

بررسی حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک مطالعه موردی: دشت سیستان ایران

فاطمه فیروزی^۱

تقی طاوسی^۲

پیمان محمودی^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۸/۰۶

چکیده

هدفی که این مطالعه در پی دست یافتن به آن است واکنش دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در یکی از دشت‌های خشک ایران یعنی دشت سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان است. برای بررسی حساسیت این دو شاخص به خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها به دو پایگاه داده‌ای مختلف نیاز بود. اول پایگاه تصاویر NDVI و EVI سنجنده مادیس ماهواره ترا برای ماه‌های آوریل، می و ژوئن برای دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ و دوم پایگاه داده‌های روزانه بارش ایستگاه هواشناسی همدید زابل برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۵) که از اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان اخذ شد. بعد از اخذ داده‌ها، نقشه‌های پویایی پوشش گیاهی حاصل از پردازش تصاویر سنجنده MODIS ماهواره ترا به تفکیک برای ماه‌های آوریل، می و ژوئن با استفاده از دو شاخص NDVI و EVI برای منطقه مورد مطالعه تهیه شدند. برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی‌ها و ترسالی‌های دشت سیستان نیز از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) استفاده شد. نتایج نشان داد که در سال نمونه خشک (۲۰۱۱-۲۰۱۰) تفاوت قابل توجه بین این دو شاخص در طبقه پوشش گیاهی نرمال مشاهده شد. شاخص EVI مساحت این طبقه را در این سال خشک حدود ۱۲ درصد نشان داد در حالی که شاخص NDVI برای این طبقه هیچ مساحتی را قائل نبوده است. در حالی که در زمان ترسالی (۲۰۰۶-۲۰۰۵) شاخص EVI مقداری نتایج بهتری را در اختیار گذاشته است. شاخص EVI برای طبقه نرمال مساحت ۲۰ درصدی را نشان داد و برای طبقه پراکنده ۱۰ درصد از کل مساحت منطقه را دارای پوشش گیاهی تنک و پراکنده نشان داد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که شاخص NDVI شاخص بسیار مناسب‌تری برای پویایی پوشش گیاهی در دشت‌هایی مانند دشت سیستان می‌باشد که حیات آن‌ها نه به بارش بلکه به آب جاری در رودخانه متکی است. شاخص EVI نیز با توجه به ماهیت محاسباتی آن برای مناطقی که پوشش گیاهی آن‌ها متراکم‌تر است بهتر جواب می‌دهد. علاوه بر این بازدهی‌های میدانی هم که از دشت صورت گرفت و با نوع طبقه پوشش گیاهی که از تصاویر سنجنده MODIS به دست آمد حکایت از بهتر بودن شاخص NDVI در مقایسه با شاخص EVI برای این نوع از دشت‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: شاخص خشکسالی مؤثر، دشت سیستان، سنجنده مودیس، EVI، NDVI.

۱- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران firozif@yahoo.com

۲- استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران t.tavousi@gep.usb.ac.ir

۳- استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران (نویسنده مسئول)

p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

۱- مقدمه

استول (۱۹۱۳) بیان کردند که برگ‌ها نور را توسط دیواره سلولی داخل خود بازمی‌تابانند و در همان سال گیتس و همکاران (۱۹۱۳) ویژگی طیفی گیاهان را از روی طیف ماوراء بنفش تا مادون قرمز حرارتی تعیین کردند. از اوایل دهه هشتاد بود که از قابلیت‌های ماهواره‌ها در بررسی پدیده خشکسالی استفاده شد و مشخص شد که از طریق دیدبانی مستقیم پوشش گیاهی و مطالعه واکنش طیفی گیاهان می‌توان واکنش‌های پوشش گیاهی را در برابر استرس محیطی از جمله خشکسالی مطالعه نمود (باعتقیده، ۱۳۸۶).

بین بازتاب موج کوتاه مادون قرمز^۷ (SWIR) و محتوای آب برگ رابطه منفی وجود دارد که علت آن مربوط به ناحیه جذب می‌باشد (هانت و راک، ۱۹۱۹، توکر، ۱۹۸۰) و بین مادون قرمز نزدیک و میزان آب درون برگ رابطه عکس وجود دارد (سیکاتو و همکاران، ۲۰۰۱، گو، ۱۹۹۶). براساس تجزیه و تحلیل طیف بازتابی، ترکیبی از بازتاب موج کوتاه مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک شاخص‌های مختلفی را به وجود آورده است که در بسیاری از مطالعات از آن‌ها بهره گرفته شده است: شاخص تفاوت نرمال شده باندهای ۴ و ۵ سنجنده TM ماهواره لندست (ND45^۸) (کیمس و همکاران، ۱۹۸۱)، شاخص تفاوت نرمال شده مادون قرمز (NDII^۹) (هاردیسکی و همکاران، ۱۹۸۳)، شاخص تنش آبی موج کوتاه (SWIS^{۱۰}) (فنشلت و سندهلوت، ۲۰۰۳)، شاخص تفاوت نرمال شده آبی (NDWI^{۱۱}) (جکسون و همکاران، ۲۰۰۴، مکی و همکاران، ۲۰۰۴) و شاخص آب سطح زمین (LSWI^{۱۲}) (کوین و همکاران، ۲۰۱۵، شیائو و همکاران، ۲۰۰۲، ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵). این شاخص‌ها ثابت کرده‌اند که بر نظارت محتوای آب از پوشش گیاهی مؤثر می‌باشند. از کاربرد شاخص‌های گیاهی برای بررسی خشکسالی‌ها چند دهه می‌گذرد و هنوز هم در سطح وسیعی استفاده می‌شود (اکبری، ۱۳۸۲). در میان

خشکسالی پدیده‌ای است که در هر زمانی از سال رخ می‌دهد. زمانی که خشکسالی هم زمان با فصل رشد باشد، موجب عدم تعادل زیست‌محیطی خواهد شد که خود پارامترهای بیولوژیک مانند پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد (گیولم و همکاران، ۲۰۰۷؛ رایگستان و همکاران، ۲۰۰۲). خشکسالی‌ها همواره به چهار دسته خشکسالی‌های هواشناسی، خشکسالی‌های کشاورزی، خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و خشکسالی‌های اجتماعی-اقتصادی طبقه‌بندی می‌شوند (ویلهایت و گلنز، ۱۹۸۵). محققان روش‌های مختلفی برای ارزیابی و تشخیص شدت خشکسالی‌ها ارائه داده‌اند. برخی شاخص‌های مربوط به خشکسالی‌های هواشناسی همچون شاخص خشکسالی بالم و مولی^۱ (BMDI)، شاخص بارش استاندارد شده^۲ (SPI) و شاخص ناهنجاری بارش^۳ (RAI) تنها براساس داده‌های هواشناسی پایه‌گذاری شده‌اند (بالم و همکاران، ۱۹۸۱؛ مکی و همکاران، ۱۹۹۳؛ وان روی، ۱۹۶۵). اساس بسیاری از شاخص‌های خشکسالی‌های کشاورزی همچون شاخص رطوبت محصول^۴ (CMI) و شاخص کمبود رطوبت خاک^۵ (SMDI) استفاده از داده‌های رطوبت خاک و تبخیر و تعرق می‌باشد (هولینگروم و همکاران، ۱۹۹۳، نارسیمهان و سرینیواسان، ۲۰۰۵، پالمر، ۱۹۶۵). در حالی که شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی همچون شاخص شدت خشکسالی پالمر^۶ (PDSI) براساس یک مدل تعادل آبی طراحی شده‌اند (شافر و دزمان، ۱۹۸۲؛ ویگروست، ۱۹۹۶). در چند دهه اخیر نیز با پیشرفت‌هایی که در تولیدات سنجنش از دور ماهواره‌ای اتفاق افتاده است، مطالعات زیادی با استفاده از این تولیدات برای ارزیابی اثرات خشکسالی انجام شده است (گیولم و همکاران، ۲۰۰۷، پیتز و همکاران، ۲۰۰۲، تادیس و همکاران، ۲۰۰۵، وان و همکاران، ۲۰۰۴). ویل استاتر و

7- Short wave infrared reflectance

8- Normalized Difference of Landsat TM bands 4 and 5

9- Normalized Difference Infrared Index

10- Shortwave Water Stress Index

11- Normalized Difference Water Index

12 - Land Surface Water Index

1-Bahlme and Mooley Drought Index

2- Standardized Precipitation Index

3-Rainfall anomaly index

4-Product moisture index

5- Soil moisture deficit index

6- Palmer drought severity index

در نهایت با بهتر تشخیص دادن نتایج شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) اقدام به طبقه‌بندی پوشش گیاهی کشور ترکیه به سه طبقه پوشش گیاهی زیاد، پوشش گیاهی کم و فاقد پوشش گیاهی نمودند. در نهایت اثر خشکسالی سال ۲۰۰۰ را با مقایسه مساحت این سه طبقه مورد توجه قرار دادند. شکیر و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص EVI مستخرج از سنجنده مودیس اقدام به طبقه‌بندی محصولات عمده (گندم زمستانه، ذرت، سویا، سورگوم و یونجه) منطقه‌ای در ایالت کانزاس آمریکا نمودند. نتایج به دست آمده از این طبقه‌بندی نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن ضریب کاپای ۰/۶-۰/۸ درصد می‌توان، فرایند طبقه‌بندی را با این شاخص بهبود بخشید. ارودا و همکاران (۲۰۱۷) نیز با استفاده از شاخص EVI مستخرج از سنجنده مادیس ماهواره ترا، اقدام به محاسبه تولید خالص اولیه (NPP) برای منطقه ساحل آفریقا نمودند. سپس با استفاده از روش تحلیل روند، روند تغییرات بلندمدت آن را مورد بررسی قرار دادند. در نهایت نتایج این تحقیق نشان داد که هیچ تغییر معناداری در مقادیر تولید خالص اولیه (NPP) برای منطقه ساحل آفریقا رخ نداده است.

در سال‌های اخیر استفاده از قابلیت‌های تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های پوشش گیاهی به خصوص NDVI و EVI مورد توجه محققان و سازمان‌های داخلی نیز بوده است. از مطالعات موردی در این راستا می‌توان به کارهای تحقیقاتی معصومی (۱۳۸۷)، کبیری (۱۳۸۰)، شایگان (۱۳۸۱)، باعقیده (۱۳۸۶) و جلیلی (۱۳۸۴)، جعفری و مصباح‌زاده (۱۳۹۶) اشاره کرد. شایگان (۱۳۸۱) در حوضه آبریز قوچان-شیروان، با استفاده از به‌کارگیری هم‌زمان داده‌های ماهواره‌ای، محیطی و هواشناسی به بررسی رابطه منطقی بین آن‌ها و آسیب‌پذیری نواحی به خشکسالی و همچنین شدت و ضعف آن‌ها در حوضه مربوطه پرداخت. نتایج به دست آمده از این تحقیق بیانگر رابطه منطقی بین ارزش‌های مربوط به نقشه حساسیت به خشکسالی و کاهش NDVI حاصل از تصاویر AVHRR است. مفاخری و

شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI^۱) و شاخص پیشرفته پوشش گیاهی (EVI^۲) هر دو از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی هستند که برای ارائه نمودن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شوند (پتوریلی و همکاران، ۲۰۰۵؛ ماتسوشیتا و همکاران، ۲۰۰۷) به خصوص شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات مورد تأیید قرار گرفته است. اساس این شاخص بر این مبنا است که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان قادر است نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ نیز قادر است نور مادون قرمز نزدیک را منعکس سازد. مقدار این شاخص و نیز شاخص‌های دیگر پوشش گیاهی تحت تأثیر عواملی قرار می‌گیرند که آگاهی از آن نقش کلیدی و مهمی را در مطالعات پوشش گیاهی دارند. از طرف دیگر، شاخص EVI اطلاعات کاملی را در رابطه با تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی ارائه می‌دهد و نیز بسیاری از مسائلی که ایجاد ناخالصی در شاخص NDVI می‌نماید مانند اثرات زمینه خاک و گردوغبارهای برجای مانده روی پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد، اما مسئله مربوط به اثرات توپوگرافی را نمی‌تواند برطرف نماید (پتوریلی و همکاران، ۲۰۰۵؛ ماتسوشیتا و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعات مختلفی بر روی خشکسالی‌ها در گوشه و کنار جهان با استفاده از دو شاخص NDVI و EVI انجام شده است. آکارتال و همکاران (۲۰۰۵) برای بررسی تغییرات توده گیاهی در ترکیه از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست و سنجنده XS ماهواره اسپات و شاخص‌های نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی تبدیل شده (TNDVI)^۳، تفاوت پوشش گیاهی^۴ (DVI)، نسبت پوشش گیاهی^۵ (RVI)، پوشش گیاهی عمودی^۶ (PVI) و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) بهره بردند. آن‌ها

- 1- Normalized Difference Vegetation Index
- 2- Enhanced Vegetation Index
- 3- Transformed Normalized Differences Vegetation Index
- 4- Differences Vegetation Index
- 5 - Ratio Vegetation Index
- 6 -Perpendicular Vegetation Index

خشک و نیمه خشک است که کمتر در مطالعات مختلف بدان توجه شده است. دلیل اهمیت این مقایسه در این گونه مناطق در وجود عدم قطعیت‌های زیاد در شاخص‌های سنجش از دوری خشکسالی می‌باشد.

لذا در این مطالعه، قصد بر این است که در یک مطالعه تطبیقی، حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI منتج از سنجنده مادیس ماهواره ترا به طبقات مختلف خشکسالی‌ها که کمتر بدان توجه شده است در یکی از مناطق خشک جهان یعنی دشت سیستان مورد بررسی قرار گیرد. با به دست آوردن میزان حساسیت این دو شاخص به شدت‌های مختلف خشکسالی‌ها می‌توان در خصوص این دو شاخص و ضعف و توانایی آنها در مطالعه پویایی پوشش گیاهی در مناطق خشک قضاوت مناسبی نمود.

۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت (دلتای) سیستان در شرق ایران و در انتهای یک حوضه آبریز بسته به نام حوضه آبریز هیلمند واقع شده است. کل مساحت این حوضه آبریز ۲۰۰۰۰۰ کیلومترمربع است که بخش وسیعی از آن در کشور افغانستان قرار گرفته است. بخش ایرانی این حوضه شامل دشت دلتا (حدود ۲۵۰۰ کیلومترمربع) و قسمتی از سامانه تالاب‌های پیرامونی (حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع) کمتر از ۵ درصد مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده است. سامانه رودخانه‌ای این حوضه به درون یک فرورفتگی داخلی تخلیه می‌شود و زمانی که آب به اندازه کافی موجود باشد دریاچه‌های سه‌گانه هامون را تشکیل می‌دهند. این دریاچه‌ها از مهم‌ترین و بارزترین اکوسیستم‌های آبی در ایران به شمار می‌روند و نام آنها در فهرست کنوانسیون ذخیره‌گاه‌های بین‌المللی یونسکو و کنوانسیون جهانی حفاظت از تالاب‌ها (کنوانسیون رامسر) ثبت شده‌اند. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد این دریاچه‌ها، علیرغم قرار گرفتن آنها در انتهای یک حوضه آبریز بسته، شیرین بودن آب آنها می‌باشد. اما در حقیقت بایستی گفت که این دریاچه‌ها، انتهای این حوضه آبریز

همکاران (۱۳۹۵) به تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص NDVI و SPI در دشت قروه و دهگلان پرداختند. نتایج شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی نشان‌دهنده مقادیر پایین میانگین شاخص در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ بود که به عنوان سال‌های نمونه خشکسالی اکولوژیکی تعیین شدند. سال ۲۰۰۱ کمترین مقدار NDVI را داشت و غیر از مناطق مرکزی که زیر کشت آبی بوده است بقیه مناطق تقریباً پوشش گیاهی خود را از دست داده‌اند.

با توجه به مطالعات انجام شده در گذشته که به برخی از آنها نیز در بالا اشاره شده است مشاهده می‌شود که یکی از جنبه‌هایی که همواره نظر بسیاری از محققین سنجش از دور محیطی را به خود جلب کرده است ارزیابی اثرات خشکسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف در قالب شاخص‌های مختلف سنجش از دوری و هواشناسی بوده است. در این بررسی‌ها همواره شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به عنوان معتبرترین و متداول‌ترین شاخص بررسی خشکسالی‌های هواشناسی استفاده شده است. اما این شاخص به عنوان یکی از بهترین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی مانند بسیاری دیگر از شاخص‌ها دارای نقاط ضعفی است (مانند وابسته بودن محاسبات آن به توزیع احتمالاتی گاما، در نظر نگرفتن توزیع روزانه بارش در محاسبات و ...) که اگر به آنها توجه نشود می‌تواند نتایج یک بررسی را به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دچار مشکل کند. لذا در این مطالعه در راستای اولین نوآوری از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) استفاده شده است. این شاخص تنها شاخصی است که خشکسالی‌ها را در یک مقیاس روزانه پایش می‌کند و نتایج آن می‌تواند برای یک مقیاس ماهانه نیز تعمیم داده شود. توانایی این شاخص در پایش خشکسالی‌ها به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک در مطالعات تطبیقی بسیاری مورد تأیید قرار گرفته است. دومین نوآوری که در این پژوهش بدان توجه شده است مقایسه دو شاخص بسیار قدرتمند NDVI و EVI برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی‌ها به خصوص در مناطق

ماهواره ترا برای ماه می برای دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ که از وبسایت درگاه داده‌های EOS دانلود شدند. محصولات مودیس متعدد می‌باشند که در این پژوهش از شاخص گیاهی (MOD13A3) استفاده شده است. این محصول مقایسه زمانی و مکانی از شرایط پوشش گیاهی جهانی را فراهم می‌کند و برای نظارت بر فعالیت گیاهان فتوسنتزی و تشخیص تغییرات و تفسیر بیوفیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (سولانو، ۲۰۱۰). قدرت تفکیک فضایی این محصول ۱ کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی آن ۱۶ روزه می‌باشد. مراحل پیش پردازش تصحیحات اتمسفری توسط ناسا با الگوریتم‌های مناسب به منظور ارائه مجموعه داده همگن باکیفیت بالا صورت گرفته است. شاخص‌های پوشش گیاهی را با شماره‌های دیجیتال به نقشه تبدیل می‌کنند که در مورد NDVI و EVI در دامنه ۱- تا ۱ می‌باشد (مورد، ۲۰۱۲). شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) یک اندازه‌گیری غیرمستقیم از فعالیت فتوسنتزی است. دامنه این شاخص بین ۱- برای حداقل میزان و ۱+ برای حداکثر میزان فعالیت فتوسنتزی است. شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

در این شاخص برای سطوح دارای پوشش گیاهی، طول موج‌های قرمز (RED) و مادون قرمز نزدیک (NIR) به ترتیب با جذب بالا و بازتاب پایین مشخص می‌شوند (چن و همکاران، ۲۰۰۳؛ گروئن ولد و باف، ۲۰۰۷). انعکاس کلروفیل در محدوده طول موج قرمز (RED) حدود ۲۰ درصد و در محدوده طول موج مادون قرمز نزدیک (NIR) حدود ۶۰ درصد است و تفاوت بین پاسخ‌های هر دو باند اجازه کمی سازی انرژی جذب شده توسط کلروفیل را می‌دهد، در نتیجه طبقات نشان‌دهنده سطوح مختلف پوشش گیاهی را فراهم می‌کند (توکر و سلرز، ۱۹۸۶).

اما شاخص ارتقا یافته پوشش گیاهی (EVI) برای اولین بار توسط هیوت و لیو در سال ۱۹۹۴ معرفی شد.

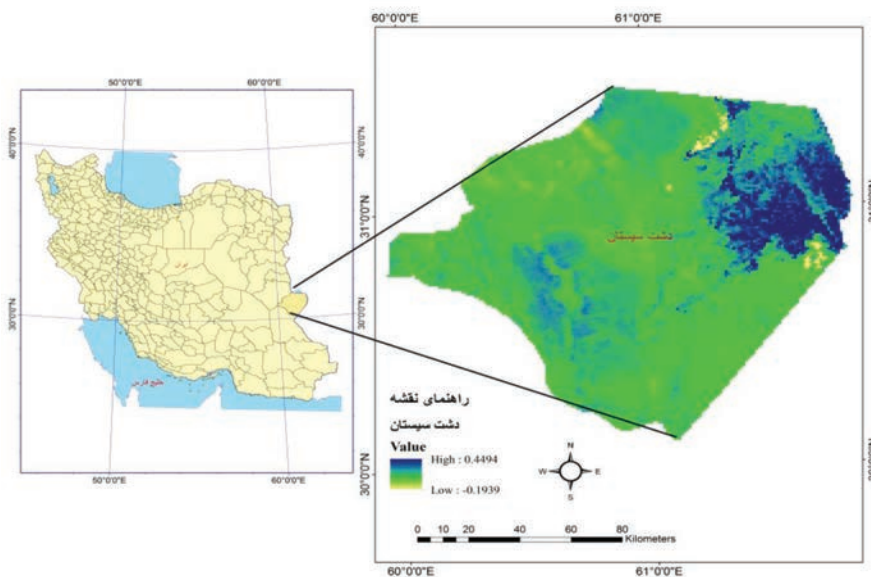
نیستند. بلکه در طول دوره‌هایی با جریان‌های سیلابی، سرریز این دریاچه‌ها به رودخانه شیله و سرانجام به گود زره می‌ریزد. این جریان‌های سیلابی به‌طور میانگین هر ۸-۱۱ سال یکبار اتفاق می‌افتد. دریاچه گود زره، دریاچه انتهایی این حوضه آبریز بوده و آب آن بسیار شور می‌باشد (وان بیک و میجر، ۲۰۰۶).

دشت سیستان جمعیتی بالغ بر ۴۰۰۰۰۰ نفر دارد و اقتصاد آن به شدت به کشاورزی و محصولات جانبی به دست آمده از تالاب‌ها وابسته است. سیستم آبیاری این دشت که جدیداً نیز احیاء شده است مساحتی حدود ۱۲۰۰۰۰ هکتار دارد. چهار دریاچه مصنوعی (چاه نیمه) برای تأمین مصارف عمومی آب در این دشت ایجاد شده است. رودخانه‌هایی که از افغانستان سرچشمه گرفته و به این دشت می‌ریزند، علاوه بر اینکه آب مورد نیاز برای کشاورزی آبی آن را تأمین می‌کنند، منبعی برای تأمین آب دریاچه‌های سه‌گانه هامون نیز به شمار می‌روند (وان بیک و منجر، ۲۰۰۶).

اقلیم دشت سیستان براساس طبقه‌بندی کوپن اصلاح شده، اقلیم صحرائی با آب و هوای خیلی گرم و خشک بیابانی است. متوسط بارندگی سالانه این دشت بسیار ناچیز و بین ۵۰ تا ۵۵ میلی‌متر است که حدود ۷ درصد متوسط بارندگی سالانه در جهان می‌باشد. میزان تبخیر سالانه آن بسیار بالا و در حدود ۴۸۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. متوسط حداکثر درجه حرارت آن ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل درجه حرارت ۸/۵ درجه سانتی‌گراد است. مهم‌ترین مشخصه آب و هوایی دشت سیستان بادهای ۱۲۰ روزه آن است که از اواسط خردادماه شروع به وزیدن می‌کند و تا اوایل مهرماه ادامه دارد و جهت آن از شمال غربی به جنوب شرقی است و سرعت آن، گاه تا بالای ۱۰۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسد.

۳- مواد و روش‌ها

برای بررسی حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشک‌سالی‌ها، به دو پایگاه داده‌ای مختلف نیاز بود. اول پایگاه ۳۰ تصویر NDVI و EVI سنجنده مادیس



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی دشت سیستان ایران

خشکسالی‌ها از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) استفاده شد. این شاخص توسط بیون و ویلهیت در سال ۱۹۹۹ جهت آشکارسازی و تعیین زمان آغاز و خاتمه خشکسالی‌ها توسعه داده شده است. شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در شکل اصلی خود، برخلاف دیگر شاخص‌های خشکسالی، بر اساس داده‌های روزانه محاسبه می‌شود (اختری و همکاران، ۲۰۰۹؛ کالاماراس^۲ و همکاران، ۲۰۱۰؛ کیم^۳ و بیون، ۲۰۰۹؛ مرید^۴ و همکاران، ۲۰۰۶؛ رودیر و ماهه^۵، ۲۰۱۰)؛ هرچند که اصول آن می‌تواند به داده‌های بارش ماهانه نیز تعمیم داده شود (مرید و همکاران، ۲۰۰۷؛ پاندی^۶ و همکاران، ۲۰۰۸). برای محاسبه EDI مراحل بسیار متعددی وجود دارد که در ادامه به اختصار تشریح می‌شود. اصلی‌ترین مفهوم در این شاخص، بارش مؤثر EP است. EP جمع مقادیر بارش روزانه با یک تابع کاهشی وابسته به زمان می‌باشد که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$EP = \sum_{n=1}^i [(\sum_{m=1}^n P_m) / n] \quad (3)$$

1 - Akhtari
 2 - Kalamaras
 3 - Kim
 4 - Morid
 5 - Roudier and Mahe
 6 - Pandey

شاخص‌های پوشش گیاهی ارتقا یافته، اثرات جوی و تفاوت در بازتاب‌های آبی و قرمز را به حداقل می‌رسانند، که به شکل زیر تعریف می‌شود (مورید، ۲۰۱۲):

$$EVI = G \times \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + C_1 \times P_{RED} - C_2 \times P_{BLUE} + L} \quad (2)$$

که L ، فاکتور تعدیل‌کننده خاک، C_1 و C_2 ضرایب استفاده‌شده جهت تصحیح پراکندگی آئروسول در باند قرمز با استفاده از باند آبی، P_{BLUE} ، P_{RED} و P_{NIR} به ترتیب انعکاس در طول موج‌های آبی، قرمز و مادون قرمز نزدیک است. به طور معمول، $G = 2.5$ ، $C_1 = 6$ ، $C_2 = 7.5$ و $L = 1$ می‌باشد. دوم پایگاه داده‌های روزانه بارش ایستگاه هواشناسی همدید ایستگاه زابل برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۵) که از اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان اخذ شد. مشخصات ایستگاه زابل در جدول ۱ و موقعیت جغرافیایی آن در نگاره ۱ ارائه شد.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه زابل

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال تأسیس
زابل	همدید	۴۸۹/۲	۳۱° ۰۲'	۶۱° ۲۹'	۱۹۶۱

بعد از تهیه داده‌های روزانه بارش ایستگاه هواشناسی همدید زابل، برای شناسایی فراوانی درجات مختلف

۴- نتایج و بحث

نقشه‌های پویایی پوشش گیاهی حاصل از پردازش تصاویر سنجنده MODIS ماهواره ترا به تفکیک برای ماه‌های می ۲۰۱۴-۲۰۱۰ با استفاده از دو شاخص NDVI و EVI برای منطقه مورد مطالعه تهیه شدند (نگاره ۲ و ۳). انتخاب ماه می به دلیل دارا بودن حداکثر پوشش گیاهی به‌خصوص هم‌زمانی آن با فصل برداشت محصولات کشاورزی در این منطقه در بین ماه‌های دیگر بوده است. در این تصاویر به‌روشنی پویایی پوشش گیاهی در سال‌های مختلف قابل مشاهده است. به‌عبارت‌دیگر هر دو شاخص در نشان دادن پویایی پوشش گیاهی در این دشت به‌خوبی عمل کرده‌اند. همان‌طور که در تصاویر مشخص است در برخی از سال‌ها همچون سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ شاهد توسعه و گسترش پوشش گیاهی و در برخی دیگر از سال‌ها همچون سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ شاهد کاهش در میزان پوشش گیاهی در این دشت بوده‌ایم.

اما با مقایسه سال به سال تصاویر این دو شاخص کاشف به عمل آمد که این دو شاخص در نشان دادن پویایی پوشش گیاهی تفاوت‌هایی با همدیگر دارند. این تفاوت نیز قاعدتاً مربوط به مقادیر شاخص‌ها می‌باشند. برای اینکه درک درستی از این تفاوت‌ها حاصل آید، مقادیر این دو شاخص که بین حداکثر +۱ و حداقل -۱ قرار می‌گیرند به چهار طبقه تقسیم‌بندی شد.

مقادیر کمتر از ۰/۳ به‌عنوان مناطق فاقد پوشش گیاهی، مقادیر بین ۰/۳ تا ۰/۴ به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی پراکنده و تنک، مقادیر بین ۰/۴ تا ۰/۵ به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی متوسط و در نهایت مقادیر بیشتر از ۰/۵ و بیشتر به‌عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم تعریف شد. با توجه به اینکه در دوره مورد مطالعه مقادیر بالاتر از ۰/۵ مشاهده نشد لذا از این طبقه و همچنین طبقه اول که طبقه مربوط به مناطق فاقد پوشش گیاهی بودند صرف‌نظر شده است.

که در آن i تداوم فرضی و P_m بارندگی تا $m-1$ روز قبل می‌باشد

برآورد انحراف EP از MEP مرحله بعدی محاسبات این شاخص بوده که از طریق معادله زیر محاسبه می‌گردد (DEP). درواقع MEP میانگین یا نرمال EP برای هرروز تقویمی بوده که از ویژگی‌های اقلیمی در یک مکان و زمان مشخص می‌باشد.

$$DEP = EP - MEP \quad (4)$$

محاسبه شاخص بارندگی موردنیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه (PRN) مرحله دیگر محاسبه است که از طریق معادله زیر به دست می‌آید:

$$PRN = DEP / \sum_{N=1}^j \frac{1}{N} \quad (5)$$

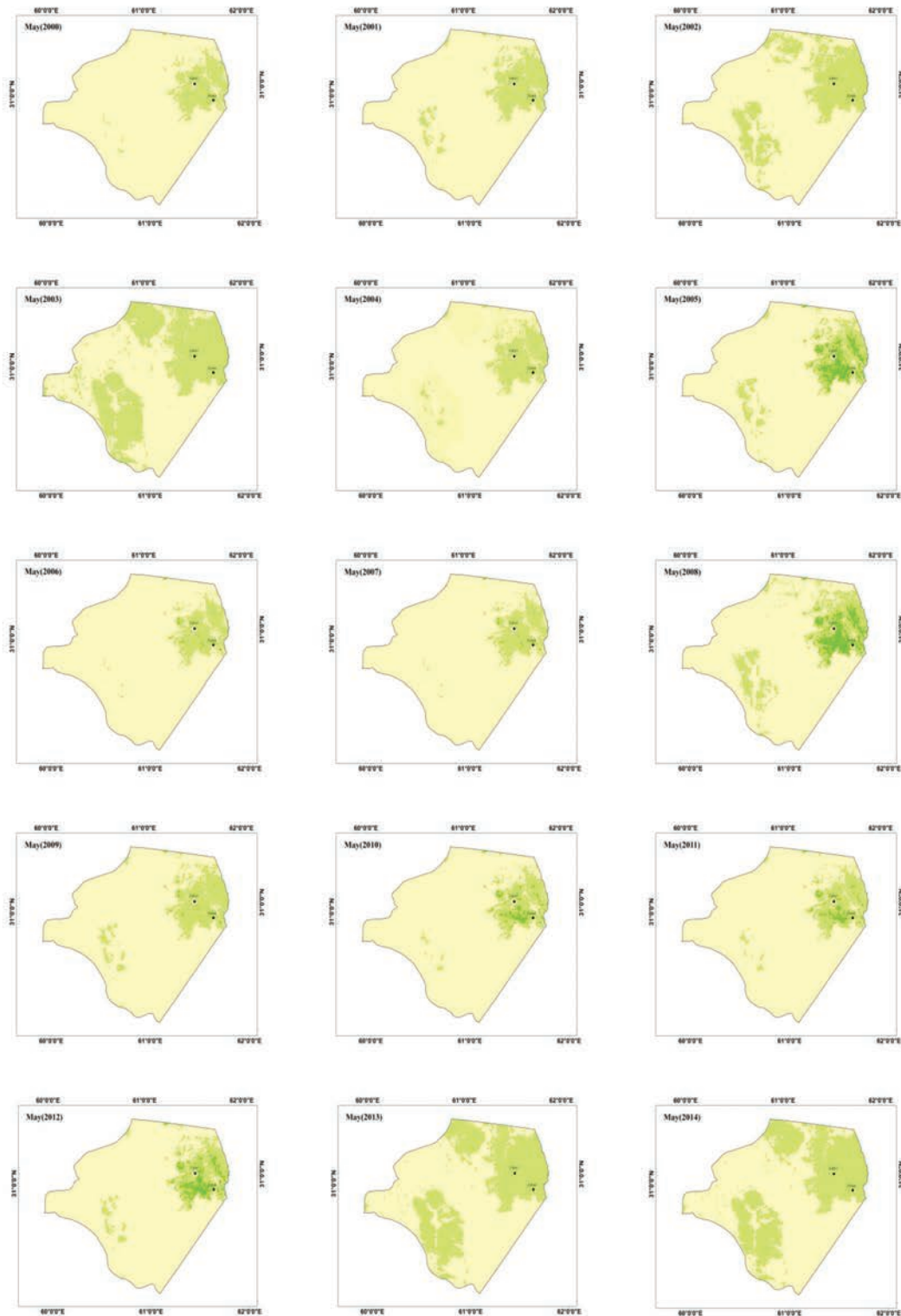
و در نهایت EDI که در واقع شکل استاندارد شده PRN می‌باشد مطابق رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$EDI = PRN / ST (PRN) \quad (6)$$

که در رابطه بالا $ST (PRN)$ نشان‌دهنده انحراف معیار PRN می‌باشد. بدین ترتیب این شاخص قابلیت آن را دارد تا برای هر شرایط آب‌وهوایی، وضعیت خشکسالی را در مناطق مختلف براساس طبقه‌بندی خاصی که برای آن تعریف شده محاسبه و باهم مقایسه نماید.

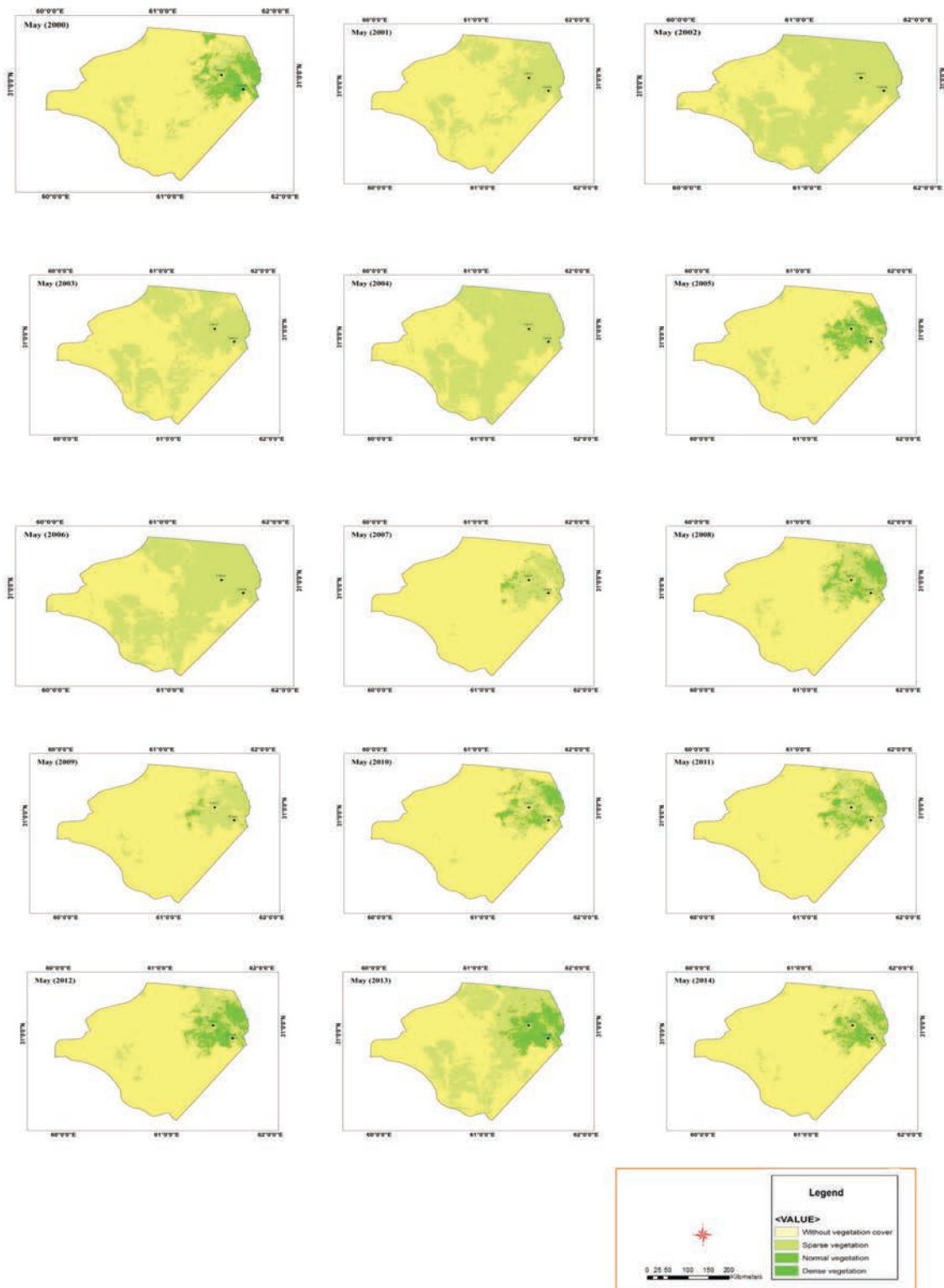
جدول ۱: طبقه‌بندی شاخص خشکسالی مؤثر

وضعیت	نمایه بارش مؤثر
فوق‌العاده مرطوب	بزرگ‌تر یا مساوی از ۲/۵
خیلی مرطوب	بزرگ‌تر یا مساوی از ۱/۵
کمی مرطوب	بزرگ‌تر یا مساوی از ۰/۷
نرمال	کوچک‌تر از ۰/۷ و بزرگ‌تر از -۰/۷
خشکسالی ملایم	کوچک‌تر یا مساوی -۰/۷
خشکسالی شدید	کوچک‌تر یا مساوی -۱/۵
خشکسالی بسیار شدید	کوچک‌تر یا مساوی -۲/۵

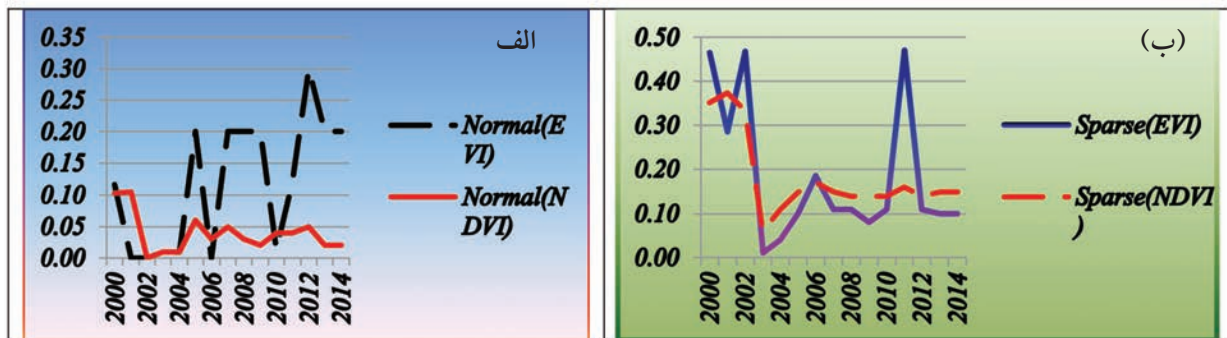


نگاره ۲: نقشه‌های پوشش گیاهی (MODIS NDVI) ماه می دشت سیستان برای دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۴. بالاسمت چپ سال ۲۰۰۰ و پایین سمت راست سال ۲۰۱۴

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
بررسی حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی... / ۱۷۱



نگاره ۳: نقشه‌های پوشش گیاهی (MODIS EVI) ماه می دشت سیستان برای دوره آماری ۲۰۰۰ - ۲۰۱۴، بالا سمت چپ سال ۲۰۰۰ و پایین سمت راست سال ۲۰۱۴



نگاره ۴: نمودار پوشش گیاهی شاخص EVI و NDVI (پوشش گیاهی شمال سمت چپ، پوشش گیاهی پراکنده سمت راست)

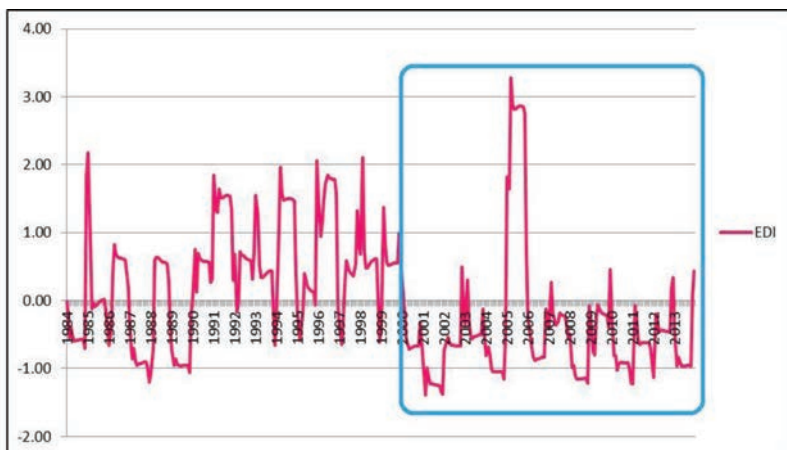
شاخص EVI نشان می‌دهد. جهت بررسی حساسیت دو شاخص مورد مطالعه به خشکسالی، اقدام به تعیین و تفکیک سال‌های تر و خشک با استفاده از شاخص EDI گردید. با توجه به اینکه رخداد خشکسالی جزء پدیده‌های نادر طبیعی به شمار می‌آید همانند دیگر مطالعات آب و هوایی، مستلزم وجود آمار درازمدت جهت تحلیل است. بنابراین هر قدر آمارهای مورد استفاده سال‌های بیشتری را در بر بگیرد، تحلیل‌های صورت گرفته بیشتر با واقعیت منطبق خواهد بود. لذا با توجه به این اصل، داده‌های بارش‌های ۳۰ سال ایستگاه زابل به‌عنوان تنها ایستگاه موجود در منطقه به شاخص EDI تبدیل و نتیجه آن در قالب نموداری در نگاره ۵ ارائه شده است. در این نمودار به‌وضوح سال‌های تر و خشک قابل تشخیص هستند. با توجه به اینکه تصاویر سنجنده مادیس از سال ۲۰۰۰ به بعد در اختیار می‌باشد لذا از کل دوره ۳۰ ساله یک دوره ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۰ به بعد که منطبق با بازه زمانی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد در نظر گرفته شد. در نگاره ۵ با یک کادر مربعی شکل این دوره پانزده‌ساله مشخص شده است. در این دوره پانزده‌ساله یک سال خشک (۲۰۱۱-۲۰۱۰) و یک سال تر (۲۰۰۶-۲۰۰۵) به‌عنوان نمونه انتخاب شدند تا تغییرات مساحت طبقات مختلف دو شاخص NDVI و EVI مورد مقایسه قرار گیرند (نگاره ۶ و ۷). در این دو نمودار تغییرات این شاخص در یک مقیاس ماهانه به‌روشنی

در ادامه مساحت هر دو طبقه مورد مطالعه سال به سال برای ماه مورد مطالعه و به تفکیک دو شاخص برآورد شد. برای اینکه مقایسه‌ها به‌راحتی انجام گیرد مساحت به‌دست‌آمده از هر طبقه به‌کل مساحت منطقه تقسیم و به‌صورت درصد بیان شد. نتایج محاسبه مساحت هر دو طبقه به تفکیک در دو نمودار در نگاره ۴ ارائه شده‌اند. در نمودار ۴ الف مساحت طبقه دارای پوشش گیاهی متوسط به درصد نسبت به مساحت کل منطقه آورده شده است. همچنان که از نمودار ۴ الف پیداست این دو شاخص در طول دوره مورد مطالعه تفاوت‌های تقریباً فاحشی با یکدیگر داشته‌اند. در این نمودار به‌روشنی مشاهده می‌شود که نوسانات شاخص EVI از سالی به سال دیگر نسبت به شاخص NDVI بسیار شدید بوده است به‌طوری که در بعضی از سال‌ها همچون ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳ این تفاوت‌ها بسیار چشمگیرتر بوده است. اما در مقابل این شاخص، شاخص NDVI شاهد نوسانات کمتری بوده است و رفتار بسیار منطقی‌تری را از خود نشان داده است. اما در مورد طبقه همراه با پوشش گیاهی تنک و پراکنده قضیه بسیار متفاوت‌تر است (نگاره ۴ ب). در این طبقه به‌استثنای سال ۲۰۱۱ رفتار این دو شاخص تقریباً مشابه همدیگر بوده است هر چند مقادیر آن‌ها با یکدیگر متفاوت بوده است. در مجموع به نظر می‌رسد که شاخص NDVI مساحت زمین‌های دارای پوشش گیاهی تنک و پراکنده را بیشتر از

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

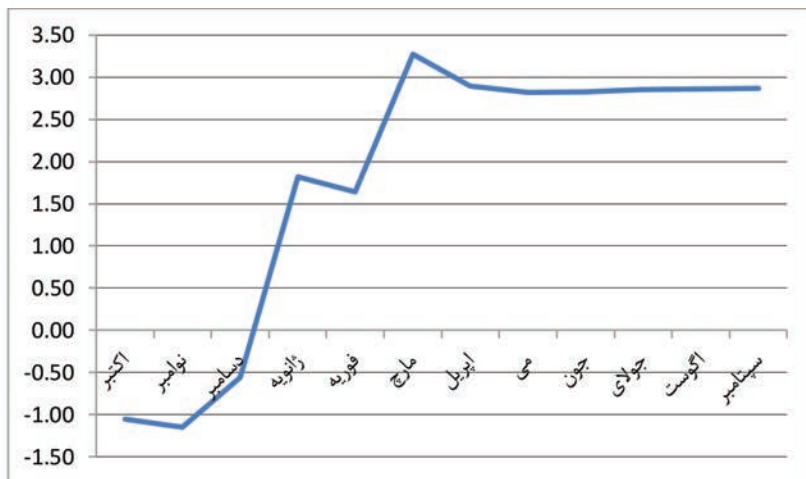
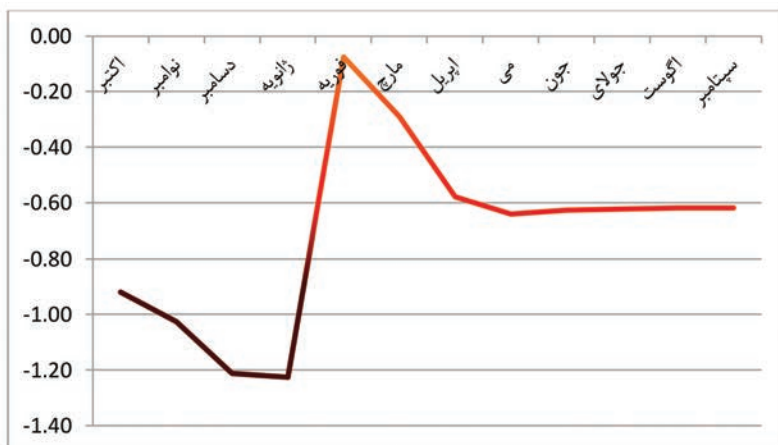
بررسی حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی... / ۱۷۳

نشان داده شده است. در سال آبی ۲۰۱۰-۲۰۱۱ که به عنوان یک سال خشک انتخاب شده بود مشاهده می شود که ۱۲ ماهه این سال منتخب دارای شرایط خشکسالی بوده اند (نگاره ۶). در حالی که در نقطه مقابل این سال یعنی سال آبی ۲۰۰۵-۲۰۰۶ که به عنوان ماه اکتبر و نوامبر آن در شرایط خشکسالی قرار داشته اند و شرایط تر آن از دسامبر به بعد بوده است (نگاره ۷) با تعیین این دو سال خشک و تر، به تفکیک درصد



نگاره ۵: نمودار تغییرات شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در طول ۳ سال مورد مطالعه (۱۹۸۵-۲۰۱۴)

نگاره ۶: نمودار شاخص EDI سال (نمونه سال خشکسالی) ۲۰۱۰-۲۰۱۱



نگاره ۷: نمودار شاخص EDI سال (نمونه سال ترسالی) ۲۰۰۵-۲۰۰۶

سال‌تر داستان کمی متفاوت‌تر است. در این سال شاخص NDVI طبقه نرمال را ۶ درصد و طبقه پراکنده و تنک را ۱۵ درصد از کل مساحت منطقه نشان می‌دهد. اما مقادیر مربوط به شاخص EVI بسیار متفاوت از شاخص NDVI است. شاخص EVI برای طبقه نرمال مساحت ۲۰ درصدی را نشان می‌دهد و برای طبقه پراکنده ۱۰ درصد از کل مساحت منطقه را دارای پوشش گیاهی تنک و پراکنده نشان می‌دهد.

مساحت هرکدام از طبقات چهارگانه آن‌ها محاسبه و در جداول ۳ و ۴ آورده شده‌اند. در سال نمونه خشک مشاهده می‌شود که تفاوت این دو شاخص در هر سه طبقه وجود دارد. در این سال شاخص EVI، مساحت طبقه دارای پوشش گیاهی پراکنده و تنک را در حدود ۴۷ درصد و شاخص NDVI در حدود ۱۶ درصد از کل مساحت منطقه را نشان می‌دهد. اما تفاوت قابل توجه بین این دو شاخص در طبقه پوشش گیاهی نرمال بوده است.

جدول ۴: میزان درصد پوشش گیاهی ماه می به‌عنوان

نماینده سال تر ۲۰۰۵

طبقه	درصد EVI	درصد NDVI
بدون پوشش گیاهی	۰/۷۰	۰/۷۹
پوشش گیاهی پراکنده	۰/۱۰	۰/۱۵
پوشش گیاهی نرمال	۰/۲۰	۰/۰۶

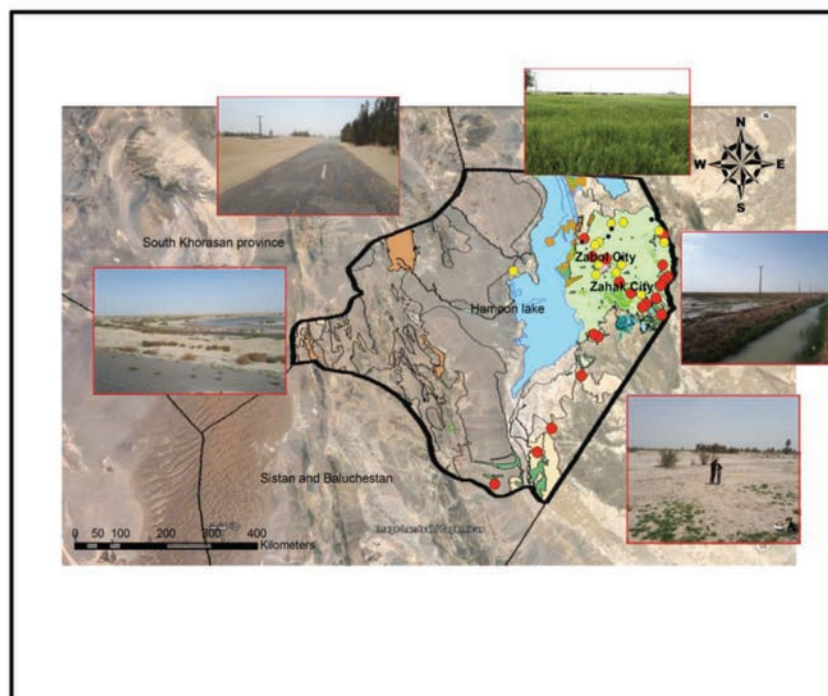
در نهایت برای صحت سنجی طبقات مختلف پوشش گیاهی در ماه می سال ۱۳۹۶ اقدام به بازدید میدانی از منطقه و برداشت نقاط مختلف با استفاده از GPS شد. علاوه بر این با قدیمی‌های این سرزمین نیز مصاحبه حضوری صورت گرفت. بعد از جمع‌آوری اطلاعات و تحلیل مصاحبه‌های

جدول ۳: میزان درصد پوشش گیاهی ماه می به‌عنوان نماینده

سال خشک ۲۰۱۱

طبقه	درصد EVI	درصد NDVI
بدون پوشش گیاهی	۰/۴۱	۰/۸۴
پوشش گیاهی پراکنده	۰/۴۷	۰/۱۶
پوشش گیاهی نرمال	۰/۱۲	۰/۰

شاخص EVI، مساحت این طبقه را در این سال خشک حدود ۱۲ درصد نشان می‌دهد در حالی که شاخص NDVI برای این طبقه هیچ مساحتی را قائل نبوده است. اما برای



نگاره ۸: تصاویر تهیه شده از دشت سیستان

منطقی تری در زمان خشکسالی‌ها از خود نشان داده است. در سال نمونه خشک مشاهده می‌شود که تفاوت این دو شاخص در هر سه طبقه وجود دارد. در این سال شاخص، EVI، مساحت طبقه دارای پوشش گیاهی پراکنده و تنک را در حدود ۴۷ درصد و شاخص NDVI در حدود ۱۶ درصد از کل مساحت منطقه را نشان می‌دهد. اما تفاوت قابل توجه بین این دو شاخص در طبقه پوشش گیاهی نرمال بوده است. شاخص EVI، مساحت این طبقه را در این سال خشک حدود ۱۲ درصد نشان می‌دهد در حالی که شاخص NDVI برای این طبقه هیچ مساحتی را قائل نبوده است. و در زمان ترسالی‌ها قضیه متفاوت‌تر بوده است یعنی شاخص EVI مقداری نتایج بهتری را در اختیار گذاشته است. شاخص EVI برای طبقه نرمال مساحت ۲۰ درصدی را نشان می‌دهد و برای طبقه پراکنده ۱۰ درصد از کل مساحت منطقه را دارای پوشش گیاهی تنک و پراکنده نشان می‌دهد. اما نکته بسیار مهمی که نبایستی در این خصوص نادیده گرفته شود این است که میانگین بارش سالانه دشت سیستان آنقدر اندک (۵۹ میلی‌متر در سال) و تبخیر و تعرق آن آنقدر بالا است (۴۸۰۰ میلی‌متر در سال) که شاید بارش نقش زیادی در پویایی پوشش گیاهی در این دشت بازی نکند. لذا آنچه از این بارش اندک در دشت سیستان بسیار مهم‌تر است جاری بودن آب در رودخانه هیرمند است که در واقع رگ حیاتی این دشت نیز به شمار می‌رود. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات پویایی پوشش گیاهی در این دشت به جای استفاده از شاخص‌های خشکسالی‌های هواشناسی حتماً از شاخص‌های خشکسالی‌های هیدرولوژیکی استفاده شود. در نهایت می‌توان استنباط کرد که شاخص‌های خشکسالی هواشناسی قادر نیستند که ارتباط بین خشکسالی و پویایی پوشش گیاهی در دشت سیستان را منعکس کنند و همین امر باعث شده است که مقایسه دو شاخص NDVI و EVI در این دشت کمی با مشکل مواجه شود. ولی در کل می‌توان نتیجه گرفت که شاخص NDVI شاخص بسیار مناسب‌تری برای پویایی پوشش گیاهی در دشت‌هایی مانند

حضور از انواع پوشش زمین عکس‌هایی تهیه شد که در نگاره ۸ برای نمونه ۴ نوع پوشش زمین جداگانه شامل پوشش گیاهی کشاورزی، زمین بایر، آب و آسفالت ارائه شده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در چند دهه اخیر با پیشرفت‌هایی که در تولیدات سنجش از دور ماهواره‌ای اتفاق افتاده است، شاخص‌های مختلفی جهت مطالعه پویایی پوشش گیاهی به‌خصوص برای ارزیابی اثرات خشکسالی‌ها ارائه شده است. از بین این شاخص‌ها دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI بسیار مورد توجه محققان مختلف بوده است. در این مطالعه تغییرات سری‌های زمانی مساحت هرکدام از طبقات مختلف این دو شاخص و واکنش‌های آن‌ها به خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در یکی از دشت‌های خشک ایران یعنی دشت سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان مورد مطالعه قرار گرفت.

نقشه‌های پویایی پوشش گیاهی حاصل از پردازش تصاویر سنجنده MODIS ماهواره ترا برای یک دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۰) برای ماه‌های آوریل، می و ژوئن نشان دادند که هر دو شاخص NDVI و EVI در نشان دادن پویایی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه تفاوت‌های اساسی با یکدیگر داشته‌اند. این تفاوت‌ها در هر دو طبقه دارای پوشش گیاهی متوسط (مقدار ۰/۵-۰/۴ از شاخص‌های NDVI و EVI) و پوشش گیاهی تنک و پراکنده (مقدار ۰/۴-۰/۳ از شاخص‌های NDVI و EVI) بسیار مشهود بوده است. در طبقه دارای پوشش گیاهی متوسط شاخص EVI مقادیر مساحت را بسیار بیشتر از شاخص NDVI نشان می‌دهد در حالی که برای طبقه دارای پوشش گیاهی تنک و پراکنده قضیه برعکس می‌شود یعنی شاخص NDVI مقادیر مساحت را تقریباً بیشتر نشان می‌دهد.

اما در خصوص واکنش این دو شاخص به خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها مشخص شد که شاخص NDVI واکنش بهتر و

۱۳۸۹، بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۷، شماره ۳، صص ۴۶۵-۴۴۵.

۷. مفاخری، شمسی‌پور، فلاحی خوشجی، کرمانی؛ امید، علی‌اکبر، مصطفی، آذر؛ ۱۳۹۵، تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص NDVI در دشت قروه و دهگلان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیا، سال ۱۶، شماره ۴۱، صص ۹۴-۷۷.

8. Akhtari, R., Morid, S., Mahdian, M. H., Smakhtin, V, 2009, Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices, Int. J. Climatol, 29, 135-145.

9. Akkartala, A., Turudua, O., Erbekb, F. S., 2005, Analysis of changes in vegetation biomass using multitemporal and multisensor satellite data, Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Geodesy and photogrammetry Engineering Department Undergraduate program, 34469.

10. Alwesabi, Mohammed ., 2012, MODIS NDVI satellite data for assessing drought in Somalia during the period 2000-2011, Supervisor Lars Eklundh, Physical Geography and Ecosystems Science, Lund University.

11. Ardö, J., Tagesson, T., Jamali, S., Khatir, A., 2017, MODIS EVI-based net primary production in the Sahel 2000-2014, Int J Appl Earth Obs Geoinformation, 65, 35-45.

12. Benedetti, R., Rossini, T., 1994, Vegetation classification in the Mediterranean area by satellite data, International Journal of Remote Sensing, 3, 583-596

13. Bhalme, H., Reddy, R., Mooley, D., Murty, B.V.R., 1981, Solar activity and Indian weather/climate Proc, Indian Acad. Sci.-Earth Planetary, 90, 245-262.

14. Byun, H. R., Wilhite, D. A., 1999, Objective quantification of drought severity and duration. J. Climate, 12, 2747-2756.

15. Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., Grégoire, J.-M., 2001, Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain, Remote Sens Environ, 77, 22-33.

16. Chen, P.Y., Srinivasan, R., Fedosejevs, G., Kiniry, J.R., 2003, Evaluating different NDVI composite

دشت سیستان می‌باشد که حیات آن‌ها نه به بارش بلکه به آب جاری در رودخانه متکی است می‌باشد. شاخص EVI نیز با توجه به ماهیت محاسباتی آن برای مناطقی که پوشش گیاهی آن‌ها متراکم تر است بهتر جواب می‌دهد. در نهایت پیشنهاد می‌گردد که برای مطالعات آتی حساسیت شاخص NDVI به دیگر شاخص‌های مختلف خشکسالی مبتنی بر داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی مورد توجه قرار گیرد و بهترین شاخص خشکسالی هواشناسی یا هیدرولوژیکی برای این مناطق انتخاب شود.

۶- منابع و مآخذ

۱. اکبری، مرتضی، ۱۳۸۲، ارزیابی و طبقه‌بندی بیابان‌زایی با تکنیک RS و GIS در منطقه خشک شمال اصفهان، به راهنمایی خواجه‌الدین جمال‌الدین، کریمیان اقبال، مصطفی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. باعقیده، محمد، ۱۳۸۶، بررسی و پایش خشکسالی‌های استان اصفهان با استفاده از تصاویر چند زمانه‌ای NOAA/AVHRR، شاخص NDVI و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به راهنمایی علیجانی بهلول و ضیائی‌ان پرویز، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۳. جلیلی، شیدا، ۱۳۸۴، مقایسه شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی در پایش خشکسالی‌ها (مطالعه موردی استان تهران)، به راهنمایی مرید سعید، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.

۴. جعفری، مصباح‌زاده؛ مهدی، طیبه؛ ۱۳۹۶، ارزیابی شاخص‌های پوشش گیاهی با استفاده از سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: کرج)، اولین همایش ملی و بین‌المللی علوم محیط‌زیست، کشاورزی و منابع طبیعی، صص ۱۰-۱.

۵. شایگان، مهران؛ ۱۳۸۱، تجزیه و تحلیل ریسک خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و GIS (حوضه شیروان و قوچان)، به راهنمایی علی محمدی سراب عباس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.

۶. شمسی‌پور، علوی‌پناه، محمدی؛ علی‌اکبر، کاظم، حسین،

28. Jackson, T.J., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Doriaswamy, P., Hunt, E.R., 2004, Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans, *Remote Sens Environ*, 92, 475-482.
29. Ji, L., Peters, A.J., 2003, Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices, *Remote Sens Environ*, 87, 85-98.
30. Jordan, C.F., 1969, Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, *Ecology*, 50, 663-666.
31. Kalamaras, N., Michalopoulou, H., Byun, H. R., 2010, Detection of drought events in Greece using daily precipitation, *Hydrol. Res*, 41 (2), 126-133.
32. Kassa, A., 1999, Drought risk monitoring for the sudan using ndvi 1982-1993, A Dissertation submitted to the University College London.
33. Kim, D. W., Byun, H. R., 2009, Future pattern of Asian drought under global warming scenario, *Theor. Appl. Climatol*, 98, 137-150.
34. Kimes, D., Markham, B., Tucker, C., McMurtrey, J., 1981, Temporal relationships between spectral response and agronomic variables of a corn canopy, *Remote Sens Environ*, 11, 401-411.
35. Kogan, F.N., 1990, Remote Sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas, *International Journal of Remote Sensing*, 11:1105-1419.
36. Kogan, F.N., 1997, Global drought watch from space *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78: 621-636.
37. Kogan, F.N., 1993, United States drought of late 1980s as seen by NOAA polar orbiting satellites, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1:197-207.
38. Kogan, F.N., 1995, Drought 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.
39. Kogan, F.N., 2000, Global drought detection and impact: Assessment from space, In Wilhite Editor *Drought a Global Assessment*, 1: 197-206.
40. Lim, C., Kafatos, M., 2002, Frequency analysis of natural vegetation distribution using NDVI/AVHRR data techniques using NOAA-14 AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 24 (17), 3403-3412.
17. Diodato, N., Bellocchi, G., 2008, Modelling vegetation greenness responses to climate variability in a Mediterranean terrestrial ecosystem, *Environ*, 143, 147-159.
18. Fensholt, R., Sandholt, I., 2003, Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near-and shortwave infrared data in a semiarid environment, *Remote Sens Environ*, 87, 111-121.
19. Fuller, D.O., 1998, Trends in NDVI time series and their relation to rangeland and crop production in senegal 1987-1993, *INT.J.Remote Sensing*, 10, 2013-2018.
20. Gao, B.-C., 1996, NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens Environ*, 58, 257-266.
21. Ghulam, A., Li, Z.-L., Qin, Q., Tong, Q., 2007, Exploration of the spectral space based on vegetation index and albedo for surface drought estimation, *J. Appl. Remote Sens*, 1, 1-13.
22. Groeneveld, D.P., Baugh, W.M., 2007, Correcting satellite data to detect vegetation signal for eco-hydrologic analyses, *Journal of Hydrology*, 344, 135-145.
23. Hardisky, M.A., Klemas, V., Smart, R.M., 1983, The influence of soil salinity growth form and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies, *Eng Rem. Sens*, 49, 77-83.
24. Herrmann, S.M., Anyamba, A., Tucker, C.J., 2005, Exploring relationship between rainfall and vegetation dynamics in the Sahel using coarse resolution satellite data, Statement by the author, 79.
25. Hodel, Elias., 2012, Analysing Land Cover Change in Mongolia Using Terra MODIS Satellite Data supervisor Hans Hurni, Masterarbeit der Philosophisch, Universität Bern.
26. Hollinger, S., Isard, S., Welford, M., 1993, A new soil moisture drought index for predicting crop yields, In: Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, pp. 187-190.
27. Hunt, E.R., Rock, B.N., 1989, Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances, *Remote Sens Environ*, 30, 43-54.

- KBK districts in Orissa (India), *Hydrol*, 22 (12), 1895–1907.
52. Peters, D., 2002, plant species dominance at a grassland-shrubland ecoton: an individual based gap dynamics model of herbaceous and woody species, *Ecological Modeling*, 1,5-32.
53. Pettorelli,N.,Vik.J.O., Mysterud, A.,Gaillard, J.M., Tucker, C.J., Stenseth,N.C., 2005, Using the satellite –derived NDVI to assess ecological responses to environmental change.*J.Trends in ecology and evolution*, 20(9), -13.
54. Qin, Y., Xiao, X., Dong, J., Zhou, Y., Zhu, Z., Zhang, G., Du, G., Jin, C., Kou, W., Wang, J., 2015, Mapping paddy rice planting area in cold temperate climate region through analysis of time series Landsat 8 (OLI), Landsat 7 (ETM+) and MODIS imagery, *J Photogrammetry Remote Sens*, 105, 220–233.
55. Reed, B.C.,1992,Using remote sensing and Geographic Information System for analyzing, and scape/ drought interaction, *International Journal of Remote Sensing*, 14:3495-3505.
56. Reichstein, M., Tenhunen, J.D., Roupsard, O., Ourcival, J.m., Rambal, S., Miglietta, F., Peressotti, A., Pecchiari, M., Tirone, G., Valentini, R., 2002, Severe drought effects on ecosystem CO₂ and H₂O fluxes at three Mediterranean evergreen sites: revision of current hypotheses *Glob, Change Biol*, 8, 999–1017.
57. Roudier, P., Mahe, G., 2010, Study of water stress and droughts with indicators using daily data on the Bani River (Niger basin, Mali), *Int. J. Climatol*, 30 (11), 1689–1705.
58. Salinas- Zavala, C.A., Douglas, A.V., Diaz, H.F., 2002, Interannual variability NDVI in northwest Mexico, Associated climatic mechanisms and ecological, *Remote Sensing of Environment*, 82, 417-30.
59. Shafer, B., Dezman, L., 1982, Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas, In: *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp. 164–175.
60. Shakir, M., Yulin, Z., Li, W., Pengyu, H., Zheng, N., 2015, Major crops classification using time series from 1981 to 2000 for North America: Correlation with SOI, *International Journal of Remote Sensing*, 23, 3347-3383.
41. Liu,W.T., Kogan, F.N., 1995, Monitoring regional drought using the vegetation condition index, *International journal of Remote Sensing*, 17: 2761-2782.
42. Maki, M., Ishiahra, M., Tamura, M., 2004, Estimation of leaf water status to monitor the risk of forest fires by using remotely sensed data, *Remote Sens Environ*, 90, 441–450.
43. Matsushita, B., Wei, Y., Jin, C., Yuyichi, O., Guoyn, Q., 2007, Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: A case study in high-density Cypress forest, *Sensors* www.mdpi.org/sensors.
44. Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Proceedings of the Eighth Conferences on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Boston, 179-184.
45. Morid, S., Smakhtin, V., Bagherzadeh, K., 2007, Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices, *Int. J. Climatol*, 27, 2103–2111.
46. Morid, S., Smakhtin, V., Moghaddasi, M., 2006, Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran, *Int. J. Climatol*, 26, 971–985.
47. Mohanta, K., Nandi, D., 2017, Monitoring Vegetation and Land Surface Temperature Dynamics in Similipal Biosphere Reserve Odisha, *Scientific Research*, 100, 1344-1360.
48. Narasimhan, B., Srinivasan, R., 2005, Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring, *Agric For Meteorol*, 133, 69–88.
49. NASA., 2012, MODIS-Specifications, <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php> accessed on 1, 06.
50. Palmer, W.C., 1965, *Meteorological drought*. US Department of Commerce, Weather Bureau Washington, DC, USA.
51. Pandey, R.P., Dash, B.B., Mishra, S.K., Singh, R., 2008, Study of indices for drought characterization in

71. Van Rooy, M., 1965, A rainfall anomaly index independent of time and space, *Notos* 14, 43-48.
72. Walesh, S.J., 1987, Comparison of NOAA AVHRR data to Meteorologic drought indices, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53:1069-1074.
73. Wan, Z., Wang, P., Li, X., 2004, Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, *J Remote Sens*, 25, 61-72.
74. Weghorst, K., 1996, The reclamation drought index: guidelines and practical applications, In: *North American Water and Environment Congress & Destructive Water*, ASCE, pp. 637-642.
75. Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1985, Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions, *Water Int*, 10, 111-120.
76. Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D., Liu, M., 2002, Characterization of forest types in Northeastern China, using multi-temporal SPOT-4 Vegetation sensor data, *Remote Sens. Environ*, 82, 335-348.
77. Zhang, G., Xiao, X., Dong, J., Kou, W., Jin, C., Qin, Y., Zhou, Y., Wang, J., Menarguez, M.A., Biradar, C., 2015, Mapping paddy rice planting areas through time series analysis of MODIS land surface temperature and vegetation index data, *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens*, 106, 157-171.
61. Shinoda, M., Nandintsetseg, B., 2013, Assessment of drought frequency duration, and severity and its impact on pasture production in Mongolia, *Nat Hazards*, 66, 995-1008.
62. Solano, R., Didan, K., Jacobson, A., Huete, A., 2010, MODIS Vegetation Indices (MOD13) C5
63. Song, Y., Ma, M., 2011, A statistical analysis of the relationship between climatic factors and the normalized difference vegetation index in China, *Int. J. Remote Sens*, 32, 3947-3965.
64. Srivastava, S.K., Jayarman, V., Nageswara Rao, p.p., Manikiam, B., Candrasekhar, M.G., 1996, Interlinkages of NOAA/AVHRR derived integrated NDVI seasonal precipitation and transpiration in dry land tropics, *International Journal of Remote Sensing*, 18, 2931-2952.
65. Tadesse, T., Brown, J.F., Hayes, M.J., 2005, A new approach for predicting drought related vegetation stress: integrating satellite, climate, and biophysical data over the US central plains, *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens*, 59, 244-253.
66. Thenkabail, P. S., Gamage, M.S.D.N. and Smakhtin, V.U., 2003, *The use of note Sensing Data for Drought Assessment and Monitoring in Southwest Asia*, IWMI, Research Report, 85.
67. Tucker, C.J., Sellers, P. J., 1986, Satellite remote sensing of primary vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1395-1416.
68. Tucker, C.J., 1980, Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote Sens Environ*, 10, 23-32.
69. Tucker, C.J., VanPraet, C.L., Sharman, M.J., Van Ittersum, G., 1985, Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980-1984, *Remote Sensing of Environment*, 17, 233-249.
70. Van Beek, E., Meijer, K., 2006, *Integrated water resources management for the Sistan closed inland delta, Iran*. Delft, Netherlands, Delft hydraulics. www.wldelft.nl/cons/area/rbm/wrpl/pdf/main_report_sistan_irwm.pdf.

