

بررسی تغییرپذیری زمانی-فضایی رطوبت خاک در دشت سیستان با استفاده از تولیدات سنجش از دوری سنجنده مادیس ماهواره ترا

دکتر پیمان محمودی^{۱*}، دکتر فاطمه فیروزی^۲

۱-دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir
۲- پست داک گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران firozif@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش برای بررسی رطوبت خاک دشت سیستان از روش خشکی دمایی-گیاهی (TVDI) استفاده شد. برای برآورد و تخمین رطوبت خاک و در نهایت بررسی تغییرات زمانی و فضایی آن در دشت سیستان از دو نوع تولیدات سنجنده مادیس ماهواره ترا با نام های (MOD13A3) برای شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و (MOD11A1) برای دمای سطح زمین (LST) برای سه ماه آوریل، می و ژوئن برای یک دوره زمانی ۱۵ ساله (۲۰۰۵-۲۰۲۰) استفاده شد. نتایج به روشنی نشان داد که رابطه بین دبی متوسط سالانه رودخانه هیرمند با تغییرات رطوبت خاک هر سه ماه آوریل، می و ژوئن از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ مورد تایید است. در ترسالی های ۲۰۰۵-۲۰۰۶ یا ۲۰۰۷-۲۰۰۸ حداکثر رطوبت خاک در ماه آوریل مشاهده شد. این نکته حائز اهمیت است که با توجه به اینکه رطوبت خاک به دو دسته رطوبت موجود و رطوبت بالقوه ارزیابی می شود. در دشت سیستان با توجه به وجود تالاب هامون و چاه نیمه ها، درصد حجمی از خاک مرطوب که با آب اشغال می شود مساحت بیشتری را نسبت به رطوبت بالقوه دارا می باشد و این نکته نشان می دهد تغییرات رطوبت دشت سیستان وابسته به دبی رودخانه هیرمند می باشد.

واژه‌های کلیدی: TVDI، دشت سیستان، ماهواره ترا، منطقه خشک

مقدمه

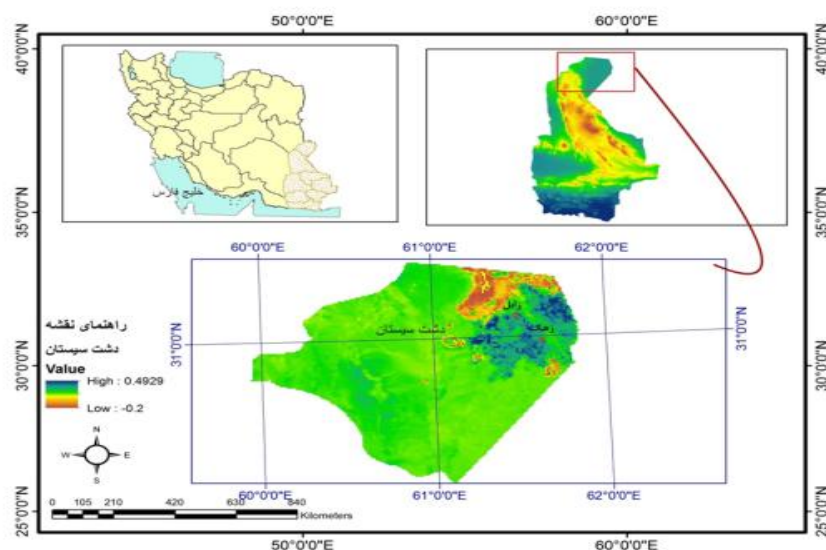
دمای سطح زمین (LST) و رطوبت خاک دو فاکتور اساسی در مطالعات تغییر اقلیم جهانی، تراز انرژی و پویایی زمانی-فضایی پوشش گیاهی به شمار می‌روند و نقش بسیار بزرگی در کنترل مکانیزم‌های بازخوردی اقلیم دارند. هر گونه تغییر در مقدار رطوبت خاک، چه کاهشی و چه افزایشی، منجر به تغییر در اجزای تابش خالص و تجزیه آنها به شار گرمای محسوس و گرمای نهان تبخیر می‌شود که نتیجه آن قاعدتاً سرد یا گرم شدن جو زمین خواهد بود. علاوه بر این موارد، رطوبت خاک هم بر روی رواناب و هم یک عامل محدود کننده برای رشد گیاهان به حساب می‌آید [۱، ۲۴، ۲۹]. ارزیابی‌ها و برآوردهای دقیق این متغیر، همواره به دو دلیل مشکل بوده است: دلیل اول به خاطر هزینه‌بردار بودن و پیچیده بودن روش‌های معمول محاسبه رطوبت خاک می‌باشد و دلیل دوم مربوط به این نکته می‌باشد که تغییرات هر چند کوچک در مقیاس محلی باعث تغییر در خواص خاک، زمین و پوشش گیاهی می‌شود که امکان انتخاب مکان مناسب برای بررسی‌ها و نمونه‌برداری‌های رطوبت خاک را با مشکل روبرو می‌سازد [۵، ۳۷]. سنجش از دور امروزه به عنوان یک فناوری جدید می‌تواند دو مشکل اشاره شده در بالا را تا حدودی حل نماید. به همین دلیل، استفاده از این فناوری در زمینه برآورد رطوبت خاک از سال ۱۹۷۰ به بعد بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است [۳۶]. از اوایل دهه ۱۹۸۰ استخراج اطلاعات پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجنده AVHRR ماهواره نوا آغاز شد [۳۱]، بدین منظور شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) به صورت گسترده ای برای پایش و ارزیابی پوشش گیاهی روی زمین استفاده شد. به دلیل ارتباط نزدیک بین وضعیت پوشش گیاهی و رطوبت در دسترس خاک [۲۵] این شاخص برای بررسی رطوبت خاک مورد توجه بیشتری بوده است [۱۶، ۳۰، ۳۴]. شاخص NDVI هم‌بستگی خوبی با تغییرات رطوبت خاک خصوصاً در مناطق نیمه خشک دارد [۲۱، ۳۵].

روش‌های متعددی برای تعیین رطوبت خاک در سطح وسیع با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و بدون نمونه‌گیری مستقیم از خاک وجود دارد، از آن جمله می‌توان به استفاده از ابزارهای سنجش با کمک امواج نوری [۲۱، ۳۵]، میکرو [۷، ۱۵، ۱۷] و الکترومغناطیس رادیویی [۲۶] اشاره کرد. نمایه مبتنی بر نسبت بین باندهای یکی دیگر از رایجترین روش‌ها برای تخمین خصوصیات پوشش گیاهی و برگ گیاهان از قبیل رنگدانه‌ها و مقدار رطوبت می‌باشند [۳۲، ۱۴، ۶]. تعدادی از محققان استفاده ترکیبی از شاخص‌های گیاهی و LST را برای تخمین رطوبت خاک پیشنهاد نموده‌اند و اذعان داشته‌اند که ترکیب این داده‌ها می‌تواند اطلاعات بهتری از تنش‌های گیاهی و شرایط رطوبتی سطح زمین فراهم آورد [۱۳] در مناطق خشک انتظار می‌رود که رابطه منفی بین NDVI و LST به دلیل از بین رفتن رطوبت خاک وجود داشته باشد [۱۳]. این روش استخراج رطوبت که به روش مثلثی معروف است اولین بار توسط پرایس در سال ۱۹۹۰ معرفی شد [۲۲] و سپس توسط سایر محققین توسعه یافت و نمودارهای مثلثی تولید شده را به نمایش گذاشتند و بیان کردند که روش مثلثی یک روش سریع و ساده برای تخمین شرایط رطوبت خاک یک منطقه می‌باشد [۱۰، ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۳۸].

چن و همکاران (۲۰۱۱) تغییرپذیری رطوبت خاک را در ارتباط با سیستم برداشت محصول برنج در دلتای مکنون در ویتنام مورد بررسی قرار دادند. آنها در این مطالعه از تولیدات سنجنده مادیس ماهواره ترا برای محاسبه شاخص خشکی گیاه-دما (TVDI) برای یک دوره آماری ۶ ساله (۲۰۰۷-۲۰۰۲) برای ماه‌های ژانویه تا آوریل استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص مورد مطالعه با دقت قابل قبولی قادر به برآورد رطوبت خاک در این دلتا بوده و ارتباط بسیار بالایی نیز با سیستم برداشت محصول برنج داشته است [۴]. هوانگ و همکاران (۲۰۱۳) با تهیه یک سری زمانی ۳۱ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۱) از شاخص خشکی گیاه-دما (TVDI) بر اساس دو پایگاه داده ای سنجش از دور یعنی (NOAA/AVHRR) و (EOS/MODIS) به بررسی روند تغییرات شدت خشکسالی‌های کشاورزی در منطقه هوانگ-هوای-های چین پرداختند. نتایج تحقیق این محققین نشان داد که خشکسالی‌های کشاورزی در این منطقه از چین دارای یک روند کاهشی معنادار بوده و آغاز این روند نیز از اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم شدت بیشتری به خود گرفته است [۹]. در این مطالعه قصد بر این است که با استفاده از تصاویر NDVI و LST سنجنده مادیس ماهواره ترا وضعیت تغییرات رطوبت خاک دشت سیستان در شرق ایران در طول ۱۵ سال گذشته، مورد بررسی قرار گیرد. لذا در ادامه بعد از معرفی منطقه مورد مطالعه، روش کار به طور کامل ارائه و در نهایت نتایج در قالب دو بخش بحث و نتیجه گیری ارائه خواهند شد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت سیستان، یکی از مناطق جلگه ای ایران، با مساحتی بالغ بر ۸۰۰۰ کیلومتر مربع در استان سیستان و بلوچستان و در دلتای رودخانه ای منشعب از رودخانه هیرمند واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع دشت سیستان از سطح دریا ۴۸۰ متر و آب و هوای آن از نوع بیابانی خیلی گرم و خشک می باشد. از عوامل مشخصه دشت سیستان بادهای موسمی ۱۲۰ روزه آن است که از اواخر اردیبهشت ماه به طور پیوسته و گاه ناپیوسته با سرعت ۲۸ کیلومتر در ساعت می وزد [۲۷]. میانگین بارندگی سالانه دشت سیستان حدود ۵۰ میلی متر است یعنی به ترتیب معادل ۰/۲ و کمتر از ۰/۰۶ میانگین بارندگی کشور و جهان. از این رو بارش نمی تواند منبع آبی قابل اتکایی برای این منطقه باشد [۲۷]. از این رو دریاچه های سه گانه هامون (پوزک، صابوری، هیرمند) از مهمترین و باارزش ترین اکوسیستم های آب شیرین، هم در زمانهای گذشته و هم در زمان حاضر، در دشت سیستان به شمار می روند و نام آنها در فهرست کنوانسیون ذخیره گاه های بین المللی یونسکو و کنوانسیون جهانی حفاظت از تالاب ها (کنوانسیون رامسر) ثبت شده است و همچنین چهار دریاچه مصنوعی (چاه نیمه) برای تامین مصارف عمومی آب در این دشت ایجاد شده است. رودخانه هایی که از افغانستان سرچشمه گرفته و به این دشت می ریزند، علاوه بر اینکه آب مورد نیاز برای کشاورزی آبی آن را تامین می کنند، منبعی برای تامین آب دریاچه های سه گانه هامون نیز به شمار می روند [۳۳].



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت سیستان ایران

مواد و روشها

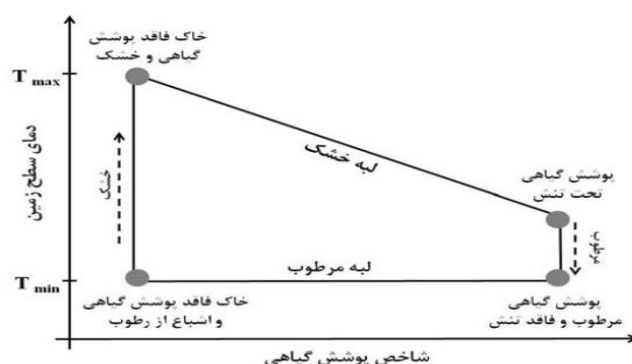
برای برآورد و تخمین رطوبت خاک یک منطقه به دو نوع از تولیدات سنجش از دوری مختلف یعنی شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) نیاز است. لذا در همین راستا برای برآورد و تخمین رطوبت خاک و در نهایت بررسی تغییرات زمانی و فضایی آن در دشت سیستان از دو نوع تولیدات سنجنده مادیس ماهواره ترا با نام های (MOD13A3) برای شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و (MOD11A1) برای دمای سطح زمین (LST) برای سه ماه آوریل، می و ژوئن برای یک دوره زمانی ۱۵ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۴) استفاده شد. این تولیدات از وب سایت درگاه داده ای سیستم دیده بانی جهانی (EOS) به آدرس اینترنتی <https://eosps.nasa.gov> دانلود شدند. بر روی این تولیدات تمامی تصحیحات مربوط به پراکندگی ملکولی، جذب ازن و آتروسفل ها انجام گرفته است [۸]. قدرت تفکیک فضایی این دو محصول ۱ کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی آن ها به ترتیب ۳۰ روزه و ۱ روزه می باشد. از آنجا که باید مقیاس زمانی داده های مورد استفاده با هم تطابق داشته باشند، مقادیر روزانه دمای سطح زمین با عملیات میانگین گیری به مقادیر ۳۰ روزه تبدیل و سپس تمامی تصاویر برای منطقه مورد مطالعه موزائیک و با سیستم مختصات جهانی مرکاتور معکوس با استفاده از روش نمونه برداری نزدیک ترین همسایه ژئو رفرنس شدند [۸، ۲۸]. بعد از انجام تمامی تصحیحات مورد نظر، شاخص خشکی دمایی- گیاهی (TVDI) برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شدند. اساس این شاخص بر این استوار است که هر منطقه ای می تواند هم دارای بخش های فاقد پوشش گیاهی و هم دارای بخش های پوشیده از پوشش گیاهی متراکم باشد و از طرفی دیگر رطوبت خاک آن نیز می تواند از شرایط کاملاً خشک تا شرایط کاملاً مرطوب تغییر کند، بر این اساس نموداری ارائه شده است که بر روی آن نمودار داده های دمای سطح زمین (LST) و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) قرار داده شده اند. بر روی این نمودار، نقطه ای که این دو مقدار به همدیگر برخورد می کنند در نهایت شکل مثلث یا ذوزنقه به خود می گیرند (شکل ۲) که تعیین کننده میزان رطوبت می باشد [۳، ۱۳]. شاخص خشکی دمایی- گیاهی (TVDI) مقادیری بین صفر در لبه مرطوب و یک در لبه خشک دارد و به صورت زیر تعریف می شود [۱۲].

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{T_{smax} - T_{smin}} \quad (1)$$

$$T_{smax} = \alpha + b \times NDVI \quad (2)$$

$$T_{smin} = \hat{\alpha} + \hat{b} \times NDVI \quad (3)$$

که Ts_{max} و Ts_{min} به ترتیب کمینه و بیشینه حرارت سطح زمین زمانی که NDVI برابر یک مقدار خاص باشد را نشان می دهد. α و β پارامترهایی هستند که لبه خشک و α و β پارامترهایی هستند که لبه مرطوب را معرفی می کنند که از برازش یک خط رگرسیونی بر داده های دمایی و پوشش گیاهی این لبه ها به دست می آیند.



شکل ۲- نمودار شماتیک شاخص پوشش گیاهی NDVI در مقابل دمای سطح زمین LST [۱۹]

بعد از تهیه سری های زمانی تصاویر رطوبت خاک برای سه ماه آوریل، می و ژوئن، از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی های دشت سیستان استفاده شد. برای محاسبه این شاخص از داده های روزانه بارش ایستگاه زابل برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴) استفاده شد. مشخصات جغرافیایی ایستگاه زابل در جدول ۱ و موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۱ آورده شده است. از این دوره ۳۰ ساله، یک دوره ۱۵ ساله منتهی به سال ۲۰۱۴ جدا گردید تا بررسی اثرات آن بر رطوبت خاک دشت سیستان امکان پذیر باشد. لازم به اشاره است که این شاخص برای اولین بار توسط ویلهیت و بیون در سال ۱۹۹۹ جهت آشکارسازی خشکسالی ها و تعیین زمان آغاز و خاتمه آن توسعه داده شده است [۲]. شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) ابزار بسیار قوی در تحلیل داده های بارش در دو مقیاس روزانه و ماهانه است. طبقه بندی شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در جدول ۲ آورده شده است.

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

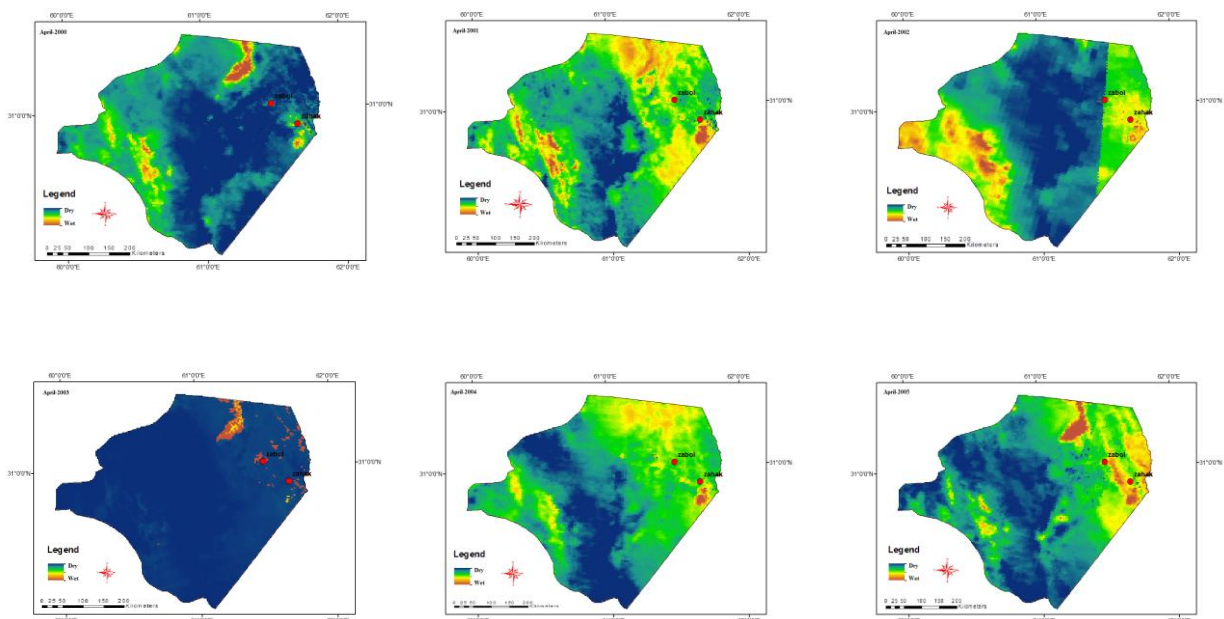
جدول ۲- طبقه بندی شاخص خشکسالی مؤثر

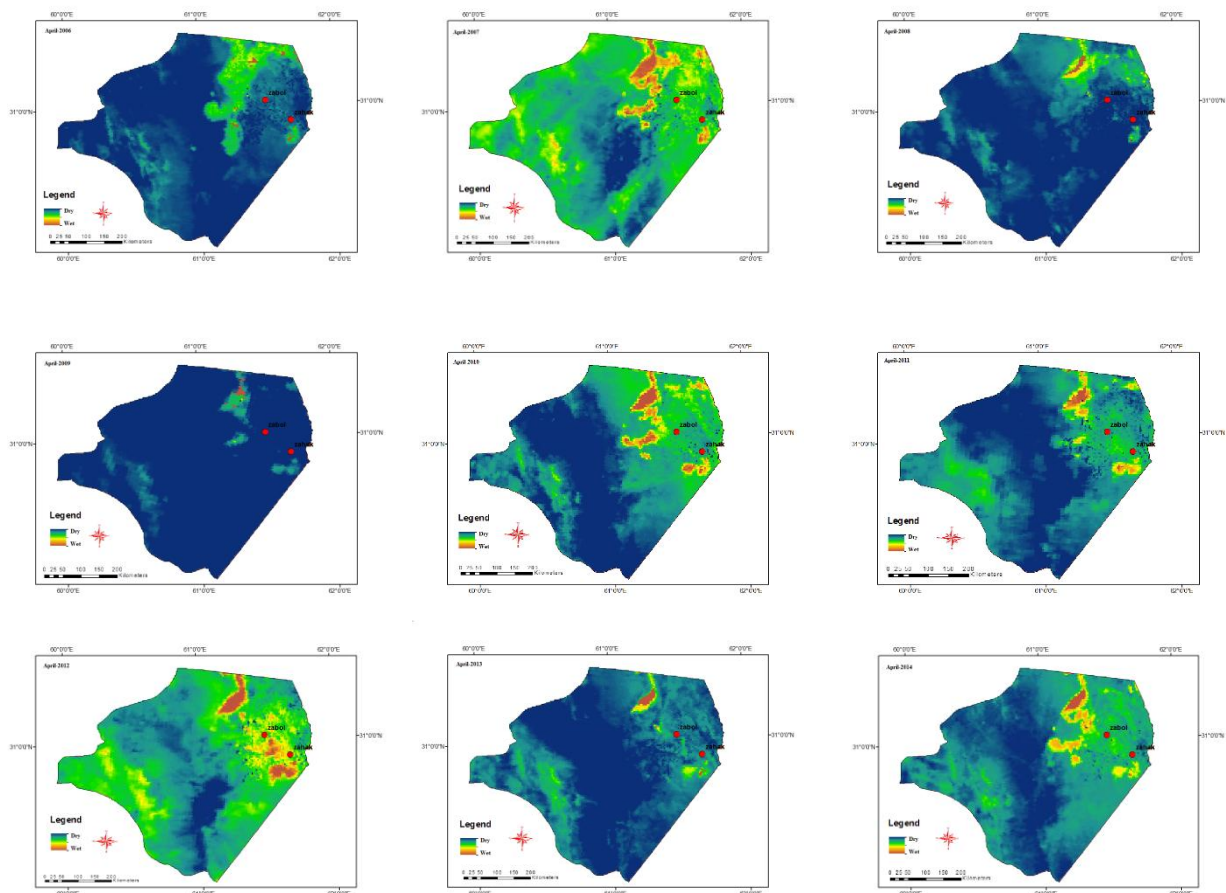
وضعیت	نمایه بارش مؤثر
فوق العاده مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۲/۵
خیلی مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۱/۵
کمی مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۰/۷
نرمال	کوچکتر از ۰/۷ و بزرگتر از -۰/۷
خشکسالی ملایم	کوچکتر یا مساوی -۰/۷
خشکسالی شدید	کوچکتر یا مساوی -۱/۵
خشکسالی بسیار شدید	کوچکتر یا مساوی -۲/۵

جهت اطلاع از روش محاسبه شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) می توان به منابع [۱۱، ۱۸] مراجعه نمود. در نهایت از دبی سالانه رودخانه هیرمند در ایستگاه پایاب سد کهک (نقطه ورود آب رودخانه هیرمند به ایران) برای یک دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۰) جهت بررسی ارتباط تغییر پذیری رطوبت خاک با تغییرات دبی رودخانه هیرمند استفاده شد.

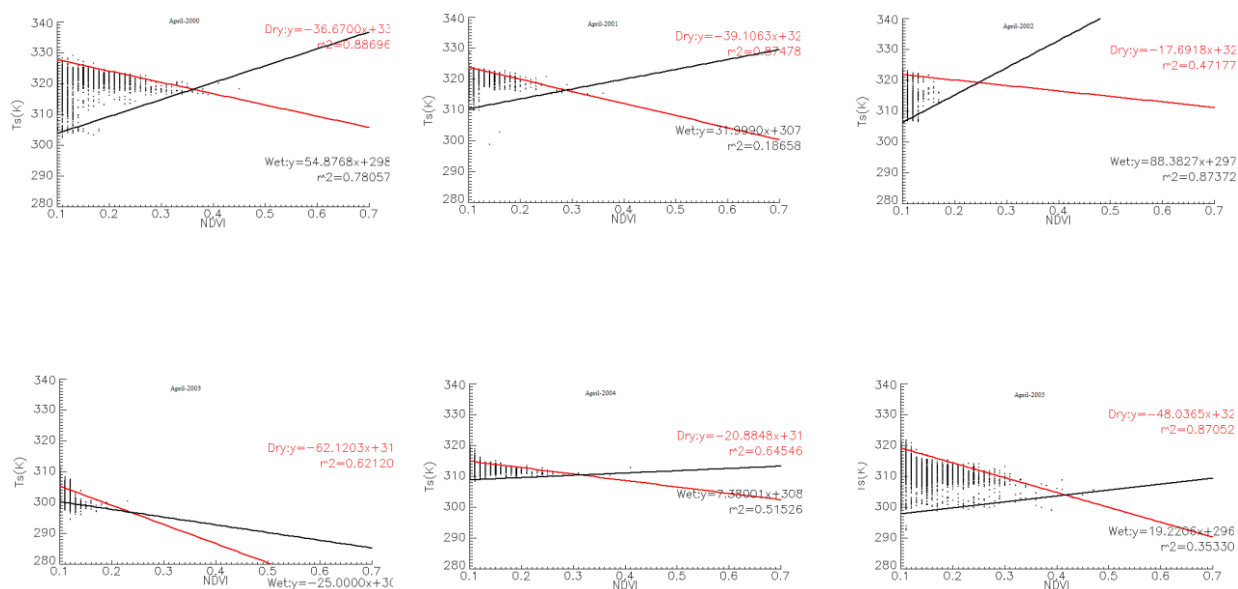
نتایج و بحث

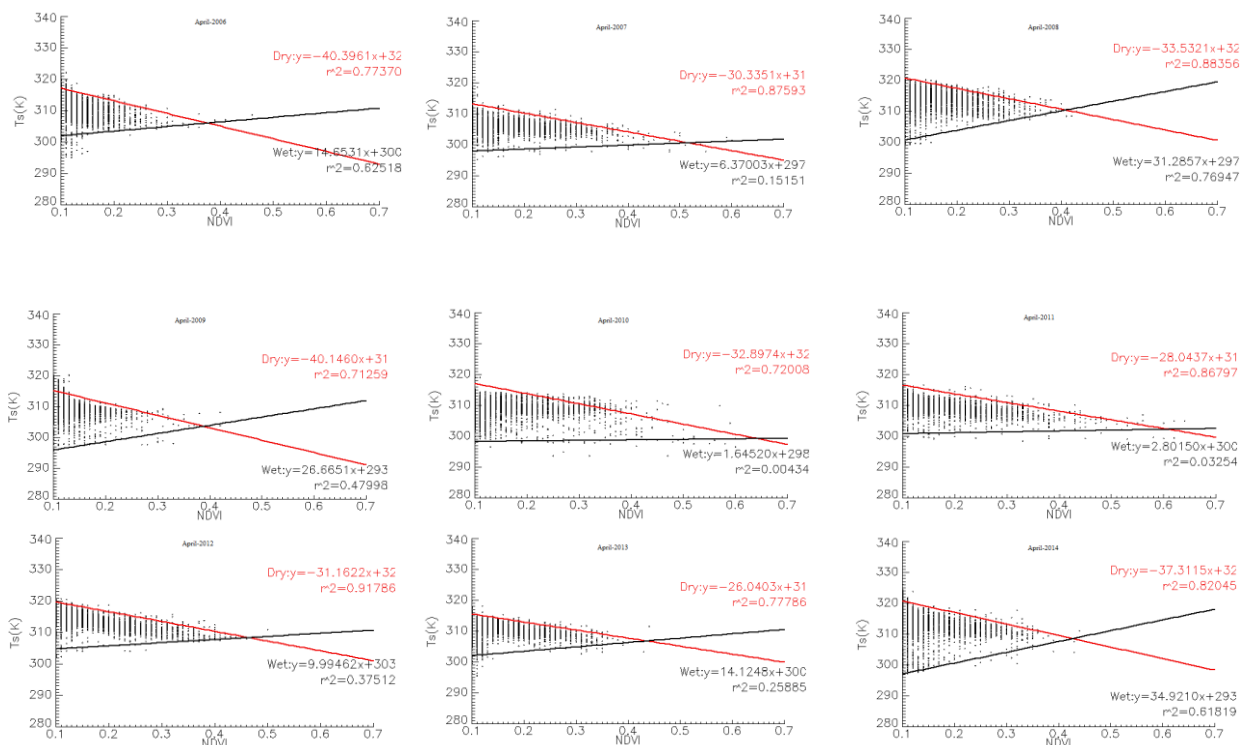
نقشه های رطوبت خاک حاصل از پردازش تصاویر سنجنده مادیس ماهواره ترا به تفکیک برای ماه های آوریل، می و ژوئن برای سال های ۲۰۱۴-۲۰۰۰ با استفاده از دو شاخص NDVI و LST برای منطقه مورد مطالعه تهیه شدند. در شکل (۳) برای نمونه نقشه های رطوبت خاک ماه آوریل آورده شده اند. در این تصاویر به روشنی پویایی رطوبت خاک در سال های مختلف قابل مشاهده است. همان طور که در تصاویر مشخص است در برخی از آوریل سال های ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ شاهد توسعه و گسترش و در برخی دیگر از آوریل ها همچون آوریل سال های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۰ شاهد کاهش در میزان رطوبت خاک در این دشت بوده ایم. همین شرایط برای دو ماه می و ژوئن نیز قابل مشاهده است (نقشه های آنها آورده نشده است) همچنین نمودارهای تهیه شده ماه آوریل که در شکل (۴) آورده شده اند نشان می دهند که شیب لبه خشک منفی است، که این نشان دهنده حداکثر مقدار دمای سطح زمین است که با افزایش پوشش گیاهی کاهش می یابد. از طرف دیگر شیب لبه مرطوب مثبت است، که نشان می دهد با افزایش پوشش گیاهی تامین آب خاک برای رشد محصول مناسب است که افزایش دسترسی به آب معمولاً باعث تقویت تبخیر شده، گرمای نهان را افزایش می دهد و باعث کاهش دما می شود. همچنین چنانچه در شکل (۴) مشاهده می شود نمودار مثلثی بیانگر شرایط خشک در منطقه می باشد زیرا داده های دمای سطح زمین (LST) و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) در نقطه ای که به هم متصل می شوند شکل مثلثی یا دوزنقه ای به صورت کامل و منظم را نشان نمی دهند.





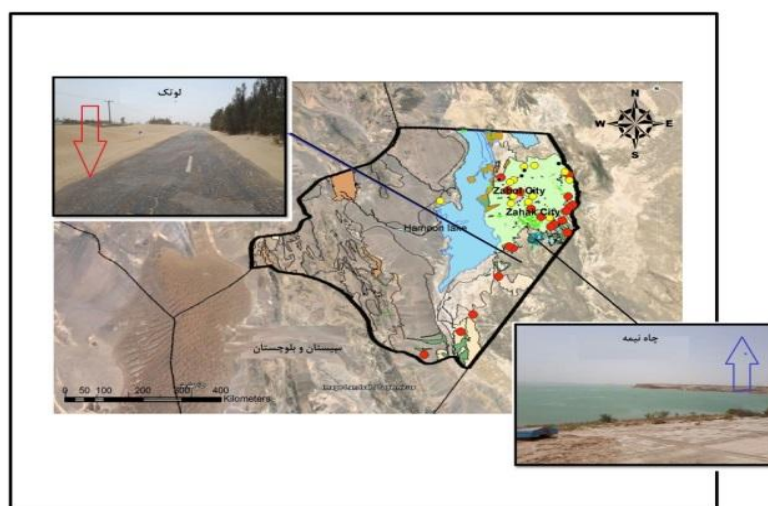
شکل ۳- نقشه‌های توزیع فضایی رطوبت خاک دشت سیستان با استفاده از شاخص خشکی دمایی- گیاهی (TVDI) ماه آوریل طی سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴





شکل ۴- نمودار های مثلثی NDVI و LST و لبه های خشک و تر رطوبت خاک تهیه شده از ماه آوریل طی سال ۲۰۰۶-۲۰۱۴

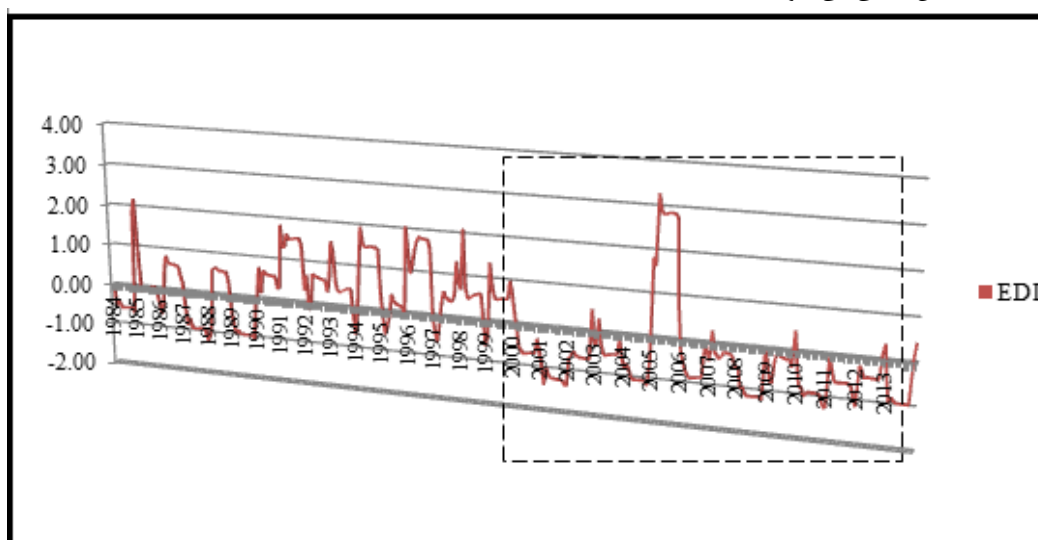
برای صحت سنجی نتایج به دست آمده، اقدام به بازدید و برداشت های میدانی و همچنین مصاحبه شفاهی با افراد مطلع و قدیمی ساکن در دشت سیستان گردید. در شکل (۵) نقاط برداشتی با GPS و تصاویری از چشم اندازهای مختلف دشت برای درک بهتری از تغییرات آورده شده است. مناطقی که در قسمت بدون رطوبت نقشه قرار داشتند به خصوص در مرکز، غرب و جنوب دشت، به دلیل رها کردن زمین های کشاورزی به دلایل مختلفی از جمله خشکسالی های طولانی مدت و مشکلات هیدروپلیتیک بین ایران و افغانستان بوده است که باعث کاهش دسترسی به منابع آب رودخانه هیرمند شده و یا بیابان و مناطق بدون سکنه بوده است. اما پیکسل های که در بخش مرطوب طبقه بندی شده اند، قسمتی از آن مربوط به دریاچه های سه گانه هامون، چاه نیمه و قسمت دیگری نیز مربوط به بخش کشاورزی بوده است.



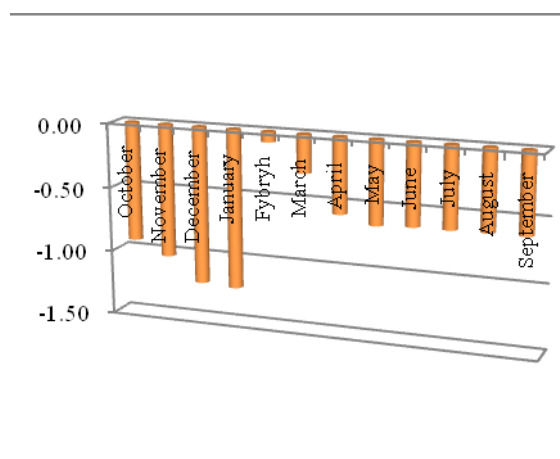
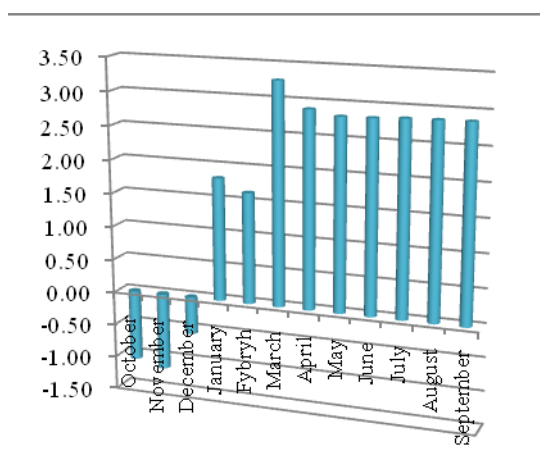
شکل ۵- موقعیت نقاط برداشت شده با استفاده از GPS و کاربری اراضی در دشت سیستان

در ادامه برای بررسی دقیق تر تغییرات رطوبتی خاک در دشت سیستان و ارتباط آن با خشکسالی های ۱۵ سال اخیر، ابتدا سری زمانی بارش ایستگاه زابل برای دوره مورد مطالعه از اکتبر تا سپتامبر مرتب و به شاخص EDI تبدیل و نتیجه آن در قالب نموداری در شکل (۶) آورده

شده است. در این نمودار به وضوح سال‌های تر و خشک قابل تشخیص هستند. با توجه به اینکه تصاویر سنجنده مودیس از سال ۲۰۰۰ به بعد در دسترس می باشد. لذا از کل دوره ۳۰ ساله داده های بارش و دبی، یک دوره ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۰ به بعد که منطبق با بازه زمانی تصاویر ماهواره ای می باشد، استفاده شده است. در شکل (۶) این دوره ۱۵ ساله از کل دوره تفکیک شده است. در این دوره ۱۵ ساله یک سال خشک (۲۰۱۱-۲۰۱۰) و یک سال تر (۲۰۰۶-۲۰۰۵) به عنوان نمونه انتخاب شدند تا تغییرات رطوبت خاک مورد بررسی قرار گیرند. در سال آبی (۲۰۱۱-۲۰۱۰) مشاهده می شود که ۱۲ ماهه این سال منتخب دارای شرایط خشکسالی بوده اند (شکل ۷) در حالیکه در نقطه مقابل این سال یعنی سال آبی (۲۰۰۶-۲۰۰۵) که به عنوان سال تر انتخاب شده بود، دو ماه اکتبر و نوامبر آن در شرایط خشکسالی قرار داشته اند و شرایط تر آن از دسامبر به بعد بوده است (شکل ۷). با تعیین این دو سال خشک و تر، به تفکیک به بررسی رطوبت خاک پرداخته شد. در سال خشک (۲۰۱۱-۲۰۱۰) مشاهده شد که میزان مساحت رطوبت خاک دشت سیستان بسیار پایین است و تنها مساحت کمی از قسمت شمال و شرق دشت که تالاب هامون و چاه نیمه را پوشش می دهد، رطوبت مشاهده می شود. در حالیکه در سال تر (۲۰۰۶-۲۰۰۵) مساحت بیشتری از بخش شمالی و شرقی دشت سیستان و پیکسل هایی در شمال شرق و جنوب غرب دارای حداکثر رطوبت می باشد. اغلب خاک های مناطق خشک مانند دشت سیستان حاوی مقادیر محدودی رطوبت هستند، به طوری که یک بارش کافی موجب افزایش درصد رطوبت ناچیزی در گنجایش زراعی می شود.



شکل ۶- نمودار تغییرات شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در طول ۳۰ سال مورد مطالعه (۱۹۸۵-۲۰۱۴)

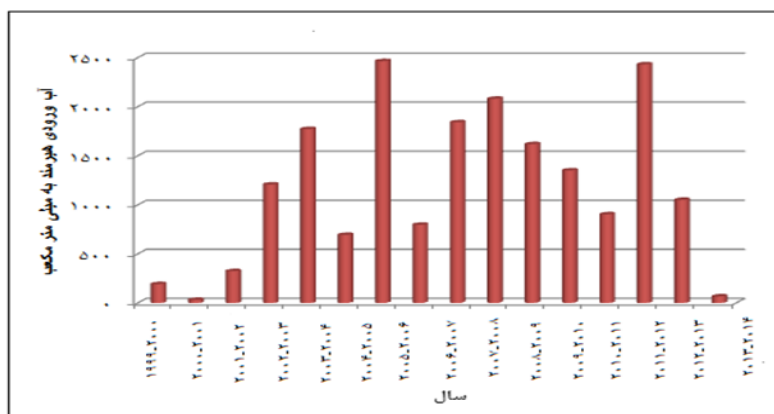


شکل ۷- نمودار شاخص EDI سال ۲۰۱۱-۲۰۱۰ (سمت راست)، نمونه سال تر ۲۰۰۶-۲۰۰۵ (سمت چپ)

اما در تامین آب برای گیاهان مناطق بیابانی مانند دشت سیستان، نباید این نکته را نیز فراموش کرد، که پستی و بلندی نقش اساسی در تامین آب بر عهده دارد. آب از دامنه های هندوکش سرازیر شده و در مناطق پست تر جمع می شود. پس مقدار رطوبت در این مناطق ممکن است خیلی بیشتر از مقدار بارندگی در این محل باشد.

لذا برای تایید این مطلب که تغییرات رطوبت خاک دشت سیستان وابسته به تغییرات دبی رودخانه هیرمند نیز می باشد، متوسط سالانه دبی رودخانه هیرمند در ایستگاه پایاب سد کهک (نقطه ورودی آب رودخانه هیرمند به ایران) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸).

نتایج به روشنی نشان داد که بین دبی متوسط سالانه رودخانه هیرمند با تغییرات رطوبت خاک هر سه ماه آوریل، می و ژوئن از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ مورد تایید است. در سال تر سالی ۲۰۰۴-۲۰۰۵ یا ۲۰۰۶-۲۰۰۷ پویایی رطوبت خاک ماه آوریل در شکل (۲) قابل مشاهده است. این نکته حائز اهمیت است که با توجه به اینکه رطوبت خاک به دو دسته رطوبت موجود و رطوبت بالقوه ارزیابی می شود. در دشت سیستان با توجه به وجود تالاب هامون و چاه نیمه ها، درصد حجمی از خاک مرطوب که با آب اشغال می شود مساحت بیشتری را نسبت به رطوبت بالقوه دارا می باشد.



شکل ۸- نمودار آب ورودی رودخانه هیرمند به دشت سیستان ایران

نتیجه گیری

در چند دهه اخیر با پیشرفت هایی که در تولیدات سنجش از دور ماهواره ای اتفاق افتاده است، شاخص های مختلفی جهت مطالعه تغییرات زمانی-فضایی رطوبت خاک ارائه شده است. در مطالعه حاضر برای بررسی رابطه بین بارش و دبی رودخانه هیرمند بر روی تغییرات زمانی-فضایی رطوبت خاک دشت سیستان از شاخص خشکی دمایی-گیاهی (TVDI) برای سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ استفاده شد.

در این پژوهش با بررسی سال به سال نقشه های رطوبت خاک برای ماه های آوریل، می و ژوئن به روشنی پویایی رطوبت خاک در سال های مختلف در دشت سیستان مشاهده شد. در ماه های آوریل، می و ژوئن سال های ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ شاهد توسعه و گسترش و در ماه های آوریل، می و ژوئن سال های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۰ شاهد کاهش در میزان رطوبت خاک در این دشت بوده ایم. همچنین برای بررسی دقیق تر تغییرات رطوبتی خاک در دشت سیستان و ارتباط آن با خشکسالی های ۱۵ سال اخیر، ابتدا سری زمانی بارش ایستگاه زابل برای دوره مورد مطالعه از اکتبر تا سپتامبر مرتب و به شاخص EDI تبدیل شدند. در ادامه با تعیین دو سال خشک (۲۰۱۱-۲۰۱۰) و تر (۲۰۰۶-۲۰۰۵) به بررسی دقیق تر ارتباط خشکسالی های هواشناسی با تغییرات فضایی رطوبت خاک در دشت سیستان پرداخته شد. در سال خشک (۲۰۱۱-۲۰۱۰) مشاهده شد که میزان مساحت رطوبت خاک دشت سیستان بسیار پایین است و تنها مساحت کمی از قسمت شمال و شرق دشت که تالاب هامون و چاه نیمه را پوشش می دهد رطوبت مشاهده می شود. در حالیکه در سال تر (۲۰۰۶-۲۰۰۵) مساحت بیشتری از بخش شمالی و شرقی دشت سیستان و پیکسل هایی در شمال شرق و جنوب غرب دارای حداکثر رطوبت می باشد. همچنین برای تایید این مطلب که تغییرات رطوبت خاک دشت سیستان وابسته به تغییرات دبی رودخانه هیرمند نیز می باشد، متوسط سالانه دبی رودخانه هیرمند در ایستگاه پایاب سد کهک (نقطه ورودی آب رودخانه هیرمند به ایران) با تغییرات فضایی رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که رابطه بین دبی متوسط سالانه رودخانه هیرمند با تغییرات رطوبت خاک در هر سه ماه آوریل، می و ژوئن از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ مورد تایید است.

نتایج به روشنی نشان داد که رابطه بین دبی متوسط سالانه رودخانه هیرمند با تغییرات رطوبت خاک هر سه ماه آوریل، می و ژوئن از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ مورد تایید است. در سال تر سالی ۲۰۰۴-۲۰۰۵ یا ۲۰۰۶-۲۰۰۷ پویایی رطوبت خاک ماه آوریل مشاهده شد. این نکته حائز اهمیت است که با توجه به اینکه رطوبت خاک به دو دسته رطوبت موجود و رطوبت بالقوه ارزیابی می شود. در دشت سیستان با توجه به وجود تالاب هامون و چاه نیمه ها، درصد حجمی از خاک مرطوب که با آب اشغال می شود مساحت بیشتری را نسبت به رطوبت بالقوه دارا می باشد و این نکته نشان می دهد تغییرات رطوبت دشت سیستان وابسته به دبی رودخانه هیرمند می باشد. لذا به روشنی مشخص می شود که رگ حیاتی دشت سیستان رودخانه هیرمند می باشد و زندگی این سرزمین و پویایی رطوبت خاک آن در گرو آب این رودخانه حیاتبخش است. اما متأسفانه به دلیل مسائل هیدروپلیتیک موجود بین ایران و افغانستان و سدهای متعددی که در بالادست رودخانه توسط کشور افغانستان زده شده است به همراه خشکسالی های شدید و طولانی مدت منطقه باعث شده است که آورد آب این رودخانه به دشت سیستان دچار مشکلات متعددی شده است که این مشکلات متأسفانه حیات دشت سیستان را به خطر انداخته است. لذا نیاز است با توجه به وضعیت ورودی ها، خروجی ها و نیازهای بالادست و پایین دست حوضه آبریز برنامه ریزی های لازم در جهت استفاده بهینه از منابع آب این رودخانه در چهارچوب قراردادهای بین المللی انجام گیرد.

منابع

- [1] Alec Sithole, C. T. F. M. 2009. Climate variability and change over southern Africa: impacts and challenges. *African Journal of Ecology*, 47: 17-20
- [2] Byun, H. R., Wilhite, D. A. 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *J. Clim*, 12: 2747-2756
- [3] Carlson, T.N., Gillie, R.R., Perry, E.M. 1994. A Method to Make Use of Thermal Infrared Temperature and NDVI Measurements to Infer Surface Soil Water Content and Fractional Vegetation Cover. *Journal of Remote Sensing Rev*, 9: 161-173.
- [4] Chen, C.F., Son, N.T., Chang, L.U., Chen, C.C. 2011. Monitoring of soil moisture variability in relation to rice cropping systems in the Vietnamese Mekong Delta using MODIS data. *Applied Geography*, 31: 463-475.
- [5] Engman, E.T., Chauhan, N. 1995. Status of microwave soil moisture measurements with remote sensing. *Remote Sens. Environ*, 51:189-198
- [6] Gao, B.C. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58: 257-266.
- [7] Gupta, D.K., Prasad, R., Srivastava, P.K., Islam, T. 2016. Nonparametric Model for the Retrieval of Soil Moisture by Microwave Remote Sensing. *Satellite Soil Moisture Retrieval*, 5: 159-167.
- [8] Hao, F., X. Zhang., W. Ouyang., A. K. Skidmore., A. G. Toxopeus. 2012. Vegetation NDVI Linked to Temperature in the Upper Catchments of Yellow River. *Environmental Modeling & Assessment*, 17: 389-398.
- [9] Huang, Y., Tian, Q., Du, L., Sun, S. 2013. Analysis of Spatial-Temporal Variation of Agricultural Drought and Its Response to ENSO over the Past 30 Years in the Huang-Huai-Hai Region. *China, Terr. Atmos. Ocean. Sci*, 24: 745-759.
- [10] Keshavarz, M. R., Vazifedoust, M., Alizadeh, A., Asadi, A. 2011. Soil Moisture Routing Using Moderate Spatial Resolution of MODIS Satellite Data A case Study: Esfahan Province. *Iranian Journal of Irrigation and drainage*, 2 : 209-219.
- [11] Kim, D. W., Byun, H. R. 2009. Future pattern of Asian drought under global warming scenario. *Theor. Appl. Climatol*, 98: 137-150.
- [12] Lalehzari, E., Ali Abaspour, R. 2017. An Assessment of the Role of Large Reservoir Dams on Local Climate using Remote Sensing Techniques (Case Study: Baft Reservoir Dam). *GEJ*. 8 ; 35-43.
- [13] Mallick, K., Bhattacharya, B.K., Patel, N.K. 2009. "Estimating volumetric surface moisture content for cropped soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI". *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1327-1342.

- [14] Marshall, G.S. 2005. Drought Detection And Quantification Using Field-Based Spectral Measurements Of Vegetation In Semi-Arid Regions. New Mexico Institute of Mining and Technology Department of Earth and Environmental Science.
- [15] Mattia, F., Satalino, G., Pauwels, V.R.N., Loew, A. 2008. Soil moisture retrieval through a merging of multi-temporal L-band SAR data and hydrologic modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5: 3479–3515.
- [16] Mohler, R. R. 1986. Monitoring vegetation of drought environments. *Bio Science*, 36: 478-483.
- [17] Moran, M.S., Peters-Lidard, C.D., Watts, J.M., McElroy, S. 2004. Estimating soil moisture at the watershed scale with satellite-based radar and land surface models. *J. Remote Sens*, 30:805-826.
- [18] Morid, S., Smakhtin, V., Moghaddasi, M. 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran, *Int. J. Climatol*, 26: 971–985.
- [19] Noori, S., Sanaei Nejad, S.H. 2013. Evaluation of Drought Using the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the Modified Temperature Vegetation Dryness Index (MTVDI) and MODIS Satellite Images. *Journal of Water and Soil*, 27: 753-762.
- [20] Owen, T.W., Carlson, T.N., Gillies, R.R. 1998. An Assessment of satellite Remotely-sensed Land Cover Parameters in Quantitatively Describing the Climatic Effect of Urbanization. *Int. J. Remote Sensing*, 19: 1663-1681.
- [21] Peters, A.J., Rundquist, D.C., Wilhite, D.A. 1991. Satellite detection of the geographic core of the 1988 Nebraska drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57:1-3.
- [22] Price, J.C. 1990. Using Spatial Context in Satellite Data to Infer Regional Scale Evapotranspiration. *Journal of IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28: 940-948.
- [23] Rahimzadeh-Bajgiran, P., Omasa, K., Shimizu, Y. 2012. Comparative evaluation of the Vegetation Dryness Index (VDI), the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the improved TVDI (iTVDI) for water stress detection in semi-arid regions of Iran. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68:1-12.
- [24] Reynolds, M. K., Comiso, J. C. 2008. Relationship between satellite-derived land surface temperatures, arctic vegetation types, and NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 12: 1884-1894
- [25] Sandholt, I., Rasmussen, K., Andersen, J. 2002. A Simple Interpretation of the Surface Temperature/ Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status. *Journal of Remote Sensing Environment*, 79: 213-224.
- [26] Scheftic, W. D., Cummins, K. L., Krider, E. P., Sternberg, B. K., Goodrich, D., Moran, S., Scott, R. 2008. wide-area soil moisture estimation using the propagation of lightning generated low frequency electromagnetic signals. *international lightning detection conference*, 1: 1-10.
- [27] Soltani, J., Karbasi, A. 2002. Executive role of the Hirmand River Legal Regime in Sistan Drought Moderation. *Agricultural Economics and Development*, 1:153-184.
- [28] Stefanov, W. L., Netzband, M. 2005. Assessment of ASTER land cover and MODIS NDVI data at multiple scales for ecological characterization of an arid urban center. *Remote Sensing of Environment*, doi.org/10.1016/j.rse.2005.04.024.
- [29] Tan, S. Y. 2007. The influence of temperature and precipitation climate regimes on vegetation dynamics in the US Great Plains: A satellite bioclimatology case study. *International Journal of Remote Sensing*, 28: 4947-4966 .
- [30] Townshend, J.R.G. 1994. Global data sets for land application from the Advanced Very High Resolution Radiometer. *International Journal of Remote Sensing*, 15: 3319-3332.
- [31] Tucker, C.J., Sellers, P. J. 1986. Satellite remote sensing of primary vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, doi. 10.1080/01431168608948944.
- [32] Ustin, S.L., Darling, D., Kefauver, S., Greenberg, J., Cheng, Y.B., Whiting, M.L. 2004. Remotely sensed estimates of crop water demand. Paper presented at S.P.I.E. The International Symposium on Optical Science and Technology. 49th Annual Meeting, Denver, CO. 2-6 August.
- [33] 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.

- [34] Wang, K. C., Wang, P. C., Liu, J. M., Sparrow, M., Haginoya, S., Zhou, X. J. 2005. Variation of surface albedo and soil thermal parameters with soil moisture content at a semi-desert site on the western Tibetan plateau. *Bound.-Layer Meteor.*, 116: 117–129.
- [35] Wang, X., Xie, H., Guan, H., Zhou, X. 2007. Different responses of MODIS-derived NDVI to root-zone soil moisture in semi-arid and humid regions. *Journal of Hydrology*, 340: 12– 24.
- [36] Watson, K. 1971. Applications of thermal modeling in the geological interpretation of IR images. *Proceedings of the Seventh. Int Symposium of Remote Sensing of Environment*. ERIM, 27:2017-2041.
- [37] Wood, E. F. 1997. Effects of soil moisture aggregation on surface evaporative fluxes. *Journal of Hydrology*, 190: 397-412.
- Yang, X., Wu, J. J., Shi, P. J., Yan, F. 2008. Modified Triangle Method To Estimate Soil Moisture Status With Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Products. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1:554-559.

Investigating the Spatial-Temporal Variation of Soil Moisture in Sistan Plain Using the Remote Sensing Productions of Terra Satellite MODIS Sensor

Peyman Mahmoudi

Department of Physical Geography, Geography and Regional Planning Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Fatemeh Firoozi

Department of Remote Sensing and Geographical Information System (GIS), Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

Abstract

Moisture is one of the basic parameters of soil that is widely used in the study and management of soil and water resources. Basically, monitoring soil moisture and extracting moisture data on a point basis is not only costly and time consuming, but also on a large scale unscientific. There are several methods for determining soil moisture on a large scale using remote sensing techniques without direct soil sampling. In this study, the temperature-vegetation drought (TVDI) method was used to investigate the soil moisture of Sistan plain. To estimate the soil moisture and finally study its temporal and spatial changes in the Sistan plain of two types of Madis sensor products of the satellite Terra called (MOD13A3) for normalized vegetation difference index (NDVI) and (MOD11A1) for land surface temperature (LST) was used for the three months of April, May and June for a period of 15 years (2000-2014). The results clearly show that the relationship between the average annual discharge of the Helmand River with changes in soil moisture every three months of April, May and June from 2000 to 2014 is confirmed. In the wet year of 2004-2005 or 2006-2007, soil moisture maximum were observed in April. It is important to note that soil moisture is assessed into two categories: available moisture and potential moisture. In Sistan plain, due to the presence of Hamoon wetland and Chah Nimeh, the volume percentage of wet soil that is occupied by water has a larger area than the potential moisture and this point shows that the changes in humidity of Sistan plain are related to the discharge of Helmand river.

Keywords:

TVDI, Sistan plain, Terra satellite, arid region