

پایش خشکسالی منطقه‌ای با استفاده از تصاویر لندست

منطقه مورد مطالعه: شهرستان کرمانشاه

میلاذ سلطانی^۱

عادل سلطانی^۲

مهین کله‌هوئی^۳

کریم سلیمانی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۲/۰۸

چکیده

خشکسالی یک خطر جدی با اثرات بسیار گسترده بر روی خاک، اقتصاد و تهدید معیشت و سلامت جوامع محلی می‌باشد. این بلا به عنوان یک پدیده ناگوار اقلیمی که بطور مستقیم جوامع را از طریق محدودیت در دسترسی به منابع آب تحت تأثیر قرار می‌دهد، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را به همراه دارد. شاخص‌های خشکسالی هواشناسی مستقیماً از روی داده‌های هواشناسی نظیر بارندگی محاسبه می‌شوند و در صورت فقدان داده‌های مذکور، در پایش خشکسالی مفید واقع نخواهند شد. لذا تکنیک سنجش از دور می‌تواند ابزاری مفید در پایش خشکسالی به شمار رود. هدف از این مطالعه پایش خشکسالی و سلامت پوشش گیاهی در شهرستان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست می‌باشد. بدین منظور ابتدا با بررسی داده‌های باران‌سنجی و سینوپتیک ایستگاه‌های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده خشک‌ترین سال و یک‌سال مرطوب به عنوان نمونه انتخاب شد. در این مطالعه دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به عنوان سال‌های خشک و تر انتخاب شد و سپس پوشش گیاهی منطقه با تصاویر لندست مورد مقایسه قرار گرفت. ابتدا پیش‌پردازش و پردازش‌های لازم همانند تصحیح هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. سپس شاخص‌های شرایط دمایی، شاخص وضعیت پوشش گیاهی و شاخص سلامت پوشش گیاهی برای پایش خشکسالی تهیه گردید. بدین ترتیب در مرحله بعد نتایج این مطالعه نشان داد تصاویر لندست و شاخص‌های ساخته شده دارای قابلیت لازم برای پایش خشکسالی می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند گزینه مناسبی برای تصمیم‌گیران به منظور بررسی نظارت، بررسی و حل و فصل شرایط خشکسالی مؤثر باشد و ضرورت تعریف نمایه‌ای را دوچندان کند.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی، سنجش از دور، شاخص سلامت پوشش گیاهی، کرمانشاه

۱- دانش آموخته کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران (نویسنده مسئول) m.soltani102@gmail.com

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه پیام نور، ایران asoltani100@gmail.com

۳- دانش آموخته کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران mahin6936@gmail.com

۴- استاد گروه علوم مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران solaimani2001@yahoo.co.uk

مقدمه

وسیع و گسترده فراهم آورده و مدل‌های پایش خشکسالی زیادی ارائه شده است که عموماً بر پایه شاخص‌های گیاهی، دمای سطح زمین، رطوبت و بازتاب در ناحیه مرئی و مادون قرمز است. از آن جمله می‌توان به شاخص محتوای آب برگ (Kogan, 1987)؛ شاخص شرایط پوشش گیاهی (Wang et al, 1995)؛ شاخص دما- خشکسالی - پوشش گیاهی (Wang et al, 2001) اشاره نمود. شاخص بارش استاندارد (SPI) یک شاخص براساس احتمال بارندگی برای هر مقیاس زمانی می‌باشد. این نمایه به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های بارندگی و قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه به عنوان مناسب‌ترین نمایه برای پایش خشکسالی هواشناسی شناخته شده است (Cancelliere et al, 2007). شاخص رطوبت محصول^۱ (CMI) که نشان‌دهنده وجود رطوبت در کوتاه مدت در مناطق زراعی اصلی است و برای ارزیابی خشکسالی در طولانی مدت استفاده می‌شود. شاخص خشکسالی احیای زمین^۲ (RDI) به عنوان یک ابزار تعریف دوره خشکسالی و پیش‌بینی شروع و پایان دوره خشکسالی توسعه یافته است. شاخص سلامت پوشش گیاهی^۳ (VHI) نیز براساس ترکیب حاصل از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده^۴ (NDVI) و درجه حرارت سطح زمین^۵ (LTS) استخراج می‌شود. در سطح جهانی، پایش خشکسالی به طور گسترده از طریق ماهواره‌های مختلف مثل AVHRR (Caccamo et al, 2011; Rhee et al, 2011)، MODIS (Bayarjargal et al, 2006; Rojas et al, 2011) و AMSR-E zang et al, 2014) و (Mladenova et al, 2013) انجام می‌شود. Jiang و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM برای سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ میلادی و نیز ایستگاه‌های بالادست تا پایین‌دست یک حوضه آبخیز وسیع، شاخص SPI یک و سه ماهه را برای این حوضه محاسبه کردند و با استفاده از

خشکسالی به عنوان یکی از مهمترین بلاهای طبیعی بوده که با وقوع تدریجی آرام و خزنده‌اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تأثیر می‌گذارد (ابراهیمی خوسفی و همکاران، ۱۳۸۹). این بلا به عنوان یک پدیده ناگوار اقلیمی که بطور مستقیم جوامع را از طریق محدودیت در دسترسی به منابع آب تحت تأثیر قرار می‌دهد، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را به همراه دارد (Goddard et al., 2001). خشکسالی پدیده‌ای است که منابع آب و غذا و همچنین اقتصاد را در سرتاسر جهان در آینده تهدید می‌کند. از سال ۱۹۰۰، بیش از یازده میلیون نفر در نتیجه خشکسالی از بین رفته‌اند و حدود ۲ میلیارد نفر تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته‌اند (فائو، ۲۰۱۵). به طور کلی خشکسالی به عنوان یک دوره - یک فصل طولانی، یک سال، یا چند سال، کمبود بارش در مقایسه با متوسط آماری چند ساله که منجر به نقصان آب برای برخی فعالیت‌ها، گروه‌ها یا بخش محیط زیست می‌شود، تعریف می‌شود (موزنراده و همکاران، ۱۳۹۰). ویلهیت و گلانتز (۱۹۸۵) خشکسالی را به چهار نوع: هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی - اجتماعی تقسیم‌بندی نمود. خشکسالی را می‌توان با سه ویژگی شدت، مدت و پوشش مکانی توضیح داد که با استفاده از شاخص‌های خشکسالی قابل ارزیابی است. تا به امروز شاخص‌های خشکسالی زیادی معرفی شده‌اند. نقطه مشترک همه مطالعات در زمینه پدیده خشکسالی آن است که برای پایش یا کمی‌سازی این پدیده، از نمایه‌هایی استفاده می‌کنند. عناصر موجود در نمایه‌ها، عوامل آب و هوایی مؤثر در شکل‌گیری خشکسالی هستند. در گذشته رویکرد مرسوم پایش خشکسالی بر پایه مشاهدات اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی بوده است که این روش‌ها به علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی به صورت نقطه‌ای انجام می‌شد و از طرفی به دلیل پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی، روش کارآمدی نمی‌باشد (متکان و همکاران، ۱۳۹۰). در چهار دهه اخیر، سنجش از دور ابزار پایش خشکسالی را به صورت

1- Crop Moisture Index

2- Reclamation Drought Index

3- Vegetation Health Index

4- Normalized Difference Vegetation Index

5- Land soil Temperature

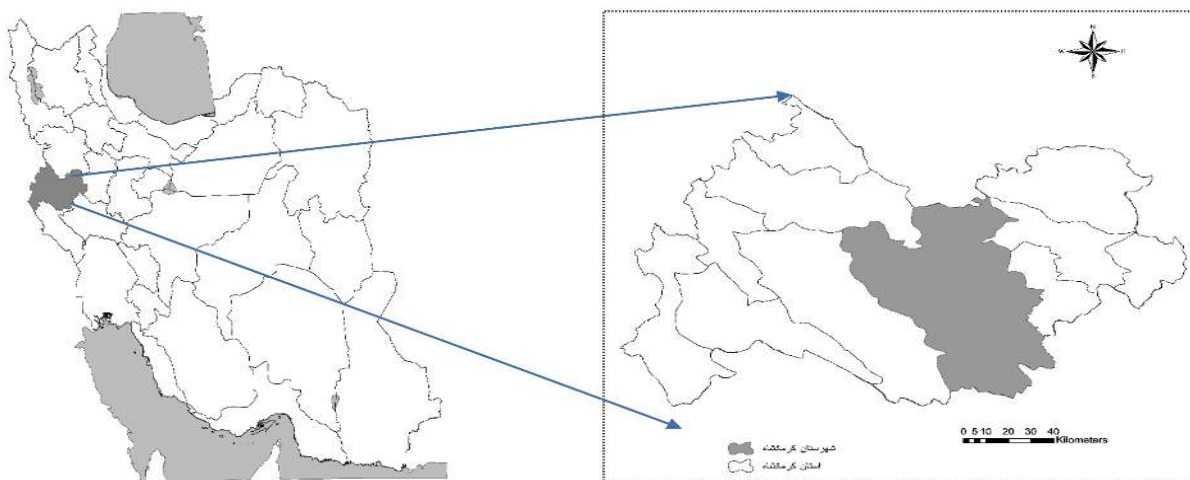
6- Tropical Rainfall Measuring Mission

همکاران (۲۰۱۵) اشاره کرد. هدف از این مطالعه ارزیابی پوشش گیاهی و تحلیل دو دوره خشکسالی و ترسالی در شهرستان کرمانشاه با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ و آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان کرمانشاه در استان کرمانشاه با مساحتی برابر با ۲۵۰۰۸ کیلومتر مربع است که در موقعیتی بین ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (نگاره ۱). این استان از لحاظ تقسیمات کشوری به ۱۴ شهرستان تقسیم شده است که از شمال با استان کردستان از جنوب با استان‌های لرستان و ایلام، از شرق با استان همدان و از غرب با کشور عراق هم‌جوار است و بیش از ۳۳۰ کیلومتر مرز مشترک با این کشور دارد. متوسط میزان بارندگی استان ۴۵۰ میلی‌متر است. بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن اقلیم استان به چهار گروه اقلیمی خشک، مدیترانه‌ای، نیمه خشک و مرطوب تقسیم می‌گردد (ابراهیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ به دلیل اطمینان از وجود پدیده

آزمون‌های آماری انطباق بیش از ۶۰ درصد کل مقایسات را تأیید نمودند. محمودزاده (۱۳۸۷)، ضرایب همبستگی بین شاخص خشکسالی هواشناسی SPI شش ماهه و شاخص پوشش گیاهی NDVI را در منطقه فریدون‌شهر مورد بررسی قرار داد، نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین شاخص SPI و NDVI وجود دارد. چنان در سال ۱۳۸۰ در مطالعه‌ای در استان‌های شمال غرب کشور به بررسی خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA و با استفاده از شاخص NDVI در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ پرداخت و نتایج حاصله ارزیابی زمینی خسارات خشکسالی را مورد تأیید قرار داد. غفوریان (۱۳۹۳) طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ در استان خراسان رضوی، با استفاده از شاخص SPI داده‌های زمینی و داده‌های ماهانه ماهواره TRMM، خشکسالی در مقیاس‌های یک، سه، شش و نه ماهه را مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که به جز در مقیاس یک ماهه همبستگی نزدیکی بین داده‌های خشکسالی زمینی و ماهواره‌ای وجود دارد؛ بنابراین لازم است با اثرات خشکسالی و پیامدهای ناشی از آن آشنا شد تا بتوان خطر خشکسالی را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. تا به امروز مطالعات معدودی به صورت منطقه‌ای با استفاده از تصاویر لندست در کشور و خارج کشور انجام شده است که از جمله می‌توان به Ghaleb و



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه در کشور ایران و استان کرمانشاه

$$VCI=100*(NDVI-NDVImin)/(NDVImax-NDVImin) \quad (1)$$

$$TCI= 100* (Tmax-Tc) / (Tmax- Tmin) \quad (2)$$

$$VHI= 0/5* VCI+ 0/5* TCI \quad (3)$$

که NDVI max و NDVImin، NDVI به ترتیب شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده منطقه مورد مطالعه، حداقل و حداکثر مقدار این شاخص می‌باشند.

Tmax و Tmin، Tc نیز مقدار مشابه برای درجه حرارت سطح زمین به سلسیوس و نیز مقادیر کمینه و بیشینه آن می‌باشند. در ادامه نحوه محاسبه هر یک از پارامترهای ذکر شده شرح داده می‌شود.

شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) کاربرد گسترده‌ای جهت تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی سالم از ناسالم و مناطق عاری از پوشش دارد (Manandhar et al. 2009). این شاخص وضعیت پوشش گیاهی را بر روی سطح زمین در مناطق وسیع نشان می‌دهد. ارزش عددی شاخص NDVI بین -۱ تا ۱ متغیر می‌باشد. ارزش‌های عددی مثبت مربوط به پوشش گیاهی متراکم و ارزش عددی صفر و مقادیر نزدیک به آن مربوط به مناطق بدون پوشش گیاهی است و مکان‌های خیس و آب، ارقام نزدیک به -۱ را دارا هستند (Rouse et al. 1973). این شاخص با استفاده

ترسالی و خشکسالی استفاده شد. برای استفاده از این تصاویر در ابتدا نیاز است که از عدم وجود خطای هندسی اطمینان حاصل شود. برای این منظور از لایه وکتوری جاده‌ها استفاده شد که در نتیجه مشخص شد تصاویر دارای خطای هندسی می‌باشند. با استفاده از تعداد ۲۱ و ۲۴ نقطه کمکی تصاویر با خطای زیر نیم پیکسل تصحیح هندسی شد. انطباق لایه‌های وکتوری با جاده‌های موجود در تصویر نشان‌دهنده دقت تصحیح انجام شده بود. در مرحله بعد با بررسی داده‌های باران سنجی و سینوپتیک ایستگاه‌های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده خشک‌ترین سال و یکسال مرطوب به عنوان نمونه انتخاب شد.

در مرحله بعد به مقایسه شاخص‌های وضعیت درجه حرارت (TCI) و سلامت پوشش گیاهی (VHI) در دو دوره ترسالی و خشکسالی پرداخته شد تا تفاوت‌های این شاخص‌ها در طی یک سال خشک با یک سال پر بارش مشخص شود. برای این منظور هر یک از شاخص‌های مذکور با استفاده از تصاویر لندست ۸ ساخته شدند که در ادامه مراحل ساخت این شاخص‌ها ارائه شده است.

شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، وضعیت درجه حرارت (TCI) و سلامت پوشش گیاهی (VHI) با استفاده از معادلات (۱) تا (۳) توسعه داده شد (Kogan, 2004).

جدول ۱: مراحل انجام کار

منبع	متغیر	فرمول	مراحل
Land Project Science) (Office, 2002)	K1: عدد ثابت برای تبدیل حرارتی برای هر باند (بر اساس $w/m^2*ster*\lambda m$) K2: عدد ثابت برای تبدیل حرارتی برای هر باند (بر اساس کلونین) L, λ : رادیانس طیفی λ : طول موج رادیانس ساطع شده	$TB=K_2/\ln((k_1/L\lambda)+1)$	تبدیل عدد رقومی به درجه حرارت روشنایی
Land Project Science) (Office, 2002)	$\rho=h*c/\sigma(1.438*10^{-2}m.k)$ h= عدد ثابت پلانک σ = عدد ثابت بالتزمن C= سرعت نور ϵ = میزان انتشار	$T=TB/[1+(\lambda*TB/P)\epsilon]$	محاسبه درجه حرارت سطح زمین براساس درجه کلونین
Artis and (Carnahan, 1982)	T= درجه حرارت سطح زمین به کلونین TC= درجه حرارت سطح به سلسیوس	$TC=T-273$	تبدیل درجه کلونین به سلسیوس

می‌توانند میزان خشکسالی را نشان دهند. در جدول ۴ طبقه‌بندی مقدار VCI، VCI و VHI در بخش خشکسالی ارائه شده است.

برای اطلاع از وضعیت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه از شاخص NDVI تصاویر لندست ۸ استفاده شد. با استفاده از شرطی که برای لایه NDVI گذاشته شد مناطق عاری از پوشش گیاهی از مناطق دارای پوشش گیاهی جدا شد. برای تعیین حد آستانه مقدار این شاخص برای تشخیص پوشش گیاهی از روش تجربی استفاده شد. برای این منظور حد آستانه‌های مختلفی مورد آزمایش قرار گرفت که در نهایت میزان بهینه انتخاب شده ۰/۲ بود. NDVI کمتر از ۰/۲ مناطق عاری از پوشش گیاهی و بیشتر از ۰/۲ مناطقی با پوشش گیاهی هستند.

در حالی که NDVI نشان‌دهنده پویایی پوشش گیاهی فصلی است، شاخص VIC، پویایی (تغییرات) گیاهان بین ۰ و ۱۰۰ با تغییرات انعکاس در وضعیت رطوبت از وضعیت خیلی بد تا بهینه را طبقه‌بندی می‌کند.

مقدار بالای VCI نشان‌دهنده سلامتی و عدم استرس پوشش گیاهی است. از طرفی دیگر مقدار کم TCI نشان‌دهنده استرس در پوشش گیاهی به علت درجه حرارت و خشکی بالاست. پس از محاسبه شاخص VHI و NDVI برای دوره خشکسالی ۱۳۹۴ و ترسالی ۱۳۹۵ نسبت به محاسبه تغییرات رخ داده بین دو زمان مورد نظر به منظور محاسبه تغییرات صورت گرفته اقدام شد.

با توجه به اینکه شهرستان کرمانشاه یک منطقه با پوشش جنگلی بسیار تنک می‌باشد از پوشش علفی و یکساله برای تعیین تغییرات استفاده شد.

نتایج

نقشه مربوط به VHI و TCI در شهرستان کرمانشاه مربوط به سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در نگاره‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده است. نتایج مربوط به خشکسالی و فاقد خشکسالی در نگاره‌ها مشخص شده است.

از انعکاس باندهای قرمز و مادون قرمز محاسبه می‌شود. فرمول شاخص مذکور در رابطه شماره (۴) ارائه شده است (Kogan, 1993).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (4)$$

در مرحله بعد برای محاسبه مقدار TC باندهای گرمایی برای تعیین درجه حرارت سطح زمین استفاده شد. فرمول‌های مورد استفاده برای تبدیل عدد رقومی به درجه حرارت سطح زمین در جدول ۱ ارائه شده است. K1 و K2 عدد ثابت برای سنجنده‌های ماهواره لندست در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار میانگین طول موج برای باندهای گرمایی مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. این اطلاعات از متادیتا داده‌ها استخراج شد.

جدول ۲: عدد ثابت برای سنجنده‌های ماهواره لندست

عدد ثابت	لندست ۴	لندست ۵	لندست ۷	لندست ۸ (پاند ۱۰)	لندست ۸ (پاند ۱۱)
K1	۶۷۱/۶۲	۶۰۷/۷۶	۶۶۶/۰۹	۷۷۴/۸۹	۴۸۰/۸۹
K2	۱۲۸۴/۳۰	۱۲۶۰/۵۶	۱۲۸۲/۷۱	۱۳۲۱/۰۸	۱۲۰۱/۱۴

جدول ۳: میانگین طول موج برای ماهواره لندست

ماهواره	باند	مرکز طول موج (μm)
لندست ۴، ۵ و ۷	۶	۱۱/۴۵
لندست ۸	۱۰	۱۰/۸
لندست ۸	۱۱	۱۲

جدول ۴: طبقه‌بندی مقدار VCI، TCI و VHI در بخش خشکسالی (کوگان، ۲۰۰۱)

خشکسالی	مقدار
مفرط	<۱۰
شدید	<۲۰
متوسط	<۳۰
ملایم	<۴۰
فاقد خشکسالی	≥۴۰

در نهایت با محاسبه پارامترهای مختلف شاخص‌های VHI و TCI، VCI در محیط GIS تهیه شدند. این شاخص‌ها

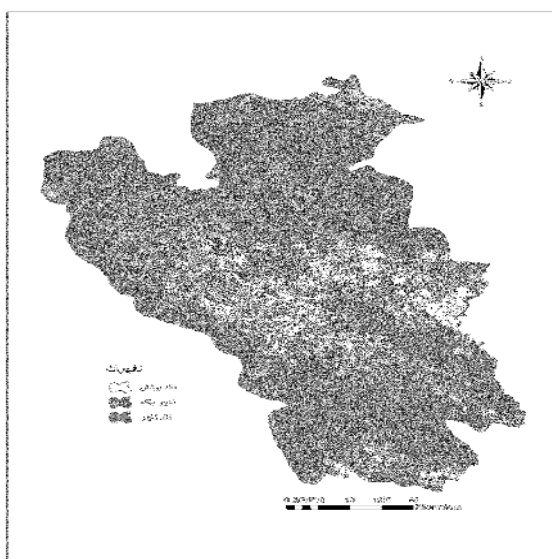
جدول ۵: درصد سطح خشکسالی در شهرستان کرمانشاه در سال ۱۳۹۴

درصد سطح در شاخص VHI	خشکسالی
۷۲	خیلی شدید
۱۴	شدید
۶	متوسط
۵	ملازم
۳	فاقد خشکسالی

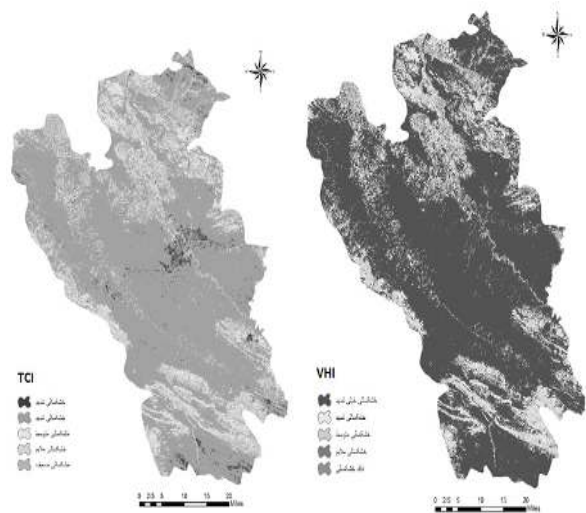
در جدول ۶، درصد هر یک از سطوح خشکسالی با استفاده از شاخص VHI در شهرستان کرمانشاه ارائه شده است. نتایج نشان داد ۸۱ درصد از منطقه فاقد خشکسالی می باشد و تنها ۲ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه دارای خشکسالی خیلی شدید است. بنابراین تفاوت بین دو سال خشکسالی و ترسالی در اینجا به خوبی نمایان می گردد.

جدول ۶: درصد سطح خشکسالی در شهرستان کرمانشاه در سال ۱۳۹۵

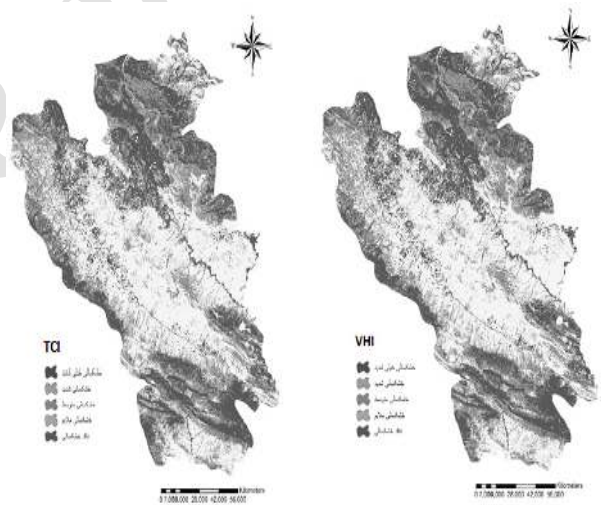
درصد سطح در شاخص VHI	خشکسالی
۲	خیلی شدید
۳	شدید
۵	متوسط
۹	ملازم
۸۱	فاقد خشکسالی



نگاره ۴: نقشه تعیین تغییرات مربوط به سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵



نگاره ۲: نقشه VHI و TCI سال ۱۳۹۴ مربوط به شهرستان کرمانشاه



نگاره ۳: نقشه VHI و TCI سال ۱۳۹۵ مربوط به شهرستان کرمانشاه

در جدول ۵ درصد هر یک از سطوح خشکسالی با استفاده از شاخص VHI برای سال ۱۳۹۴ آورده شده است. نتایج نشان داد ۷۲ درصد از سطح شهرستان دارای خشکسالی شدید است و تنها ۳ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه فاقد خشکسالی می باشد.

(۱۹۷۳) شاخص NDVI را عمومی‌ترین شاخص در ارزیابی پوشش گیاهی دانستند و محققان زیادی در مطالعات خود از این شاخص استفاده کرده‌اند (Anderson et al., 2006; Hung et al., 2009). ولی توجه به این امر ضروری است که شاخص NDVI به تنهایی قابلیت تعیین خشکسالی را ندارد (Wan et al., 2004). چرا که NDVI اصولاً اثر سبزی‌نگی گیاهی را نشان داده و اطلاعاتی از میزان آب در خاک را نمایش نمی‌دهد. این امر می‌تواند سبب اشتباه در شروع خشکسالی گردد. چرا که در زمان شروع خشکسالی گیاه هنوز سبز است در حالی که آب موجود در گیاه تخلیه شده است. در عوض درجه حرارت سطحی (LST) یک مکمل خوب در ارزیابی خشکسالی است، زیرا اثر تنش آب را در تاج پوشش گیاهان نشان می‌دهد (Parida, 2006).

با توجه به دلایل ذکر شده تحقیق حاضر تغییرات مکانی پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین ناشی از خشکسالی را در قالب شاخص‌های ترکیبی مبتنی بر شاخص‌های VCI، TCI و VHI در شهرستان کرمانشاه نشان می‌دهد. این شاخص‌ها مبتنی بر شاخص NDVI هستند که مشکلات این شاخص در پایش خشکسالی را شامل نمی‌شوند.

نتایج این تحقیق نشان داد اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین متفاوت بوده و تابع عوامل مختلفی مانند ماه، نوع و خصوصیت پوشش گیاهی و شرایط دمایی آن‌ها است. شاخص VHI یکی از شاخص‌های خشکسالی است که به صورت وسیعی در پایش و ارزیابی خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص توانایی نمایش اثرات خشکسالی هم بر پوشش گیاهی و هم بر درجه حرارت سطح زمین را داراست. نتایج این مطالعه تأیید کننده وجود خشکسالی و ترسالی به ترتیب در سال‌های ۹۴ و ۹۵ می‌باشد.

این نتایج با توجه به شاخص SPI منطقه مورد مطالعه که نشان‌دهنده خشکسالی و ترسالی در سال‌های ۹۴ و ۹۵ می‌باشد تأیید شده است. با توجه به وجود همبستگی

پس از تهیه نقشه‌های شاخص VHI مربوط به سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۴ که در واقع نشان‌دهنده سلامت پوشش گیاهی در سال‌های مذکور هستند، نقشه تغییرات سلامت پوشش گیاهی با تفاضل نقشه‌های مذکور تهیه شد (نگاره ۴). همان‌طور که نگاره ۴ مشخص است تغییرات زیادی در پوشش گیاهی در سال تر و خشکسالی وجود دارد به طوری که بیش از ۸۰ درصد از پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه دچار تغییر شده است.

بحث

خشکسالی عمده‌ترین مشکل مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد و تنوع بسیار زیاد در زمان و مکان وقوع خشکسالی، کار تشخیص دقیق وقوع آن را براساس مشاهدات مکانی سخت و پیچیده کرده است (Lin et al., 2011). اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی وجود یک شاخص مشخص برای تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (Silva, 2003).

با توجه به اینکه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی تنها برای یک محل معتبرند و قدرت تفکیک مکانی لازم را ندارند و همچنین به اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی وابسته بوده و این ایستگاه‌ها اغلب با فاصله زیادی از هم توزیع شده‌اند، قابل اعتماد بودن این شاخص‌ها زیر سؤال رفته است. خصوصیات داده‌های ماهواره‌ای مانند قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، پوشش وسیع مناطق مورد مطالعه و بررسی مستقیم وضعیت پوشش گیاهی به وسیله شاخص‌های ماهواره‌ای باعث شده، مطالعات زیادی برای مدل‌سازی خشکسالی با استفاده از این تکنولوژی صورت گیرد و استفاده از این شاخص‌ها مورد تأیید قرار گیرد (Gurgel and Ferreira, 2003; Tong et al. 2009; Murthy et al. 2009).

هدف از این مطالعه تعیین رطوبت، گرما و سلامت گیاهان با استفاده از تصاویر لندست می‌باشد.

Darwish and Faour (۲۰۰۸) و Rouse و همکاران

در نهایت انتظار می‌رود که با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح، توزیع پایدار آب، مذاکرات منطقه‌ای، کشاورزی اصولی و همچنین ایجاد شرایط بهینه هیدرولوژیکی، روند تخریب پوشش گیاهی در آینده رو به کاهش گذارد.

مطالعات تکمیلی برای پایش مکانی خشکسالی به وسیله تصاویر ماهواره‌ای از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی تغییرات کمی پوشش و درجه حرارت سطح زمین پیشنهاد می‌گردد. محدودیت‌هایی در استفاده از NDVI و باندهای حرارتی ماهواره‌ای وجود دارد. از جمله این موارد می‌توان به شرایط جوی و ابری اشاره کرد که باید مدنظر قرار گیرد. استفاده از نقشه‌های حاصل از شاخص‌های پایش و ارزیابی خشکسالی می‌تواند به بهبود برنامه‌های مدیریت خشکسالی کمک نموده و نقش بسزایی را در کاهش اثرات خشکسالی ایفا کند.

منابع و مأخذ

- ۱- ابراهیم‌زاده، س.، بذرافشان، ج. و قربانی، خ. ۱۳۹۲. امکان‌سنجی تشخیص تغییرات پوشش گیاهی مبتنی بر شاخص‌های زمینی و ماهواره‌ای خشکسالی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). مجله هواشناسی کشاورزی، ۱ (۱): ۳۷ - ۴۸.
- ۲- چنار، ا. ۱۳۸۰. ارزیابی خشکسالی با استفاده از تصاویر NOAA در آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و استان اردبیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس. ۸۹ ص.
- ۳- فاضل دهکردی، ل. ۱۳۹۲. هشدار خطر خشکسالی به منظور مدیریت بهینه مراتع، پایان‌نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی تهران، ۱۶۰ ص.
- ۴- متکان، ا.ا.، درویش زاده، ر.، حسینی اصل، ا.، ابراهیمی، م.، ابراهیمی، ز. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر خشکسالی مناطق خشک با استفاده از روش دانش‌پایه در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیطور، استان یزد). نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲: ۱۰۳-۱۱۶.

بالا بین شاخص SPI و داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره‌ای از قدرت بالایی برای پایش و مدیریت خشکسالی برخوردار می‌باشند.

نتایج این تحقیق مشابه با نتایج دهکردی (۱۳۹۲)، ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۲)، Singh و همکاران (۲۰۰۳) بود که نشان دادند شاخص سنجش از دوری VHI دارای دقت مناسبی در پایش خشکسالی می‌باشد. شاخص‌های گیاهی قابل استخراج از تصاویر ماهواره‌ای همچون VCI، NDVI و TCI از چند دهه قبل برای ارزیابی وضعیت خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجش از دوری توسعه پیدا کرده‌اند.

اساس اغلب این شاخص‌ها اندازه‌گیری بازتابندگی طیفی در باندهای مختلف بوده و امکان محاسبه در هر پیکسل را دارا هستند. این شاخص‌ها در مقابل سایر شاخص‌های اقلیمی دارای چند مزیت بودند که پوشش دادن سطح وسیعی از زمین از آن جمله بشمار می‌آید. از طرف دیگر این شاخص‌ها در مناطق دارای کمبود آمار اقلیمی بسیار با ارزش می‌باشند.

با استفاده از شاخص وضعیت سلامت پوشش گیاهی مشخص شد که وضعیت پوشش گیاهی در زمان خشکسالی نسبت به زمان ترسالی تغییرات زیادی داشته است که خشکسالی هیدرولوژیکی سهم عمده‌ای در تخریب پوشش داشته است. خشک شدن دریاچه‌ها و به تبع آن رها شدن اراضی کشاورزی و عدم دسترسی به منابع آب جایگزین همچون نداشتن منابع آب زیرزمینی و یا عدم وجود منابع آب سطحی جایگزین روند تشدید به خود گرفته و به نظر می‌رسد در صورتی که خشکسالی در سال‌های آینده ادامه یابد و روش‌های مناسب برای مقابله با آن به کار گرفته نشود، این منطقه از ایران نیز با مشکلات عدیده‌تری روبرو خواهد شد. همچنین با توجه به اینکه منابع آب منطقه در دهه‌های آتی رو به کاهش خواهد نهاد، لزوم بهره‌گیری از روش‌های جامع مدیریت آب در تمام بخش‌ها اعم از ذخیره، انتقال و توزیع، بسیار ضروری و گریزناپذیر به نظر می‌رسد.

Remote Sensing, 24(18): 3595-3609.

16- Huang, C., Geiger, E., van Leeuwen W. and Marsh. S. 2009. Discrimination of invaded and native species sites in a semi-desert grassland using MODIS multi-temporal data. *Int. J. Remote Sens.* 30: 897-917.

17- Hunt, E.R., Rock, B.N. and Nobel, P.S. 1987. Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 22 (3): 429-435.

18- Jian, W. and Shuo, L. 2005. Effect of climatic change on snowmelt runoffs in mountainous regions of Inland River of northwestern china. *Earth science*, 49 (8): 881-888.

19- Kogan, F.N., Stark, R., Gitelson, A., Jargalsaikhan, L., Dugrajav, C. and Tsooj, S. 2004. Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *Int. J. Remote Sens*, 25: 2889-2896.

20- Kogan, F.N. 1993. United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1: 197-199.

21- 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 Meteorological Society*, 76 (5): 655-668.

22- Lin, M.L., Chu, Ch.M. and Tsai, B.W. 2011. Drought Risk Assessment in Western InnerMongolia, *Int. J. Environ. Res.* 5(1): 139-148.

23- Manandhar, R., Odeh, I.O.A. and Ancev, T. 2009. Improving the Accuracy of land use and land cover classification of Landsat data using post- classification enhancement. *Remote Sensing*, 1: 330-344pp.

24- Mladenova, I.E., Jackson, T.J., Njoku, E., Bindlish, R., Chan, S., Cosh, M.H., Holmes, T.R.H., de Jeu, R.A.M., Jones, L. and Kimball, J. 2014. Remote monitoring of soil moisture using passive microwave-based techniques— Theoretical basis and overview of selected algorithms for AMSR-E. *Remote Sens. Environ.* 144: 97-213.

25- Murthy, C.S., Sai, M.V.R.S., Chandrasekar, K. and Roy, P.S. 2009. Spatial and temporal responses of different crop-growing environments to agricultural

۵- محمودزاده، ع. ۱۳۸۷. بررسی همبستگی شاخص خشکسالی SPI و شاخص NDVI در منطقه فریدونشهر، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

۶- مؤمنزاده، ح.، کمالی، غ.، وظیفه دوست، م. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات ماده خشک و عملکرد گندم در دوره‌های خشکسالی و ترسالی با کمک داده‌های ماهواره‌ای مادیس در استان اصفهان، نشریه بوم‌شناسی، ۳ (۲): ۱-۱۳.

7- Anderson, R.P., Peterson, A.T. and Egbert. S.L. 2006. Vegetation-index models predict areas vulnerable to purple loosestrife (*lythrum salicaria*) invasion in Kansas. *Southwest. Nat.* 51: 471-480.

8- Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C. and Tucker, C.J. 2006. A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sens. Environ.* 105: 9-22.

9- Caccamo, G., Chisholm, L.A., Bradstock, R.A. and Puotinen, M.L. 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sens. Environ.* 115: 2626-2639.

10- Cancelliere, A., Mauro. B and Rossi, G. 2007. Drought forecasting using the Standarized Precipitation. *Journal of Water Resource Management*, 21: 801-819.

11- Darwish, T. and G. Faour. 2008. Rangeland degradation in two watersheds of Lebnon. *Lebanese Sci. J.* 9: 71-80.

12- FAO:<http://www.fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf> (accessed on 15 June 2015).

13- Ghaleb, F., Mhaweji Mario, M. and AbouNajem Sandra, A.N. 2015. Regional Landsat-Based Drought Monitoring from 1982 to 2014. *Climate*, 3: 563-577

14- Goddard, L., Mason, S.J., Zebiak, S.E., Ropelewski, C.F., Basher, R. and Cane, M.A. 2001. Current approaches to seasonal to inter annual climate predictions. *International Journal of Climatology*, 21: 1111-1152.

15- Gurgel, H. C., and Ferreira, N. J., 2003. Annual and inter annual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. *International Journal of*

- 35- Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon. the role of definitions. *Water International*, 10 (3):111-120.
- 36- Zhang, A. and Jia, G. 2013. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. *Remote Sens. Environ.*, 134: 12-23.
- drought: a study in Haryana state, India using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 30 (11): 2897-2914.
- 26- Parida, B.R. 2006. Analyzing the effect of severity and duration of agricultural drought on crop performance using Terra/MODIS satellite data and meteorological data, Indian Institute of Remote Sensing.
- 27- Rhee, J., Im, J. and Carbone, G.J. 2010. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sens. Environ.* 114: 2875-2887.
- 28- Rojas, O., Vrieling, A. and Rembold, F. 2011. Assessing drought probability for agricultural areas in Africa with coarse resolution remote sensing imagery. *Remote Sens. Environ.*, 115: 343-352.
- 29- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA, SP-351 I, 309-317.
- 30- Silva. V.P.R. 2003. On Climate Variability in Northeast Brazil, *Journal of Arid Environment*, 54 (2): 256-367.
- 31- Singh, R.P., Roy, S. and Kogan. F. 2003. Vegetation and Temperature Condition Indices from NOAA AVHRR Data for Drought Monitoring over India. *International Journal of Remote Sensing*, 24 (22): 4393-4402.
- 32- Tong S.S. and Lan, P. T. 2009. Land cover change analysis using change vector analysis method in Duy Tien district, Ha Nam province in Vietnam. 7th FIG Regional Conference Spatial Data Serving People: Land Governance and the Environment Vietnam, 19-22 October.
- 33- Wan, Z., Wang, P. and Li, X. 2004. Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *Int.J. Remote Sens.* 25(1): 61-72.
- 34- Weng, Q. 2001. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta. China. *International Journal of Remote Sensing*, 22 (10): 1999-2014.