای دوره زمانی مورد نظر می باشد. این آمار بلند مدت به یک توزیع احتمال آماری برازش داده می شود و پس از آن تبدیل به یک توزیع نرمال می شود به طوری که مقدار SPI بدون بعد، به عنوان ناهنجاری استاندارد شده بارش می باشد. میانگین SPI برای مکان و دوره زمانی مورد نظر صفر است (۱۳). مقادیر مثبت SPI نشان دهنده بارش بیشتر از میانگین، در حالی که مقادیر منفی نشان دهنده بارش کمتر از

جدول ۳- طبقه بندی شدت خشکسالی شاخص SPI بر اساس McKee et al. (1993).

Table 3. Classification of SPI drought severity index based on McKee et al. (1993).

مقادیر SPI	طبقات خشکسالی
$2 >$	کاملاً مرطوب
$1/5$ تا 2	خیلی مرطوب
1 تا $1/5$	نسبتاً مرطوب
0 تا 1	مرطوب ملایم
0 تا -1	خشکسالی ملایم
-1 تا $-1/5$	خشکسالی متوسط

شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI)

شاخص NDVI رایج ترین شاخصی است که تحلیلگران در سنجش از دور استفاده می کنند (۱۴). همانطور که در رابطه ۲ نشان داده شده است، شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده از نور کانال های مادون قرمز نزدیک (NIR^2) و قرمز (Red) استفاده می کند.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (2)$$

پوشش گیاهی سالم (کلروفیل) نور مادون قرمز نزدیک (NIR) و نور سبز بیشتری را در مقایسه با سایر طول موج ها منعکس می کند. اما نور قرمز و آبی بیشتری را جذب می کند. به همین

شاخص NDVI پوشش گیاهی را با اندازه گیری تفاوت بین نور مادون قرمز نزدیک (که پوشش گیاهی به شدت منعکس می کند) و نور قرمز (که پوشش گیاهی آن را جذب می کند) کمی می کند. این شاخص همیشه از ۱- تا ۱+ متغیر است. اما مرز مشخصی برای هر نوع پوشش زمین وجود ندارد. برای مثال، وقتی مقادیر منفی هستند، به احتمال زیاد آب است. از طرف دیگر، اگر مقدار شاخص نزدیک به ۱+ باشد، احتمال اینکه برگ های سبز متراکم باشد، زیاد است. اما وقتی این شاخص نزدیک به صفر است، برگ های سبز وجود ندارد و حتی می تواند یک منطقه شهری باشد.

1- The normalized difference vegetation index

2- Near Infrared Red

دلیل است که چشمان ما پوشش گیاهی را به رنگ سبز می بیند. سنجنده های ماهواره ای مانند Landsat و Sentinel-2 هر دو دارای کانالهای NIR و قرمز هستند. به طور کلی، استفاده از شاخص NDVI یک روش استاندارد برای اندازه گیری پوشش گیاهی سالم است. وقتی مقادیر این شاخص بالا باشد، نشان دهنده پوشش گیاهی سالم و زمانی که مقادیر این شاخص پایین باشد، پوشش گیاهی کمتر است یا اصلاً وجود ندارد. به طور کلی، برای پایش و مشاهده تغییر پوشش گیاهی طی زمان، باید اصلاح جوی انجام شود (۱۵).

یافته ها

بارش

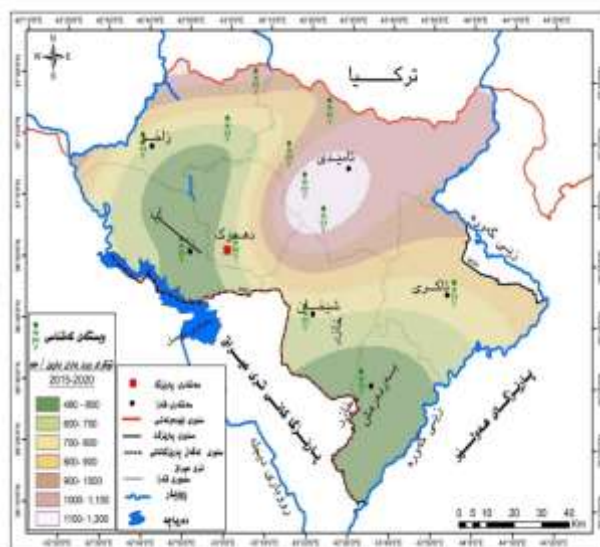
جدول ۴ میانگین بارش ماهانه و سالانه (mm) طی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ ایستگاه دهوک را نشان می دهد. کمترین مقدار بارش سالانه شهر دهوک ۳۵۸/۴ میلی متر مربوط به سال ۲۰۱۷ و بیشترین مقدار بارش سالانه ۹۵۳ میلی متر مربوط به سال ۲۰۱۸ است. همچنین دو سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ با مجموع

بارش سالانه ۵۰۴/۳ و ۵۱۱/۳ میلی متر روندی یکسان را از نظر میزان بارش سالانه تجربه کرده اند. سال ۲۰۱۹ نیز با مقدار ۹۰۹/۴ میلی متر بسیار نزدیک به رکورد سال پربارش ۲۰۱۸ است و دومین سال پربارش پس از سال ۲۰۱۸ است. در میان ماههای سال نیز ماه مارس ۲۰۲۰ با مقدار بارش ۲۸۲ میلی متر بیشترین میزان بارش ماهیانه را در طول شش سال مطالعاتی شهر دهوک به خود اختصاص داده است. ماه ژوئن نیز در تمام شش سال مطالعاتی با عدد صفر میلی متر، کمترین میزان بارندگی دارا است. بر اساس جدول ۴ سال ۲۰۱۷ خشکترین سال به شمار می آید. همچنین دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ از جمله موارد ترسالی به شمار می آیند که در جبران خشکسالی سال ۲۰۱۷ می تواند اتفاق افتاده باشد. همچنین شکل ۳ میانگین بارش سالانه (mm) استان دهوک طی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ و جدول ۵ میانگین بارش سالانه (mm) در سه شهر بزرگ استان دهوک شامل دهوک، آکری و آمیدی را نشان می دهند.

جدول ۴- میزان بارش ماهانه ثبت شده در ایستگاه دهوک طی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ (میلی متر).

Table 4. Monthly precipitation recorded in Dahuk station between 2015 and 2020 (mm).

مجموع	Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	سال
۵۰۴/۳	۱۰۷/۱	۸۰/۱	۳۸/۲	۱۲/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۹/۶	۴۰/۲	۷۱/۴	۶۴/۶	۸۰/۹	۲۰۱۵
۵۱۱/۳	۱۰۱/۹	۲۲/۶	۸/۸	۰/۲	۰/۰	۰/۰	۱/۶	۳/۸	۵۸/۶	۱۰۴/۱	۶۵/۷	۱۴۴/۰	۲۰۱۶
۳۵۸/۴	۲۱/۹	۳۳/۷	۴/۷	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۳۳/۴	۸۱/۱	۱۰۲/۹	۲۰/۴	۶۰/۳	۲۰۱۷
۹۵۳	۲۴۵/۵	۱۸۱/۱	۶۶/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۱	۱۲۰/۶	۱۲۱/۹	۱۹/۳	۱۲۱/۵	۷۶/۰	۲۰۱۸
۹۰۹/۴	۱۳۷/۸	۱۹/۳	۴۳/۳	۰/۰	۱/۳	۰/۰	۰/۸	۳۹/۶	۱۷۴/۷	۲۶۴/۰	۸۵/۰	۱۴۳/۶	۲۰۱۹
۶۹۶	۴۳/۸	۳۹/۷	۱/۶	۰/۰	۰/۸	۰/۰	۱/۰	۱۶/۲	۶۸/۵	۲۸۲/۰	۱۳۱/۷	۱۱۰/۷	۲۰۲۰



شکل ۳- میانگین بارش سالانه مناطق مختلف استان دهوک طی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ (mm).

Figure 3. Mean annual rainfall map of different regions of Dahuk province during 2015 to 2020(mm).

جدول ۵ - میانگین بارش سالانه در سه شهر بزرگ استان دهوک (mm)

Table 5. Mean annual rainfall in three big cities of Dahuk province (mm)

سال	دهوک	آکری	آمیدی	مجموع (mm)
۲۰۱۵	۵۰۴/۳	۶۵۴/۶	۷۷۲/۲	۱۹۳۱/۱
۲۰۱۶	۵۱۱/۳	۶۵۳/۸	۷۶۹/۲	۱۹۳۴/۳
۲۰۱۷	۳۵۸/۴	۳۲۸/۱	۵۴۴/۴	۱۲۳۰/۹
۲۰۱۸	۹۵۳	۱۱۱۴/۱	۱۲۸۲/۲	۳۳۴۹/۳
۲۰۱۹	۹۰۹/۴	۱۲۴۷/۴	۱۲۴۷/۴	۳۴۰۴/۲
۲۰۲۰	۶۹۶	۷۶۲	۸۰۲/۶	۲۲۶۰/۶

دما

جدول ۶ و ۷ به ترتیب نشان دهنده تغییرات دمای حداکثر و حداقل شش ماهه نخست سال و شش ماهه دوم سال در بازه ۶ ساله (۲۰۱۵-۲۰۲۰) در ایستگاه هواشناسی دهوک می باشند. میانگین دمای ماهانه ایستگاه دهوک طی شش سال ($^{\circ}\text{C}$) در جدول ۸ آورده شده است.

بر اساس جدول ۸ متوسط دمای سالانه سال ۲۰۱۸ با دمای ۲۰/۹ بالاترین درجه دمای هوا و سال ۲۰۲۰ با ۱۹/۷ درجه سانتیگراد کمترین میزان درجه هوا در ایستگاه دهوک ثبت شده است. پیش از ۲۰۱۸ نیز روند دما از ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ با شیب بسیار ملایم ۰/۲ درجه رو به پایین بوده است.

جدول ۶- روند تغییرات دمای حداکثر و حداقل شش ماهه نخست سال در بازه ۶ساله در ایستگاه هواشناسی دهوک (°C)

Table 6. Trend of the maximum and minimum temperature changes of the first six months in a 6-year period at Dahuk meteorological station (°C).

Jun		May		Apr		Mar		Feb		Jan		سال
Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
۲۲/۴	۳۶/۵	۱۸/۶	۳۱/۳	۱۲/۸	۲۲/۷	۸/۲	۱۸/۰	۵/۱	۱۳/۹	۳/۷	۱۱/۹	۲۰۱۵
۲۴	۳۶/۵	۱۷/۷	۳۰/۲	۱۳/۶	۲۴/۹	۸/۷	۱۷/۸	۶/۹	۱۵/۹	۲/۴	۹/۹	۲۰۱۶
۲۲/۱	۳۶/۹	۱۷/۴	۳۰/۵	۱۱/۵	۲۳/۱	۸/۶	۱۷/۳	۲/۰	۱۲/۵	۲/۲	۱۱/۳	۲۰۱۷
۲۲/۳	۳۶/۳	۱۷/۵	۲۹/۳	۱۳/۳	۲۵/۲	۱۰/۹	۲۱/۸	۶/۶	۱۵/۰	۴/۸	۱۳/۲	۲۰۱۸
۲۴/۲	۳۸/۶	۱۸/۳	۳۱/۱	۱۰/۲	۲۰/۰	۶/۹	۱۴/۹	۵/۳	۱۳/۵	۴/۰	۱۱/۶	۲۰۱۹
۱۷/۶	۳۰/۹	۱۲/۴	۲۳/۲	۱۲/۴	۲۱/۲	۹/۴	۱۸/۹	۴/۲	۱۲/۳	۳/۲	۱۱/۱	۲۰۲۰

جدول ۷- روند تغییرات دمای حداکثر و حداقل شش ماهه دوم سال در بازه ۶ساله در ایستگاه هواشناسی دهوک (°C)

Table 7. Trend of the maximum and minimum temperature changes of the second six months in a 6-year period at Dahuk meteorological station (°C).

Dec		Nov		Oct		Sep		Aug		Jul		سال
Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
۶/۸	۱۴/۴	۸/۷	۱۷/۵	۱۶/۵	۲۵/۶	۲۱/۳	۳۶/۹	۲۵/۸	۴۰/۲	۲۶/۵	۴۱/۵	۲۰۱۵
۳/۶	۱۱/۲	۷/۷	۱۹/۸	۱۵/۷	۲۸/۹	۲۰/۷	۳۴/۰	۲۷/۳	۴۱/۸	۲۶/۷	۴۰/۷	۲۰۱۶
۶/۹	۱۷/۳	۹/۸	۱۵/۲	۱۵/۲	۲۷/۸	۲۲/۷	۳۷/۹	۲۵/۷	۴۱/۸	۲۶/۴	۴۲/۲	۲۰۱۷
۷/۱	۱۳/۱	۱۰/۱	۱۸/۳	۱۷/۹	۲۹/۱	۲۲/۳	۳۶/۹	۲۵/۱	۴۰/۲	۲۵/۵	۴۰/۹	۲۰۱۸
۷/۳	۱۵/۰	۸/۸	۲۱/۴	۱۷/۵	۳۰/۲	۲۱/۰	۳۵/۷	۲۶/۰	۴۱/۶	۲۴/۱	۳۹/۵	۲۰۱۹
۵/۴	۱۵/۵	۱۱/۴	۲۰/۵	۱۶/۸	۳۱/۷	۲۳/۵	۳۸/۷	۲۵/۰	۳۹/۹	۲۷/۵	۴۱/۹	۲۰۲۰

جدول ۸- میانگین دمای ماهانه ایستگاه دهوک طی شش سال (۲۰۲۰-۲۰۱۵) (°C)

Table 8. Monthly average temperature of Dahuk station during six years (2015-2020)(°C)

سال	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	میانگین
۲۰۱۵	۷/۸	۹/۵	۱۳/۱	۱۷/۷	۲۵/۱	۲۹/۵	۳۴	۳۳	۲۹/۱	۲۱	۱۳/۱	۱۰/۶	۲۰/۳
۲۰۱۶	۶/۲	۱۱/۴	۱۳/۲	۱۹/۲	۲۴	۳۰/۲	۳۳/۷	۳۴/۵	۲۷/۳	۲۲/۳	۱۳/۷	۷/۴	۲۰/۲
۲۰۱۷	۶/۷	۷/۷	۱۳	۱۷/۳	۲۴	۲۹/۵	۳۳/۳	۳۳/۷	۳۰/۳	۲۱/۵	۱۲/۵	۱۲/۱	۲۰/۱
۲۰۱۸	۹	۱۰/۸	۱۶/۳	۱۹/۲	۲۳/۴	۲۸/۳	۳۳/۲	۳۲/۶	۲۹/۶	۲۴	۱۴/۲	۱۰/۱	۲۰/۹
۲۰۱۹	۷/۸	۹/۴	۱۰/۹	۱۵/۱	۲۴/۷	۳۱/۴	۳۱/۸	۳۳/۸	۲۸/۳	۲۳/۷	۱۵/۱	۱۱/۱	۲۰/۲
۲۰۲۰	۷/۱	۸/۲	۱۴/۱	۱۶/۸	۱۷/۸	۲۴/۲	۳۴/۷	۳۲/۵	۳۱/۱	۲۳/۷	۱۶	۱۱	۱۹/۷

طبقه‌بندی اقلیمی استان دهوک

۵۰۰ تا ۱۰۰۰ جزو مناطق نیمه مرطوب و دو سال ۲۰۱۸ و

۲۰۱۹ شهر آمیدی با مجموع بارش سالانه بالای ۱۰۰۰ جزو مناطق مرطوب به شمار می‌آید.

جدول ۹ طبقه‌بندی آب و هوای سه شهر بزرگ استان دهوک بر مبنای طبقه‌بندی بلر را نشان می‌دهد. بر اساس طبقه‌بندی بلر، سه شهر آکری، آمیدی و دهوک با مجموع بارش سالانه بین

جدول ۹- طبقه‌بندی آب و هوای سه شهر بزرگ استان دهوک بر مبنای طبقه‌بندی بلر.

Table 9. Climate classification of three big cities of Dahuk province based on Blair's classification.

نام ایستگاه	میانگین بارندگی سالانه	طبقه‌بندی به روش بلر
دهوک	۶۵۵/۴	نیمه مرطوب
آمیدی	۷۸۲/۶	نیمه مرطوب
آکری	۷۹۳/۳	نیمه مرطوب

جمله بارش و دمای ایستگاه‌های سه‌گانه‌ی استان دهوک به روش دومارتن مطابق جدول ۱۰ می‌باشد.

طبقه‌بندی آب و هوای سه شهر بزرگ استان دهوک شامل دهوک، آکری، و آمیدی بر اساس پارامترهای اصلی اقلیمی از

جدول ۱۰- طبقه‌بندی آب و هوای سه شهر بزرگ استان دهوک بر مبنای طبقه‌بندی دومارتن.

Table 10. Climate classification of three big cities of Dahuk province based on Dumarten classification.

سال	دهوک				آکری				آمیدی		
	نوع	I	T	P	نوع	I	T	P	نوع	I	T
۲۰۱۵	نیمه خشک	۱۶/۶	۲۰/۳	۵۰۴	مدیترانه‌ای	۲۱	۲۱/۱	۶۵۴/۶	نیمه مرطوب	۲۵/۶	۲۰/۱
۲۰۱۶	نیمه خشک	۱۷	۲۰/۲	۵۱۱/۳	مدیترانه‌ای	۲۱/۱	۲۰/۹	۶۵۳/۸	نیمه مرطوب	۲۵/۶	۲۰
۲۰۱۷	نیمه خشک	۱۱/۹	۲۰/۱	۳۵۸/۴	نیمه خشک	۱۰/۶	۲۰/۸	۳۲۸/۱	نیمه خشک	۱۸/۲	۱۹/۹
۲۰۱۸	مرطوب	۳۰/۸	۲۰/۹	۹۵۳	مرطوب	۳۴/۸	۲۲	۱۱۱۴/۱	بسیار مرطوب	۴۱/۹	۲۰/۶
۲۰۱۹	مدیترانه‌ای	۳۰	۲۰/۲	۹۰۹	بسیار مرطوب	۴۰/۴	۲۰/۹	۱۲۴۷	بسیار مرطوب	۴۱/۵	۲۰
۲۰۲۰	نیمه خشک	۲۹/۴	۱۹/۷	۶۹۶	نیمه مرطوب	۲۵/۱	۲۰/۳	۷۶۲	نیمه مرطوب	۲۷/۴	۱۹/۳

مارس سال ۲۰۱۹ با $SPI \ 3/48$ (شدیداً مرطوب) اتفاق افتاده است. سال ۲۰۱۷ با مجموع ۱۰ ماه نیمه خشک، حداکثر فراوانی ماه‌های نیمه خشک و سال ۲۰۱۹ با چهار ماه مرطوب حداکثر فراوانی ماه‌های مرطوب را دارا بودند. طی ۷۲ ماه (شش سال)، سه سال متوالی ۲۰۱۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ در شهر دهوک نیمه خشک بوده سال ۲۰۱۸ نیمه مرطوب، سال ۲۰۱۹ مدیترانه‌ای و سال ۲۰۲۰ نیمه خشک بوده است. ایستگاه دهوک دو سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ هوای مدیترانه‌ای، سال ۲۰۱۷ نیمه خشک، سال ۲۰۱۸ مرطوب، سال ۲۰۱۹ مرطوب و سال ۲۰۲۰ نیمه مرطوب

ارزیابی خشک سالی در استان دهوک و شهر دهوک بر

اساس شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

محاسبه شاخص بارندگی استاندارد شده در ایستگاه دهوک

محاسبه SPI سالانه

جدول ۱۱ و نمودار ۱ SPI ماهانه طی شش سال گذشته (۲۰۱۵-۲۰۲۰) ایستگاه دهوک را نشان می‌دهد. با توجه به شاخص SPI مشخص شد که خشک‌ترین ماه در ژوئن سال ۲۰۱۷ با $SPI \ -1/67$ (بسیار خشک) و مرطوب‌ترین ماه در

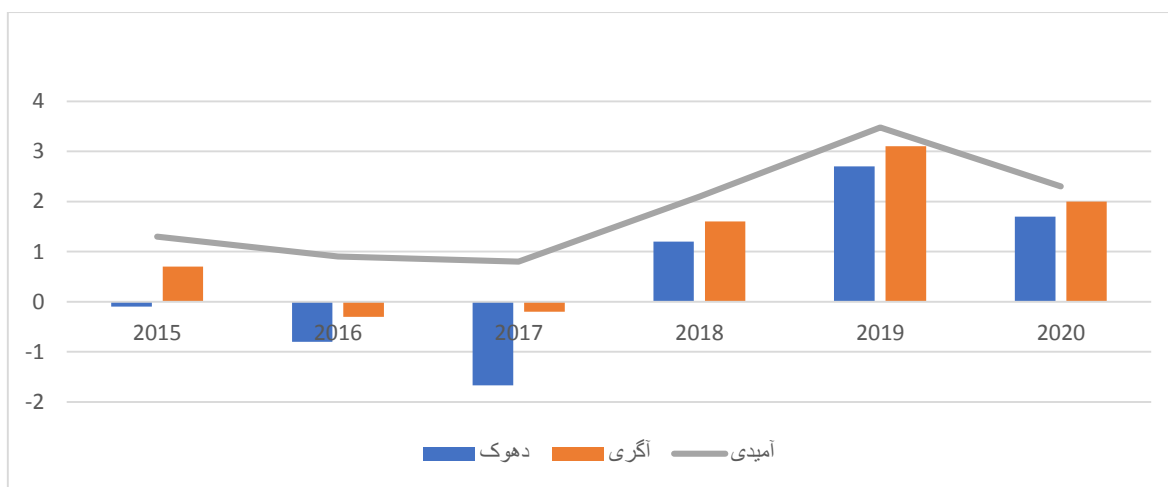
از ۲۰۱۵ روند خشکسالی آغاز شده، در سال ۲۰۱۶ تداوم یافته و در سال ۲۰۱۷ به اوج خود رسیده است. پس از این سال خشکسالی، دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ شاخص با سیر صعودی مواجه شده و تا حد مرطوب و بسیار مرطوب پیش رفته است.

را تجربه کرده است. همچنین در ایستگاه آمیدی سال های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ نیمه مرطوب، سال ۲۰۱۷ نیمه خشک، سال های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ بسیار مرطوب و سال ۲۰۲۰ نیمه مرطوب بوده است. شاخص SPI در جدول ۱۱ و نمودار ۱ نشان می دهد که سال ۲۰۱۷ خشکسالی در استان دهوک رخ داده است. به گونه ای که

جدول ۱۱- شاخص SPI در ۳ ایستگاه استان دهوک شامل دهوک، آکری، و آمیدی

Table 11. SPI index in 3 stations of Dahuk province including Dahuk, Akry, and Amidy

سال	دهوک	آکری	آمیدی
۲۰۱۵	-۰/۱	۰/۷	۱/۳
۲۰۱۶	-۰/۸	-۰/۳	۰/۹
۲۰۱۷	-۱/۶۷	-۰/۲	۰/۸
۲۰۱۸	۱/۲	۱/۶	۲/۱
۲۰۱۹	۲/۷	۳/۱	۳/۴۸
۲۰۲۰	۱/۷	۲	۲/۳

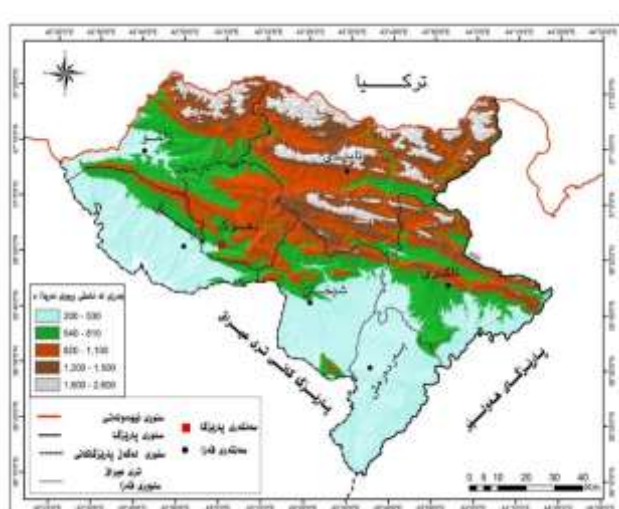


نمودار ۱- شاخص SPI در ۳ ایستگاه استان دهوک شامل دهوک، آکری، و آمیدی.

Diagram 1. SPI index in 3 stations of Dahuk province including Dahuk, Akry, and Amidy.

هر طبقه بر حسب کیلومتر مربع و به صورت درصدی محاسبه شده است. این مقادیر در جدول ۱۲ و نمودارهای ۲ و ۳ قابل مشاهده است.

ارزیابی شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی در استان و شهر دهوک
 شکل ۴ شاخص NDVI طبقه بندی شده منطقه دهوک را طی دوره آماری شش ساله ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ نشان می دهد. مساحت



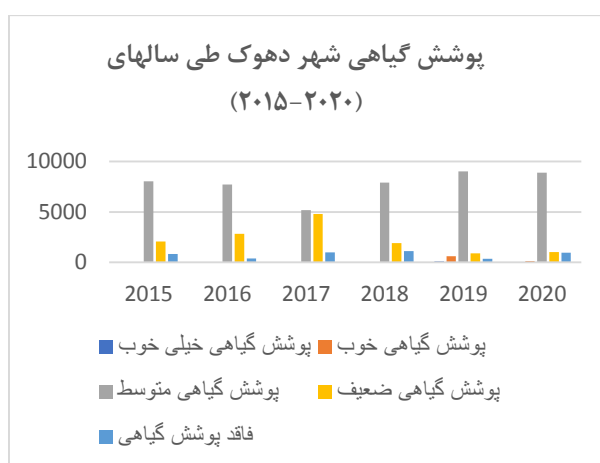
شکل ۴- شاخص NDVI طبقه‌بندی شده منطقه دهوک (km²).

Figure 4. Classified NDVI index of Dahuk region (km²).

جدول ۱۲- مساحت پوشش گیاهی شهر دهوک طی شش سال مطالعاتی (۲۰۱۵-۲۰۲۰) (km²)

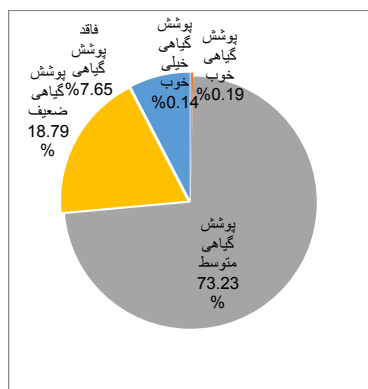
Table 12. Vegetation cover area of Dahuk city during six years of study (2015-2020) (km²).

سال	پوشش گیاهی خیلی خوب (km ²)	پوشش گیاهی خوب (km ²)	پوشش گیاهی متوسط (km ²)	پوشش گیاهی ضعیف (km ²)	فاقد پوشش گیاهی (km ²)
۲۰۱۵	۱۵	۲۱	۸۰۲۳	۲۰۵۹	۸۳۸
۲۰۱۶	۵	۲۰	۷۷۳۰	۲۸۱۲	۳۸۹
۲۰۱۷	۰	۵	۵۱۹۰	۴۷۸۲	۹۷۹
۲۰۱۸	۱۱	۱۹	۷۹۱۱	۱۹۰۲	۱۱۱۳
۲۰۱۹	۸۹	۶۰۰	۹۰۰۸	۹۰۰	۳۵۹
۲۰۲۰	۹	۱۱۴	۸۸۷۸	۱۰۰۳	۹۵۲



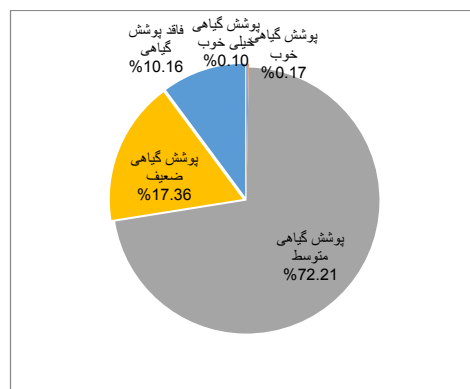
نمودار ۲- پوشش گیاهی شهر دهوک طی شش سال مطالعاتی (km²)

Diagram 2. Vegetation of Dahuk city during six years of study (km²).



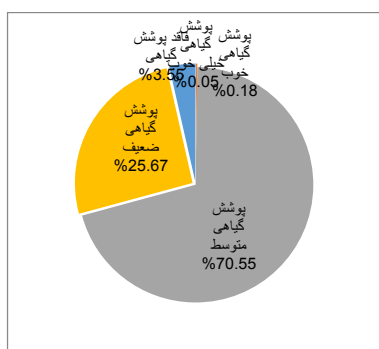
الف (۲۰۱۵)

a(2015)



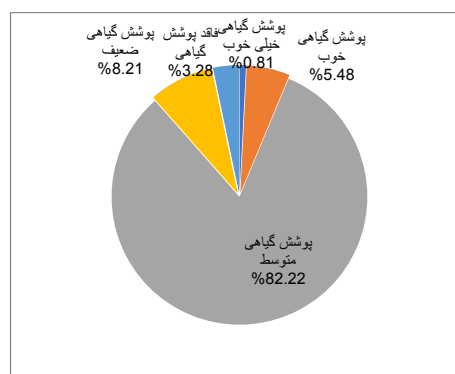
د (۲۰۱۸)

d(2018)



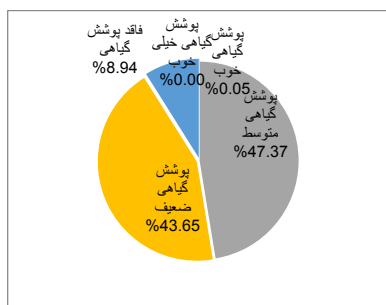
ب (۲۰۱۶)

b(2016)



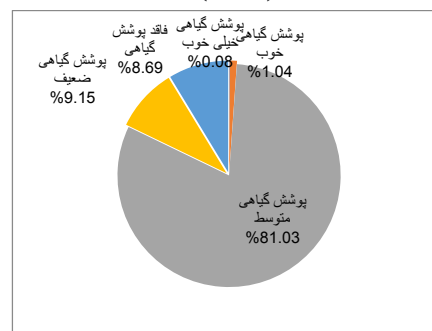
ه (۲۰۱۹)

e(2019)



ج (۲۰۱۷)

c(2017)



ی (۲۰۲۰)

f(2020)

نمودار ۳- درصد پوشش گیاهی شهر دهوک طی سالهای (۲۰۱۵-۲۰۲۰).

Diagram 3. Vegetation percentage of Dahuk city during (2015-2020).

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق، بر اساس داده های بارش، دما، طبقه بندی اقلیمی، محاسبه شاخص SPI، و شاخص NDVI موارد ذیل نتیجه گیری می شود.

۱- بالاترین مقدار بارش سالانه در ایستگاه آمیدی، سال ۲۰۱۸ با مقدار ۱۲۸۲ میلی متر در سال ثبت شده است. همچنین کمترین مقدار بارش سال ۲۰۱۷ با مقدار ۳۵۸/۴ میلی متر در ایستگاه دهوک به ثبت

گیاهی ضعیف، متوسط، خوب، و خیلی خوب می باشد، در صد پوشش گیاهی ایستگاه دهوک طی ۶ سال مورد بررسی قرار گرفت. شاخص های در صد پوشش گیاهی خوب و متوسط از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ روند کاهشی داشته اند، به طوری که در سال ۲۰۱۷ نسبت به سالهای دیگر کمترین (خشک ترین) شده است. شاخص درصد پوشش گیاهی خوب طی دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ با سیر صعودی مواجه شده و تا حد مرطوب و بسیار مرطوب پیش رفته است. هم چنین درصد پوشش گیاهی متوسط طی همه سالها در مقایسه به دیگر درجات درصد پوشش گیاهی (خیلی خوب، خوب، ضعیف، و فاقد پوشش گیاهی) بیشتر بوده است. درصد پوشش گیاهی ضعیف از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ روند افزایشی و در سالهای ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ روند کاهشی داشته است. در نتیجه می توان اذعان داشت که شاخص SPI در مقایسه با شاخص NDVI برای استان دهوک دارای توافق و هماهنگی خوبی می باشد و این با نتایج تحقیقات Ji Peters & (2003) که با تجزیه و تحلیل همبستگی بین NDVI و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای زمین های کشاورزی و علفزار در منطقه شمال مرکزی ایالات متحده نشان دادند که بالاترین همبستگی بین NDVI و SPI3 وجود دارد، همخوانی چشمگیری داشته و نتایج آنها را تایید می کند.

References

1. Zhao, M., & Running, S. W. (2010). Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science*, 329(5994), 940-943.
2. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
3. Heim Jr, R. R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the*

ر سیده است. بیشترین بارش ماهانه در طول شش سال مطالعاتی در ماه مارس ۲۰۱۹ به مقدار ۴۳۱ میلی متر در ایستگاه آمیدی ثبت شده و کمترین بارش ماهانه در ماه اکتبر ۲۰۲۰ در دو ایستگاه دهوک و آمیدی و همچنین ماه اکتبر ۲۰۱۷ در ایستگاه دهوک با مقدار بارش ۱/۶ میلی متر اتفاق افتاده است.

۲- بالاترین دمای ثبت شده ۴۳ درجه بود که ماه ژوئن سال ۲۰۱۷ در ایستگاه آکری ثبت شده است. پس از آن ۴۲/۹ درجه سانتیگراد بود که سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ در ایستگاه آکری به ثبت رسیده است. کمترین دمای هوا نیز ۱/۸- بود که سال ۲۰۱۶ در ایستگاه آمیدی به ثبت رسیده است.

۳- ایستگاه آمیدی با مقدار I برابر با ۴۱/۹ در سال ۲۰۱۸ مرطوب ترین و ایستگاه آکری با مقدار I برابر با ۱۰/۶ خشک ترین طی شش سال مطالعاتی بودند.

۴- بر اساس طبقه بندی اقلیمی بلر هر سه شهر دهوک، آکری و شهر آمیدی جزو مناطق نیمه مرطوب به شمار می آیند.

۵- بر اساس طبقه بندی اقلیمی دوماترین شهر دهوک جزو مناطق نیمه خشک و دو شهر آکری و آمیدی جزو مناطق نیمه مرطوب طبقه بندی شده اند.

۶- هر چه از سمت دهوک به سمت آمیدی (شمال) و آکری (شرق) حرکت کنیم بر مقدار رطوبت و بارش ها افزوده می شود.

داده های شاخص SPI نشان می دهد که سال ۲۰۱۷ خشکسالی در استان دهوک رخ داده است. به گونه ای که از ۲۰۱۵ روند خشکسالی آغاز شده، در سال ۲۰۱۶ تداوم یافته و در سال ۲۰۱۷ به اوج خود رسیده است. پس از این سال خشکسالی، دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ شاخص با سیر صعودی مواجه شده و تا حد مرطوب و بسیار مرطوب پیش رفته است.

با استفاده از شاخص NDVI که نشان دهنده در صد پوشش گیاهی منطقه در ۵ درجه شامل فاقد پوشش گیاهی، پوشش

- Journal, 65:16, 2750-2764, DOI: ۱۰/۱۰۸۰/۰۲۶۲۶۶۶۷/۲۰۲۰.1837384.
10. Salighe, M., F. Berimani, Smaeelnejad, M., (2017) Climatic Zoning of Sistan and Baluchistan Province, Journal of Geography and Development, No. 12. (In Persian)
11. Masoudian, Seyyed Abulfazl, Kaviani, Mohammad Reza. (2009). Climatology of Iran, Isfahan University Press, (In Persian)
12. McKee, T. B., J. Nolan, and J. Kleist, (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179- 184.
13. Edwards D. C. and Mckee T. B. (1997), Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales, Colorado State University, Atmospheric Science Paper No. 634, Climatology Report No. 97-2.
14. Viana, C. M., Oliveira, S., Oliveira, S. C., & Rocha, J., (2019). Land use/land cover change detection and urban sprawl analysis. In Spatial modeling in GIS and R for earth and environmental sciences (pp. 621-651). Elsevier.
15. Drisya, J., & Roshni, T., (2018). Spatio-temporal variability of soil moisture and drought estimation using a distributed hydrological model. In Integrating disaster science and management (pp. 451-460). Elsevier.
- American Meteorological Society, 83(8), 1149-1166.
4. Prakasam, C., & Saravanan, R. (2022). Agricultural Drought Assessment Using GIS: A Case Study. In Hydrological Modeling (pp. 165-181). Springer, Cham.
5. Ji, L., & Peters, A. J. (2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. Remote Sensing of Environment, 87(1), 85-98.
6. Zhao, Y.; Zhang, J.; Bai, Y.; Zhang, S.; Yang, S.; Henchiri, M.; Seka, A.M.; Nanzad, L. (2022). Drought Monitoring and Performance Evaluation Based on Machine Learning Fusion of Multi-Source Remote Sensing Drought Factors. Remote Sens., 14, 6398. <https://doi.org/۱۰/۳۳۹۰/rs14246398>
7. Jianzhu, L.; Shuhan, Z.; Ro'ng, (2015). H. Hydrological Drought Class Transition Using SPI and SRI Time Series by Log linear Regression. Water Resource. Manage. 30, 669–684.
8. Kim, S. W., Jung, D., & Choung, Y. J., (2020). Development of a multiple linear regression model for meteorological drought index estimation based on Landsat satellite imagery. Water, 12(12), 3393.
9. Mtilatila, L., Bronstert, A., Bürger G., Vormoor K., (2020). Meteorological and hydrological drought assessment in Lake Malawi and Shire River basins (1970–2013), Hydrological Sciences