

Combination of EVI and SPI Indices for Mapping of Drought-Prone Areas (Case Study: Kurdistan Province)

vahid ahmadi.¹ and Abbas Alimohamadi.*²

1. M.Sc., GIS & Remote Sensing, Civil Engineering Dep., Payame Noor University, Shemiranat, Tehran, Iran
2. Prof. of GIS, Khajeh Nasiruddin Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Drought evaluation is important in terms of spatial and temporal for planning to reduce damages in the Kordestan province. In this research, Standardized Precipitation Index and the Enhanced Vegetation Index have been used from the extracted satellite images for determinants of drought. so, the statistical data of Meteorological stations including maximum monthly temperatures, total annual precipitation and the images of MODIS sensor have been employed. By comparing meteorological parameters such as average annual temperature, rainfall and the comparison of maps of the Standard Precipitation Index and Enhance Vegetation Index, the condition of drought has been investigated in the region in a 17-year period. The results of the two SPI and EVI indices indicate that the drought is due to rain changes have in the west-to-east direction. This phenomenon is more severe in the eastern regions whereas vegetation sensitivity and the fluctuation of its variations have been affected by precipitation changes in the north-to-south direction over the region. In this way, the southern regions have shown higher sensitivity. Southern regions are generally more vulnerable to droughts, especially in the south-east of the province. Regions with high drought sensitivity make up about 10 percent of the area regarding the regions in the province, whereas 91 percent of the area of regions with very high drought sensitivity is places where the landuse involves growing wheat with rain water.

Keywords: Drought, Kurdistan province, Standardized Precipitation Index, Enhanced Vegetation Index, MODIS sensor.

* Correspondence Address: No. 1346, ValiAsr Street, Mirdamad Cross, Faculty of Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran. Post Code: 15433-19967, Tel: +091211482174
Email: mteimouri@mail.kntu.ac.ir
<https://doi.org/10.52547/gisj.13.2.1>



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
Vol.13, No. 2, Summer 2021 Iranian Remote Sensing & GIS

۲۲-۱

مقاله پژوهشی

ترکیب شاخص‌های EVI و SPI برای پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی (مطالعه موردی: استان کردستان)

وحید احمدی^۱ و عباس علیمحمدی^{۲*}

۱. کارشناس ارشد GIS و سنجش از دور، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، واحد تهران شمال، تهران، ایران

۲. استاد گروه GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۱

چکیده

ارزیابی خشک‌سالی، از نظر زمانی و مکانی، برای برنامه‌ریزی‌های کاهش خسارات در استان کردستان اهمیت بسیاری دارد. در این تحقیق، از شاخص بارش استاندارد شده و همچنین، شاخص پوشش گیاهی بارز شده استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای، به‌منزله پارامتر تعیین‌کننده خشک‌سالی، استفاده شده است. به‌این‌منظور، داده‌های آماری ایستگاه‌های هواشناسی شامل حداکثر دمای ماهیانه، مجموع بارش سالیانه و نیز تصاویر سنجنده مادیس به‌کار رفته است. با مقایسه پارامترهای هواشناسی شامل میانگین دمای سالیانه، میزان بارش سالیانه و همچنین مقایسه نقشه‌های شاخص بارش استاندارد و شاخص پوشش گیاهی بارز شده، وضعیت خشک‌سالی منطقه در دوره زمانی هفده‌ساله‌ای بررسی شده است. نتایج بررسی دو شاخص بارش استاندارد شده و پوشش گیاهی بارز شده نشان می‌دهد که خشک‌سالی ناشی از تغییرات بارشی دارای راستای غرب به شرق است و پدیده خشک‌سالی در مناطق شرقی شدت بیشتری دارد. در این راستا، مناطق جنوبی حساسیت بالاتری نشان داده‌اند که در مجموع، مناطق جنوبی، به‌ویژه جنوب‌شرق استان، بیشترین آسیب‌پذیری را در پدیده خشک‌سالی داشته‌اند. مناطق دارای حساسیت بسیار بالای خشک‌سالی حدود ۱۰٪ مساحت اراضی استان را پوشش می‌دهد و این در حالی است که ۹۱٪ از مساحت مناطق با حساسیت بسیار زیاد خشک‌سالی در کاربری کشت گندم دیم قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: خشک‌سالی، کردستان، شاخص بارش استاندارد شده، شاخص پوشش گیاهی بارز شده، سنجنده مادیس.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، کد پستی ۱۹۹۶۷۱۵۴۳۳.

تلفن: ۰۹۱۲۱۱۴۸۲۱۷۴

۱- مقدمه

محدودیت منابع آب در دسترس از یک سو و مصرف درصد بالایی از منابع آب در بخش کشاورزی برای آبیاری و آب شویی، افزایش جمعیت و نیاز آن‌ها به مواد غذایی از سوی دیگر، آب را به‌منزله کالای اقتصادی ارزشمندی مطرح کرده است. به همین دلیل، مدیریت مصرف بهینه آب، در چهار دهه گذشته، مهم‌ترین موضوع بسیاری از محافل تخصصی شده است. در همه این محافل، تأکید بر این نکته بوده که پایش و ارزیابی کلید موفقیت در این امر است. کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده و متوسط سالیانه بارندگی آن حدود یک‌سوم بارندگی سالیانه کره زمین و متوسط سالیانه تبخیر آن حدود سه‌برابر تبخیر سالیانه کره زمین است.

خشک‌سالی^۱ پدیده‌ای جهانی است که معمولاً در هر منطقه‌ای رخ می‌دهد و می‌تواند خسارات معتدلبه‌ی به انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد آورد؛ بنابراین، تحقیق و مطالعه در این زمینه بسیار ضروری است. این پدیده از جمله پدیده‌هایی است که هر ساله خسارات فراوانی در نواحی گوناگون این کره خاکی به ساکنان آن تحمیل می‌کند و می‌تواند تأثیرات جدی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌همراه داشته باشد. آنچه باعث می‌شود این پدیده به بلا تبدیل شود آسیب‌پذیری بشر در برابر آن است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵).

خشک‌سالی زمانی رخ می‌دهد که تبخیر سطحی و تبخیر آب از گیاهان بیشتر از حد معمول در مدتی معین بشود. خشک‌سالی جدی‌ترین معضل فیزیکی برای کشاورزی در همه‌جای دنیاست (خاتمی و مدنی، ۱۳۹۳) (Chopra, 2006). امروزه، با بروز خشک‌سالی‌های پیاپی و کاهش منابع آبی و علاوه‌بر آن، با افزایش جمعیت و به‌تبع آن افزایش مصرف آب، فقط با مطالعه و برنامه‌ریزی دقیق براساس استعدادها و محدودیت‌های هر نقطه می‌توان توسعه پایدار مطمئنی ایجاد کرد (برقی و معمار امامیه، ۱۳۹۵؛ مصباح‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). وجود شاخص‌های مناسب، کارآ و مورد اعتماد،

به‌نحوی که از خشک‌سالی ارزیابی و پایش مؤثری داشته باشند، ضروری و اساسی است (جوادنیا و مباشری، ۱۳۸۶). خشک‌سالی هواشناسی^۲ زمانی حادث می‌شود که میزان بارندگی سالیانه کمتر از میانگین درازمدت آن باشد. این کمبود بارندگی ممکن است به‌نسبت میانگین نرمال منطقه و یا طول دوره خشک ارزیابی شود؛ اما خشک‌سالی کشاورزی^۳ زمانی به‌وجود می‌آید که در فاصله بین دو بارندگی، ذخیره رطوبتی ریشه در خاک برای زنده‌ماندن محصولات کشاورزی، گیاهان طبیعی و مراتع کفایت نکند (رضیعی و همکاران، ۱۳۸۶).

تمایز این پدیده با دیگر مخاطرات طبیعی در این است که برخلاف سایر مخاطرات طبیعی، این پدیده به‌تدریج و در دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل می‌کند و آثار آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیشتری در مقایسه با دیگر حوادث طبیعی ظاهر شود؛ بنابراین، چون تعیین دقیق زمان شروع آن کار مشکلی است، تا حدودی آن را پدیده و بلیه‌ای خزنده می‌دانند. ازسویی، برخلاف سایر بلایای طبیعی، خشک‌سالی به خسارات ساختاری کمتری منجر می‌شود؛ ازاین‌رو، کمک‌رسانی در هنگام وقوع این پدیده، در مقایسه با پدیده‌های دیگر مانند سیل، پیچیده‌تر و مشکل‌تر است (طالبی و موسوی، ۱۳۸۹؛ سعادتی و همکاران، ۱۳۹۵).

یکی از گام‌های مهم و اساسی در مطالعات خشک‌سالی، در هر منطقه، تعیین شاخص‌هایی است که بتوان، براساس آنها، میزان شدت و تداوم خشک‌سالی و یا ترسالی را ارزیابی کرد. بیشتر مطالعات درباره خشک‌سالی‌ها را می‌توان به دو دسته تفکیک کرد. دسته اول تحقیقاتی‌اند که به‌کمک آزمون‌های گوناگون (من - کندال، فیشر و...) روند دوره‌های تر و خشک نوسانات زمانی و مکانی عناصر اقلیمی را بررسی می‌کنند.

1. Drought
2. Meteorological Drought
3. Agricultural Drought

بهترین روش اندازه‌گیری خشک‌سالی معرفی کردند و نشان دادند، در مقیاس یک‌ماهه، نمایه بارش استاندارد بهتر از دیگر نمایه‌ها در ثبت آغاز شرایط خشک‌سالی عمل می‌کند (Dupigny-Giroux, 2001).

در ایران نیز، برحسب نیاز و با توجه به ویژگی‌های اقلیمی مناطق متفاوت، مطالعاتی در زمینه خشک‌سالی انجام شده است. در پژوهشی با عنوان «بهبود شاخص عمودی خشک‌سالی اصلاح‌شده^۳»، به‌منظور برآورد میزان خشک‌سالی در مناطق خشک مرکزی ایران، مشخص شده است شاخص‌هایی که بازتاب خاک در آنها در نظر گرفته شده، در مقایسه با سایر شاخص‌ها، با دقت بالاتری می‌توانند درصد پوشش گیاهی در مناطق خشک را تبیین کنند (درویش‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

در پژوهشی با عنوان «نویززدایی و پیش‌بینی سری زمانی بر پایه الگوریتم موجک و نظریه آشوب (مطالعه موردی: شاخص پایش خشک‌سالی بارش استاندارددهنده شهر تبریز)»، نتایج نشان‌دهنده رفتار کاملاً آشوبناک سری زمانی مورد بررسی است که برای پیش‌بینی مقادیر بارش استاندارددهنده با استفاده از نظریه آشوب، از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی کاذب استفاده شده است (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج پژوهشی با عنوان «بررسی ارتباط خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی دشت مشهد» نشان می‌دهند شاخص هیدرولوژیکی SDI^۴ در مقیاس‌های متفاوت زمانی می‌توانند هماهنگی مورد قبولی با شاخص خشک‌سالی هواشناسی بارش استاندارددهنده، در همان مقیاس‌های زمانی، داشته باشند (وردی پورآزاد و همکاران، ۱۳۹۳). طبق نتایج پژوهشی با نام «تحلیل و پایش خشک‌سالی هواشناسی منطقه سیستان و بلوچستان»،

این پژوهش‌ها به نتایجی درباره وجود و یا فقدان تغییرات اقلیمی و نوسانات دما و بارش در نقاط گوناگون جهان دست یافته‌اند و در این زمینه، استفاده از شاخص‌های متفاوتی همچون شاخص بارش استاندارددهنده، شاخص درصد ریسک خشک‌سالی و شاخص نمره Z مورد توجه قرار گرفته است (اختری و همکاران، ۱۳۸۵). دسته دوم تحقیقاتی را شامل می‌شود که با استفاده از مدل‌سازی و روش‌های پیچیده‌تر ریاضی و آماری، مانند مدل‌های Anonical Correlation Models، Sarima، زنجیره مارکوف و مدل رگرسیونی، علاوه بر تحلیل خشک‌سالی‌ها، فاکتورهای اقلیمی مرتبط با ابعاد گوناگون آن را نیز پیش‌بینی کرده‌اند (حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۶). شاخص‌های متفاوت پوشش گیاهی نیز، از جمله شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده^۱ و پوشش گیاهی بارز شده، در تعیین خشک‌سالی کشاورزی منطقه استفاده می‌شوند.

در بررسی خشک‌سالی ایالت کلرادو آمریکا، اثبات شد شاخص بارش استاندارددهنده می‌تواند زمان آغاز خشک‌سالی و پیشرفت آن را تشخیص دهد (Guttman, 1998; Hayes & Center, 2002). تحقیقات نشان داد که نتایج شاخص بارش استاندارددهنده، برخلاف دیگر شاخص‌ها، از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییر نمی‌کند (Dupigny-Giroux, 1999).

در تحقیق دیگری، از بین شاخص‌های تجزیه و تحلیل خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارددهنده برای مطالعه در مقیاس مکانی کوچک (در حد استان و شهر) به‌منزله بهترین روش معرفی شد. تحقیقات نشان دادند که این شاخص خشک‌سالی مناطق را، دست‌کم یک ماه زودتر از دیگر شاخص‌ها، نشان می‌دهد. بنابراین، آن را شاخصی مناسب برای هشدار سریع خشک‌سالی معرفی کردند (Hayes et al., 1999).

همچنین، برای بررسی تأثیرات خشک‌سالی در سال ۱۹۹۸-۱۹۹۹ در منطقه ومنت^۲، از بین نمایه‌های تجزیه و تحلیل خشک‌سالی، نمایه بارش استاندارددهنده را برای مطالعه در بازه‌های زمانی کوچک تا متوسط،

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Wement
3. Modified Perpendicular Drought Index
4. Streamflow Drought Index

شاخص SDI، در مقایسه با روش‌های ZI، PNPI، PC و

بارز شده تصاویر مادیس انجام گرفت. طبق نتایج، شاخص پوشش گیاهی بارز شده طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵، با بیشینه و کمینه به ترتیب ۰.۶ و ۰ در سال ۲۰۰۱ و ۰.۸ و ۰ در سال ۲۰۰۵، بیشترین تغییرات را نشان داده و این زمانها با بیشترین احتمال آسیب پذیری به بیابانزایی همراه بوده است (پاشایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۴).

بنابراین، در مقاله حاضر، قابلیت های پوشش گیاهی بارز شده و بارش استاندارد شده برای پهنه بندی مناطق حساس به پدیده خشک سالی و بحرانی از این لحاظ، در سطح استان کردستان، بررسی شده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

استان کردستان یکی از استان های ایران، به مرکزیت شهر سنندج، محسوب می شود که در غرب کشور واقع شده است. این استان با مساحت ۲۸۲۰۳ کیلومتر مربع، معادل ۱.۷٪ مساحت کل کشور، مجاور کشور عراق و در مختصات جغرافیایی بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد (شکل ۱). بر پایه سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، ۱۶۰۳۰۱۱ نفر جمعیت دارد که ۶۶٪ آن را جمعیت شهری و ۳۴٪ آن را نیز جمعیت روستایی تشکیل می دهند. تراکم نسبی جمعیت آن نیز معادل ۵۱.۲ نفر در کیلومتر مربع است.

RAI در مقیاس فصلی و سالیانه، برآوردهای مورد قبول تری ارائه می دهد (زارع ابیانه، ۱۳۹۴). در تحقیقی با موضوع ارزیابی کارایی شاخص های طیفی پوشش گیاهی پهن باند در پیش بینی شرایط خشک سالی در ایران نیز از شاخص های پوشش گیاهی، اعم از شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، شاخص وضعیت پوشش گیاهی^۱ و شاخص شرایط دما^۲ در پیش بینی خشک سالی و شاخص بارش استاندارد شده در بیان خشک سالی به وقوع پیوسته در سطح منطقه استفاده شد. نتایج این پژوهش رابطه ای منطقی را بین شاخص های پوشش گیاهی با شاخص بارش استاندارد شده نشان می دهند (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵؛ غفاری و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی دیگر، به منظور کمی سازی کمبود بارش و پایش وضعیت خشک سالی برای مقیاس های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه، شاخص بارش استاندارد شده را ارائه دادند (MCKee & Doesken, 1993). این شاخص به علت ساده بودن محاسبات، استفاده از داده های بارندگی در دسترس، امکان محاسبه برای مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، مناسب ترین شاخص در بررسی خشک سالی شناخته می شود (Hayes et al., 1999).

در بررسی خشکیدگی مخاطره آمیز درختان جنگلی استان ایلام با بهره گیری از تصاویر ماهواره لندست، شاخص پوشش گیاهی بارز شده به کار رفت که همبستگی بالاتری با پوشش جنگلی در دوره زمانی پانزده ساله داشت. نتایج بررسی رابطه شاخص پوشش گیاهی بارز شده با شاخص بارش استاندارد شده در دوره زمانی یک ساله نشان دهنده ضریب همبستگی ۰.۷۳ بود (رستم نیا و آخوندزاده، ۱۳۹۵).

همچنین، به منظور بررسی آسیب پذیری استان خراسان رضوی در برابر بیابان زایی، در سال ۱۳۹۴ تغییرات پوشش گیاهی در چهار دوره زمانی بررسی شد. این کار با استفاده از شاخص پوشش گیاهی

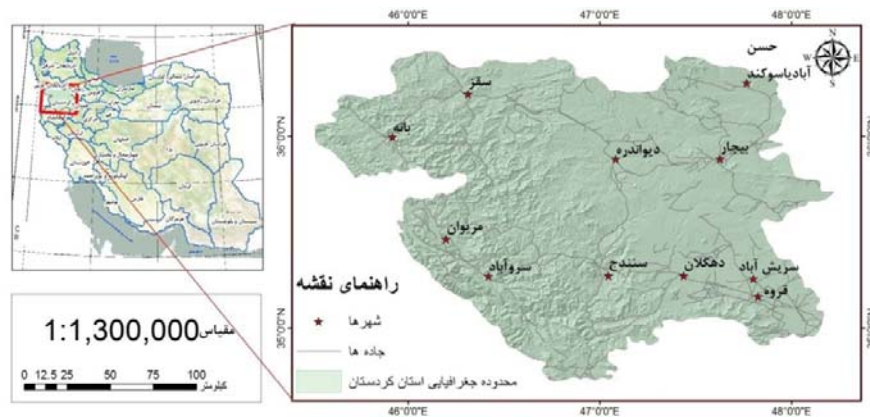
1. Vegetation Condition Index
2. Temperature Condition Index

اقلیم کردستان متأثر از توده های هوای

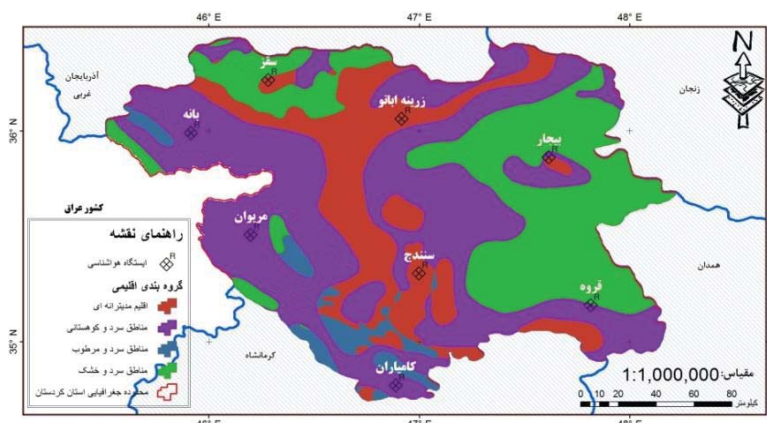
ترکیب شاخص‌های EVI و SPI برای پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی ...

اقلیمی، معادل ۵۰۰ میلی‌متر است. غفاری و همکاران (۱۳۹۴) سرزمین ایران را در شش کلاس اقلیمی طبقه‌بندی کرده‌اند که چهار کلاس اقلیمی در استان کردستان قرار دارد. شایان ذکر است که استان یادشده دارای هشت ایستگاه هواشناسی در شهرهای سنندج، سقز، بانه، بیجار، زرینه‌آباد، مریوان، قروه و کامیاران است که توزیع آنها در سطح استان در شکل ۲ نشان داده شده است.

گرم‌و مرطوب مدیترانه‌ای است که این توده‌ها موجب بارندگی‌هایی در بهار و ریزش برف در زمستان می‌شود. این توده‌های هوایی نشست‌گرفته از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه، با برخورد به ارتفاعات زاگرس، بیشتر رطوبت خود را به‌صورت بارش‌های پراکنده برف و باران در این منطقه تخلیه می‌کنند. تعداد روزهای یخبندان ۱۰۹ روز و میزان بارندگی سالیانه، در شرایط عادی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (استان کردستان)



شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی اقلیمی به‌همراه توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی در استان

منبع: غفاری و همکاران، ۱۳۹۴

۲-۳- فرایند تحقیق

با توجه به فلوجارت تحقیق در شکل ۳، پس از ایجاد لایه نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی، اطلاعات توصیفی همچون مجموع بارش سالیانه به لایه مذکور افزوده شد. با روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله^۱، لایه‌های بارش سالیانه پدید آمد. در همین راستا، شاخص بارش استاندارد شده در دوره زمانی هفده‌ساله، برای هر سال آبی، در مقیاس پیکسل نیز محاسبه شد. آنگاه، برای پهنه‌بندی اراضی منطقه براساس میانگین شاخص بارش استاندارد شده، به‌منزله شدت خشک‌سالی، و نیز براساس واریانس بارش طی دوره هفده‌ساله تحقیق، از نظر خشک‌سالی، اقدام شد.

از سوی دیگر، با به‌کارگیری تکنیک‌های سنجش از دور، شاخص پوشش گیاهی بارز شده با استفاده از محصولات سنجنده مادیس، مربوط به پوشش گیاهی شانزده‌روزه، استخراج شد. شایان ذکر است که تصاویر دریافتی متعلق به اواخر فصل بهار است تا با استفاده از تصاویر در همان زمان، تغییرات پوشش گیاهی منطقه و تأثیر متفاوت بارش در روند رشد پوشش گیاهی در سال‌های گوناگون آشکار شود.

برای پهنه‌بندی منطقه با بهره‌گیری از لایه پوشش گیاهی بارز شده در هفده سال، واریانس تغییرات پوشش گیاهی در طول دوره زمانی یادشده محاسبه شد. مناطق حساس به پدیده خشک‌سالی مناطقی‌اند که بالاترین واریانس تغییرات در پوشش گیاهی را دارند که در مجموع، کل اراضی استان به سه کلاس واریانس تغییرات بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی شد. پهنه‌بندی اراضی دارای حساسیت خشک‌سالی با استفاده از تلاقی سه ویژگی شدت خشک‌سالی، واریانس تغییرات در شاخص بارش و همچنین واریانس تغییرات در شاخص پوشش گیاهی انجام شد و اراضی استان در چهار کلاس متفاوت حساسیت به پدیده خشک‌سالی قرار گرفتند.

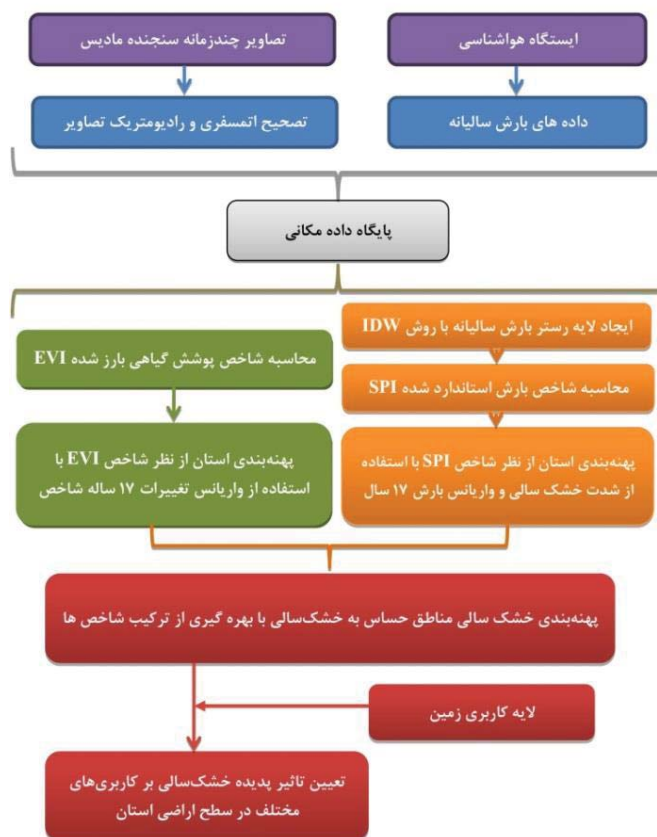
پدیده خشک‌سالی در استان کردستان هر چندسال یک‌بار اتفاق می‌افتد که باعث رسیدن خسارات زیادی به کشاورزان و دام‌پروران می‌شود. پهنه‌بندی زمانی و مکانی خشک‌سالی برای برنامه‌ریزی‌های کاهش خسارات در استان اهمیت بسیاری دارد. این استان تحت تأثیر آب‌وهوای مدیترانه‌ای قرار دارد و به‌علت ساختار کوهستانی، دارای بارش‌هایی در پاییز، زمستان و بهار است. در تابستان، به‌دلیل فقدان بارش و تبخیر و تعرق، آب‌وهوایی گرم‌وخشک دارد و دما در برخی مناطق استان از ۴۰ درجه سانتی‌گراد نیز بیشتر می‌شود. به‌تازگی و با توجه به گرم‌شدن کره زمین و کاهش نزولات جوئی، به‌ویژه برف، و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، شاهد بحران کم‌آبی و خشک‌سالی شدید فصلی در این استان هستیم. از تأثیرات مخرب این وقایع می‌توان به کاهش چشمگیر سطح آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین در دشت‌های استان، همچون دشت قروه و دهگلان، کاهش شدید ذخیره آب پشت سدهای استان، فرسایش خاک، کاهش محصولات کشاورزی، خشک‌شدن بسیاری از چشمه‌ها و رودخانه‌ها، تأثیر در زندگی اجتماعی و بیکارشدن مردم اشاره کرد.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

۱. داده‌های ایستگاه هواشناسی شامل مجموع بارش نزولات جوئی سالیانه؛
 ۲. شاخص پوشش گیاهی بارز شده^۱ استخراج شده از تصاویر سنجنده مادیس؛
 ۳. کاربری اراضی استان کردستان.
- شایان ذکر است که تمامی داده‌های مورد استفاده در بازه زمانی هفده سال، از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶ ه. ش.، بررسی و تجزیه و تحلیل شده‌اند. همچنین، شاخص پوشش گیاهی بارز شده^۱ مربوط به خردادماه هر سال انتخاب شده است تا تأثیر خشک‌سالی در روند رشد پوشش گیاهی به‌خوبی ملاحظه شود.

1. Enhanced Vegetation Index (EVI)
2. Inverse Distance Weighted

ترکیب شاخص‌های EVI و SPI برای پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی ...



شکل ۳. روند نمای روش تحقیق

بارش برای بازه زمانی خاصی محاسبه می‌شود و سپس، با تقسیم بر انحراف معیار بارش در همان بازه زمانی، مطابق رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$SPI = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad \text{رابطه (۱)}$$

به دلیل اینکه بارش، برای مقیاس‌های زمانی کمتر از دوازده ماه، پراکندگی نرمال ندارد، سازگاری و روشی شکل می‌گیرد که به شاخص بارش استاندارد شده امکان می‌دهد توزیع نرمال داشته باشد؛ بنابراین، متوسط شاخص بارش استاندارد شده برای یک بازه زمانی، همگرا به ۰ است و انحراف معیار ۱ دارد. این نکته مزیت محسوب می‌شود زیرا شاخص بارش استاندارد شده نرمال می‌شود؛ بنابراین، اقلیم‌های مرطوب‌تر و خشک‌تر می‌توانند از طریق مشابیهی ارائه شوند.

به منظور بررسی آماری نتایج استخراج شده و تعیین رابطه دو شاخص مورد استفاده در تحقیق، رگرسیون خطی، در سطح کل استان و همچنین به صورت انفرادی، برای هر یک از شهرستان‌ها انجام شد.

سپس با هدف بررسی تأثیرگذاری پدیده خشک‌سالی در کاربری‌های متفاوت اراضی در سطح استان، از لایه کاربری زمین استفاده شد. با تلاقی مناطق دارای حساسیت بسیار زیاد خشک‌سالی حاصل از تحقیق با لایه کاربری زمین، نوع کلاس‌ها و مساحت مؤثر آن‌ها در شرایط حساس وقوع پدیده خشک‌سالی مشخص شد.

۲-۴- محاسبه شاخص‌ها

۱-۴-۲- محاسبه شاخص بارش استاندارد شده

شاخص بارش استاندارد شده با اختلاف بارش از میانگین

ضرایب C1، C2 و L به ترتیب ۶، ۷.۵ و ۱ در نظر گرفته می‌شود. G نیز فاکتور Gain است که ۲.۵ در نظر گرفته می‌شود (رابطه (۲)).

$$EVI = \frac{p^*nir - p^*red}{p^*nir + C_1 p^*red - C_2 p^*Blue + L} (1 + L) \quad (2)$$

یک سیستم طبقه‌بندی برای تعریف شدت‌های خشک‌سالی منتج از شاخص بارش استاندارد شده به کار می‌رود؛ از این رو، طبقات متفاوت ترسالی و خشک‌سالی براساس مقادیر متفاوت این شاخص در جدول ۱ عبارت‌اند از:

جدول ۱. طبقات متفاوت ترسالی و خشک‌سالی براساس مقادیر متفاوت شاخص بارش استاندارد شده

مقادیر بارش استاندارد شده	طبقات خشک‌سالی	شاخص پهنه‌بندی	مقادیر بارش استاندارد شده	طبقات خشک‌سالی	شاخص پهنه‌بندی
۲ و بیشتر	فوق‌العاده مرطوب	۱	۰ تا ۰.۹۹	خشک‌سالی ملایم	۵
۱.۹۹ تا ۱.۵	بسیار مرطوب	۲	۱ تا ۱.۴۹	نسبتاً خشک	۶
۱.۴۵ تا ۱.۰	نسبتاً مرطوب	۳	۱.۵ تا ۱.۹۹	خشک‌سالی شدید	۷
۰.۹۹ تا ۰	نزدیک به نرمال	۴	۲- و کمتر	فوق‌العاده خشک	۸

منبع: حیدری و همکاران، ۱۳۹۵

این الگوریتم حساسیت به مناطق دارای بیومس زیاد را بهبود می‌دهد و پایش پوشش گیاهی را با تجزیه سیگنال پس‌زمینه تاج‌پوشش و کاهش تأثیرات اتمسفری، بهبود می‌بخشد. این شاخص به بیومس زیاد حساسیت بیشتری دارد؛ یعنی مانند NDVI اشباع نمی‌شود و بین مناطق دارای بیومس زیاد (بیومس با مقدار متفاوت) تمایز قائل می‌شود. با توجه به ویژگی‌های شاخص پوشش گیاهی بارز شده در تصاویر مادیس، به‌منظور استخراج پوشش گیاهی از این شاخص استفاده شده است (Jensen, 2010).

۳- نتایج

۳-۱- درون‌یابی بارش سالیانه به‌روش وزن‌دهی معکوس فاصله

با توجه به اهمیت بارش و تأثیر آن در خشک‌سالی، در شکل ۴، نقشه‌های مجموع بارش سالیانه با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله^۱ استخراج شد. ملاحظه می‌شود که در طول دوره زمانی مورد مطالعه، به‌جز سال‌های ۸۷ و ۹۱ و ۹۲، در بیشتر سال‌ها،

رخداد خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که شاخص بارش استاندارد شده به‌صورت منفی تداوم یابد و شاخص بارش استاندارد شده به ۱- یا کمتر از آن برسد. حادثه خشک‌سالی، هنگامی که شاخص بارش استاندارد شده مثبت شود، خاتمه می‌یابد. بنابراین، هر وقوع خشک‌سالی یک تداوم تعریف شده با شروع، پایان و شدت آن برای هر ماه، که حادثه ادامه داشته است، دارد.

۲-۴-۲- شاخص پوشش گیاهی بارز شده

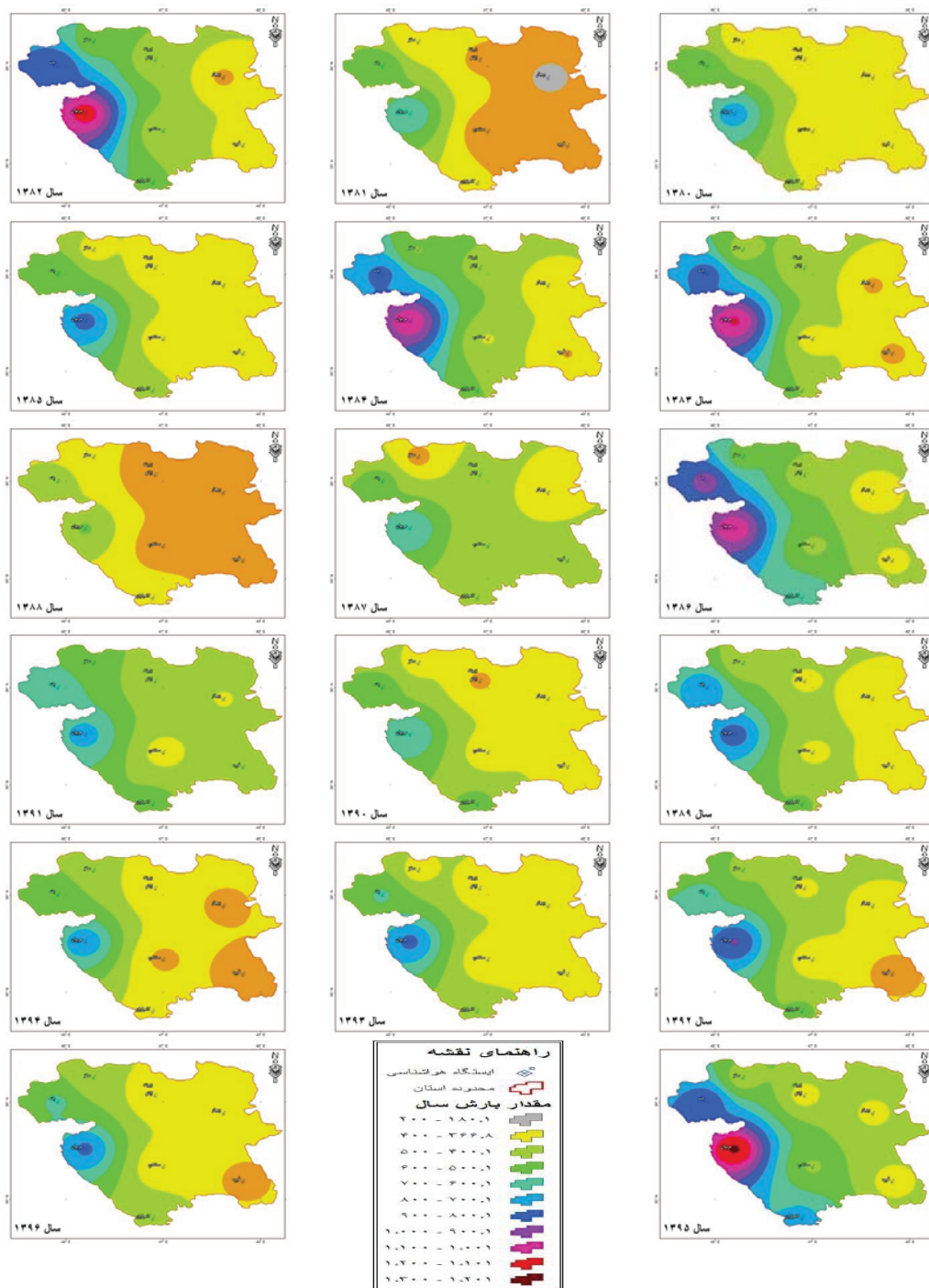
یکی از شاخص‌های مهم و پرکاربرد دارای قابلیت‌ها و صحت بالا شاخص پوشش گیاهی بارز شده است. این شاخص با به‌کارگیری باندهای آبی، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک می‌تواند پهنه‌های دارای پوشش گیاهی را تفکیک کند.

این شاخص را گروه توسعه MODIS مطرح کرده است (Jensen, 2010). در واقع، این شاخص اصلاح‌شده شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده است که از یک فاکتور تعدیل خاک (L) و دو ضریب C1 و C2 (توصیف‌کننده استفاده از باند آبی برای تصحیح پخش اتمسفری آئروسول در باند قرمز) استفاده می‌کند.

1. Inverse Distance Weighted

ترکیب شاخص‌های EVI و SPI برای پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی ...

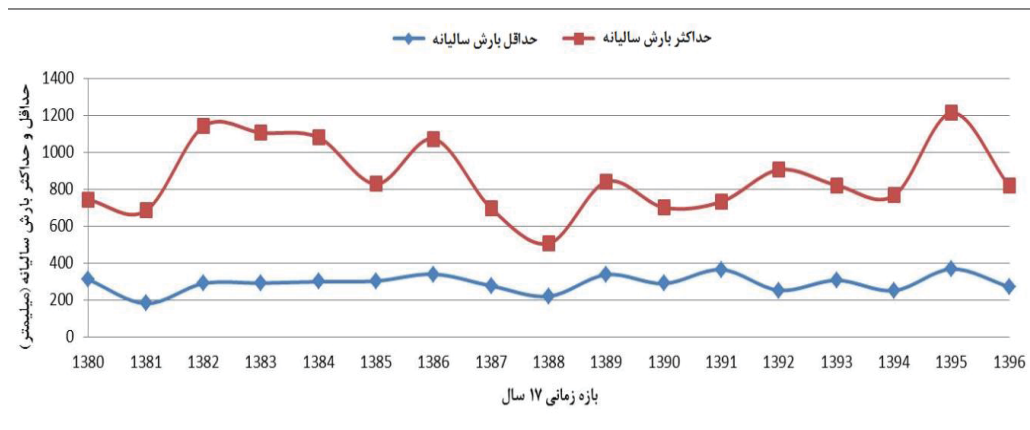
مجموع بارش سالیانه روند یکسانی داشته است و در سال‌های ۸۷ و ۹۱ و ۹۲ نیز، تغییرات به‌صورت جزئی در سطح منطقه مشاهده می‌شود. بیشترین بارش‌ها در سطح استان در سال‌های ۸۲ و ۸۳ و ۹۵ مشاهده شده و کمترین بارش‌ها به سال‌های ۸۷ و ۸۸ و ۹۴ متعلق است.



شکل ۴. نقشه‌های بارش سالیانه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶

و افزایش بارش در این نواحی، پوشش گیاهی در غرب منطقه توسعه بیشتری را در مقایسه با مناطق شرقی نشان می‌دهد. این در صورتی است که در تمامی سطوح منطقه، وجود رودخانه‌ها موجب افزایش و گسترش رشد پوشش گیاهی در نزدیکی رودخانه‌ها می‌شود. بنابراین، در ادامه، نقشه‌های پوشش گیاهی کلاس‌بندی‌شده در

همان‌طور که در نمودار حداکثر و حداقل میزان بارش سالیانه در سطح استان (شکل ۵) نشان داده شده است، حداقل بارش سالیانه ثبات روند بیشتری داشته و این در حالی است که حداکثر بارش سالیانه استان اختلافی بیش از ۶۰۰ میلی‌متر در سال‌های مورد بررسی داشته است.



شکل ۵. نمودار حداکثر و حداقل میزان بارش سالیانه در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶

سطح استان با سه کلاس پوشش گیاهی، پهنه‌های خاک و پهنه‌های آبی، متعلق به هفده سال بازه زمانی مورد مطالعه تحقیق، مشاهده می‌شود (شکل ۶).

۳-۳- محاسبه شاخص بارش استاندارد شده

در این بخش، شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس زمانی یک‌ساله در سطح استان محاسبه و تولید شد. نقشه‌های شاخص بارش استاندارد شده در هفده سال دوره زمانی تعیین شده در شکل ۷ مشاهده می‌شود.

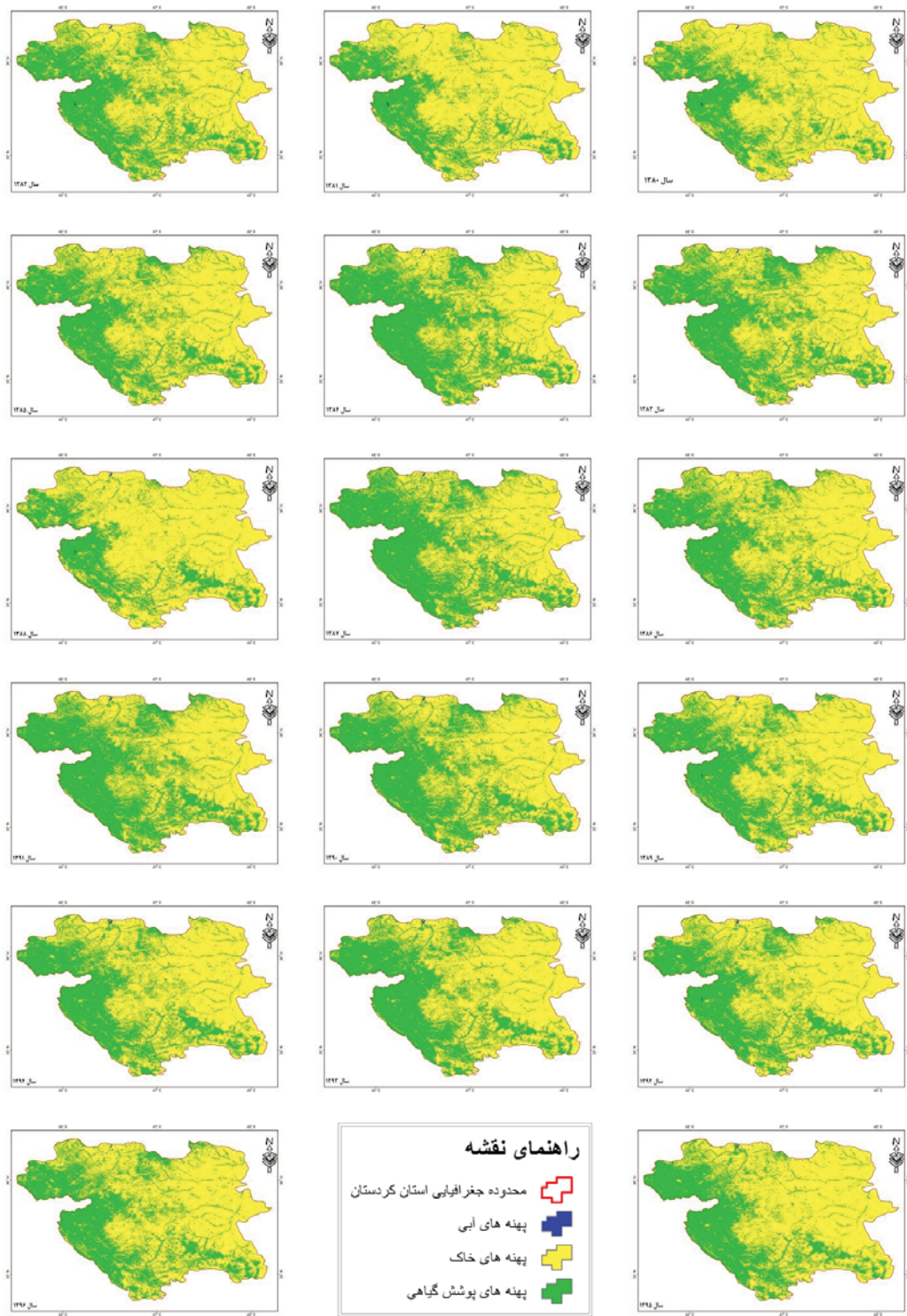
با توجه به نقشه‌های ارائه شده، بین سال‌های مورد بررسی، سال‌های ۸۲ و ۸۶ و ۹۵ شرایط مناسبی داشته‌اند و در بیشتر سال‌ها، وضعیت نسبتاً خشک در منطقه حاکم است. از دیدگاه خشک‌سالی، بین سال‌های مورد بررسی، سال‌های ۸۱ و ۸۸ وضعیت بسیار نگران‌کننده‌تر از سال‌های دیگر داشته‌اند (شکل ۸).

۳-۲- محاسبه شاخص پوشش گیاهی بارز شده

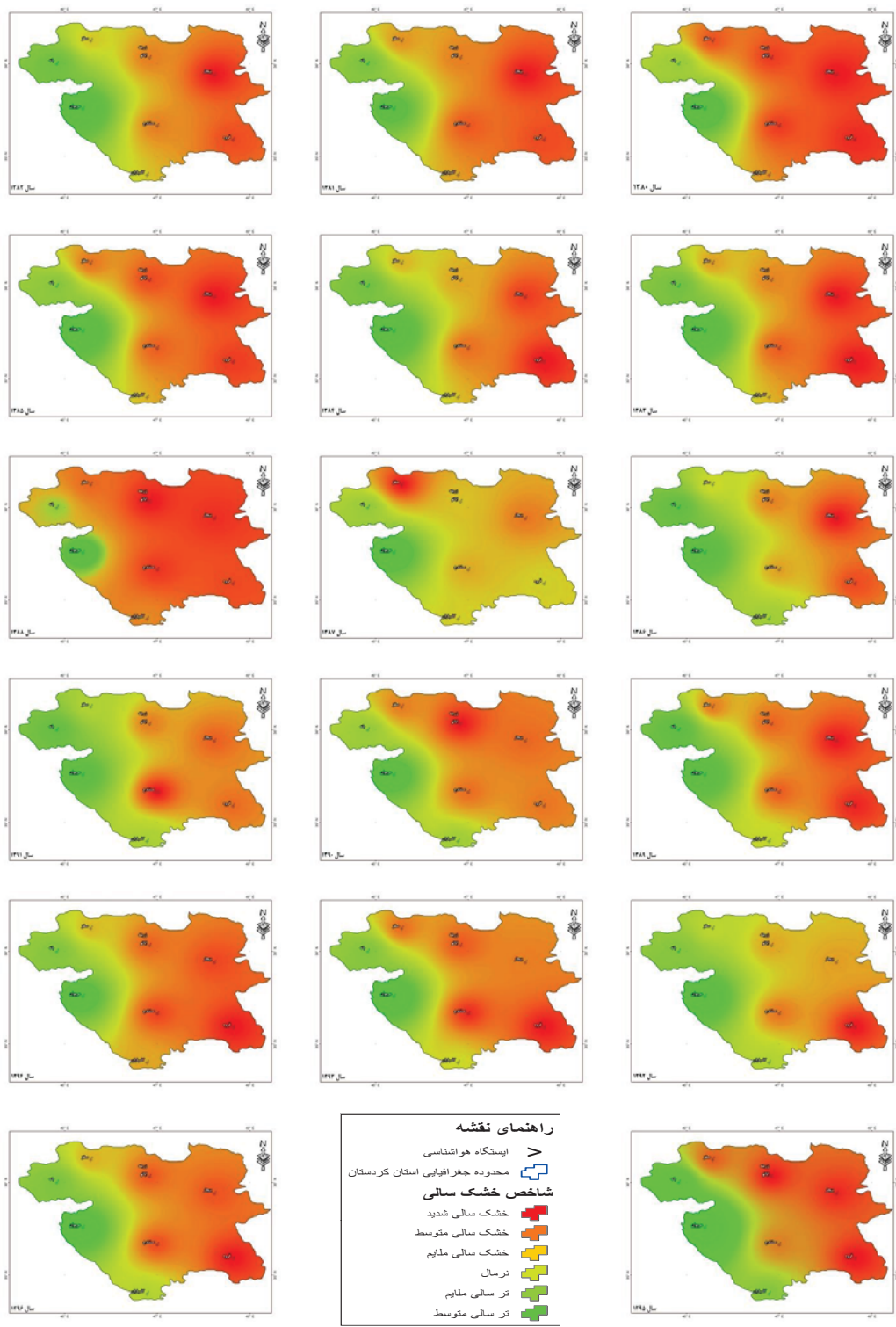
در این بخش، با توجه به وسعت پهنه مورد مطالعه، از تصاویر سنجنده مادیس استفاده شد. با توجه به اینکه پوشش گیاهی، در اواخر فصل بهار، بیشترین رشد خود را دارد و اینکه برای مقایسه و شناسایی تغییرات پوشش گیاهی، در صورت امکان، باید عوامل ایجاد تغییر شامل فصل، ماه، سنجنده و... حذف شوند؛ از تصاویر مورد استفاده از سنجنده مادیس و بازه زمانی مورد استفاده در خردادماه هر سال بهره گرفته شد. شایان ذکر است که شاخص پوشش گیاهی بارز شده متعلق به میانگین پوشش گیاهی در دوره‌های شانزده‌روزه با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استخراج شد.

همان‌طور که در نقشه‌های شکل ۶ نشان داده شده است، با توجه به ساختار کوهستانی مناطق غربی استان

ترکیب شاخص‌های EVI و SPI برای پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی ...

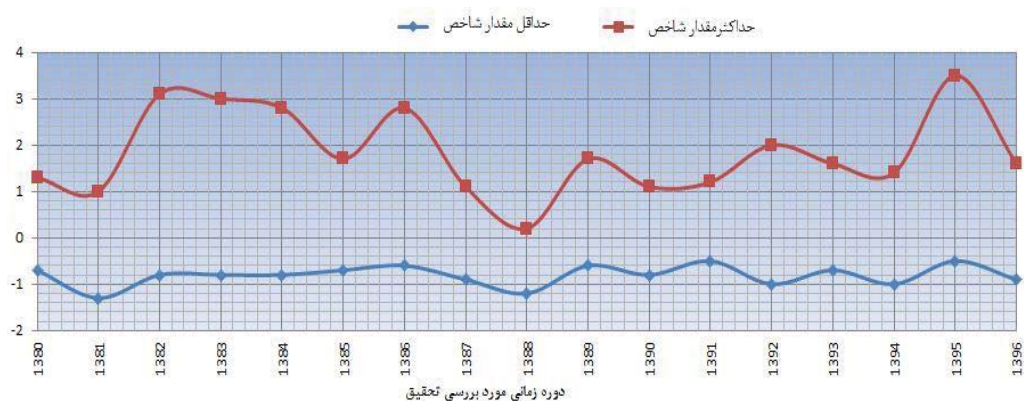


شکل ۶. نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی بارز شده سالانه از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶



شکل ۷. نقشه‌های شاخص بارش استاندارد شده سالیانه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶

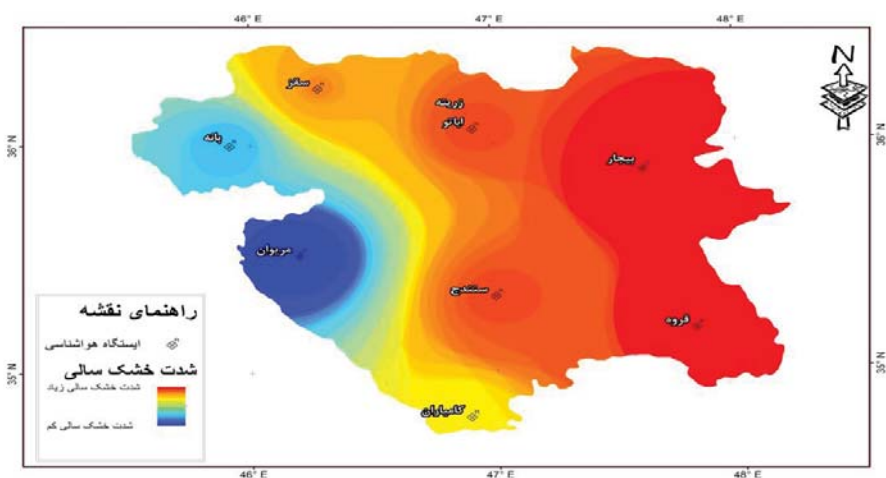
ترکیب شاخص‌های EVI و SPI برای پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی ...



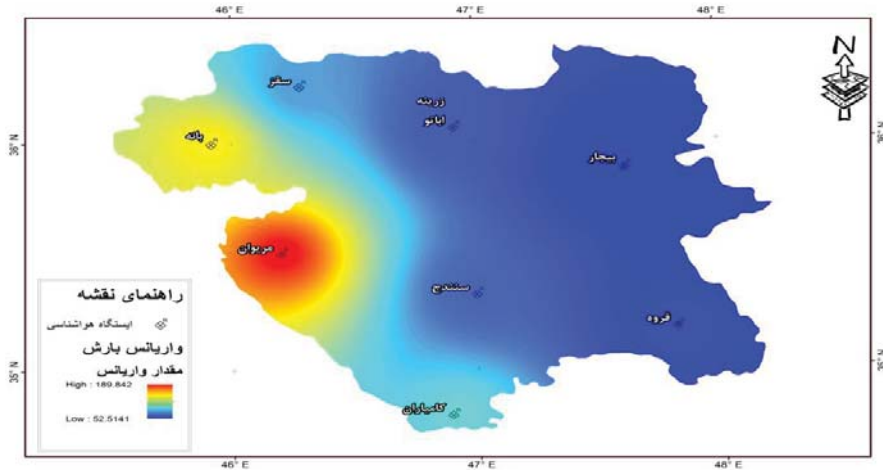
شکل ۸. نمودار حداقل و حداکثر مقدار عددی شاخص بارش استاندارد شده سالیانه از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶

در انتها، به منظور تعیین مناطق حساس و بحرانی در پدیده خشک‌سالی، لایه‌های شدت خشک‌سالی، تغییرپذیری بارش و تغییرپذیری پوشش گیاهی با یکدیگر ترکیب شدند. بدین ترتیب، از دید پدیده خشک‌سالی، مناطق در چهار سطح متفاوت قرار گرفتند و در شکل ۱۲، نواحی دارای حساسیت اندک خشک‌سالی تا نواحی با حساسیت بسیار زیاد خشک‌سالی دسته‌بندی شدند.

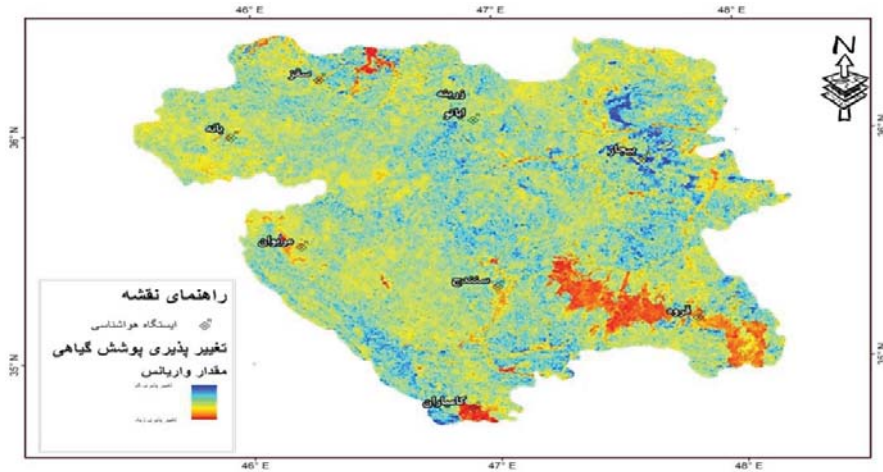
مطابق نتیجه به دست آمده از شاخص بارش استاندارد شده، نتایج حاصل از شدت خشک‌سالی و همچنین، واریانس بارش در طول هفده سال مورد مطالعه در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود. به منظور تعیین مناطق بحرانی از لحاظ تغییرات پوشش گیاهی نیز، لایه پوشش گیاهی بارز شده طی هفده سال بررسی شد. نقشه تغییرپذیری پوشش گیاهی در سطح منطقه در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود.



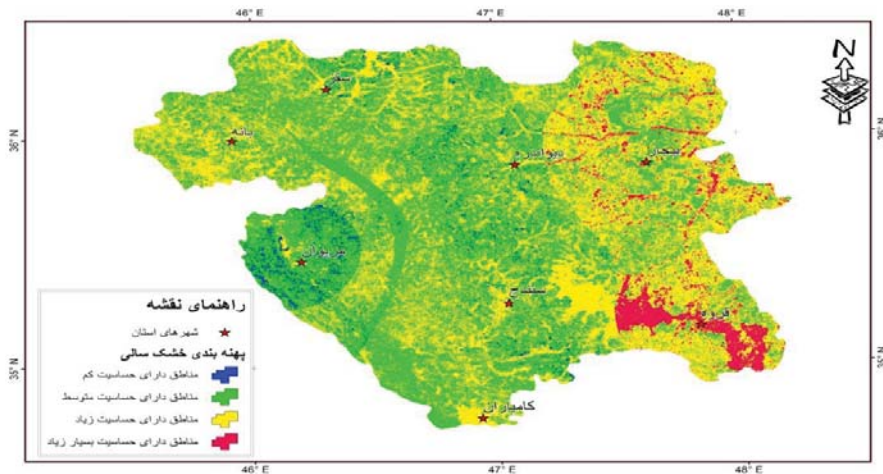
شکل ۹. پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در هفده سال



شکل ۱۰. تغییرپذیری بارش در بازه زمانی هفده سال



شکل ۱۱. تغییرپذیری شاخص پوشش گیاهی بارز شده در بازه زمانی هفده سال



شکل ۱۲. درجه بندی مناطق دارای ریسک خشک سالی با حساسیت کم تا بسیار زیاد

۳-۴- اعتبارسنجی نتایج

به‌منظور اعتبارسنجی نتایج پهنه‌بندی تحقیق، از آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان طی دوره‌ی زمانی تحقیق در سطح شهرستان استفاده شد. در شکل ۱۳، نمودار میزان تولیدات گندم در واحد سطح (تن در هر هکتار) نشان داده شده است. در بررسی بعد زمانی تحقیق، مقایسه‌ی داده‌ها با نمودار شکل ۸ نشان می‌دهد که شاخص بارش استاندارد شده با میزان تولیدات گندم در سال ۱۳۸۸ هم خشک‌سالی شدید در سطح استان رخ داده (شکل ۸) و هم میزان تولید گندم در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ و نیز ۱۳۹۵، شاهد افزایش تولیدات گندم در سطح استان هستیم.

در شکل ۱۴، نمودار میزان کل تولید گندم در سطح استان در طول دوره‌ی مورد بررسی مشاهده می‌شود. همان‌طور که در این نمودار نشان داده شده، تغییرات بالا و واریانس زیاد میزان کل تولید در سطح استان نشان از تأثیرپذیری کشت گندم در بارش، در طول سال‌های گوناگون، و نیز تغییرپذیری مکانی کشت در سطح شهرستان‌های متفاوت استان دارد.

در این بخش، برای تشخیص تأثیر خشک‌سالی در کاربری‌های گوناگون در سطح استان، لایه‌ی کاربری اراضی استان با پهنه‌های دارای حساسیت بسیار زیاد تلافی یافت. خلاصه‌ی آماری مهم‌ترین کاربری‌های این نواحی، به‌ترتیب بیشترین مساحت، در جدول ۲ مشاهده می‌شود. نتایج بررسی کاربری زمین در منطقه نشان می‌دهد در نواحی پهنه‌بندی شده، که مناطق دارای حساسیت بسیار زیادند، کاربری کشت دیم با مساحتی بالغ بر ۴۳۴ کیلومترمربع و معادل ۴۳۴۰۰ هکتار دارای بالاترین مساحت است و بیش از ۹۱٪ مناطق دارای حساسیت بسیار زیاد در این کاربری قرار گرفته‌اند.

مقایسه‌ی نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با تحقیق‌های دیگر نشان‌دهنده‌ی دوره‌ی زمانی دو تا چهارساله‌ی تکرار خشک‌سالی و ترسالی در منطقه است و اینکه مناطق شرق و جنوب استان مستعد خشک‌سالی‌اند (مهری و علیزاده، ۱۳۹۴؛ عثمانی و ثانی‌خانی، ۱۳۹۵). در تمامی تحقیق‌های صورت‌گرفته در منطقه، سال ۱۳۸۸ به‌منزله‌ی خشک‌سالی شدید در دوره‌های زمانی گوناگون تعیین شده است. در نقشه‌های موجود، از بین شهرستان‌های استان، شهرستان قروه به‌منزله‌ی شهرستانی با شدیدترین وضعیت خشک‌سالی و تعداد دفعات بالای خشک‌سالی معرفی شده است. نتایج مذکور دقت و صحت نقشه‌های ارائه‌شده در تحقیق را بیان می‌کنند (طحان و معیا، ۱۳۹۱؛ مفاخری و همکاران، ۱۳۹۵).

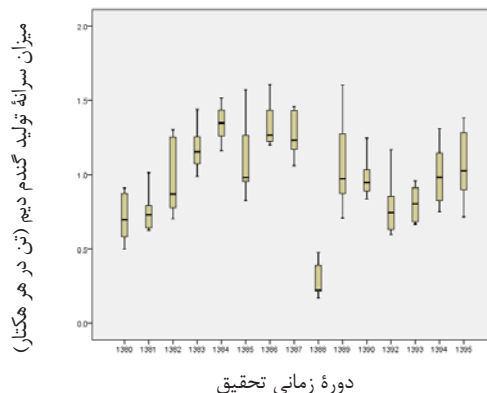
جدول ۲. آمار مهم‌ترین کاربری‌های متأثر از خشک‌سالی در مناطق حساس و بحرانی

ردیف	نوع کاربری	مجموع مساحت در کاربری (کیلومترمربع)	مساحت به درصد کل
۱	کشت دیم	۴۳۴.۵۶۴	۹۱.۱۵
۲	کشاورزی آبی و باغ	۲۵.۶۴۶	۵.۳۸
۳	پهنه‌های شهری	۱۰.۳۴۵	۲.۱۷
۴	مرتع با تراکم بالا، متوسط و کم	۵.۵۸۲	۱.۱۷
۵	پهنه‌های آبی	۰.۴۶۵	۰.۰۹
۶	زمین‌های بایر	۰.۱۵	۰.۰۳
	مجموع	۴۷۶.۷۵	۱۰۰

تا کنون داده‌های آماری از بعد زمانی در سطح استان بررسی شده‌اند. از نگاهی دیگر، میزان و واریانس تولید گندم دیم در شهرستان‌ها و از نظر بعد مکانی، می‌تواند تأثیر خشک‌سالی در هر شهرستان را بیان کند. در شکل ۱۶، نمودار تولید گندم دیم در سطح شهرستان‌های متفاوت، در طول هفده سال بازه زمانی تحقیق، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که شهرستان‌های بانه و مریوان دارای میزان کم تولیدات گندم دیم با واریانس اندک‌اند؛ در حالی که بیجار، قروه و دیواندره بیشترین تولیدات گندم دیم را با بالاترین واریانس دارند. دقت در شکل ۱۲، که درجه‌بندی حساسیت خشک‌سالی در سطح استان را نشان می‌دهد، مشخص می‌کند دو شهرستان بانه و مریوان در مناطق دارای کمترین حساسیت خشک‌سالی در سطح منطقه قرار دارند.

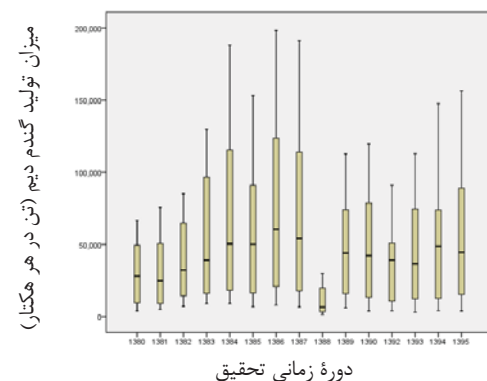
شهرستان‌های بیجار، قروه و دیواندره، به‌رغم بیشترین میزان تولید، بالاترین واریانس تولید گندم دیم را نیز دارند که این واریانس بالای تولید نشان از تغییرپذیری بالا و در نتیجه، حساسیت بسیار بالای این نواحی به پدیده خشک‌سالی است. بنابراین، با توجه به تطابق نتایج میزان تولید گندم دیم با نقشه پهنه‌بندی حساسیت، دقت نقشه پهنه‌بندی حساسیت خشک‌سالی تأیید می‌شود.

از سوی دیگر، تحلیل‌هایی آماری اعم از رگرسیون خطی بین دو شاخص پوشش گیاهی و همچنین بارش در سطح استان صورت گرفته است و نتایج آماری نشان می‌دهد این دو شاخص، در سطح استان، رابطه خطی مهمی ندارند. رگرسیون خطی روی داده‌های تحقیق در



دوره زمانی تحقیق

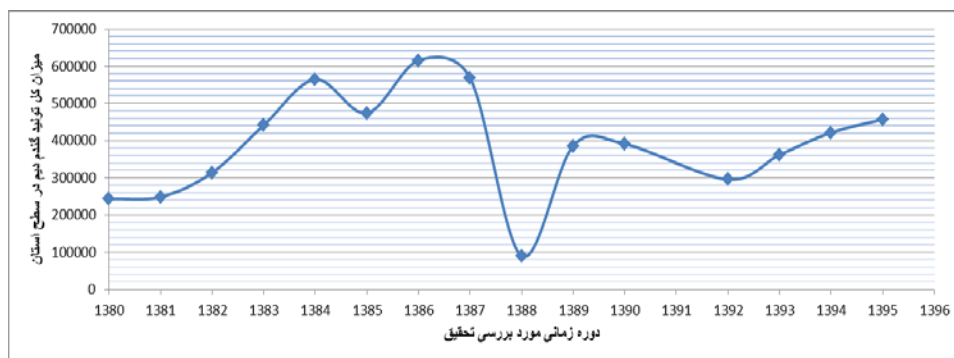
شکل ۱۳. نمودار میزان سرانه تولید گندم دیم در سطح استان کردستان



دوره زمانی تحقیق

شکل ۱۴. نمودار میزان کل تولید گندم دیم در سطح استان کردستان

در شکل ۱۵، نمودار میزان کل تولید گندم دیم در سطح استان، در طول زمان مورد بررسی، آمده که مقدار تغییرپذیری بارش در سال‌های متفاوت و تأثیر آن در کشت دیم و در نتیجه، پدیده خشک‌سالی را نشان می‌دهد.

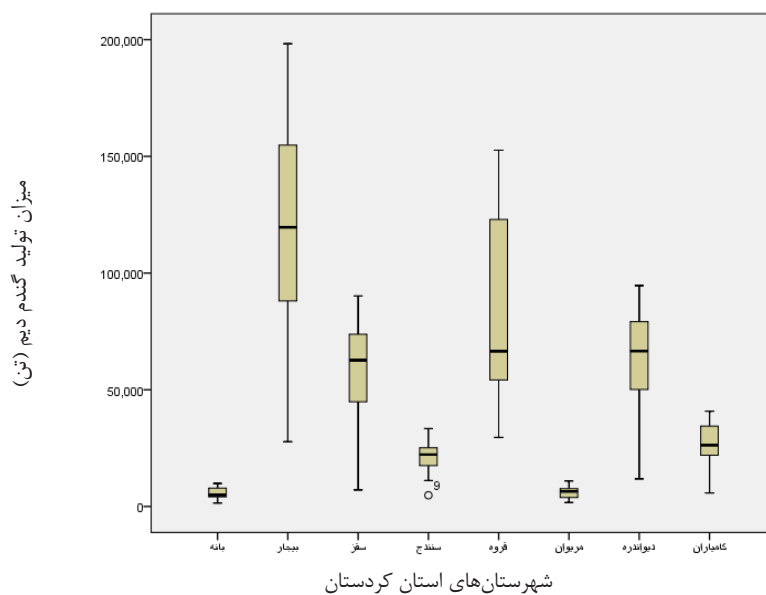


شکل ۱۵. میزان کل تولید گندم به تن در سطح استان

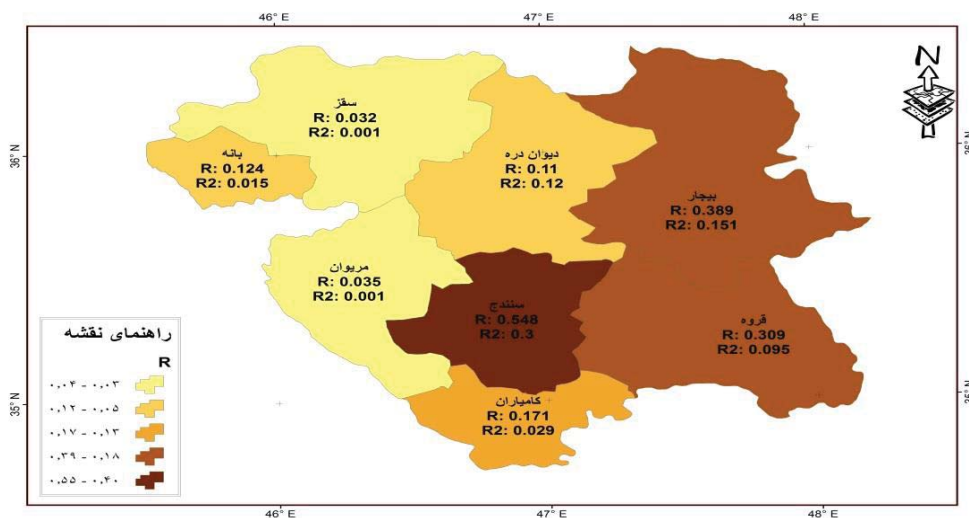
ترکیب شاخص‌های EVI و SPI برای پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی ...

برخی دیگر از شهرستان‌ها، رابطه خطی مشخصی مشاهده نمی‌شود. در مجموع، بررسی آماری در رگرسیون خطی بین دو شاخص مؤید نمودار نشان داده شده در شکل ۱۶ است.

سطح شهرستان‌های استان، بار دیگر و به صورت انفرادی انجام شد. نتایج تحلیل آماری (شکل ۱۷) نشان می‌دهد که دو شاخص مورد بررسی تحقیق، در برخی از شهرستان‌ها، ارتباط خطی مورد قبولی نشان داده‌اند (از جمله شهرستان‌های بیجار، قروه و سنندج) و در



شکل ۱۶. نمودار میزان تولید گندم دیم در شهرستان‌های استان کردستان



شکل ۱۷. نتایج آماری تحلیل رگرسیون خطی دو شاخص SPI و EVI در سطح شهرستان

۴- نتیجه‌گیری

خشک‌سالی شرایط اقلیمی بحرانی‌ای است که در بسیاری از مناطق ایران، طی سالیان گذشته، در محیط و سلامت زیست‌انسان‌ها تأثیر گذاشته است. در این زمینه، پهنه‌بندی مناطق دارای ریسک خشک‌سالی بالا ممکن است دولت و مدیران تصمیم‌گیرنده را در استفاده بهینه از منابع و تجهیزات موجود، به‌منظور کاهش تأثیرات مخرب این پدیده، کمک کند. شاخص بارش استاندارد شده در بازه زمانی یک‌ساله به‌منزله شاخص تعیین‌کننده خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه، یکی از شاخص‌هایی است که در ادوار گذشته استفاده گسترده‌ای از آن شده است. این شاخص براساس رفتار بارشی ایستگاه در دوره زمانی مورد مطالعه به‌دست می‌آید. در این تحقیق، طی هفده سال بازه زمانی مورد بررسی، شاخص بارش استاندارد شده محاسبه و به‌منظور پهنه‌بندی مناطق وقوع خشک‌سالی، در هفده سال، از این شاخص میانگین‌گیری شد و شدت خشک‌سالی در منطقه به‌دست آمد. واریانس بارش در پهنه‌های اراضی منطقه نیز یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار در پدیده خشک‌سالی شمرده می‌شود؛ از این‌رو، لایه تغییرپذیری بارش ایجاد شد. شاخص پوشش گیاهی بارز شده نیز به‌منزله شاخص پوشش گیاهی از تصاویر دریافتی سنجنده مادیس، در دوره زمانی، محاسبه شد. به‌منظور تعیین مناطق حساس به خشک‌سالی، مناطق دارای حساسیت خشک‌سالی بالا با استفاده از بیشترین تغییرات پوشش گیاهی در هفده سال و با بهره‌گیری از پارامترهای آماری در داده‌ها محاسبه و مناطق دارای درجه‌بندی حساسیت متفاوت در بارش‌های سالانه شکل گرفت. پس از آن، پهنه‌بندی استان با استفاده از لایه‌های تولید شده انجام شد.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که خشک‌سالی ناشی از تغییرات بارشی در سطح استان، استخراج شده از شاخص بارش استاندارد شده، دارای راستای غرب به شرق است؛ به‌طوری‌که پدیده خشک‌سالی در مناطق

شرقی به دفعات بیشتری مشاهده شد. این درحالی است که حساسیت پوشش گیاهی و نوسان تغییرات آن بر اثر تغییرات بارش برگرفته از شاخص پوشش گیاهی بارز شده در سطح منطقه نیز راستای غرب به شرق داشته است و مناطق جنوب‌شرق حساسیت بسیار بالاتری به پدیده خشک‌سالی نشان داده‌اند. در مجموع، مناطق شرقی و به‌ویژه جنوب‌شرق استان بیشترین حساسیت آسیب‌پذیری را در برابر پدیده خشک‌سالی دارند. شایان توجه است که مساحت مناطق با ریسک‌پذیری بسیار بالای خشک‌سالی ۱۳۳۹ کیلومتر مربع (حدود ۱۰٪ مساحت اراضی استان) برآورد شد و ۹۱٪ مساحت مناطق دارای حساسیت بسیار زیاد خشک‌سالی در کاربری کشت‌گندم دیم در این استان قرار دارد.

بررسی نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در نظر گرفتن شاخص بارش استاندارد شده به‌تنهایی، به‌منزله معیار خشک‌سالی هواشناسی، در تعیین مناطق خشک‌سالی مؤثر است اما تلفیق نتایج این شاخص با شاخص پوشش گیاهی بارز شده، به‌منزله معیار خشک‌سالی کشاورزی، می‌تواند نتایج دقیق‌تری به‌دست دهد. در برخی نواحی، کاهش یا واریانس بارش سالانه نشان‌دهنده بروز خشک‌سالی است؛ درحالی‌که ممکن است این کاهش تأثیر چندانی در رشد پوشش گیاهی در آن ناحیه نداشته باشد. بنابراین، با در نظر گرفتن شاخص پوشش گیاهی بارز شده و تلفیق آن با شاخص بارش استاندارد شده، نواحی بروز خشک‌سالی با پوشش گیاهی حساس به این پدیده شناخته می‌شود.

در مناطقی مانند نواحی کشت دیم که پوشش گیاهی وابستگی مستقیم به بارندگی داشته باشد، شاخص‌های SPI و EVI با هم ارتباط مستقیم داشته است. شاخص EVI تأثیرات زمینی خشک‌سالی است و شاخص SPI آثار تغییرات بارندگی را نشان می‌دهد و در مناطقی که این دو شاخص به یکدیگر ارتباط دارند، وابستگی پوشش گیاهی به بارندگی نمود می‌یابد. نکته حائز اهمیت در این تحقیق در نظر گرفتن پارامتر زمان

آبی حساس نیست (زمین بایر و لم‌یزرع و محدوده‌های شهری) و یا پوشش گیاهی غالب این نواحی از گونه‌ی خاصی است که متأثر از کمبود منابع آبی نخواهد بود. با بررسی نقشه‌ها و نتایج تحقیق، بهبود نتایج خشک‌سالی در سطح منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. همچنین ارائه نقشه‌های خشک‌سالی با توجه به ویژگی‌های پوشش گیاهی غالب منطقه و تأثیر تغییرات بارشی در روند رشد گیاهان منطقه خواهد بود که در صورت در نظر نگرفتن ویژگی‌های پوشش گیاهی منطقه، نتایج تحقیق مطلوب نظر نخواهد بود.

۵- منابع

اختری، ر.، مهدیان، م.ح.، مرید، س.، ۱۳۸۵، تحلیل مکانی شاخص‌های خشک‌سالی بارش استاندارد شده و EDI در استان تهران، مجله تحقیقات منابع آب ایران، دوره دوم، شماره ۳، صص. ۲۷-۳۷.

برقی، ح.، معمارامامیه، م.، ۱۳۹۵، بررسی اثرات خشک‌سالی بر ساختار اقتصاد روستایی (مطالعه موردی: دهستان گلاب شهرستان کاشان)، نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی، دوره پنجم، شماره ۱۹، صص. ۱۴۸-۱۳۷.

جوادنیسا، ا.، مباشری، م.ر.، ۱۳۸۶، بررسی روش‌های ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

حجازی‌زاده، ز.، پروین، ن.، ۱۳۸۶، مدل‌سازی بارش و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل‌های SARIMA و پایش خشک‌سالی به کمک شاخص BMI و نمایه PDRI در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله تحقیقات جغرافیایی، دوره بیست‌ودوم، شماره ۸۷، صص. ۹۷-۱۲۴.

است زیرا پوشش گیاهی، در زمان رشد و در فصل‌های گرم سال، نیاز بیشتری به منابع آبی دارد و در صورت تأمین‌نشدن آب لازم در دوره گرم سال، حیات گیاه ادامه نخواهد یافت. درعین‌حال، کمبود نزولات آسمانی (خشک‌سالی) و یا ترسالی در فصل‌های دیگر نقش چندانی در حیات گیاه از بین‌رفته ندارد؛ بنابراین، در این تحقیق، شاخص پوشش گیاهی در خرداد و تیر بررسی شده است که بالاترین نرخ رشد گیاه و درعین‌حال، بیشترین افزایش دمایی دیده می‌شود. از سوی دیگر، در نواحی‌ای مانند اراضی زراعت آبی، ارتباط چندانی بین این دو شاخص دیده نمی‌شود.

نتایج آماری در رگرسیون خطی، بین دو شاخص مورد بررسی در تحقیق، تأییدکننده مطالب بالاست. در نتایج رگرسیون خطی برخی از شهرستان‌ها، از جمله بیجار و قروه، رابطه خوبی بین دو شاخص دیده می‌شود که در بررسی کاربری زمین، بیشتر اراضی این شهرستان‌ها کاربری کشاورزی دیم است.

درعین‌حال، EVI شاخص معرف پوشش گیاهی در سطح منطقه مورد مطالعه به‌شمار می‌رود که زمان حساسیت محدود به فصل‌های گرم و نیز زمان رشد گیاه (خرداد و تیر) است. در نتیجه، این شاخص در فصل‌های گرم سال و در بازه زمانی شانزده‌روزه‌ای بررسی شده است تا نتایج صحیحی حاصل شود. بنابراین، هدف اصلی تحقیق به‌کارگیری و ترکیب دو شاخص و استفاده از نتایج آن‌ها برای پهنه‌بندی مناطق حساس به خشک‌سالی است تا نتایج دقیق‌تری به‌دست آید. لازم است بیان شود که در بررسی نتایج تحقیق، این دو شاخص در برخی از نواحی ارتباط مستقیم داشته‌اند؛ یعنی هر دو شاخص خشک‌سالی را در منطقه تأیید می‌کنند. این نکته نشان از تأثیر مستقیم کاهش بارش سالیانه در رشد و ایجاد پوشش گیاهی منطقه دارد. از سوی دیگر، در برخی مناطق دیگر، نشانی از ارتباط بین این دو شاخص دیده نمی‌شود؛ بدین معنی که خشک‌سالی هواشناسی وجود دارد ولی یا کاربری خاص در آن مناطق به چشم می‌خورد که به تغییرات

خوسفی، م.، ۱۳۹۱، بهبود شاخص عمودی خشک‌سالی اصلاح‌شده به‌منظور برآورد میزان خشک‌سالی در مناطق خشک مرکزی ایران، فصلنامه علمی- پژوهشی سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم، شماره ۲، صص. ۴۵-۶۲. سعادت‌تی، س.، سلطانی کویاهی، س.، اسلامیان، س.، ۱۳۹۵، تحلیل فراوانی خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارش استاندارد در حوزه زاینده‌رود، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود (فرصت‌ها و چالش‌ها). طالبی، م.ص.، موسوی بفرویی، م.، ۱۳۸۹، ارزیابی پهنه‌بندی و پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های معتبر، مطالعه موردی: استان کرمان، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

طحان، ز.، معیا، س.، ۱۳۹۱، بررسی شاخص‌های خشک‌سالی در استان کردستان و مقایسه با عملکرد گندم دیم، مجله علمی و فنی نیوار، شماره ۷۶-۷۷، صص. ۱۵-۲۸.

عثمانی، م.، ثانی‌خانی، ه.، ۱۳۹۵، ارزیابی خشک‌سالی در استان کردستان با استفاده از نمایه‌های بارش استاندارد، دهک و بارش نرمال، اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار.

غفاری، ع.، قاسمی، و.ر.، دپائو، ا.، ۱۳۹۴، پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی ایران با استفاده از روش یونسکو، نشریه زراعت دیم ایران، دوره چهارم، شماره ۱، صص. ۶۳-۹۵.

مصباح‌زاده، م.، حجام، س.، صداقت‌کردار، ع.، ۱۳۹۴، توانمندی نظریه آشوب در پیش‌بینی شاخص

حسن‌زاده، ی.، لطف‌الهی، ی.، شاهوردی، م.ع.، فرزین، س.، فرزین، ن.، ۱۳۹۱، نوین‌زادایی و پیش‌بینی سری زمانی بر پایه الگوریتم موجک و نظریه آشوب (مطالعه موردی: شاخص پایش خشک‌سالی بارش استاندارد شده شهر تبریز)، نشریه تحقیقات منابع آب ایران، دوره هشتم، شماره ۳، صص. ۱-۱۳.

حیدری، ح.، ولدان‌زوج، م.ج.، مقصودی، ی.، بهشتی‌فر، م.ر.، ۱۳۹۵، ارزیابی کارایی شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی پهن‌بند در پیش‌بینی شرایط خشک‌سالی در ایران، فصلنامه علمی - پژوهشی سنجش از دور و GIS ایران، سال هشتم، شماره ۲، صص. ۱۱۲-۱۰۱.

خاتمی، س.، مدنی، ک.، ۱۳۹۳، خشک‌سالی چیست؟، روزنامه اعتماد، شماره ۲۱۹۳.

رستم‌نیا، م.، آخوندزاده هنزائی، م.، ۱۳۹۵، بررسی خشکیدگی مخاطره‌آمیز درختان جنگلی استان ایلام با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ششم، شماره ۲، صص. ۱۴۴-۱۳۱.

رضیئی، ط.، دانش‌کار آراسته، پ.، اختری، ر.، ثقفیان، ب.، ۱۳۸۶، بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه بارش استاندارد شده و مدل زنجیره مارکوف، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۱، صص. ۵-۲۵.

زارع ایبانه، ح.، ۱۳۹۴، تحلیل و پایش خشک‌سالی هواشناسی منطقه سیستان و بلوچستان، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره هفدهم، شماره ۱، صص. ۴۹-۶۱.

درویش‌زاده، ر.، متکان، ع.ا.، حسینی اصل، ا.، ابراهیمی

- Hayes, M. & Center, U., 2002, **Drought Indices**, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska.
- Hayes, M.J., Svoboda, D., Wilhite, D.A. & Vanyarkho, O.V, 1999, **Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index**, Bulletin of the American Meteorological Society, 80(3), PP. 429-438.
- Jensen, J.R., 2010, **Introductory Digital Image Processing – A Remote Sensing Perspective** (Third Edition), Prentice Hall.
- McKee, T.B. & Doesken, N.J., 1993, **The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales**, Eight Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-18u PP.
- Pashaienejad, M., Rashki, A.R., 2015, **The use of Vegetation Indices to Assessment Vulnerability of Khorasan Razavi Province to Desertification, First International Conference on Environment and Natural Resources (IENC2015)**, Mashhad, Ferdowsi University.
- خشک‌سالی بارش استانداردشده، مطالعه موردی: رشت، سومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط‌زیست و منابع طبیعی پایدار.
- مفاخری، ا.، خالدی، ش.، شمسی‌پور، ع.ا.، فلاحی خوش‌جی، م.، کرمانی، آ.، ۱۳۹۵، تحلیل خشک‌سالی با استفاده از شاخص NDVI در دشت قروه و دهگلان، نشریه خشک‌سالی کاربردی علوم جغرافیایی، دوره شانزدهم، شماره ۴۱، صص. ۹۴-۷۷.
- مهری، س.، علیزاده، و.، ۱۳۹۴، ارزیابی تغییرات مکانی شدت دوره‌های خشک‌سالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در استان کردستان، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره بیست‌وششم، شماره ۱۰۲، صص. ۱۶۲-۱۵۱.
- وردی پورآزاد آ.، آذرخشی، م.، مساعدی، ا.، فرزادمهر، ج.، ۱۳۹۳، بررسی ارتباط خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی دشت مشهد، کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط‌زیست.
- Chopra, P., 2006, **Drought Risk Assessment Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Gujarat**, M.sc Thesis, ITC University.
- Dupigny-Giroux, L.A., 1999, **Drought Follows the Deluge in Vermont**, Drought Network News (1994- 2001), 41.
- Dupigny-Giroux, L.A., 2001, **Towards Characterizing and Planning for Drought in Vermont-Part I: A Climatological Perspective**, Jawra Journal of the American Water Resources Association, 37(3), PP. 505-525.
- Guttman, N.B, 1998, **Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index**, Journal of the American Water Resources Association, 34(1), PP. 113-121.