

بررسی تغییرات خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور و هواشناسی (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی)

کریم سلیمانی^۱، شادمان درویشی^۲، فاطمه شکریان^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۳

چکیده

خشکسالی کشاورزی به دلیل ارتباط نزدیک با محصولات کشاورزی و منابع آب یکی از پارامترهای مهم در علوم محیطی محسوب می‌شود. هدف مطالعه حاضر پایش زمانی- مکانی خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی با استفاده از تصاویر MODIS و داده‌های هواشناسی است. در این مطالعه، ابتدا با استفاده از تصاویر MODIS شاخص‌های (VCI, VSWI, TCI, LST, NDVI) و (VHI و VDI) در نرم‌افزار ENVI5.3 استخراج شدند. سپس با استفاده از داده‌های هواشناسی شاخص‌های (MCZI, PNI, SPI و ZSI) محاسبه شدند و در ادامه همبستگی پیرسون بین شاخص‌های (VCI, VSWI, TCI, VDI) و (MCZI, PNI, SPI و ZSI) با شاخص‌های (VHI و VDI) در نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. نتایج ضرایب همبستگی نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت و قوی بین شاخص‌های هواشناسی و ماهواره‌ای است. همچنین نتایج حاصل از شاخص‌های (VCI, TCI, VDI و VHI) نشان داد اکثر خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید در دوره ۱۹ ساله در بخش‌های جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب استان بوده و غالب خشکسالی‌های بخش‌های شمال، غرب، شمال غرب، شرق و شمال شرق در طی دوره ۱۹ ساله از نوع ملایم و در برخی از سال‌ها از نوع متوسط بوده است.

کلیدواژه‌ها: استان خراسان شمالی، خشکسالی کشاورزی، VDI، VHI.

۱. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مؤسسه آموزش عالی آبان هراز، آمل

۳. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، نویسنده مسئول، f.shokrian@sanru.ac.ir

* این مقاله برگرفته از پژوهشی مستقل است.

مقدمه

می تواند جایگزین مناسبی برای شاخص های اقلیمی در ارزیابی خشکسالی ها باشد. سروسسی و محمد اسلم^{۱۸} (۲۰۱۵) به تحلیل خشکسالی کشاورزی با استفاده از NDVI و LST در بخش رایچور^{۱۹} پرداختند. نتایج نشان داد ترکیبی از NDVI و LST اطلاعات بسیار مفید برای نظارت بر خشکسالی کشاورزی و سیستم هشداردهنده زودهنگام برای کشاورزان را فراهم می کند. نتایج شولیها^{۲۰} و همکاران (۲۰۱۶) که به بررسی خشکسالی کشاورزی بر اساس شاخص VHI در سبانگ^{۲۱} و کاراوانگ^{۲۲} اندونزی پرداخته بودند، نشان داد که مناطق خشک در طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ از حالت خشکی ملایم به خشکی شدید تبدیل شده است. حمزه و همکاران (۲۰۱۷) به پایش زمانی - مکانی خشکسالی کشاورزی در استان مرکزی پرداختند؛ نتایج نشان داد که محدوده مطالعاتی به طور کلی دارای پوشش گیاهی متوسط تا کم است. بر مبنای محاسبه های انجام شده شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI در مقیاس فصلی، تطابق بیشتری دارد. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۹) خشکسالی شهرستان مریان را با استفاده از شاخص های سنجش از دور بررسی کردند. نتایج نشان داد خشکسالی کشاورزی بر اساس شاخص خشکی پوشش گیاهی (VDI) در هیچ سالی وجود نداشته و مقادیر ارزش پیکسل ها در این شاخص نزدیک به ۱۰۰ بوده که نشان دهنده وضعیت نرمال و بهینه است. کروکیته^{۲۳} و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه ای خشکسالی کشاورزی حوضه پانونیان^{۲۴} در جنوب شرقی اروپا را بررسی کردند؛ نتایج نشان داد خشکسالی های اخیر در حوضه پانونیان نیاز فوری برای نظارت پیشرفته بر وضعیت خشکسالی این ناحیه را توسط برنامه های بین المللی ایجاد کرده است. فانگ^{۲۵} و همکاران (۲۰۲۱) خشکسالی سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ استرالیا را با استفاده از داده های با دقت بالای رطوبت خاک بررسی کردند؛ نتایج نشان داد در مناطق ساحلی شرقی و غربی، خشکسالی ها در بهار و تابستان رخ داده و در پاییز و زمستان برطرف شده اند. همچنین الگوی تغییر زمانی شرایط خشکسالی برای مناطق ساحلی شمال در مقابل سواحل شرقی / غربی بود. بریتو^{۲۶} و همکاران

خشکسالی یک پدیده طبیعی و جزئی از ویژگی های سیستم آب و هواست که تأثیرات مخربی بر محصولات کشاورزی از قبیل کاهش سطح زیر کشت، کاهش عملکرد محصول، تغییر الگوی کشت و در نتیجه تهدید امنیت غذایی انسان و موجودات زنده دارد (گولاسکی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵؛ هیم^۲، ۲۰۰۲). همچنین اثرات اجتماعی و زیست محیطی خشکسالی شامل تهدید امنیت سلامتی انسان و گسترش بیماری ها (لیو^۳ و همکاران، ۲۰۱۶)، افزایش سوء تغذیه (شاو^۴ و همکاران، ۲۰۲۰؛ بلیسوا^۵ و همکاران، ۲۰۱۹)، مهاجرت ساکنان روستایی (هایفتر^۶ و همکاران، ۲۰۱۸)، تأثیر بر رطوبت، سلامت و فرسایش خاک (شیفلد^۷ و همکاران، ۲۰۰۴؛ لی^۸ و همکاران، ۲۰۱۴؛ سانترا^۹ و همکاران، ۲۰۲۰)، تأثیر بر پوشش گیاهی و گسترش بیابانزایی (روستا^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۰؛ عمادودین و همکاران، ۲۰۱۹)، کاهش کیفیت منابع آب (مسلی^{۱۱}، ۲۰۱۵؛ گریو^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۰)، آلودگی هوا (هو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۹)، تأثیر بر ذخایر آب زیرزمینی (بارکی^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۷؛ چامانپیرا^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۴)، حیات وحش و تنوع زیستی است (پریس^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۹؛ پریتو^{۱۷} و همکاران، ۲۰۰۹). تأثیرات مخرب خشکسالی موجب شده است که این پدیده در مقیاس جهانی مورد توجه و بررسی قرار گیرد. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص ارزیابی خشکسالی کشاورزی در ایران و جهان انجام شده است. باعقیده و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی شاخص NDVI در تحلیل خشکسالی استان اصفهان پرداختند. داده های به کاررفته، تصاویر ماهواره NOAA و داده های بارش در ایستگاه ها بوده است. در بین دوره های زمانی شاخص SPI با دوره زمانی سه ماهه، همبستگی بالایی نشان داد. نتایج حاصل از همبستگی نشان داد که NDVI

1. Gulácsi
2. Heim
3. Liu
4. Shaw
5. Belesova
6. Haeffner
7. Sheffield
8. Li
9. Santra
10. Roussta
11. Mosley
12. Guerrero
13. Hu
14. Barkey
15. Chamanpira
16. Preece
17. Prieto

18. Sruthi and Mohammed Aslam
19. Raichur
20. Sholihah
21. Subang
22. Karawang
23. Crocetti
24. Pannonian
25. Fang
26. Brito

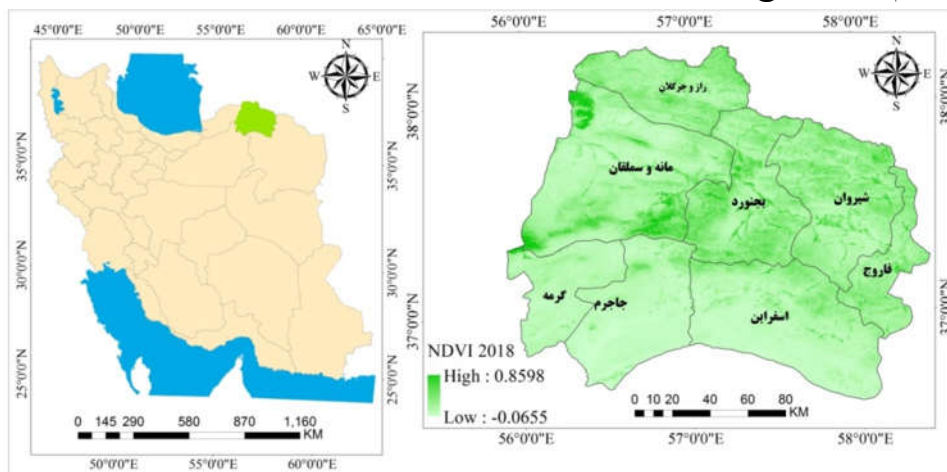
شده است (شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان شمالی، ۲۰۱۶). جمع‌بندی مطالعات ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از دانش سنجش از دور و همچنین داده‌های هواشناسی در قالب شاخص‌های هواشناسی برای بررسی خشکسالی بسیار مفید و کارآمد هستند. در مطالعه حاضر ضمن استفاده از دو علم هواشناسی و سنجش از دور برای پایش خشکسالی استان خراسان شمالی در یک بازه زمانی ۱۹ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸)، میزان همبستگی و ارتباط شاخص‌های هواشناسی و سنجش از دور در بررسی خشکسالی ارزیابی شد. که این امر توجه به ارتباط مستقیم داده‌ها و شاخص‌های هواشناسی با پدیده خشکسالی، اهمیت هریک از شاخص‌های سنجش از دور برای پایش خشکسالی را بیشتر نمایان می‌سازد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان شمالی در $34^{\circ} 34'$ تا $36^{\circ} 17'$ عرض شمالی و $52^{\circ} 55'$ تا $58^{\circ} 20'$ طول شرقی در شمال شرق ایران قرار دارد (شکل ۱). این استان با مساحتی حدود ۲۸۱۷۹ کیلومتر مربع از ۸ شهرستان بجنورد، شیروان، اسفراین، مانه و سملقان، جاجرم، فاروج، گرمه و راز و جرگلان تشکیل شده است. مجاورت این استان از شمال و جنوب با نواحی خشک و نیمه‌خشک باعث شده که مقادیر بارندگی در بخش‌های جنوب، جنوب شرق و جنوب غربی کمتر از دیگر بخش‌ها باشد که زمینه وقوع خشکسالی را در این منطقه فراهم آورده است (سازمان هواشناسی، ۲۰۲۰؛ شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان شمالی، ۲۰۱۶).

(۲۰۲۱) در مطالعه‌ای خشکسالی چندساله برزیل را بررسی کردند؛ نتایج نشان داد از ژوئیه ۲۰۱۴ تا ژوئن ۲۰۱۹، بیش از ۷۵ درصد از مناطق شمال شرقی برزیل خشکسالی استثنایی را حداقل برای مدت ۱ ماه در طول ۵ سال ثبت کرده است. جوان (۲۰۲۱) خشکسالی هواشناسی ایستگاه ارومیه را با استفاده از شاخص SPI بررسی کرد. بررسی تغییرات بارش نشان داد که در دوره آینده اول (۲۰۳۱ تا ۲۰۵۰)، بر اساس دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5، میانگین بارش افزایش می‌یابد ولی در دوره دوم (۲۰۵۰ تا ۲۰۷۰) کاهش بسیار کمی در میزان بارش دیده می‌شود. همچنین مقادیر SPI در مقیاس زمانی طولانی مدت، شدت خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهند و در بین سناریوهای مورد بررسی، RCP8.5 نسبت به سایر سناریوها، شدت خشکسالی بیشتری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. با توجه به فرارگیری ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک آسیا، کشاورزی همواره تحت تأثیر شرایط نامساعد مقدار و توزیع نامناسب بارش بوده است به طوری که میانگین بارش در ایران کمتر از یک سوم میانگین بارش سالانه جهان است و همین امر مشکلاتی را در زمینه کشت زمین‌های کشاورزی به وجود آورده است. کمبود و توزیع نامناسب بارش در اکثر استان‌های کشور وجود دارد (عمادودین و همکاران، ۲۰۱۹) که استان خراسان شمالی هم از این امر مستثنا نبوده و این استان به دلیل موقعیت جغرافیایی یکی از استان‌های مستعد انواع مختلف خشکسالی به خصوص از نوع کشاورزی است. خشکسالی‌های اخیر در این منطقه سبب کاهش ذخیره مخازن آبی، افت شدید آب‌های زیرزمینی، کاهش آبدهی چاه‌ها، خسارات به کشت محصولات دیم و کاهش سطح زیر کشت محصولات آبی



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی استان خراسان شمالی

Figure (1): Geographic location of North Khorasan province

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان شمالی

Table (1): Specifications of synoptic stations in North Khorasan province

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری
بجنورد	۵۷° ۱۶'	۳۷° ۲۸'	۱۱۰۰	۲۰۰۷-۲۰۱۸
اسفراین	۵۷° ۲۹'	۳۷° ۲'	۱۲۰۳	۲۰۰۷-۲۰۱۸
جاجروم	۵۶° ۲۰'	۳۶° ۵۷'	۹۶۹	۲۰۰۷-۲۰۱۸
شیروان	۵۷° ۵۰'	۳۷° ۲۶'	۱۰۵۱	۲۰۰۵-۲۰۱۸
فاروج	۵۸° ۱۳'	۳۷° ۱۳'	۱۱۹۶	۲۰۰۸-۲۰۱۸
آشخانه	۵۶° ۵۶'	۳۷° ۳۳'	۷۶۲	۲۰۰۶-۲۰۱۸
راز	۵۷° ۶'	۳۷° ۵۶'	۱۲۷۸	

داده‌های تحقیق

توجه به شرایط منطقه، اطلاعات جانبی، علم و تجربه تعیین و اعمال می‌شود. در این مطالعه، مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۲ به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی مشخص شد (کبیری، ۲۰۰۱؛ سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۹).

$$NDVI = NIR - RED / NIR + RED \quad (1)$$

دمای سطح زمین (LST)

یکی از ویژگی‌های مناسب تصاویر مادیس محاسبه دمای سطح زمین در قالب محصولات دمایی (MOD11A2 V6) است. در این محصولات، دمای سطح زمین برحسب درجه کلوین محاسبه شده است. در این صورت نیازی به استخراج دما با اعمال معادلات ریاضی نیست و امکان پایش دمای سطح زمین با دقت و زمان اندک فراهم است (آرتیس^۸ و همکاران، ۱۹۸۲).

شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

این شاخص از مقادیر حداقل و حداکثر شاخص NDVI محاسبه می‌شود (معادله ۲). دامنه ارزشی این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ است. ارزش‌های مختلف نشان‌دهنده تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی طی مقیاس زمانی مشخص است و یکی از شاخص‌های موثر در مطالعات خشکسالی است (هیم، ۲۰۰۲).

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} * 100 \quad (2)$$

که در آن، NDVI شاخص پوشش گیاهی، NDVI_{min} و NDVI_{max} ارزش‌های حداکثر و حداقل پوشش گیاهی در منطقه است

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل تصاویر سنجنده مادیس^۱ مادیس^۱ شامل محصولات MOD13A1 V6 ۱۶ روزه (با وضوح مکانی ۵۰۰ متر) برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی، محصولات MOD11A2 V6 ۸ روزه (با وضوح مکانی ۵۰۰ متر) برای محاسبه دمای سطح زمین (سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، ۲۰۲۰) و داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان شمالی (سازمان هواشناسی، ۲۰۲۰) برای استخراج شاخص‌های هواشناسی می‌باشد (جدول ۱).

شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور (RSDI)

شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI)

این شاخص یکی از روش‌های مؤثر سنجش از دور برای بررسی وضعیت تغییرات پوشش گیاهی به شمار می‌رود. شاخص NDVI از ترکیب باندهای قرمز^۴ و مادون قرمز نزدیک^۵ (معادله ۱) از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شود (سروسی و محمد اسلم، ۲۰۱۵؛ گولاسکی و همکاران، ۲۰۱۵؛ پیترس^۶ و همکاران، ۲۰۰۲). در تصاویر مادیس شاخص NDVI در محصولات MOD13A1 V6 ارائه شده است. در این مطالعه به‌منظور جداسازی مناطق دارای پوشش گیاهی از مناطق فاقد پوشش گیاهی از روش آستانه‌گذاری پوشش گیاهی استفاده شد. مقادیر آستانه با

1. MODIS
2. Remote Sensing Drought Indices
3. Normalized Difference Vegetation index
4. RED
5. NIR
6. Peters

7. Land surface temperature
8. Artis
9. Vegetation condition index

شاخص شرایط دمایی (TCI)^(۱)

شاخص شرایط دمایی یکی از پرکاربردترین شاخص‌های مطالعات خشکسالی است. این شاخص از مقادیر LST محاسبه و استخراج می‌شود (معادله^۳). وضعیت خشکسالی در این شاخص ارتباط مستقیمی با تغییرات دمای سطح زمین دارد (جدول ۱). دامنه ارزشی این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ است و مقادیر بالای سطح زمین در این شاخص با مقادیر پایین مشخص می‌شود که نشان‌دهنده شرایط خشکی در منطقه است (کوغان^۲، ۱۹۹۵؛ سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۹).

$$TCI = (LST_{MIN} - LST_a) / (LST_{MAX} - LST_{MIN}) \times 100 \quad (۳)$$

در این معادله، LST دمای سطح زمین، LST_{MAX} و LST_{MIN} به ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل دمای سطح زمین است.

شاخص سلامت گیاهی (VHI)^(۲)

شاخص سلامت گیاهی (جدول ۲) یکی از پر استفاده‌ترین روش‌های محاسبه وضعیت خشکسالی است. این روش به دلیل دقتی که در ارزیابی خشکسالی ارائه می‌کند، یکی از روش‌های مؤثر سنجش از دوری به شمار می‌رود. این شاخص در واقع از ترکیب وضعیت پوشش گیاهی و وضعیت دمای سطح زمین محاسبه می‌شود و در واقع برای بررسی خشکسالی دو پارامتر دمای سطح زمین و وضعیت پوشش گیاهی را ملاک محاسبه قرار می‌دهد. دامنه ارزشی این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ است که ارزش‌های نزدیک به ۱۰۰ وضعیت مطلوب و ارزش‌های نزدیک به ۰ وضعیت خشکی را در منطقه گزارش می‌کند (قالب^۴ و همکاران، ۲۰۱۵؛ شولها و همکاران، ۲۰۱۶).

$$VHI = 0.5 * VCI + 0.5 * TCI \quad (۵)$$

جدول (۲): طبقات خشکی در شاخص‌های TCI، VCI و VHI (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۹)

همکاران، ۲۰۱۹	
Table (2): Drought classes in VCI, TCI and VHI (Solaimani et al., 2019)	
طبقات خشکی	ارزش‌های طیفی
خشکی بسیار شدید	کوچک‌تر از ۱۰
خشکی شدید	۱۰ تا ۲۰
خشکی متوسط	۲۰ تا ۳۰
خشکی ملایم	۳۰ تا ۴۰

شاخص تأمین آب پوشش گیاهی (VSWI)^(۵)

این شاخص از ترکیب دمای سطح زمین (LST) و شاخص NDVI استخراج می‌شود (رابطه^۴). معمولاً با بالا رفتن دمای سطح زمین آب ذخیره‌شده در گیاهان کاهش می‌یابد و در این صورت مقادیر شاخص VSWI کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده شرایط خشکی در منطقه است. این شاخص به دلیل ارتباط نزدیک آن با وضعیت رطوبت گیاهان دید روشنی از وضعیت خشکسالی ارائه می‌کند (لیو و لی، ۲۰۱۱؛ مک‌ویسار و بیوروس^۶، ۲۰۱۰).

$$VSWI = NDVI / LST \quad (۴)$$

شاخص خشکی پوشش گیاهی (VDI)^(۶)

شاخص VDI براساس تغییرات درازمدت شاخص تأمین آب پوشش گیاهی (VSWI) به دست می‌آید. معمولاً از این روش برای بررسی خشکسالی استفاده می‌شود و همانند شاخص VSWI این شاخص هم بر کم بودن آب گیاهان تأکید دارد. از این رو ارتباط مستقیمی با وضعیت خشکی در منطقه دارد. مقادیر ارزشی این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ است و طبقات خشکی در ۳ کلاس وضعیت خشکی (کمتر از صفر)، وضعیت نرمال (۰ تا ۵۰) و وضعیت بهینه (۵۰ تا ۱۰۰) طبقه‌بندی می‌شود (سان^۷ و همکاران، ۲۰۱۳؛ سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۹).

$$VDI = (VSWI - VSWI_{MIN}) / (VSWI_{MAX} - VSWI_{MIN}) \times 100 \quad (۶)$$

که در آن، VSWI شاخص تأمین آب پوشش گیاهی، VSWI_{MIN} و VSWI_{MAX} به ترتیب حداقل و حداکثر شاخص تأمین آب پوشش گیاهی در منطقه است.

شاخص‌های خشکسالی هواشناسی (MDI)^(۸)

شاخص استاندارد بارش (SPI)^(۹)

این شاخص (جدول ۳) با توجه به بررسی تأثیرات کمبود بارش بر آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است. این شاخص را می‌توان در

5. Vegetation Supply Water index
6. McVicar and Bierwirth
7. Vegetation Drought index
8. Sun
9. Meteorology Drought indices
10. Standardized Precipitation index

1. Temperature Condition index
2. Kogan
3. Vegetation Health index
4. Ghaleb

خشکی بسیار شدید ۱/۲۸- تا ۰/۵۲-

شاخص MCZI

این شاخص حالت اصلاح شده شاخص CZI است. در این شاخص برای محاسبه خشکسالی از میانه داده‌های بارندگی استفاده می‌شود. طبقه‌بندی مقادیر این شاخص همانند شاخص SPI صورت می‌گیرد (کریمی و همکاران، ۲۰۱۱).

$$C_{si} = \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^3 / Z \times \sigma_i^3 \quad (9)$$

$$CZI = Z = -\frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} + \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{2} \phi + 1 \right)^{1/3} \quad (10)$$

$$\phi_{ij} = X_{ij} - \bar{X}_j / \delta_i \quad (11)$$

در معادله (۹)، ϕ_{ij} متغیر استاندارد شده، X_{ij} بارندگی سال j برای دوره i ، δ_i میانگین بارندگی و \bar{X}_i انحراف معیار بارندگی است.

شاخص درصد نرمال (PNI)

شاخص PNI (جدول ۵) براساس اندازه‌گیری داده‌های بلندمدت بارش برای هر ایستگاه و سپس تغییرات درصدی آن‌ها از نرمال بارش بلندمدت بر مبنای ماهانه یا سالانه استوار شده است (ناهیگر و همکاران، ۲۰۱۵؛ صالح‌وند و همکاران، ۲۰۱۵).

$$PNI = P_i / \bar{p} \times 100 \quad (12)$$

که در آن، P_i بارش سالانه و \bar{p} میانگین بارش است (خسروی و همکاران، ۲۰۱۲).

جدول (۵): طبقات خشکی در شاخص PNI (انصافی مقدم، ۲۰۰۷)

Table (5): Drought classes in PNI index (Ensafimoghadam., 2007)

ارزش‌های PNI	وضعیت خشکی
۷۰ تا ۸۰ درصد	خشکی ضعیف
۷۰ تا ۵۵ درصد	خشکی متوسط
۴۰ تا ۵۵ درصد	خشکی شدید
کمتر از ۴۰ درصد	خشکی بسیار شدید

نتایج و بحث

ارزیابی نتایج شاخص‌های ماهواره‌ای

در این مطالعه، ارزیابی نتایج شاخص‌های VCI، VSWI، TCI.

3. Modify China Z index
4. Percent of Normal Index

مقیاس‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کرد (رازعی و همکاران، ۲۰۱۳؛ مکرّم و محمودی، ۲۰۱۵؛ چوال، ۲۰۱۵)

$$SPI = P_i - P / \sigma \quad (7)$$

که در آن، P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، P میانگین درازمدت مدت برای دوره مورد نظر و σ انحراف معیار مقدار بارش است (نوبی و همکاران، ۲۰۲۱)

جدول (۳): طبقات خشکی در شاخص SPI (مرد و پایمزد، ۲۰۰۸)

Table (3): Drought classes in SPI index (Morid and Paymzod., 2008)

ارزش‌های SPI	وضعیت خشکی
$2 \leq$	فوق العاده مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	بسیار مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	نسبتاً خشک
-۱/۵ تا -۱/۹۹	بسیار خشک
$2 \geq$	فوق العاده خشک

شاخص عدد Z (ZSI)

مبنای محاسبه این شاخص، انحراف از میانگین نسبت به انحراف استاندارد داده‌های آماری است. شاخص ZSI (جدول ۴) وضعیت بارش نسبت به میانگین را تعیین می‌کند. اگر نمره‌های انحراف از میانگین را بر انحراف استاندارد تقسیم کنیم، نمره استاندارد به دست می‌آید (بروغنی و همکاران، ۲۰۱۵). این شاخص بر اساس توزیع پیرسون نوع سوم با استفاده از داده‌های بارش به مطالعه خشکسالی می‌پردازد (صابری و همکاران، ۲۰۱۸)

$$ZSI = (X_i - X) / SD \quad (8)$$

که در آن، X_i بارندگی ماهانه، X میانگین مارندگی ماهانه، S انحراف معیار است (کریمی و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول (۴): طبقات خشکی در شاخص ZSI (انصافی مقدم، ۲۰۰۷)

Table (4): Drought classes in ZSI index (Ensafimoghadam., 2007)

ارزش‌های ZSI	وضعیت خشکی
۰/۲۵- تا ۰/۲۵	خشکی ضعیف
-۰/۲۵ تا -۰/۵۲	خشکی متوسط
-۰/۵۲ تا -۰/۸۴	خشکی شدید

1. Cheval
2. Z-Score index

باشد و کمبود بارندگی یکی از دلایل عدم وجود همبستگی بین شاخص‌های هواشناسی و سنجش از دوری در این منطقه است. از طرف دیگر افزایش بارندگی در یک ناحیه موجب کاهش دما هوا و دمای سطح زمین می‌شود. با توجه به ماهیت شاخص TCI که از مقادیر دمای سطح زمین استخراج می‌شود، کاهش دمای سطح زمین موجب کاهش مقادیر شاخص TCI می‌شود که این امر بر کاهش همبستگی این شاخص با شاخص‌های هواشناسی تأثیر بگذارد؛ بررسی انجام شده نیز گویای این مسئله است که ضرایب همبستگی شاخص TCI با شاخص‌های هواشناسی در مقایسه با شاخص‌های VCI، VHI، VDI و VSWI به‌خصوص در دو ایستگاه اسفراین و جاجروم کمتر بوده است (جدول ۶).

VDI و VHI با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون تعیین شد. نتایج ضرایب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که شاخص‌های ZSI، SPI و MCZI با شاخص‌های VDI، VHI، VCI و VSWI در ایستگاه‌های مانه و سملقان، شیروان، اسفراین، گرمه و فاروج همبستگی قوی، در ایستگاه‌های راز، جرگلان و بجنورد همبستگی متوسط و در ایستگاه جاجروم همبستگی معنی‌داری وجود ندارد. همچنین سطح معنی‌داری ضرایب همبستگی در ایستگاه‌های شیروان، مانه و سملقان، اسفراین و فاروج در سطح ۰/۰۱ و در ایستگاه گرمه در سطح ۰/۰۵ است. با توجه به اینکه شاخص‌های هواشناسی از داده‌های بارش استخراج می‌شود، موقعیت جغرافیایی شهرستان جاجروم باعث شده است که این ناحیه در طی سال بارندگی کمتری در مقایسه مناطق دیگر استان خراسان شمالی داشته

جدول (۶): ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های هواشناسی و ماهواره‌ای

Table (6): Pearson correlation coefficients between meteorological and satellite indices

ضرایب	مانه و سملقان	شیروان	بجنورد	اسفراین	جاجروم	گرمه	راز و	فاروج
SPI-TCI	۰/۴۳	۰/۵۲	۰/۴۷	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۴۴
ZSI-TCI	۰/۳۹	۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۳۸
PNI-TCI	۰/۳۲	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۲۹	۰/۱۴	۰/۵۴	۰/۲۷	۰/۲۳
MCZI-TCI	۰/۴۱	۰/۵۷*	۰/۳۵	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۲۰	۰/۴۴
SPI-VCI	۰/۶۶*	۰/۷۳**	۰/۳۲	۰/۸۰**	۰/۰۰	۰/۷۱*	۰/۱۸	۰/۷۳**
ZSI-VCI	۰/۶۷*	۰/۶۸*	۰/۱۲	۰/۷۹**	۰/۰۵	۰/۶۵*	۰/۲۳	۰/۶۹*
PNI-VCI	۰/۵۱	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۷
MCZI-VCI	۰/۶۷*	۰/۶۰*	۰/۱۴	۰/۸۲**	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۲۴	۰/۷۱*
SPI-VDI	۰/۳۵	۰/۷۶**	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۸۶*	۰/۲۲	۰/۸۰**
ZSI-VDI	۰/۳۳	۰/۷۱**	۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۶۳*	۰/۲۷	۰/۷۶**
PNI-VDI	۰/۵۴	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۳۲
MCZI-VDI	۰/۵۹	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۵۷*	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۵۰
SPI-VHI	۰/۶۷*	۰/۷۰*	۰/۴۶	۰/۵۷*	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۶۹*
ZSI-VHI	۰/۶۶*	۰/۶۶*	۰/۲۹	۰/۵۷*	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۶۴*
PNI-VHI	۰/۵۱	۰/۲۵	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۴۰	۰/۰۶	۰/۰۱
MCZI-VHI	۰/۷۸*	۰/۶۷*	۰/۳۱	۰/۵۶*	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۰۷	۰/۴۰
SPI-VSWI	۰/۷۶*	۰/۸۰**	۰/۳۵	۰/۸۶**	۰/۰۴	۰/۶۸*	۰/۲۸	۰/۸۳**
ZSI-VSWI	۰/۷۸**	۰/۷۵**	۰/۲۰	۰/۸۵**	۰/۰۱	۰/۶۳*	۰/۳۲	۰/۷۹**
PNI-VSWI	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۸
MCZI-VSWI	۰/۸۸**	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۸۶**	۰/۲۷	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۵۷

** سطح معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ * سطح معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

برخوردار است و قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی (شهرستان‌های اسفراین و جاجروم) و جنوب غربی (شهرستان گرمه) پوشش گیاهی کمی دارند (اشکال ۲ و ۳).

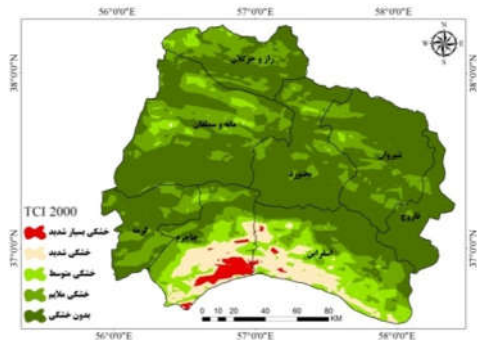
بررسی وضعیت خشکسالی استان خراسان شمالی

وضعیت خشکسالی کشاورزی در استان خراسان شمالی با

بررسی وضعیت پوشش گیاهی

وضعیت پوشش گیاهی استان خراسان شمالی نشان می‌دهد که بخش‌های شمال (شهرستان‌های بجنورد و جرگلان)، شرق و شمال شرقی (شهرستان‌های فاروج و شیروان)، غرب و شمال غربی (شهرستان مانه و سملقان)، از وضعیت پوشش گیاهی مطلوب

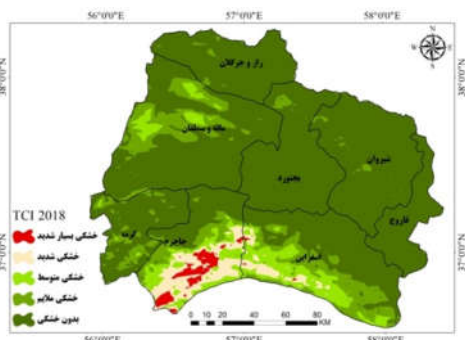
است که بخش‌های شمال، شمال غرب، شمال شرق، شرق و غرب استان خراسان شمالی دارای بیشترین مساحت خشکسالی ملایم در طی دوره ۱۹ ساله بوده و بیشترین مساحت تحت پوشش مربوط به شهرستان‌های شیروان و مانه و سملقان به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۹۴۳/۴۲ کیلومتر مربع) و ۲۰۱۳ (۲۸۸۰/۶۹) بوده است.



شکل (۴): وضعیت خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی در

سال ۲۰۰۰ بر اساس شاخص TCI

Figure (4): Agriculture drought status in 2000 based on TCI index



شکل (۵): وضعیت خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی در

سال ۲۰۱۸ بر اساس شاخص TCI

Figure (5): Agriculture drought status in 2018 based on TCI index

همچنین بخش‌های جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب این استان خشکسالی متوسط بیشترین مساحت این نواحی را زیر پوشش قرار داده است. وضعیت خشکسالی متوسط در این نواحی به گونه‌ای بوده که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ مساحت خشکی متوسط زیاد، از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ کم و از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ مساحت این نواحی روند افزایشی داشته به طوری که در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ خشکسالی شدید هم در این مناطق به خصوص در شهرستان‌های اسفراین و جاجروم رخ داده است. خشکسالی شدید در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ علاوه بر بخش‌های جنوبی استان خراسان شمالی بخش‌های غرب (شهرستان مانه و سملقان)، مرکزی (شهرستان بجنورد) و شرق (شهرستان شیروان) را هم

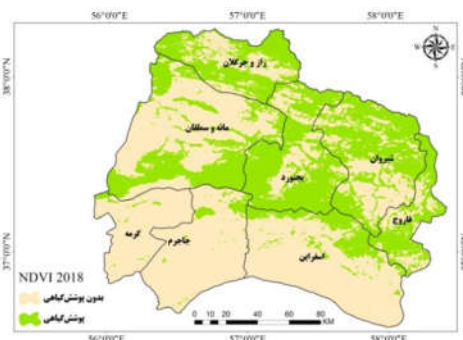
شاخص‌های VCI، TCI و VHI در پنج کلاس بررسی شد.



شکل (۲): وضعیت پوشش گیاهی استان خراسان شمالی در سال ۲۰۰۰

بر اساس شاخص NDVI

Figure (2): Vegetation status of North Khorasan province in 2000 based on NDVI index



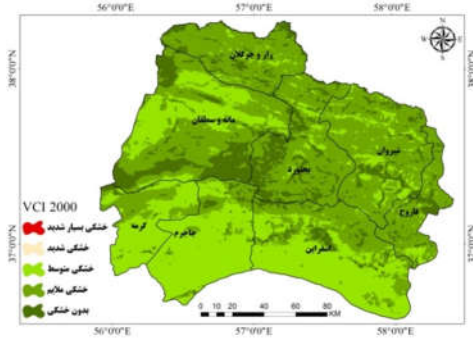
شکل (۳): وضعیت پوشش گیاهی استان خراسان شمالی در سال ۲۰۱۸

بر اساس شاخص NDVI

Figure (3): Vegetation status of North Khorasan province in 2018 based on NDVI index

بررسی نقشه‌های شاخص TCI نشان می‌دهد اکثر خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید در دوره ۱۹ ساله در بخش جنوبی استان (شهرستان‌های اسفراین و جاجروم) قرار داشته و همچنین خشکسالی‌های متوسط و ملایم در اغلب مناطق استان وجود داشته است. همچنین بخش‌های شمال، غرب، شمال غرب، شرق و شمال شرق از لحاظ خشکی در طی دوره ۱۹ ساله در وضعیت مطلوبی قرار داشته به طوری که غالب خشکسالی‌های این نواحی از نوع ملایم بوده است (اشکال ۴ و ۵). علاوه بر پارامتر دمای سطح زمین، عامل وضعیت پوشش گیاهی نیز از راهکارهای مؤثر برای بررسی خشکسالی در یک ناحیه به شمار می‌رود. امروزه استفاده از شاخص VCI به دلیل ارائه وضعیت پوشش گیاهی یک ناحیه در اکثر مطالعات محیطی به منظور پایش خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه بررسی ضرایب همبستگی این شاخص با شاخص‌های هواشناسی گویای همبستگی مثبت و قوی بین دو متغیر است. بررسی نقشه‌های شاخص VCI گویای این امر

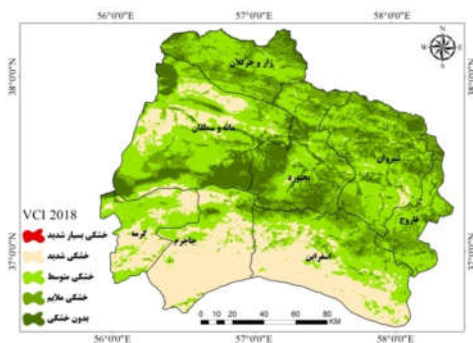
۵۶۸/۴۵ و ۴۲۷/۶۷، ۲۴۸/۵۴، ۴۲۳/۲۲، ۲۷۸/۹۵، ۳۵۸/۵۰، ۲۵۱/۱۷ کیلومتر مربع بوده است که یک روند افزایشی را نشان می‌دهد. همچنین طبقه خشکسالی شدید در شهرستان جاجروم در همه سال‌ها مقدار قابل توجهی را نشان می‌دهد و خشکسالی خیلی شدید در این شهرستان در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ رخ داده که مساحت آن به ترتیب ۲۹/۰۸ و ۴۷/۱۵ کیلومتر مربع است.



شکل (۶): وضعیت خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی در سال ۲۰۰۰ بر اساس شاخص VCI

Figure (6): Agriculture drought status in 2000 based on VCI index

دو شاخص دیگر مورد استفاده در این مطالعه برای بررسی خشکسالی استان خراسان شمالی، VDI و VSWI است. مقادیر شاخص VSWI نشان‌دهنده وجود خشکسالی در یک ناحیه است. شاخص VSWI به منظور استخراج شاخص خشکسالی پوشش گیاهی (VDI) استفاده می‌شود.



شکل (۷): وضعیت خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی در سال ۲۰۱۸ بر اساس شاخص VCI

Figure (7): Agriculture drought status in 2018 based on VCI index

با توجه به مقادیر ارزشی شاخص VDI بخش‌های جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب بیشترین مساحت خشکی را در طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد و مساحت نواحی شمال و بهینه در بخش‌های شمال، شمال غرب و شمال شرق، غرب و شرق بیشتر از نواحی جنوبی استان مشاهده می‌شود.

تحت تأثیر قرار داده است. به طور کلی نتایج شاخص VCI تا حدود زیادی به نتایج شاخص NDVI نزدیک است و بررسی این دو شاخص نشان می‌دهد که غالب خشکسالی متوسط و شدید در نواحی جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی استان خراسان شمالی که وضعیت پوشش گیاهی این نواحی ضعیف بوده، رخ داده است و از طرف دیگر بخش‌های شمال، شمال غرب، شمال شرق، شرق و غرب که وضعیت پوشش گیاهی این نواحی در مطلوب بوده، خشکسالی‌های این نواحی غالباً ملایم و مساحت زیادی از این نواحی دارای وضعیت بدون خشکی بوده‌اند (اشکال ۶ و ۷). همچنین وضعیت خشکسالی بر اساس نتایج شاخص VHI گویای وضعیت خشکی شدید در برخی از بخش‌های خراسان شمالی است. نتایج آماری از مساحت طبقات خشکی در این شاخص گویای خشکسالی‌های متوسط و ملایم در اکثر نواحی استان خراسان شمالی است به طوری که فقط در بخش‌های جنوبی استان (شهرستان‌های اسفراین و جاجروم) خشکسالی‌های شدید در طی دوره ۱۹ ساله رخ داده است. بررسی انجام‌شده حاکی از وضعیت مطلوب شهرستان‌های فاروج، شیروان، بجنورد و راز و جرگلان از لحاظ وضعیت خشکی است به طوری که طی دوره ۱۹ ساله غالب خشکسالی این نواحی ملایم و در برخی از سال‌ها از نوع متوسط بوده است (اشکال ۸ و ۹). خشکسالی‌های ملایم این مناطق مساحت کمتری را به خود اختصاص داده و بیشتر مساحت این نواحی زیر پوشش وضعیت بدون خشکی بوده است. بنابراین این نواحی از نقطه نظر فعالیت‌های کشاورزی از وضعیت بهتری نسبت به دیگر نواحی استان برخوردار است. بیشترین مساحت خشکسالی متوسط در این نواحی در شهرستان‌های شیروان و راز و جرگلان در سال ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۴۹۲، ۱۲ و ۳۸۴ کیلومتر مربع بوده است. همچنین بیشترین مساحت خشکی ملایم در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۷ به ترتیب ۱۸۱۶/۵، ۱۷۲۳/۷۹ و ۱۸۳۰/۸۷ کیلومتر مربع در شهرستان شیروان بوده است. از طرف دیگر شهرستان‌های اسفراین و جاجروم به دلیل موقعیت جغرافیایی و قرارگیری این نواحی در بخش‌های خشک و نیمه‌خشک ایران از لحاظ خشکی در وضعیت نامطلوبی قرار دارد. بیشترین مساحت خشکسالی شدید در شهرستان اسفراین در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۸، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ به ترتیب ۲۳۲/۵۷،

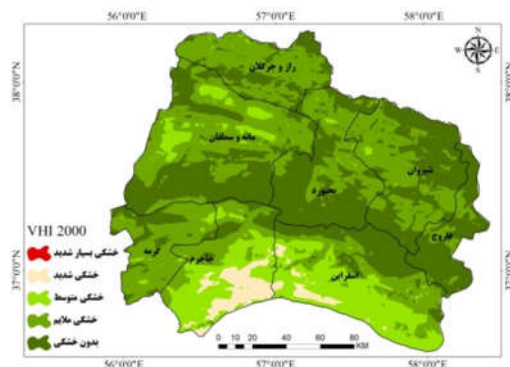


شکل (۱۱): وضعیت خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی در سال ۲۰۱۸ بر اساس شاخص VDI

در طی دوره ۱۹ ساله بیشترین مساحت نواحی خشک در سطح استان در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ و در شهرستان‌های مانه و سملقان، اسفراین و جاجروم بوده است. همچنین بیشترین مساحت نواحی بهینه در سال ۲۰۱۶ بوده است که این شرایط بهینه بیشتر در شهرستان‌های مانه و سملقان، بجنورد، راز و جرگلان و فاروج به ترتیب ۱۳۰۴/۸۵، ۱۳۹۲/۵۶، ۶۴۶/۹۹ و ۲۰۷/۲۵ کیلومتر مربع بوده است. به طور کلی بر اساس این شاخص شرایط خشکی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در سطح استان مشاهده شده و از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ منطقه در وضعیت مطلوبی قرار داشته است.

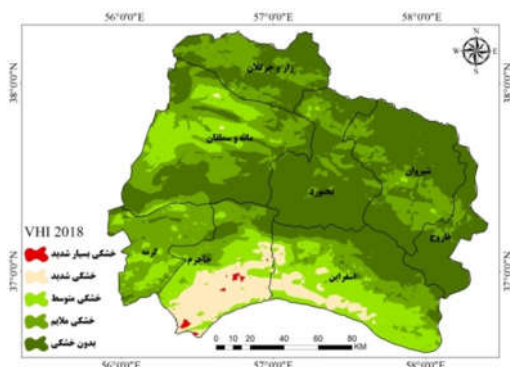
نتیجه گیری

ضرورت استفاده از شاخص‌های مختلف برای پایش خشکسالی به منظور بررسی دقیق این پدیده صورت می‌گیرد، زیرا هرکدام از این شاخص‌ها خشکسالی را از یک جنبه بررسی می‌کنند. بررسی شاخص‌های TCI، VCI و VHI از وضعیت خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی نشان داد که بخش‌های جنوب، جنوب شرقی (شهرستان‌های اسفراین و جاجروم) از لحاظ وضعیت خشکسالی از شرایط نامطلوب برخوردار بوده و در طی دوره مورد مطالعه خشکسالی‌های خیلی شدید، شدید و متوسط در این مناطق رخ داده است. از طرف دیگر بخش‌های شمال (شهرستان‌های راز و جرگلان و بجنورد)، غرب و شمال غرب (شهرستان مانه و سملقان)، شرق و شمال شرق (شهرستان‌های فاروج و شیروان) از وضعیت مطلوبی برخوردار بوده‌اند و اغلب خشکسالی‌های این نواحی ملایم و در برخی از سال‌ها متوسط بوده است. همچنین نتایج VDI همانند شاخص‌های TCI، VCI و VHI بوده است و در این شاخص نیز بخش‌های جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب



شکل (۸): وضعیت خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی در سال ۲۰۰۰ بر اساس شاخص VHI

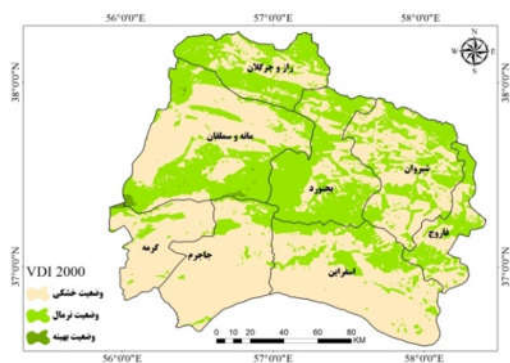
Figure (8): Agriculture drought status in 2000 based on VHI index



شکل (۹): وضعیت خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی در سال ۲۰۱۸ بر اساس شاخص VHI

Figure (9): Agriculture drought status in 2018 based on VHI index

به طوری که در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ مساحت نواحی بهینه و نرمال از نواحی خشک بیشتر بوده و در این سال‌های استان خراسان شمالی از وضعیت مناسبی برخوردار بوده است (اشکال ۱۰ و ۱۱).



شکل (۱۰): وضعیت خشکسالی کشاورزی استان خراسان شمالی در سال ۲۰۰۰ بر اساس شاخص VDI

Figure (10): Agriculture drought status in 2000 based on VDI index

مطالعه نیز با مطالعات سلیمانی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. به‌طور کلی استفاده از شاخص‌های گوناگون می‌تواند درک بهتری از وضعیت خشکسالی ارائه کند زیرا هر یک از شاخص‌ها وضعیت خشکسالی را با توجه به یک پارامتر خاص (مانند شاخص TCI و VCI) یا ترکیبی از چند پارامتر (مانند شاخص VHI) بررسی می‌کند. همچنین بررسی میزان همبستگی شاخص‌ها نیز در ارائه نتایج دقیق بسیار مؤثر است؛ زیرا برخی از شاخص‌ها همانند شاخص‌های هواشناسی ارتباط مستقیمی با وضعیت خشکسالی دارد و بررسی ارتباط این شاخص‌ها با شاخص‌های سنجش از دور دقت این شاخص‌های ماهواره‌ای را بهتر مشخص می‌کند.

دارای بیشترین مساحت خشکی و بخش‌های شمال، شمال غرب و شمال شرق، غرب و شرق دارای بیشترین مساحت نرمال و بهینه است. جمع‌بندی نتایج مطالعه حاضر و مقایسه آن با مطالعات مطرح‌شده در ادبیات تحقیق گویای این است که نتایج شاخص‌های VCI، TCI و VHI با مطالعات خارجی سروسسی و همکاران (۲۰۱۵)، شولیاها و همکاران (۲۰۱۶) و کروکیستی و همکاران (۲۰۲۰) و مطالعات داخلی همانند باعقیده و همکاران (۱۳۹۰)، حمزه و همکاران (۱۳۹۶) همسو بوده و در این مطالعات همانند مطالعه حاضر، این شاخص‌ها نتایج مناسبی از وضعیت خشکسالی گزارش کرده‌اند. همچنین نتایج شاخص‌های VDI و VSWI در این

منابع

- Artis, D. A. and Carnahan, W. H., 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment* 12, 313-329
- Baaqideh, M., Alikhani, B. and Ziaian, P., 2011. Evaluating the possibility of using the NDVI index to analyze and monitor droughts in Esfahan Province. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 1, 1-16
- Baaqideh, M., Alikhani, B. and Ziaian, P., 2011. Evaluating the possibility of using the NDVI index to analyze and monitor droughts in Esfahan Province. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 1, 1-16
- Barkey, B. and Bailey, R. T., 2017. Estimating the Impact of Drought on Groundwater Resources of the Marshall Islands. *Water* 9, 1-12.
- Belesova, K., Agabiirwe, C. N., Zou, M., Phalkey, R. and Wilkinson, P., 2019. Drought exposure as a risk factor for child undernutrition in low- and middle-income countries: A systematic review and assessment of empirical evidence. *Environment International* 131, 1-18
- Brito, Y. M.A., Rufino, I.A.A., Braga, C.F.C. and Mulligan, K., 2021. The Brazilian drought monitoring in a multi-annual perspective. *Environmental Monitoring and Assessment* 193, 1-17.
- Boroghani, M., Moradi, H. and Zangane Asadi, M., 2015. Zoning and determination of the best index in khorasan razavi. *Arid Regions Geographic Studies* 5, 70-84
- Cheval, S., 2015, The Standardized Precipitation Index an overview. *Romanian journal of meteorology* 12, 17-64
- Chamanpira, Gh., Zehtabian, Gh., Ahmadi, H. and Malekian, A., 2014. Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: Plain Alashtar. *Journal of Watershed Engineering and Management* 6, 10-20
- Crocetti, L., Forkel, M., Fischer, M., Jurečka, F., Grlj, A., Salentinig, A., Trnka, M., Anderson, M., Ng, W. T., Kokalj, Z., Bucur, A. and Dorigo, W., 2020. Earth Observation for agricultural drought monitoring in the Pannonian Basin (southeastern Europe): current state and future directions. *Regional Environmental Change* 20, 1-17
- Emadodin, I., Reinsch, T. and Taube, F., 2019. Drought and Desertification in Iran. *Hydrology* 6, 1-12.
- Ensafimoghadam, T., 2007. An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 14, 271-288
- Fang, B., Kansara, P., Dandridge, Ch. and Lakshmi, V., 2021. Drought monitoring using high spatial resolution soil moisture data over Australia in 2015–2019. *Journal of Hydrology* 594, 1-12
- Ghaleb, F., Mario, M. and Sandra, A. N., 2015. Regional Landsat-Based Drought Monitoring from 1982 to 2014. *Journal of Climate* 3, 563-577
- Guerrero, M.D.P., Nauditt, A., Muñoz-Robles, C., Ribbe, L. and Meza, F., 2020. Drought impacts on water quality and potential implications for agricultural production in the Maipo River Basin, Central Chile. *Hydrological Sciences Journal* 65, 1005-1021
- Gulácsi, A. and Kovács, F., 2015. Drought monitoring with spectral indices calculated from MODIS satellite images in Hungary. *Journal of Environmental Geography* 8, 11–20
- Haeffner, M., Baggio, J. A. and Galvin, K., 2018. Investigating environmental migration and other rural drought adaptation strategies in Baja California Sur, Mexico. *Regional Environmental Change* 18, 1495–1507
- Hamzeh S, Farahani Z, Mahdavi S, Chatroboun

- O. and Gholamnia M., 2017. Spatiotemporal monitoring of agricultural drought using remotely sensed data (Case study of Markazi province of Iran). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 4, 53-70
19. Heim, R. J., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *American meteorological society* 83, 1149-1165
20. Hu, Y., Wang, Sh., Yang, X., Kang, Y., Ning, G. and Du, H., 2019. Impact of winter droughts on air pollution over Southwest China. *Science of The Total Environment* 664, 724-736
21. Iran Meteorological Organization, 2020. Meteorological data, Available at: <https://data.irimo.ir/>
22. Javan, Kh., 2021. Investigation of meteorological drought in Urmia using SPI under climate change scenarios (RCP). *Journal of Climate Change Research* 2, 81-94
23. Karimi, V., Habibnejadroshan, M. and Abkar, A., 2011. Investigation of meteorological drought Indexes in Mazandaran synoptic Stations. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 2, 15-25.
24. Kabiri, K., 2001. Investigating the Effects of Drought on Iran vegetation in the 1990s, using NOAA satellite imagery, MSc Thesis, Toosi University, 170 pp.
25. Khosravi, M., Movaqqari, A. and Mansouri Daneshvar, M. R., 2012. Evaluating the PNI, RAI, SIP and SPI Indices in Mapping Drought Intensity of Iran: Comparing the Interpolation Method and Digital Elevation Model (DEM). *Journal of Geography and Sustainability of Environment* 2, 53-70
26. Kogan, F.N., 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorology Society* 76, 655-668
27. Li, S., Ren, H. D., Xue, L., Chang, J. and Yao, X. H., 2014. Influence of bare rocks on surrounding soil moisture in the karst rocky desertification regions under drought conditions. *CATENA* 116, 157-162
28. Liu, S. and Li, W., 2011. "The study on drought monitoring based on multi-source remotely sensed images". Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Shanghai China.
29. Liu, X., Zhu, X., Pan, Y., Li, S., Liu, Y. and Ma, Y., 2016. Agricultural drought monitoring: Progress, challenges, and prospects. *Journal of Geographical Sciences* 26, 750-767
30. McVicar, T. R. and Bierwirth P. N., 2010. Rapidly assessing the 1997 drought in Papua New Guinea using composite AVHRR imagery. *International Journal of Remote Sensing* 22, 2109-2128
31. Morid, S. and Paymzd, S., 2008. Comparison of Hydrological and Meteorological Methods for Daily Drought Monitoring: A Case Study, the 1998-2000 Drought Spell of Tehran Iran. *Journal of Water and Soil Science* 11, 325-333
32. Mosley, L. M., 2015. Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Science Reviews* 140, 203-214
33. Mokarram, M. and Mahmoodi, A, R., 2015. Using SPI and PN indices for determination of drought in the Fars Province. *Journal of Applied Hydrology* 2, 49-60
34. Navabi, N., Moghaddasi, M. and Gangi, N., 2021. Assessment of Agricultural Drought Monitoring Using Various Indices based on Ground-based and Remote Sensing Data (Case Study: Lake Urima Basin). *Journal of Watershed Engineering and Management* 13, 1-12.
35. Nohegar, A., Mahmoodabadi, S. and Norouzi, A., 2015. Comparison the Suitability of SPI, PNI and DI Drought Index in Kahurestan Watershed (Hormozgan Province/South of Iran). *Journal of Environment and Earth Science* 5, 71-76
36. Peters, A.J., Shea, E.W., Lei, J. and Svoboda, M., 2002. Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 68, 71-75
37. Preece, C., Verbruggen, E., Liu, L., Weedon, J. T. and Peñuelas, J., 2019. Effects of past and current drought on the composition and diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 131, 28-39
38. Prieto, P., Penuelas, J., Lloret, F., Llorens, L. and Estiarte, M., 2009. Experimental drought and warming decrease diversity and slow down post-fire succession in a Mediterranean shrubland. *Ecography* 32: 623-636
39. Regional Water Company of north Khorasan, 2016. Statistical information of North Khorasan Province. Available at: <http://www.wnkh.ir/SC.php?type=static&id=19>
40. Roustaa, I., Olafsson, H., Moniruzzaman, M., Zhang, H., Liou, Y. A., Mushore, T. D. and Gupta, A., 2020. Impacts of Drought on Vegetation Assessed by Vegetation Indices and Meteorological Factors in Afghanistan, *Remote Sens* 12, 1-21.
41. Saberi, A., Soltani-Gerdefaramarzi, S. and Miryaghoubzadeh, M., 2018. Study of drought using meteorological and remote sensing data (Azarbaijan province). *Journal of the Earth and Space Physics* 44, 439-461
42. Salehvand, I., Montazeri, M., Gandomka, A. and Momeni, M., 2015. Evaluation of Meteorological Drought Index for Drought Assessment and Mapping in Lorestan Province in Iran. *Journal of Geography Environment and Earth Science International* 2, 24-36
43. Santra, A. and Mitra, S. S., 2020. Space-Time Drought Dynamics and Soil Erosion in Puruliya District of West Bengal, India A Conceptual Design. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 48, 1191-1205
44. Sholihah, R.I., Trisasongko, B.H., Shiddiq, D., LaOde S I., Kusdaryantoa, S. and ManijoaPanuju,

- D.R., 2016. Identification of agricultural drought extent based on vegetation health indices of Landsat data: case of Subang and Karawang, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences* 33,14-20
45. Shaw, S., Khan, J. and Paswan, B., 2020. Spatial modeling of child malnutrition attributable to drought in India. *International Journal of Public Health* 65, 281–290
46. Sheffield, J., Goteti, G., Wen, F. and Wood, E. F., 2004. A simulated soil moisture based drought analysis for the United States. *Climate and Dynamics* 109, 1-19
47. Solaimani, K., Darvishi, Sh. and Shokrian, F., 2019. Analysis of agricultural drought using remote sensing indices (Case study: Marivan city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources* 10,15-33.
48. Sruthi, S. and Mohammed Aslam, M.A., 2015., *Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data a Case Study of Raichur District*. *Aquatic Procedia* 4, 1258-1264
49. Sun, H., Zheo, X., Chen, Y., Gong, A. and Yang, j., 2013. A new agricultural drought monitoring index combining MODIS NDWI and day–night land surface temperatures: a case study in China. *International Journal of Remote Sensing* 34, 8986-9001.
50. US Geological Survey website, 2020. MODIS images. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov>
51. Zarei, R., Serajian, M., Bazgeer, S., 2013. Monitoring Meteorological Drought in Iran Using Remote Sensing and Drought Indices. *Journal of Desert* 18, 89-97.
52. Zhang, A. and Jia, G., 2013. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. *Remote Sensing of Environment* 134, 12-23.

Investigating Agricultural Drought Changes Using Remote Sensing and Meteorological Indicators: A Case study of North Khorasan Province

Karim Solaimani¹ Shadman. Darvishi², Fatemeh Shokrian^{3*}

Received: 13/06/2021

Accepted: 04/12/2021

Extended Abstract

Introduction

As a natural phenomenon that characterizes the climate system, drought exerts devastating effects on agricultural products, including reducing cultivation levels, decreasing crop yield, and changing cropping patterns, thus threatening the food security of humans and other creatures. Moreover, it brings about some social and environmental consequences such as threatening human health security, spreading diseases, increasing malnutrition, increasing the migration of rural residents, influencing the moisture, health, soil erosion, and vegetation, developing desertification, decreasing the water resources quality, increasing air pollution, and affecting groundwater reserves, wildlife, and biodiversity. These disastrous effects have turned drought into the subject of different investigations worldwide. on the other hand, as Iran is located in arid and semi-arid regions of Asia and suffers from inappropriate rainfall distribution, it faces some problems in terms of cultivating agricultural lands. Located in eastern Iran, North Khorasan province is not an exception in this regard, being considered as a region susceptible to different types of droughts, especially agricultural ones, due to its geographical location. Furthermore, recent droughts in the province have led to reduced water reservoirs' volume, severe groundwater depletion, reduced discharge of wells' water, damages to rainfed crops, and reduced irrigated crops in the province. Therefore, this study sought to investigate the relationship between drought and meteorological conditions in North Khorasan province throughout a 19-year period using remote sensing indices.

1. Professor, Dept. of Watershed Management, Sari University of Agric. & Natural Resources, Sari-Iran

2. M.Sc. in Remote Sensing & GIS, Aban Haraz Institute of Higher Education, Amol-Iran

3 . Assistant Professor, Dept. of Watershed Management, Sari University of Agric. & Natural Resources, Sari-Iran, Corresponding author; f.shokrian@sanru.ac.ir

DOI: 10.22052/deej.2021.10.33.51

Materials and Methods: This study used the data collected from synoptic stations in North Khorasan province, and MODIS imagery data including 16-day MOD13A1 V6 products (500 m spatial resolution) to measure the NDVI index and 8-day MOD11A2 V6 products (500 m spatial resolution) to measure ground surface temperature (LST). Extracted from MODIS images in ARC GIS software, a set of remote sensing indices including NDVI, VCI, LST, VSWI, TCI, VDI, and VHI were also used to monitor the drought. Then, SPI, PNI, MCZI, and ZSI were measured to investigate the relationship between meteorological and remote sensing indices. Finally, Pearson correlations were measured between SPI, PNI, MCZI, and ZSI, and VCI, VSWI, TCI, VDI, and VHI using the SPSS software.

Results: The results of analyzing the Pearson correlation coefficients indicated a strong correlation between SPI, ZSI and MCZI, and VCI, VHI, VDI, and VSWI in Maneh and Samolghan, Shirvan, Esfarayen, Garmeh, and Farouj stations, moderate correlations between the indices in Raz, Jirgalan, and Bojnourd stations, and no significant correlation between the indices in Jajrum station. As for the status of vegetation in North Khorasan province, it was found that the northern, eastern, northeastern, western, and northwestern parts of the province had favorable vegetation, while the province's southern, southeastern, and southwestern regions were covered with sparse vegetation. The results also showed that sparse vegetation played a major role in drought occurrence, with many of the severe and very severe droughts occurring in the southern part of the province according to the TCI index, while the north, west, northwest, east, and northeast regions of the province were in the favorable condition in terms of drought where most of the droughts were of the mild type. Furthermore, based on VCI and VHI, north, northwest, northeast, east, and west parts of North Khorasan province possessed the highest areas with mild drought, with the mild drought, persisted during the 19-year period throughout the province, where the highest area affected by the drought belonged to Shirvan, and Maneh and Samalqan cities in 2000 and 2013, respectively.

However, most areas in the south, southeast, and southwest of the province were found to have experienced moderate drought during the study period. According to the VHI (used to displays the combined effects of vegetation and land temperature surface when monitoring the drought), most areas of the North Khorasan province were found to be affected by moderate and mild droughts, with merely the southern regions of the province (Esfarayen and Jajrum counties) experiencing severe droughts. It was also revealed that Farooj, Shirvan, Bojnord, and Raz and Jorgelan were in favorable conditions in terms of drought, VSWI, and VDI. However, the south, southeast, and southwest parts of the province were covered by the most drought areas based on VSWI, and VDI throughout the study period, while normal and optimal conditions were mostly observed in the north, northwest, northeast, west, and east regions of the province.

Conclusion: It could generally be argued that applying various indicators can provide a better understanding of the drought situation, as each indicator examines the drought status based on a specific parameter (such as TCI and VCI) or a combination of several parameters (such as the VHI index). Moreover, evaluation of the correlation coefficients of indicators could be very effective in providing accurate results, considering the fact that some satellite-driven indicators such as the meteorological ones have a direct relationship with the drought status, whose accuracy can better be determined if their relationship with remote sensing indices is investigated. Therefore, considering this study's results regarding the Pearson correlation coefficients between meteorological and satellite drought indices, it is recommended that future relevant studies use VCI, VHI, VSWI, and VDI to monitor the status of drought.

Keywords: Agricultural Drought, VHI, VDI, North Khorasan Province.