

پایش مکانی خشکسالی کشاورزی از طریق سری‌های زمانی شاخص‌های NDVI و LST داده‌های MODIS (مطالعه موردی: استان مرکزی)

علی اکبر دماوندی^۱ محمد رحیمی^۲
محمد رضا یزدانی^۳ علی اکبر نوروزی^۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۱/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۷/۰۶

چکیده

خشکسالی پدیده‌ای است طبیعی که تقریباً در تمامی اقالیم جهان رخ می‌دهد. اثرات این پدیده خزنه و آرام در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل بارندگی سالانه کمتر شان، بیشتر است. در تحقیق حاضر برای پایش مکانی خشکسالی، از سری‌های زمانی NDVI و LST سنجنده MODIS ماهواره Terra در ماه‌های فصول رشد (فروردین تا شهریور) سال‌های ۱۳۷۹ الی ۱۳۹۳ در استان مرکزی استفاده شد. برای این منظور، شاخص VCI و TCI بترتیب بر اساس سری‌های زمانی ۱۵ ساله NDVI و LST به صورت ماهانه ایجاد گردید و در ادامه شاخص VHI بر اساس ترکیب دو شاخص مذکور استخراج شد. در نتیجه نقشه‌های درجات شدت خشکسالی بر اساس شاخص VHI در پنج طبقه: ۱- خیلی شدید ۲- شدید ۳- متوسط ۴- ملایم ۵- بدون خشکسالی، استخراج گردیده و تغییرات این طبقات در سری‌های زمانی VHI مورد بررسی قرار گرفت. بررسی سری‌های زمانی حاصل از VCI و TCI نشان داد که ارتباط معنی داری میان تغییرات NDVI و LST وجود دارد. مطابق نتایج نقشه‌های طبقه بندی شدت خشکسالی، شاخص VHI، سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ دارای بیشترین شدت و سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۶ دارای کمترین شدت خشکسالی بوده اند. همچنین ماه اردیبهشت دارای بیشترین شدت خشکسالی و شهریور دارای کمترین شدت خشکسالی بوده است. بیشترین درصد مساحت طبقات خشکسالی بترتیب مربوط به طبقه بدون خشکسالی (۵۶٪)، ملایم (۱۹٪)، متوسط (۱۵٪)، شدید (۸٪) و خیلی شدید (۲٪) بوده است. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق و گزارش سازمان هواشناسی، دقت بسیار خوب روش استفاده از شاخص سنجنش از دوری VHI در پایش خشکسالی کشاورزی را نشان می‌دهد. نتیجه آنکه شاخص‌های سنجنش از دوری پایش خشکسالی (مانند VHI) می‌توانند با برطرف کردن نقاط ضعف روش‌های نقطه‌ای، در پایش خشکسالی کشاورزی به تصمیم سازان و برنامه ریزان کمک شایانی نمایند.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی کشاورزی، VHI، TCI، VCI، MODIS

۱- دانشجوی دکتری بیابان زدایی دانشگاه سمنان، هیأت علمی مؤسسه علمی کاربردی جهاد کشاورزی damavandi58@yahoo.com

۲- استادیار دانشکده کویر شناسی دانشگاه سمنان (نویسنده مسئول) Mrahimi@profs.Semnan.ac.ir

۳- استادیار دانشکده کویر شناسی دانشگاه سمنان m_yazdani@sun.semnan.ac.ir

۴- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی noroozi_aa@scwmri.ac.ir

۱- مقدمه

کمی هستند که سطوح خشکسالی را بوسیله همانندسازی و تلفیق داده‌ها از یک یا چندین متغیر مانند بارندگی، درجه حرارت و تبخیر و تعرق به یک مقدار عددی واحد توصیف می‌نمایند. Hayes (۲۰۰۴) و Wilhite (۲۰۰۵) یک ارزیابی جامع و مقایسه‌ای از انواع شاخص‌های خشکسالی ارائه کردند. از طرفی، بخش کشاورزی و منابع طبیعی اولین بخشی است که اثرات خشکسالی را دریافت و بروز می‌دهند. خشکسالی‌های کشاورزی نتیجه کمبود رطوبت خاک است که بر اثر به هم خوردن تعادل میان تأمین آب و هدر رفت آن از طریق تبخیر و تعرق بوجود می‌آید. (مهدوی، ۱۳۹۳، ص ۲۷) یک خشکسالی کشاورزی زمانی بوجود می‌آید که در فاصله بین دو بارندگی، ذخیره رطوبتی منطقه ریشه در خاک برای زنده ماندن محصولات کشاورزی و گیاهان طبیعی و مراتع کفایت نکند. چرا که تولیدات کشاورزی در ارتباط نزدیک با تبخیر و تعرق واقعی محصول بوده که معمولاً بوسیله تعادل آب چرخه کلی رشد محصول، مورد پایش قرار می‌گیرند. در نتیجه یک شاخص خشکسالی که تغییرات زمانی و مکانی الگوهای استفاده از آب محصول را توصیف کند برای پایش خشکسالی مناسب‌تر است (AghaKouchak et al, 2015:1).

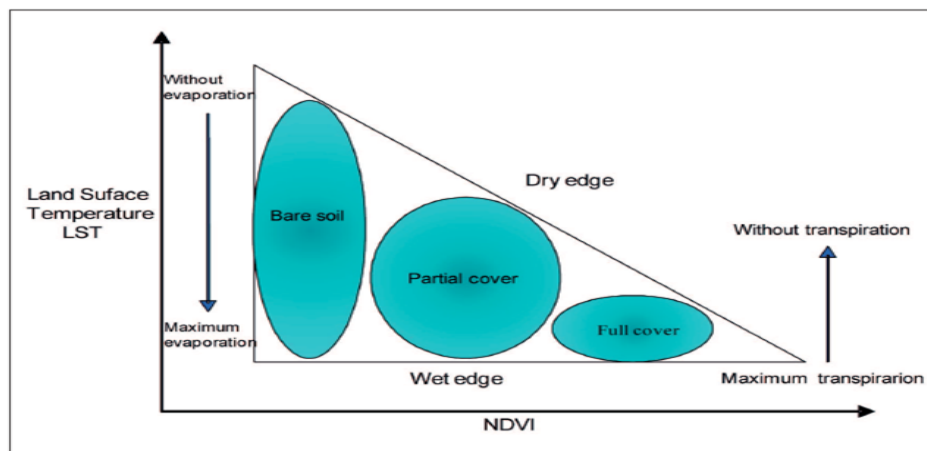
داده‌های سنجنش‌ازدور ماهواره‌ای که از قابلیت‌های خوب مکانی و زمانی برخوردار هستند، می‌توانند به عنوان ابزار مناسبی در پایش مکانی - زمانی خشکسالی خصوصاً از نوع کشاورزی نقش ایفا نمایند. (Wang et al., 2001:9) از سال ۱۹۸۱، داده‌های سنجنده AVHRR^۱ ماهواره‌های سری NOAA^۲ برای تولید شاخص‌های پوشش گیاهی مانند شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) و درجه حرارت سطح زمین (LST) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شاخص NDVI نه تنها قابلیت تهیه نقشه حضور پوشش گیاهی بر پایه پیکسل را دارد بلکه توانایی تعیین تراکم پوشش گیاهی در یک پیکسل را نیز داراست (Zhang et al., 2003: 4). Thenkabail و همکاران (۲۰۰۴) چنین نتیجه گرفتند که NDVI به عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی سلامت و

خشکسالی از جمله بلایای طبیعی با شروعی آرام و ماهیتی خزننده است که تقریباً در تمام اقلیم رخ می‌دهد. خشکسالی پدیده‌ای است، که از نبود آب (بارندگی) ناشی می‌شود و وجود ممتد آن سبب نابودی حیات گشته و به عنوان یک خطر بی سر و صدا و یک بلای بدون پیشگیری در طبیعت مطرح است (Wilhite and Glantz, 1985:8). علاوه بر آن، خشکسالی هر ساله میلیون‌ها نفر از ساکنین زمین و مناطق وسیعی از آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بررسی آماری سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ نشان می‌دهد که ۲۴ درصد خسارات ناشی از بلایای اقلیمی جهان مربوط به خشکسالی‌ها است. (مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۳، ص ۵). شدت خشکسالی اشاره به درجه کاهش بارندگی دارد که در ارتباط نزدیک با مدت زمان بارش می‌باشد. خشکسالی منجر به کاهش میزان تولید محصولات کشاورزی می‌گردد که این کاهش تحت تأثیر شدت، مدت و وسعت مکانی تنش خشکسالی است (Patel et al., 2011). خشکسالی در کشورهایی (مانند ایران) که در مناطق خشک و نیمه خشک واقع گردیده‌اند به دلیل محدودیت منابع آب، اثرات منفی بیشتری داشته و حتی می‌تواند به بحران تبدیل گردد (Wang and Wei, 1998:22). روش‌های سنتی پایش خشکسالی مبتنی بر روش‌های هواشناسی هستند که بر ارزیابی‌های نقطه‌ای خشکسالی تأکید دارند و شامل ارائه ساده وقایع خاص وابسته به میانگین‌های طولانی مدت آنها (نرمال) است. از شاخص‌های خشکسالی نقطه‌ای بطور وسیعی در پایش خشکسالی و تصمیمات مدیریت عملیاتی آب استفاده می‌شود. (Khalil et al, 2013:6) ارزیابی منطقه‌ای خشکسالی برای تعیین خصوصیات خشکسالی مانند شدت، مدت و وسعت نیز بطور سنتی براساس شاخص‌های نقطه‌ای خشکسالی انجام می‌گیرد.

یکی از معروف ترین روش‌های ارزیابی مکانی و زمانی خشکسالی، روش استفاده از شاخص‌های خشکسالی است (kogan, 1990:5). شاخص‌های خشکسالی، جهت سنجنش‌های

1 - Advanced Very High Resolution Radiometer

2 - National Oceanic and Atmospheric Administration



نگاره ۱: ارتباط میان
LST و NDVI

آن به صورت رایگان هر ۸ روز توسط NASA و USGS از طریق مرکز داده‌های سیستم‌های مشاهده منابع زمینی (EOS) در اختیار قرار می‌گیرد (Justice et al., 2002:4). داده‌های MODIS می‌توانند داده‌های NDVI با دقت زمینی ۲۵۰,۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر و داده‌های LST با قدرت ۱۰۰۰ متر در مقیاس جهانی تولید نمایند (Wan et al., 2004).

داده‌های سری زمانی LST و NDVI برای تعیین و پایش تغییرات خشکسالی کشاورزی تولید شده‌اند (Kogan 1995, Chen et al. 1994, Lozano- Garcia et al. 1995, Liu and Kogan, 1996). بر همین اساس، محققین مبادرت به ارزیابی و پایش مکانی و زمانی خشکسالی با استفاده از سری‌های زمانی NDVI و LST نمودند. از جمله تحقیقات انجام گرفته در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

Kogan (۱۹۹۵)، پایش خشکسالی‌های دهه ۱۹۸۰ در آمریکا را با استفاده از داده‌های به دست آمده از ماهواره‌های NOAA و شاخص VCI انجام داد. نتایج نشان داد که شاخص VCI توانایی خوبی برای تعقیب اثر خشکسالی، بررسی زمان شروع، شدت، مدت و اثر آن روی پوشش گیاهی را در مناطق بزرگ دارد.

Liu و Ferreira در سال ۱۹۹۱ در یک بررسی، ارتباط خوبی را میان مجموع بارندگی ماهانه و NDVI تجمعی ماهانه با تأخیر یک‌ماهه به دست آوردند. نتیجه آنکه ترکیب NDVI و LST فهم بهتری از وقوع خشکسالی از طریق ارتباط

تراکم پوشش گیاهی می‌باشد. LST به دلیل اینکه یکی از پارامترهای کلیدی در فیزیک سطح زمین در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی است نیز یک شاخص خوب برای نمایش تعادل انرژی در سطح زمین است.

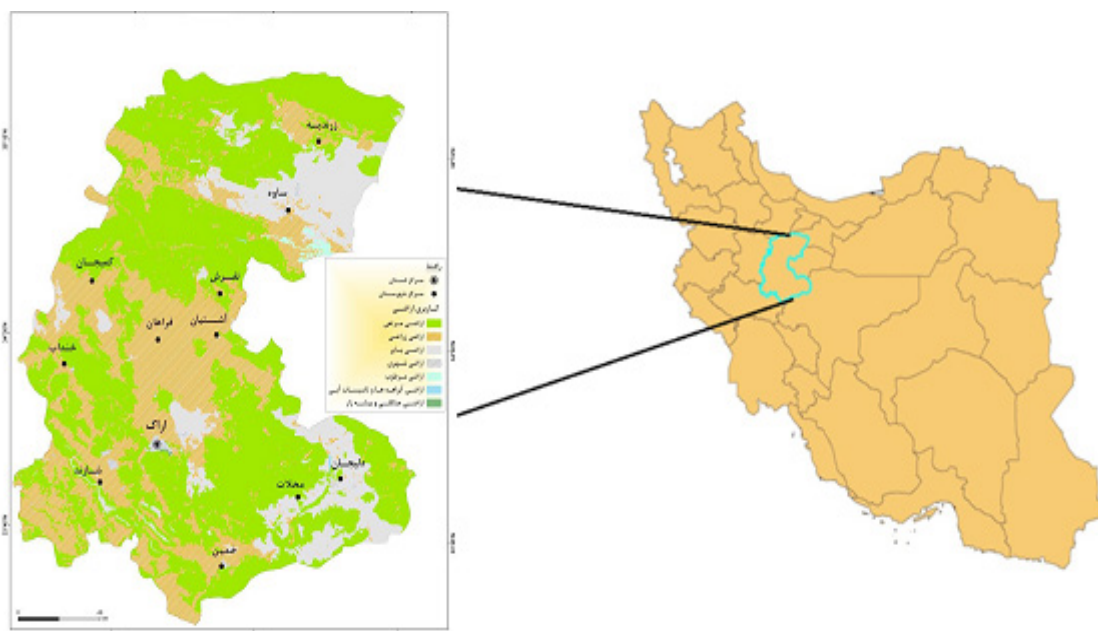
شاخص NDVI بدست آمده از سنجنده AVHRR به صورت موفق‌تری برای طبقه‌بندی انواع پوشش گیاهی (Menenti et al., 1993:3) و پایش شرایط رشد پوشش گیاهی از عالی تا دارای تنش (Kogan, 1990; Prince, 1991:172-175) مورد استفاده قرار گرفت. توجه به این امر ضروری است که شاخص NDVI به تنهایی قابلیت تعیین خشکسالی را ندارد (Wan et al., 2004:4)، چراکه 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 ولی 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: 49-55). استفاده از نمودار پراکنش شاخص پوشش گیاهی-درجه حرارت سطح زمین که به صورت مثلث است در ارزیابی خشکسالی کاربرد مناسبی دارد.

(Moran et al. 1994; Wan et al., 2004; Patel et al., 2011)

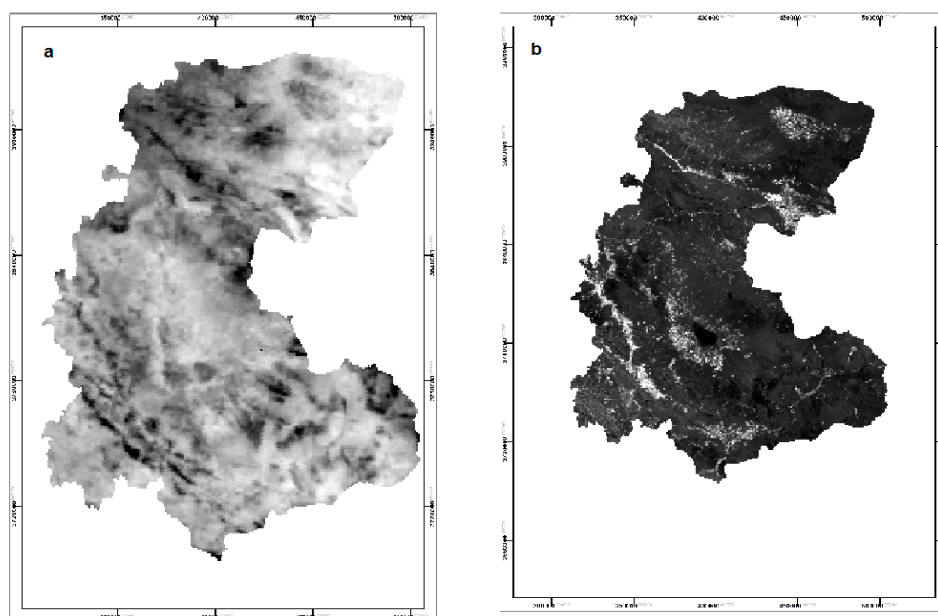
سنجنده بعد از AVHRR، سنجنده با پهنای باند باریک پیشرفته‌ی MODIS^۱ می‌باشد که داده‌های انعکاسی ترکیبی

ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی در شمال غرب بنگلادش با استفاده از تصاویر NDVI و LST سنجنده MODIS پرداختند. ایشان پس از محاسبه شاخص VCI از تصاویر NDVI و شاخص TCI از تصاویر LST، شاخص VHI را برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ محاسبه نموده و بر اساس آن خشکسالی را در سه طبقه: متوسط، شدید و خیلی شدید طبقه‌بندی نمودند. نتیجه آنکه شاخص VHI برای تعیین مناطق تحت تأثیر خشکسالی شاخص مناسبی است. در ایران نیز رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی، از شاخص‌های VCI و NDVI برای بررسی خشکسالی در شمال غرب ایران استفاده نمودند. در این تحقیق از داده‌های ۷ روزه سنجنده AVHRR استفاده شد. برای مقایسه صحت نتایج شاخص‌های ماهواره‌ای، نتایج با بارندگی تجمعی ۳ ماهه (که بیشترین همبستگی را با نتایج نشان می‌دهد) مقایسه شد. با وجود آنکه انتظار می‌رفت شاخص VCI خشکسالی را بهتر نمایش دهد، از همبستگی پایین‌تری با میزان بارش برخوردار بوده و NDVI به عنوان شاخص بهتر در این تحقیق معرفی شد. فاضل دهکردی (۱۳۹۲) با استفاده از شاخص خشکسالی

بینابینی‌شان با الگوهای خشکسالی سطحی را فراهم می‌نماید. Liu و Kogan (۱۹۹۶) با مقادیر آستانه NDVI و VCI، مناطق تحت خشکسالی را مشخص کردند. ایشان NDVI هفتگی از سال ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۲ را به مدت ۸ سال برای کل قاره آمریکای جنوبی فراهم کردند. نتایج با الگوی بارندگی همخوانی کامل داشتند. این مطالعه نشان داد مقایسه مناطق خشکسالی بین سالی و بین فصلی از روی VCI، ابزار مناسبی برای ارزیابی مکانی و زمانی خشکسالی و همچنین برای تخمین کیفیت محصول بود و پیشنهاد کردند که VCI در کنار NDVI برای مدل پیش‌بینی مقدار محصول بکار رود. در تحقیقی دیگر Singh و همکاران (۲۰۰۳)، از شاخص TCI و VCI برای پایش خشکسالی در هندوستان استفاده کردند. در این تحقیق از داده‌های NDVI و دمای درخشندگی (BT) برای ۱۲ سال از ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۶ برای مناطق مختلف هندوستان، در محاسبه شاخص‌ها استفاده شد. Sharma نیز در سال ۲۰۰۶ با بررسی همبستگی بین شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و بارندگی به همبستگی ۸۹٪ رسید و میزان خسارت به پوشش گیاهی را تعیین کرد. Shareful Hassan و Mahmud-ul-islam در سال ۲۰۱۳ به



نگاره ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور



نگاره ۳: تصاویر
محصولات LST(a) و
NDVI(b)

استفاده از شاخص VHI انجام شده است (Kogan, 2002; Singh; Roy; and Kogan, 2003). بنابراین هدف از این مطالعه، پایش مکانی خشکسالی کشاورزی از طریق سری‌های زمانی NDVI و LST در ماه‌های فصل رشد بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ (ماه‌های فروردین تا شهریور) و شاخص‌های ترکیبی حاصل از آنها یعنی VCI، TCI و VHI در استان مرکزی است.

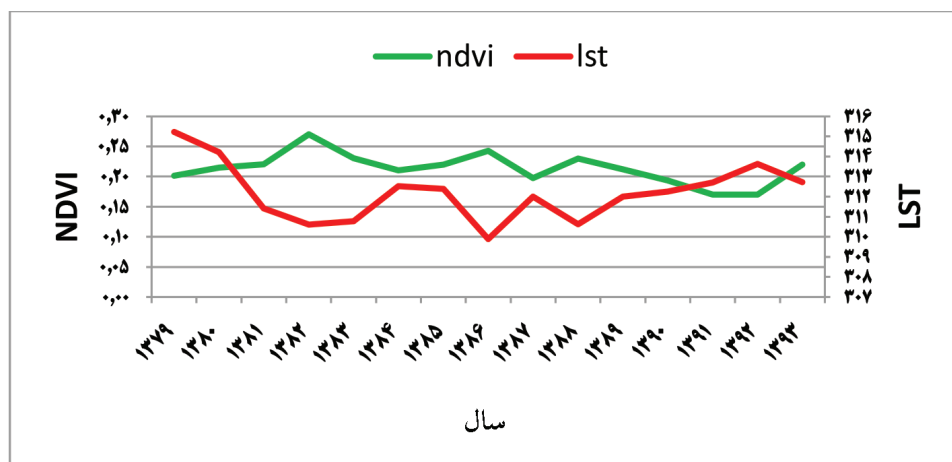
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعه

استان مرکزی بین عرض‌های جغرافیایی ۲۳° و ۳۳° تا ۳۳° و ۳۵° شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۱° و ۴۸° تا ۵۰° و ۵۱° شرقی واقع شده است (نگاره ۲). استان مرکزی از شمال به استان‌های تهران، البرز و قزوین، از غرب به استان همدان، از جنوب به استان لرستان و شرق به استان‌های قم و اصفهان محدود شده است. مساحت کل آن در حدود ۲۹۱۲۷ کیلومترمربع (۲,۹۱۲,۷۰۰ هکتار) است که حدود ۱/۸۵ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص می‌دهد. استان مرکزی از یک طرف در کویر مرکزی و از طرف دیگر در محل زاویه چین‌خوردگی البرز و زاگرس واقع شده است. قلمرو ارتفاعات در استان مرکزی از جنوب غربی به شمال شرقی کاهش می‌یابد به‌طوری‌که مرتفع‌ترین نقطه استان، قله کوه

هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس، روند تغییرات شاخص‌های ماهواره‌ای در ماه‌های فوریه تا ژوئیه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ را در مراتع سه استان اصفهان، ایلام و یزد بررسی نمود. به منظور دستیابی به مدل شاخص خشکسالی و پایش دقیق‌تر آن، شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص‌های ماهواره‌ای محاسبه و بر اساس تجزیه و تحلیل آماری نتایج در بازه زمانی یک، سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ ماهه، مدل‌های رگرسیونی تعیین گردید. بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی سالانه حاکی از وقوع خشکسالی شدید طی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ و ترسالی متوسط در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ بوده است. نتایج نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی در سطح یک درصد بین شاخص خشکسالی هواشناسی با شاخص‌های ماهواره‌ای NDVI، EVI، LST، TCI، NMDI مشاهده شده است.

شاخص VCI، شاخص مبتنی بر سری‌های زمانی NDVI و شاخص TCI مبتنی بر سری‌های زمانی LST است. شاخص VHI در حقیقت شاخص ترکیبی VCI و TCI بوده که اثرات ترکیبی پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین را در پایش خشکسالی نمایش می‌دهد. این شاخص دارای رویکرد شبه واقعی از ارزیابی خشکسالی کشاورزی است. مطالعات خوبی در خصوص پایش زمانی و مکانی خشکسالی با



نگاره ۴: ارتباط مقادیر NDVI و LST در منطقه تحقیق و در ماه‌های رشد سال‌های مطالعه

(۲ فروردین تا ۸ مهر) بوده و برای این ۱۵ سال تعداد ۱۹۵ تصویر NDVI دریافت گردید. محصول LST نیز از سنجنده MODIS ماهواره Terra با قدرت تفکیک مکانی اسمی ۱ کیلومتر (حقیقی ۸۵۵) و قدرت تفکیک زمانی ۸ روز، سطح ۳ (MOD11A2) برای ماه‌های فروردین تا شهریور سال‌های ۱۳۷۹ الی ۱۳۹۳ دریافت گردید. تصحیحاتی مانند ژئورفرنس کردن، کالیبراسیون تابش، حذف اثر ابر، درجه حرارت اتمسفری و بخار آب بر روی این محصول توسط NASA صورت گرفته است. محصول LST نیز مربوط به روزهای ۰۸۱ تا ۲۷۳ هر سال بوده که برای ۱۵ سال تعداد ۳۷۵ تصویر LST دریافت گردید. نگاره ۳ نمونه تصاویر NDVI و LST را برای منطقه مطالعه نشان می‌دهد. همچنین نگاره ۴ ارتباط میان مقادیر NDVI و LST را در محل ایستگاه‌های سینوپتیک داخل استان مرکزی نشان می‌دهد.

۲-۳- شاخص‌های پوشش گیاهی

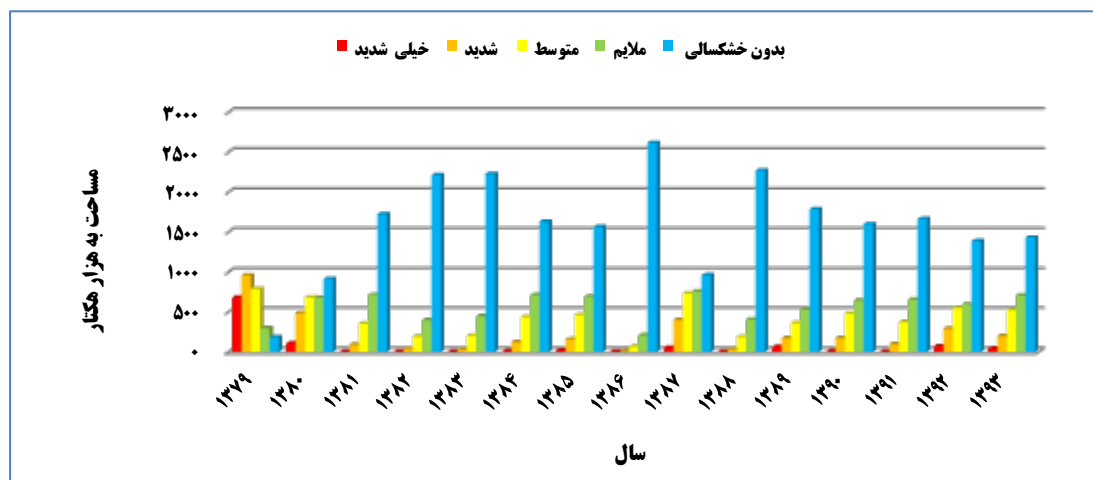
شاخص NDVI به عنوان معروف‌ترین شاخص پوشش گیاهی، از طریق سنجش تغییرات جذب تابش کلروفیل گیاهی، برای ارزیابی سلامت و تراکم پوشش گیاهی استفاده می‌شود (Thenkabail and Gamage et al., 2004). در سال‌های اخیر از این شاخص برای تعیین و ارزیابی خشکسالی در مناطق مختلف جهان استفاده فراوانی شده است. رابطه این شاخص که نسبت اختلاف طیف مادون قرمز نزدیک و طیف قرمز به مجموع آنها است به شرح ذیل است:

آدینه در جنوب غرب شازند با ارتفاع ۳۳۹۰ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه آن اراضی جنوبی و جنوب غربی دشت ساوه با ارتفاع ۹۵۰ متر از سطح دریا است. میزان بارندگی نواحی مختلف استان نیز متناسب با این کاهش ارتفاع کم می‌شود به طوری که پرباران‌ترین نقطه آن، شهرستان شازند با بارندگی ۵۲۰ میلی‌متر و کم باران‌ترین آن دلیجان با بارندگی ۱۷۷ میلی‌متر و متوسط بارندگی آن ۲۹۰ میلی‌متر در سال است. قرار گرفتن این استان در مناطق خشک و نیمه خشک و اینکه بخش اعظم آنرا اراضی دیم و مراتع پوشانده اند که سبب وارد شدن خسارات زیاد خشکسالی می‌گردد سبب انتخاب آن برای این تحقیق بوده است.

۲-۲- داده‌ها

به منظور ایجاد سری‌های زمانی NDVI برای ارزیابی خشکسالی، محصولات NDVI مربوط به سنجنده MODIS ماهواره Terra با قدرت تفکیک مکانی اسمی ۲۵۰ متر (حقیقی ۲۲۶ متر) و قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روز، سطح ۳ (MOD13Q1) مربوط به ماه‌های فروردین تا شهریور سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ از سایت NASA (landsweb) دریافت گردید. پیش‌پردازش‌هایی مانند تصحیح پراکنش مولکولی، جذب از ن و گرد و غبار و اصلاح نادیر و زوایای تابش خورشیدی از طریق مدل BRDF^۱ بر روی این محصول صورت گرفته است. این تصاویر مربوط به روزهای ۰۸۱ تا ۲۷۳ هر سال

1 - Bidirectional Reflectance Distribution Function



نگاره ۵: مقایسه توزیع مساحت طبقات مختلف خشکسالی در سال‌های مختلف

LSTi به ترتیب میانگین حداقل دمای طولانی مدت، میانگین حداکثر دمای طولانی مدت و دمای سطح زمین در ماه مورد مطالعه است (Kogan, 2001).

شاخص VCI بر اساس ارتباط میان مقدار واقعی NDVI و مقادیر NDVI در بهترین (NDVImax) و بدترین (NDVImin) شرایط رطوبتی فصل رشد گیاهی ایجاد گردیده درحالی که شاخص TCI بر اساس ارتباط میان درجه حرارت واقعی سطح زمین و درجه حرارت شرایط پتانسیل (LSTmin) و تنش گیاهی (LSTmax) ایجاد گردیده است. شاخص VHI نیز ترکیبی از شاخص‌های VCI و TCI است که هدف آن دخیل کردن شرایط رطوبت پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین در یک شاخص مجموع است.

۳- نتایج

پس از تنظیم NDVI و LST مربوط به ماه‌های رشد (از فروردین تا شهریور)، فایل دسته‌ای مربوط به هرکدام از ماه‌ها در ۱۵ سال مطالعه (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳) ساخته شد و تصاویر حداقل و حداکثر آنها تولید شد. در ادامه، مطابق رابطه هر یک از شاخص‌های VCI و TCI، تعداد ۹۰ تصویر برای هر یک از این شاخص‌ها تولید شد (برای ۶ ماه و ۱۵ سال). پس از آن شاخص VHI که حاصل جمع شاخص‌های VCI و

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

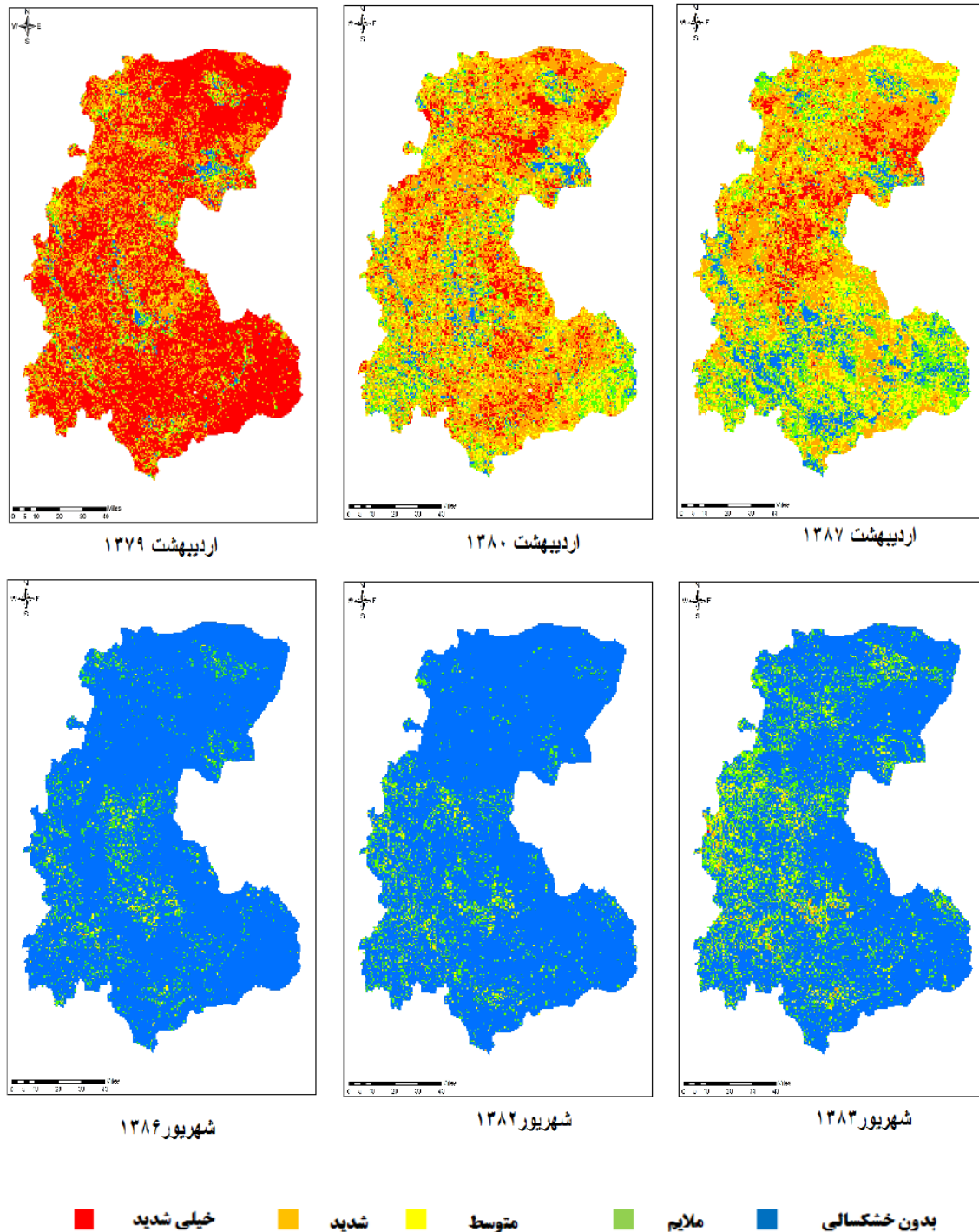
در رابطه فوق NIR انعکاس باند ۱ (۶۲۰-۶۷۰ نانومتر) و Red انعکاس باند ۲ (۸۴۱-۸۷۶ نانومتر) سنجنده مودیس است. به دلیل آنکه شاخص NDVI به‌تنهایی قابلیت نمایش خصوصیات خشکسالی را دارا نیست، استفاده از شاخص‌های ترکیبی با رویکرد به‌کارگیری سری‌های زمانی NDVI و LST در دهه ۹۰ میلادی مطرح گردید. بر این اساس با توجه به اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین، شاخص‌های VCI و TCI مبتنی بر سری‌های زمانی NDVI و LST ایجاد گردیدند. رابطه این شاخص‌های ترکیبی به‌صورت زیر است:

$$\text{VCI} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

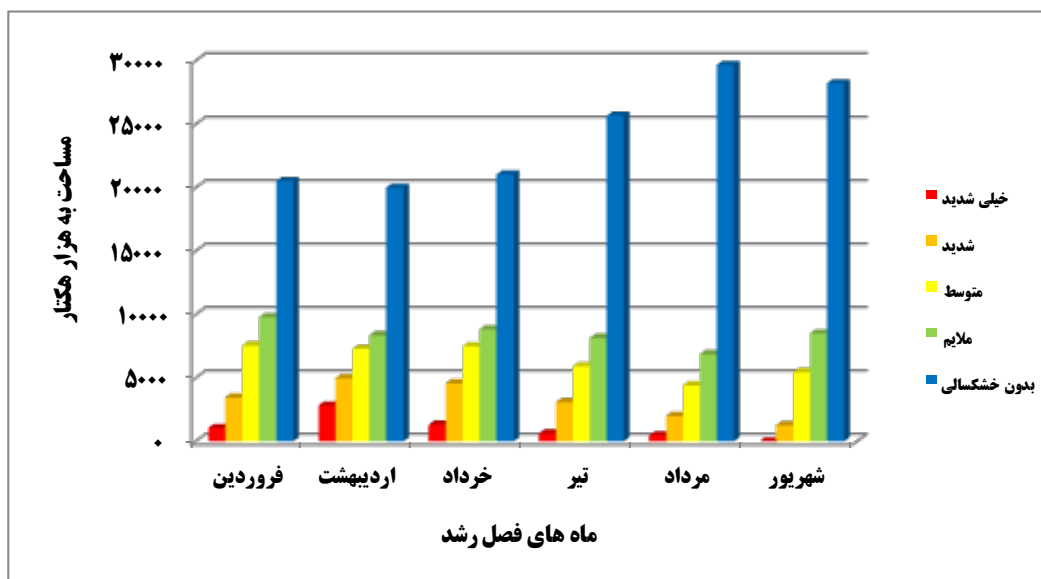
$$\text{TCI} = \frac{\text{LST}_{\max} - \text{LST}_i}{\text{LST}_{\max} - \text{LST}_{\min}} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{VHI} = (0.5 \times \text{VCI}) + (0.5 \times \text{TCI}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

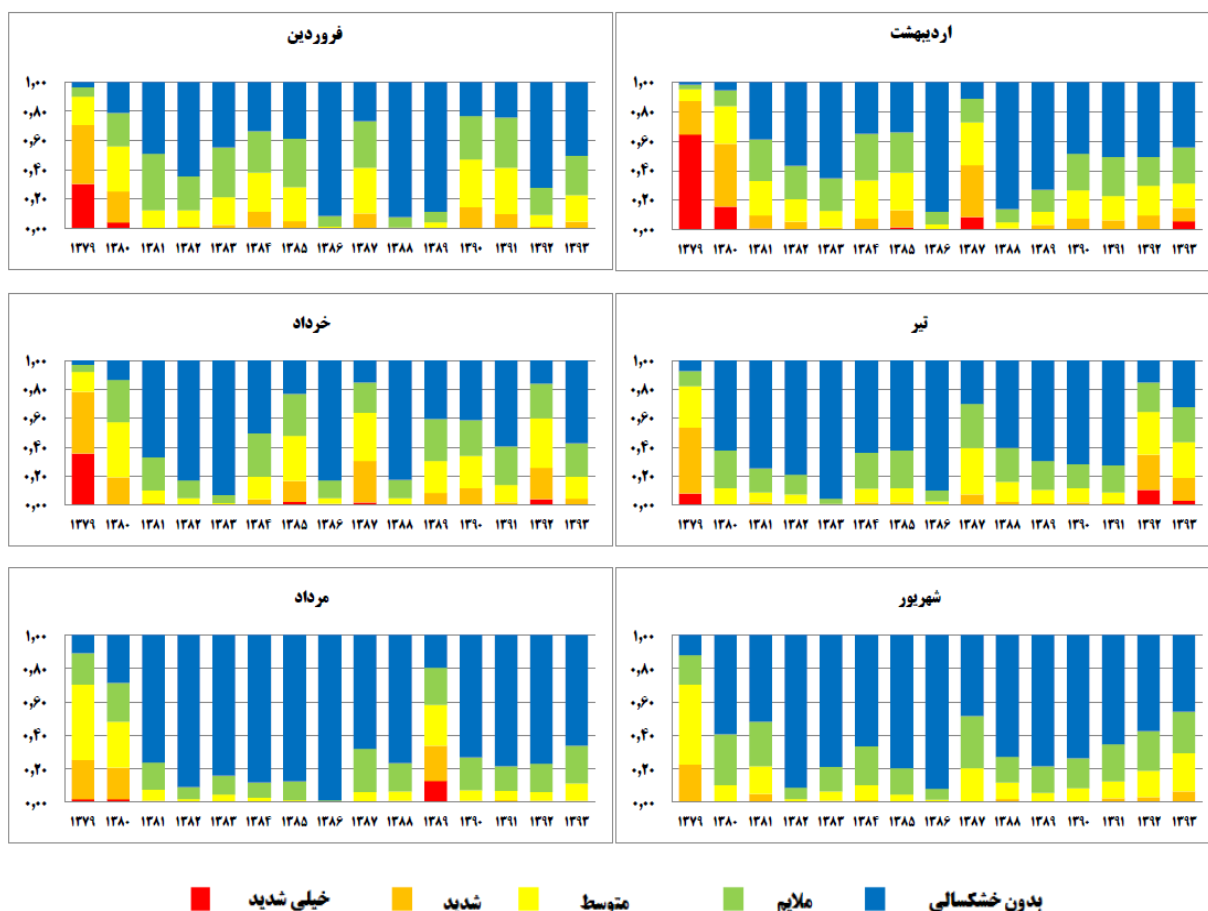
در آن NDVImax، NDVImin و NDVIi به ترتیب NDVI میانگین حداقل طولانی مدت، میانگین حداکثر طولانی مدت و ماه موردنظر برای هر پیکسل و LSTmin، LSTmax و



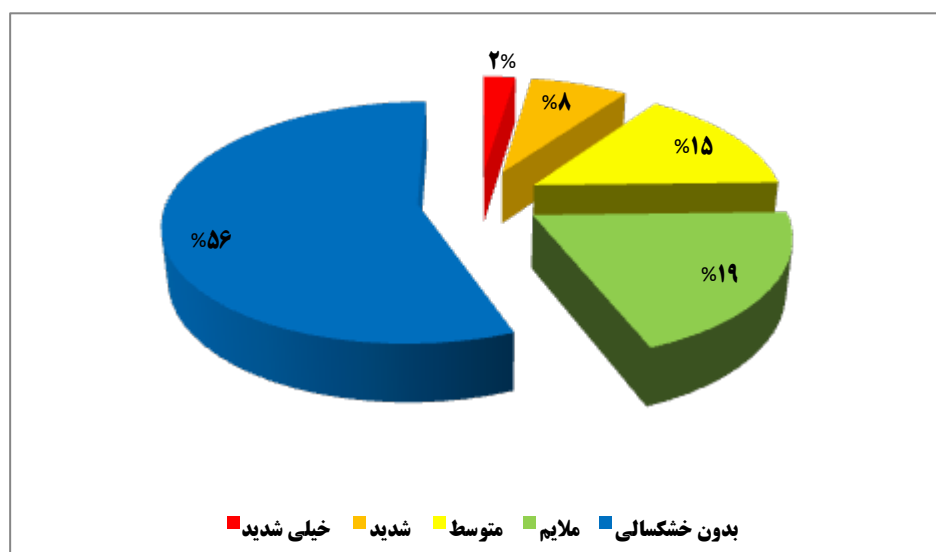
نگاره ۶: نقشه‌های طبقه‌بندی شده خشکسالی بر اساس شاخص VHI برای سال‌های با بیشترین شدت خشکسالی (بالا) و سال‌های با کمترین شدت خشکسالی (ترسالی)



نگاره ۷: توزیع طبقات خشکسالی در ماه‌های فصل رشد



نگاره ۸: نسبت مساحت طبقات مختلف خشکسالی در ماه‌های فصل رشد



نگاره ۹: درصد مساحت طبقات خشکسالی در ماه‌های فروردین تا شهریور

برای طبقه متوسط خشکسالی نیز مربوط به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۶ و به ترتیب برابر با ۷۸۵۴۱۳ و ۶۲۴۰۵ هکتار بوده است. سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۶ نیز بیشترین و کمترین سطح خشکسالی ملایم را داشته است. برای طبقه بدون خشکسالی همان‌گونه که از پراکنش طبقات دیگر پیداست، بیشترین و کمترین سطح مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۷۹ است. مطابق نگاره ۵ سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۸، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۲ به ترتیب بیشترین سطح طبقه بدون خشکسالی را دارا بوده‌اند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

پیچیدگی پدیده خشکسالی سبب ممانعت از فهم کامل اثرات آن می‌گردد. تحقیق حاضر، تغییرات مکانی پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین ناشی از خشکسالی در قالب شاخص‌های ترکیبی مبتنی بر سری‌های زمانی VCI، TCI و VHI را در استان مرکزی بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین متفاوت بوده و تابع عوامل مختلفی مانند ماه، نوع و خصوصیات 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

TCI است به همین تعداد ایجاد گردید. به منظور تعیین طبقات شدت خشکسالی، تصاویر حاصل از VHI به ۵ طبقه شدت خشکسالی شامل: خیلی شدید (۰-۱۰)، شدید (۱۰-۲۰)، متوسط (۲۰-۳۰)، ضعیف (۳۰-۴۰) و بدون خشکسالی (>40) تقسیم شدند. تصاویر سال‌های با بیشترین و کمترین شدت خشکسالی در نگاره ۶ نمایش داده شده است. مطابق این نگاره برای مقایسه خشکسالی در بین سال‌ها، سال ۱۳۷۹ نسبت به سال‌های دیگر از شدت خشکسالی بیشتری برخوردار بوده و این شدت هر چه از سمت فروردین به سمت شهریور می‌رویم کاهش می‌یابد. سال ۱۳۸۰ و ۱۳۸۷ در مقام بعدی از نظر شدت خشکسالی قرار دارند. سال ۱۳۸۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۲ نیز مرطوب‌ترین سال‌ها در دوره ۱۵ ساله مطالعه است. با مقایسه خشکسالی ماه‌های فصل رشد (فروردین الی شهریور)، شدت خشکسالی در ماه اردیبهشت (سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۰-۱۳۸۷ و ۱۳۹۳) نسبت به سایر ماه‌ها بیشتر و هر چه به سمت شهریور می‌رویم از شدت خشکسالی کاسته می‌گردد. مرطوب‌ترین ماه سال نیز شهریور است. بیشترین و کمترین مساحت طبقه خشکسالی خیلی شدید مربوط به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۶ با مساحت‌های ۶۷۷۰۳۹ و ۱۴۶ هکتار است. برای طبقه شدید این حداکثر و حداقل مربوط به سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۶ به ترتیب برابر ۹۵۴۵۱۲ و ۶۵۴۳ هکتار می‌باشد. این مقادیر

2015, Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities, Rev. Geophys. 53, 452-480, doi: 10.1002/2014RG000456.

5- Chen, W. -Y. Xiao, Q. -G., and Sheng, Y. -W., 1994, Application of the anomaly vegetation index to monitoring heavy drought in 1992 (In Chinese). China Remote Sensing of Environment, 9, 106-112.

6-Hayes, M.J., 2004, Drought indices, National Drought Mitigation Center, Nebraska, USA. <http://drought.unl.edu/whatis/indices.htm>.

7- Justice, C., J. Townshend, E. Vermote, E. Masuoka, R. Wolfe, N. Saleous, D. Roy, and J. Morisette., 2002, An overview of MODIS Land data processing and product status, Remote Sens. Environ., 83(1), 3-15, doi:10.1016/S0034-4257(02)00084-6.

8-Khalil A.A.; M.M. Abdel-Wahab; M. K. Hassanein; B.Ouldbdey ; B. Katlan; and Y.H., 2013, Essa. Drought Monitoring over Egypt by using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index. Nature and Science, 11(11):116-122]. (ISSN: 1545-0740). <http://www.sciencepub.net>.

9- Kogan FN., 1990, Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. Int. J. Remote Sens. 11(8): 1405-1419 CrossRef.

10- 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: 655-668.

11-Liu, W. T., and Kogan, F. N., 1996, Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. International Journal of Remote Sensing, 17, 2761-2782.

12-Lozano-Garcia, D. F., Fernandez, R. N., Gallo, K. P., and Johannsen, C. J., 1995, Monitoring the 1988 severe drought in Indiana, U.S.A. using AVHRR data. International Journal of Remote Sensing, 16, 1327-1340.

13-Menenti, M., Azzali, S. A., Verhoef, W., and van Swol, R., 1993, Mapping agro ecological zones and time lag in vegetation growth by means of Fourier analysis of time series of NDVI images. Advances in Space Research, 13, 233-237.

14-Moran JF, Becana M, Iturbe-Ormaetxe I, Frechilla S, Klucas reductase and ascorbate peroxidase. In: Foyer CH,

گیاهی و هم بر درجه حرارت سطح زمین را داراست. نتایج نقشه‌های حاصل از شاخص VHI نشان می‌دهد که سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ به‌عنوان سال‌های با شدت خشکسالی بیشتر و سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۳ به‌عنوان سال‌های با کمترین درجات شدت خشکسالی بوده‌اند. همچنین بیشترین درصد مساحت مربوط به طبقه بدون خشکسالی (۵۶ درصد) و کمترین مربوط به طبقه خشکسالی خیلی شدید (۲ درصد) بوده است (نگاره ۸). مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق همچنین مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های محققان دیگر مانند فاضل دهکردی (۱۳۷۹)، Singh، و همکاران (۲۰۰۳) و دیگر محققان، نشان از دقت بسیار خوب روش استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری (VHI) در پایش خشکسالی می‌باشد. مطالعات تکمیلی برای پایش مکانی خشکسالی به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی تغییرات کمی پوشش و درجه حرارت سطح زمین پیشنهاد می‌گردد. محدودیت‌هایی در استفاده کوتاه‌تر از ماه NDVI و LST وجود دارد. 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 می‌کند.

منابع و مآخذ

۱- فاضل دهکردی، لیلا؛ (۱۳۹۲)؛ هشدار خطر خشکسالی بمنظور مدیریت بهینه مراتع، پایان نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۲- مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران سازمان هواشناسی کشور. (۱۳۹۳)، تحلیل خشکسالی کشور طی ۲۳ سال گذشته.

۳- مهدوی، مریم؛ (۱۳۹۳)؛ پیش بینی خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و زنجیره مارکوف، پایان نامه کارشناسی ارشد، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.

4-AghaKouchak, A. A. Farahmand, F. S. Melton, J. Teixeira, M. C. Anderson, B. D. Wardlow, and C. R. Hain.,

- 23-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.
- 24-Wan, Z., 2008, New Refinements and Validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivity Products. *Remote Sensing of Environment* 112 (1): 59–74. doi:10.1016/j.rse.2006.06.026.
- 25-Wang, P. -X., and Wei, Y. -M., 1998, Research, Demonstration and Extension of Sustainable Farming Systems for Rain fed Agriculture (UNDP-CPR/91/114 Project Final Report), (Xi'an, PR China: World Publishing Corporation).
- 26-Wang, J.; Price, K. P.; Rich, P. M., 2001, Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing* 22: 3827–3844.
- 27-Wang L, Qu J. , 2009, Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring, *Earth Sci. China*, 3, 2, pp 237–247.
- 28-Wilhite, D.A., and Glantz, M., 1985, Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water Int.* 10 (3): 111–120. doi:10.1080/02508068508686328.
- 29-Wilhite, D.A., 2005, Drought and Water Crises. Science, Technology, and Management Issues. Taylor & Francis Group.
- 30-Zhang X., Friedl M.A., Schaaf C.B., Strahler A.H., Hodges J.C.F., Gao F., Reed B.C., Huete A., 2003, Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote sensing of environment*, 84, pp. 471-475.
- RV, Aparicio-Tejo P., 1994. Drought induces oxidative stress Mullineaux PM, eds. Causes of photooxidative stress and in pea plants. *Planta* 194, 346–352.
- 15-Parida, B.R., 2006, Analysing 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.
- 16-Patel, P. K., Hemantaranjan, A., Sarma, B. K., and Singh, R., 2011, Growth and antioxidant system under drought stress in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid. *J Stress Physiol Biochem* 7: 130-144.
- 17- Prince, S.D., 1990, High temporal frequency remote sensing of primary production using NOAA AVHRR, *Applications of Remote Sensing in Agriculture* (M.D. Steven and J.A. Clark, editors), Butterworths, London, U.K., 4 :169-183.
- 18-Rahimzadeh Bajgiran, P., Darvishsefat, A.A., 2008, Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran, *Journal of Arid Environments*; 72, 1086–1096.
- 19-Sharma , Aditi ., 2006 , Spatial Data Mining for Drought Monitoring: An Approach Using temporal NDVI and Rainfall Relationship , ITC & IIRS , Thesis for the degree of Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation in Hazard & Risk Analysis , no. 87.
- 20-Shareful Hassan, M., and Mahmud-ul-islam, S., 2013, Drought Vulnerability Assessment in the High Barind Tract of Bangladesh Using MODIS NDVI and Land Surface Temperature (LST) Imageries, *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online):* 2319-7064
- 21-Singh, R. P., S. Roy, and F. Kogan., 2003, Vegetation and Temperature Condition Indices from NOAA AVHRR Data for Drought Monitoring over India. *International Journal of Remote Sensing* 24 (22): 4393–4402. doi:10.1080/0143116031000084323.
- 22-Thenkabail, P. S., Gamage, M. S. D. N., Smakhtin, V. U., 2004, The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia, Research Report 85, International water management Institute.