

## تحلیل ریسک خشکسالی کشاورزی با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و GIS (منطقه مورد مطالعه: استان سمنان)

مصطفی عابدزاده<sup>۱</sup>، بهروز ارسطو<sup>۲</sup>، حمیدرضا نانکلی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۲/۱۷

صفحات: ۳۶-۱۸

### چکیده

خشکسالی کشاورزی یکی از پیچیده ترین حوادث طبیعی محسوب می شود. به دلیل تغییرات مکانی و زمانی این پدیده لازم است اطلاعات و ابزارهای موجود جهت پایش این پدیده در همه ی مقیاس ها بهبود یابند. داده های سنجش از دور و GIS<sup>۱</sup>، یک ابزار پایش مناسب را برای ارزیابی وسعت و شدت خشکسالی در دسترس قرار می دهد. میزان رشد گیاه، یکی از مهم ترین شاخص مشخص کننده رخداد خشکسالی است. در این مطالعه ابتدا به ارزیابی تعدادی از شاخص های گیاهی پرداخته شده و در نتیجه آن، شاخص<sup>۲</sup> NDVI به عنوان مناسب ترین شاخص برای پوشش گیاهی انتخاب گردیده است. در این مطالعه، از تصاویر<sup>۳</sup> MODIS به دلیل توان تفکیک زمانی و مکانی مناسبی که برای تحلیل ریسک خشکسالی کشاورزی استان سمنان دارند، استفاده شده است. دوره زمانی مورد بررسی ماه های مارس تا ژوئیه سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ است. ابتدا تصاویر تصحیح هندسی و رادیومتریک شده اند. سپس با ارزیابی سری هفتده ساله ی تصاویر<sup>۴</sup> NDVI،<sup>۵</sup> LST،<sup>۶</sup> SPEI و مجموع بارش سالیانه در سطح منطقه، روند تغییرات خشکسالی نشان داده شده است. در این مطالعه به وسیله شاخص های ماهواره ای ذکر شده در استان سمنان اقلیم ها میزان ناحیه تحت تاثیر خشکسالی بررسی شده است. شاخص های ماهواره ای، استان سمنان را در سال های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶ تحت تاثیر خشکسالی نشان می دهند. براساس این شاخص ها در سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ خشکسالی در استان وجود داشته است. شدت خشکسالی در سال ۲۰۰۰، ۲۰۱۶ بیشتر از سایر سال ها ملاحظه شد. همچنین سال ۲۰۰۵ ترسالی و سایر سال ها، سال های متوسطی هستند. نتایج نشان داد مشخص کردن مناطق حساس به خشکسالی نقش بسیار مهمی در اعمال مدیریت های لازم برای کاهش ریسک خشکسالی می تواند داشته باشد.

واژگان کلیدی: تحلیل ریسک خشکسالی کشاورزی، استان سمنان، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS).

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران - سنجش از دور، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، abedzadehmostafa@yahoo.com.

۲ نویسنده مسئول، محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، گروه مهندسی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، beharas2@gmail.com.

۳ عضو هیئت علمی، گروه مهندسی عمران - نقشه برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، nankalihamid@gmail.com.

<sup>۱</sup> Geographic Information System

<sup>۲</sup> Normalized difference vegetation index

<sup>۳</sup> Moderate Resolution Imaging Spectrometer

<sup>۴</sup> Standardized Precipitation Index

<sup>۵</sup> Land Surface Temperature

<sup>۶</sup> Standardized Precipitation Evapotranspiration Index



## مقدمه

جلیلی (۱۳۸۴) شاخص های ماهواره ای به دست آمده از ماهواره NOAA/AVHRR و شاخص های هواشناسی را در پایش خشکسالی استان تهران مورد مقایسه قرار داد. زنگ و تایللی (۲۰۰۲) با آنالیز داده های نوآ و بالانس انرژی سطحی و با در نظر گرفتن دمای سطح زمین (LST) و دمای سطح دریا (SST<sup>13</sup>) رطوبت سطحی خاک را تخمین زدند.

هپ و همکاران (1986) بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و دمای سطحی در شرایط متفاوت رطوبت خاک رابطه ای منفی پیدا کردند.

داده های سنجش از دور و جی آی اس که از قابلیت های خوب مکانی و زمانی برخوردار هستند می توانند به عنوان ابزار مناسبی برای پایش مکانی و زمانی خشکسالی از نوع کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق در نظر است، اثرات خشکسالی کشاورزی استان سمنان با استفاده از شاخص های فوق مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش ها

## منطقه مورد مطالعه و پارامترهای مورد استفاده

استان سمنان یکی از استان های کشور ایران است. مرکز و پرجمعیت ترین شهر این استان، شهر سمنان است. مساحت این استان برابر با ۹۷/۴۹۱ کیلومتر مربع که ۵۰۹ درصد مساحت کل کشور را شامل می شود. این استان از نظر مساحت ششمین استان ایران است. این استان در منطقه جنوبی رشته کوه های البرز واقع شده که ۳۵٪ آن را ارتفاعات ۲۵٪ آن دشت و ۴۰٪ باقی مانده شامل مناطق بیابانی است. این استان بین ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و از ۵۱ درجه و ۵۸

خشکسالی یک پدیده ناگوار اقلیمی است که ناشی از کمبود بارندگی در یک دوره زمانی معین بوده و بخش های وسیعی مثل کشاورزی، منابع آب، محیط زیست و غیره را تحت تأثیر قرار می دهد و خسارات زیادی بهمراه دارد. امکان جلوگیری از وقوع خشکسالی وجود ندارد ولی با برنامه ریزی و مدیریت اصولی می توان اثرات تخریبی آن را کاهش داد. مهمترین ابزار برای مدیریت خشکسالی، کمی کردن شدت خشکسالی است. امروزه فن سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزار مفیدی برای مدیریت و برنامه ریزی منابع طبیعی است. تصاویر ماهواره ای داده ها و اطلاعات وسیعی از سطح زمین در باندهای مختلف جمع آوری می نماید، از باندهای انعکاسی ماهواره ها شاخص پوشش گیاهی و از باندهای حرارتی، دمای سطح زمین تعیین می گردد. در این پایان نامه سعی می شود خشکسالی کشاورزی مورد تحلیل قرار گیرد. تا بتوانیم خطر خشکسالی را مورد بررسی و ارزیابی قرار دهیم. برای رسیدن به این هدف لازم است انواع شاخص های خشکسالی را مورد بررسی و سنجش قرار دهیم. داده های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره ای MODIS<sup>7</sup> در استان سمنان می باشد. که از سایت های مربوطه جمع آوری شده و سپس پس از پردازش های لازم شاخص های مورد نیاز استخراج می گردد. محدوده زمانی تصاویر انتخابی بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ می باشد. سنجنده MODIS سنجنده ای با پهنای باند باریک می باشد که داده های انعکاسی ترکیبی آن به صورت رایگان هر ۸ روز توسط USGS<sup>8</sup> و از طریق مرکز داده های سیستم

های مشاهده منابع زمینی در اختیار قرار می گیرد.

داده های MODIS می توانند داده های NDVI<sup>9</sup> و LST<sup>10</sup> را به دقت زمینی ۲۵ متر را تولید کنند. فروغ بیک و سراجیان (۲۰۰۳) برای تخمین دمای سطح زمین در

ایران از داده های مادون قرمز حرارتی سنجنده<sup>11</sup> AVHRR ماهواره NOAA<sup>12</sup> استفاده کردند.

<sup>8</sup> U.S. Geological Survey

<sup>9</sup> Normalized difference vegetation index

<sup>10</sup> Land Surface Temperature

<sup>11</sup> Advanced Very High Resolution Radiometer

<sup>12</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>13</sup> Sea Surface Temperature

دقیقه تا ۵۷ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی است و ارتفاع مرکز آن از سطح دریا ۱۶۳۰ متر است، که از سمت شمال

گذرماهواره های سنجنش از دور تهیه می شوند به عنوان داده های مرجع استفاده شود.

از نرم افزارهای، ENVI، ArcGIS و ERDAS IMAGINE برای انجام تصحیحات هندسی، رادیومتریک و پردازش های اولیه تصاویر MODIS و استخراج اطلاعات تصاویر استفاده شد.

محاسبه شاخص بارندگی تبخیر و تعرق استاندارد شده<sup>14</sup> (SPEI) و شاخص بارندگی استاندارد شده<sup>15</sup> (SPI)

این شاخص در مقیاس های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل براساس رویکرد تورنتوایت استفاده می نماید. با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل PET، تفاوت بین بارندگی P و تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه i به صورت رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

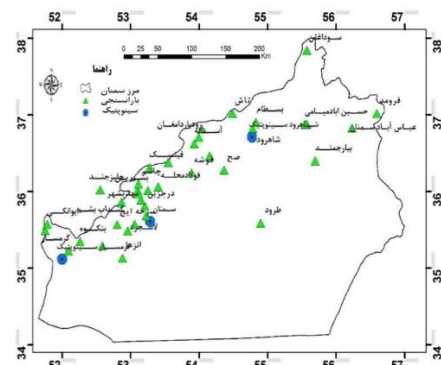
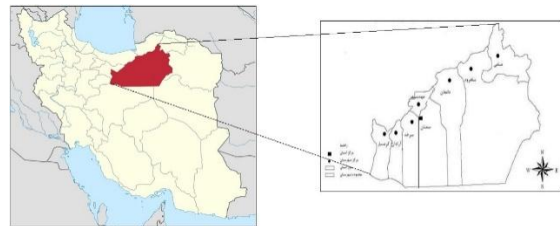
بدین ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال مقادیر شاخص SPEI استخراج می گردد. شاخص SPEI می تواند در مقیاس های زمانی مختلف مانند یک ماه، ۳ ماه، ۶ ماه، ۱۲ ماه، ۲۴ ماه و ۴۸ ماه محاسبه گردد. مقادیر مثبت SPEI بیانگر مثبت بودن بیلان آب و مقادیر منفی آن بیانگر منفی بودن بیلان آب است. این شاخص می تواند برای پایش دوره های خشک و مرطوب مورد استفاده قرار گیرد. خشکسالی هنگامی شروع می گردد که مقادیر شاخص به منفی یک برسد و با مثبت شدن آن خاتمه می یابد. کمبود آب به عنوان منبع ایجاد خشکسالی، می تواند ناشی از کمبود بارش باشد. بر این اساس در مراجع از شاخص های خشکسالی مبنی بر بارش جهت ارزیابی شدت خشکسالی استفاده می شود.

<sup>14</sup> Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

<sup>15</sup> Standardized Precipitation Index

اما از آنجا که افزایش تبخیر و تعرق نیز باعث کاهش آب می شود، کمبود بارش به تنهایی نمی تواند نماینده خوبی از وضعیت خشکسالی باشد. شاخص بارش تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI) مبتنی بر هر دو کمیت بارش و

به استان های خراسان شمالی، گلستان و مازندران، از جنوب به استان های یزد و اصفهان، از مشرق به استان خراسان رضوی و از مغرب و جنوب غرب به استان های تهران و قم محدود است. این استان هم اکنون دارای ۸ شهرستان، ۲۰ شهر، ۱۵ بخش و ۳۱ دهستان است. شهرستان های این استان شامل: ۱- سمنان ۲- شاهرود ۳- دامغان ۴- گرمسار ۵- مهدیشهر ۶- سرخه ۷- میامی ۸- آرادان می باشد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی استان سمنان و ایستگاه های مورد مطالعه

تصاویر سنجنده مودیس ماهواره ترا با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر و ۱ کیلومتر برای دوره ۱۷ ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ برای روزهایی که مقادیر رطوبت لایه سطحی خاک موجود بود، از سازمان فضایی ایران تهیه شد. علت تهیه حجم وسیعی از تصاویر با این طول آماری، افزایش دقت در برآورد رطوبت لایه سطحی خاک بود. با توجه به دوره رویش حداکثر پوشش گیاهی، دوره ۵ ماهه از مارس تا ژوئیه برای بررسی انتخاب شد. ارزیابی دقت داده های برآورد شده از تصاویر ماهواره ای، با استفاده از داده های مرجع در مراحل مختلف صورت می گیرد. در این تحقیق، ارجحیت داشت از اندازه گیری های رطوبت لایه سطحی خاک که همزمان با

تصادفی توزیع نرمال میل می کند. SPI در هر منطقه بر اساس آمار بلند مدت و برای دوره مورد نظر محاسبه می گردد. برای این کار توزیع آماری مناسب بر آمار بلند مدت بارندگی ها برانزده می شود، متوسط SPI برای آن منطقه و دوره مورد نظر صفر خواهد بود. مقدار مثبت SPI نشان دهنده بارندگی بیش از بارندگی میانه می باشد، و مقدار منفی معنای عکس آن را دارد. از آنجایی که SPI استاندارد شده است، برای اقلیم های خشک و مرطوب قابل استفاده، و نتایج برای دوره مورد نظر قابل مقایسه است. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می افتد که SPI بطور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد، و هنگامی پایان می یابد که SPI مثبت گردد و مقادیر تجمعی آن، بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می دهد. شدت طبقه بندی دوره های خشک توسط مک کی و همکارانش (۱۹۹۳). به صورت جدول (۱). تعریف شده است.

جدول (۱): طبقه بندی شدت خشکسالی براساس

SPEI, SPI	
توصیف وضعیت	طبقات شاخص
رطوبت بسیار شدید	بیشتر از ۲
رطوبت شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
رطوبت متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نرمال	۰/۹۹- تا ۰/۹۹
خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-
خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-
خشکسالی خیلی شدید	کمتر از ۲-

### شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)

شاخص های پوشش گیاهی نوع ویژه ای از شاخص های طیفی هستند که برای استخراج اطلاعات ازداده های تصویری مورد استفاده قرار می گیرند. به منظور کاهش اثر عوامل ناخواسته روی اطلاعات پوشش گیاهی و افزایش

تبخیر تعرق می باشد. در این تحقیق با انجام یک مطالعه تطبیقی دو شاخص بارش استاندارد شده SPI و شاخص SPEI در چند نمونه اقلیمی در استان سمنان مورد مقایسه قرار گرفتند.

آزمون های همگنی شامل آزمون من کندال و آزمون تشخیص نقطه تغییر بر روی سری های زمانی در پنجره های زمانی مختلف ماهانه، در فصل های مختلف و همچنین در مقیاس سالانه انجام شد. به جز چند مورد در چند ایستگاه، نتایج نشان داد که روند معنی داری در سری زمانی این دو شاخص در فصل های مختلف سال وجود ندارد. وجود روند در بارش با وجود روند در سری SPI همخوانی دارد اما از آن جا که شاخص SPEI تنها تحت تاثیر بارش نمی باشد، دما و تبخیر تعرق حاصل از آن نیز در روند تغییرات این شاخص اثرگذار هستند. همبستگی بین این دو شاخص به کمک ضریب همبستگی پیرسون نیز بررسی شد و مشخص شد که این دو شاخص در فصل تابستان کم ترین همبستگی و در فصل زمستان بیشترین همبستگی را برقرار می کنند. به علاوه، با بزرگتر شدن پنجره زمانی خشکسالی، از میزان همبستگی دو شاخص کاسته می شود. در ضمن در اقلیم های مرطوب تر، میزان همبستگی دو شاخص افزایش می یابد. در بررسی منطقه ای، تغییرات بین ایستگاهی این شاخص ها مورد مطالعه قرار گرفتند و مشخص شد که شاخص SPI از دامنه تغییرات بیشتری در منطقه برخوردار است به طوری که منطقه کوچکتری را می توان به وضعیت خشکسالی هر ایستگاه نسبت داد در حالی که شاخص SPI سطح وسیع تری را در بر می گیرد. همچنین دوره های خشکسالی در شاخص SPEI طول دوره بیشتری را نسبت به شاخص SPI داشتند و این نشان می دهد شاخص SPI از حساسیت بیشتری حتی نسبت به بارش های کم برخوردار است. شاخص SPEI خشکسالی بیلان آبی را با در نظر گرفتن دما و تبخیر و تعرق برآورد می نماید. هدف پژوهش حاضر، مقایسه الگوی وقوع خشکسالی براساس شاخص های SPI و SPEI به دلیل ماهیت چند مقیاسی بودن و قابلیت تحلیل خشکسالی در مقیاس های زمانی می باشد. از نظر آماری SPI مقدار انحراف معیارهایی است که مقدار مشاهده شده از میانگین دراز مدت بطرف یک مقدار متغیر

قرمز نزدیک است. همان طور که اشاره شد، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) از تقسیم اختلاف مقادیر باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک بر مجموع آنها به دست می‌آید:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3)$$

با فرمول بالا و استفاده از امکان مدل نویسی این شاخص محاسبه شد. وبا استفاده از مدل نوشته شده، شاخص NDVI برای تک تک پیکسل‌ها محاسبه و در نهایت تصویر NDVI از کلیه تصاویر مینا استخراج شد. آزمون همبستگی به منظور تعیین ارتباط شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) با داده‌های مشاهده شده رطوبت خاک (Observed SM) در شرایط متفاوت (NDVI) های تأخیری، 5، 10، 15، 20 و 25 روزه نسبت به رطوبت لایه سطحی خاک) انجام شد. جدول (۲). رابطه شاخص NDVI با رطوبت حجمی لایه سطحی خاک ( $VSM^{16}$ ) را در طول دوره مطالعاتی نشان می‌دهد.

اطلاعات مطلوب، از شاخص‌های گیاهی استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، شاخص‌های پوشش گیاهی بیان‌های ساده ریاضی هستند که باندهای طیفی را ترکیب نموده و برای مشخص نمودن وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی در تصاویر بر مبنای ویژگی‌های طیفی به کار می‌روند. برای دستیابی به شاخص‌های گیاهی از دو یا چند باند تصویر استفاده می‌شود. این شاخص‌ها اغلب اطلاعات را از کانال‌های طیفی قرمز و مادون قرمز نزدیک استخراج می‌کنند و توسط بسیاری از محققین به منظور بررسی شرایط خشکسالی، رطوبت خاک، دمای سطح زمین و... مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه بسیاری از متخصصین سنجش از دور محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی را برای به دست آوردن اطلاعات از پوشش گیاهی و پایش رطوبت خاک مفید می‌دانند (علوی پناه، 1382؛ نجفی دیسفانی، 1377).

بازتاب تابش گیاهان در محدوده مادون قرمز نزدیک بیشتر از محدوده مرئی است. از این ویژگی برای شناسایی پوشش گیاهی استفاده می‌شود. شاخص‌های متعددی برای تعیین پوشش گیاهی با استفاده از تفاضل بازتاب تابش مادون قرمز نزدیک و مرئی ارائه شده است و بوسیله ماهواره‌هایی که دارای باندهای مرئی و مادون قرمز است قابل تعیین می‌گردد. از جمله شاخصی که کاربرد زیادی دارد، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) است و بصورت زیر تعیین می‌گردد:

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

در رابطه فوق:

$NDVI$  = شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی

$\rho_1, \rho_2$  = بازتاب باندهای ۱ و ۲ سنجنده Terra

مقدار این شاخص بین -۱ تا +۱ می‌باشد. هر چه پوشش گیاهی بیشتر باشد، مقدار این شاخص به سمت یک میل می‌کند و ارقام نزدیک صفر معرف اراضی بایر و فاقد پوشش گیاهی است. ارقام کمتر از صفر معرف پوشش ابری، برف و آب است زیرا در این پوشش‌ها برعکس پوشش گیاهی بازتاب تابش خورشید در محدوده مرئی بیشتر از مادون

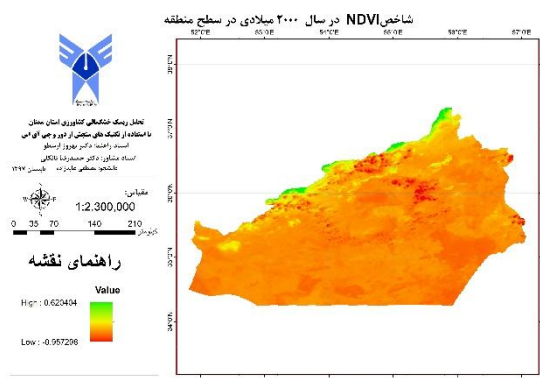
<sup>16</sup> Volumetric Soil Moisture

جدول (۲): مدل‌های برآورد رطوبت خاک با استفاده از NDVI و ضرایب مربوط به آزمون رگرسیون خطی ساده

و کارلتون (2001) در کرن بلت که در دو سایت جنگل و اراضی زراعی انجام شد، زمان تأخیر در پروفیل 1 متری خاک، بیش از 8 هفته به دست آمد. هر چه وابستگی به بارندگی بیشتر باشد، زمان تأخیر کوتاه تر خواهد بود.

در تحقیق انجام شده توسط وانگ (2005) در منطقه نیمه خشک نیومکزیکو در طول فصل رشد (می-آگوست)، در اعماق 10 و 20 سانتی متری پروفیل خاک، با افزایش زمان تأخیر (به ترتیب بیش از 50 و 30 روز)، ضرایب همبستگی بین NDVI و رطوبت خاک کاهش می یابد ولی در اعماق بیشتر خاک، برعکس این حالت اتفاق می افتد.

برای مقایسه داده های حاصل از مقادیر رطوبت خاک به دست آمده از نقاط نمونه برداری و نتایج حاصل از مدل های برآورد رطوبت لایه سطحی خاک آزمون t در سطح معنی داری 0/01 انجام شد و در تمامی مدل ها فرض صفر (اختلاف معنی داری بین رطوبت خاک مشاهداتی و به دست آمده از تصاویر (مدل) وجود ندارد) مورد تأیید قرار گرفت. نقشه های خروجی شاخص ماهواره ای پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) استان سمنان در زیر آمده است. شکل زیر:



شکل (۲): شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NDVI در تصویر

ماهواره ای سال 2000 میلادی در سطح استان سمنان

مدل	معادله	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> -adj	RMSE
1	NDVI = 42.735 + SM <sub>(0-5)</sub> - 4.896	0/73	0/54	0/53	3/60
2	NDVI = 41.675 + SM <sub>(0-5)</sub> - 4.292	0/75	0/56	0/55	4/12
3	NDVI = 50.588 + SM <sub>(0-10)</sub> - 5.704	0/74	0/55	0/54	4/2
4	NDVI = 62.843 + SM <sub>(0-15)</sub> - 7.236	0/76	0/57	0/56	4/5
5	NDVI = 55.164 + SM <sub>(0-20)</sub> - 5.219	0/73	0/54	0/53	4/66
6	NDVI = 58.074 + SM <sub>(0-25)</sub> - 5.236	0/68	0/47	0/46	5/64

بررسی مدل های ارائه شده در جدول (۲). بیانگر وجود همبستگی مثبت بین رطوبت حجمی لایه سطحی خاک و متوسط شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI-mean) در طول دوره مطالعاتی مورد نظری باشد. به طوری که با افزایش میزان رطوبت خاک، مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده افزایش می یابد و با کاهش آن کم می شود. با توجه به تجزیه و تحلیل های آماری فوق، مدل تأخیری 15 روزه (رابطه (۳)). به منظور برآورد رطوبت لایه سطحی خاک در این تحقیق مناسب تر تشخیص داده شد.

$$SM_{(0-15)} = -7.236 + 62.843 \text{ NDVI} \quad (۴)$$

مطالعات پیشین نشان داده است که NDVI عکس العمل تأخیرداری نسبت به رطوبت خاک دارد، که به دلیل عکس العمل تأخیردار گیاه به بارندگی با توجه به ذخیره رطوبتی خاک است. زمان تأخیر وابسته به نوع پوشش گیاهی و نحوه تأمین آب مورد نیاز گیاهان منطقه می باشد (آدکوک و کارلتون، 2001؛ وانگ و همکاران، 2001؛ سن نکابایل و همکاران، 2003 به نقل از وانگ، 2000 و فرار و همکاران، 1994).

برخی مطالعات نشان داده است که در جنگل ها و اراضی کشاورزی، NDVI به بارندگی بعد از سه ماه پاسخ می دهد (جاستایس و همکاران، 1986؛ ملو و نیچلسون، 1990؛ دون پورت و نیچلسون، 1993؛ فرار و همکاران، 1994؛ نیچلسون و فرار، 1994؛ وانگ، 2000؛ وانگ و همکاران، 2001). در تحقیقات آدکوک

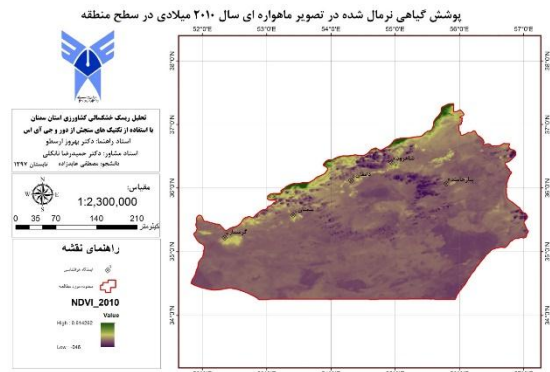
BT بدست آمده از تصاویر سنجنده مودیس در راستای دستیابی به بهترین مدل برآورد رطوبت لایه سطحی خاک، علاوه بر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، به این تحقیق اضافه شد. نتایج مدل رگرسیون خطی بین رطوبت خاک و شاخص های مختلف ماهواره ای در جدول (۳). آمده است. بررسی این مدل ها در محدوده مطالعاتی و دوره منتخب تحقیق نشان داد:

- میزان رطوبت خاک متأثر از دمای خاک است. با افزایش دمای خاک، رطوبت و دامنه تغییرات آن کاهش می یابد. این رابطه می تواند به عنوان عاملی مؤثر در برآورد میزان رطوبت خاک سطحی محسوب شود. در این تحقیق مدل رگرسیون خطی ساده نتوانسته است همبستگی معنی داری بین دمای سطح زمین (LST) و رطوبت لایه سطحی خاک ارائه دهد. آماره های خطای مطلق (جدول (۴-۷)). این مدل نیز بالاتر از سایر مدل های ارائه شده می باشد.

- اختلاف دمای درخشندگی باندهای 31 و 32 همبستگی منفی نسبتاً بالایی با رطوبت لایه سطحی خاک دارد. مقایسه ضریب تبیین این مدل (0/60) با مدل های NDVI و LST (ضرایب تبیین به ترتیب؛ 0/53 و 0/28) نشان داد؛ رابطه بین رطوبت خاک و اختلاف دمای درخشندگی باندهای حرارتی قویتر از رابطه NDVI و بخصوص LST با رطوبت لایه سطحی خاک است.

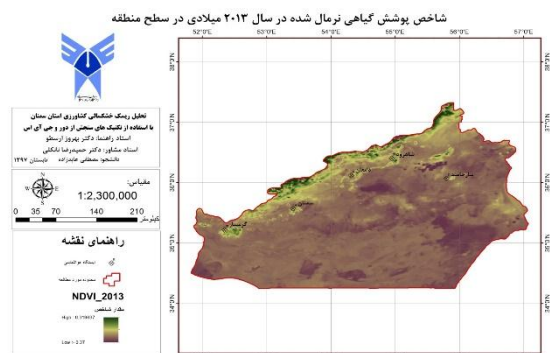
- مدل های به دست آمده از شیب رابطه TVX (شاخص دما/ پوشش گیاهی) توانسته است همبستگی بهتری با رطوبت خاک سطحی در مقایسه با سایر مدل ها ارائه دهد.

- مقایسه نمودارهای همبستگی بین رطوبت خاک مشاهده شده و به دست آمده از این مدل ها (جدول (۳)). و نیز آماره های خطای مطلق (دامنه تغییرات و انحراف معیار) (جدول (۴))، سه مدل آخر را بیش از



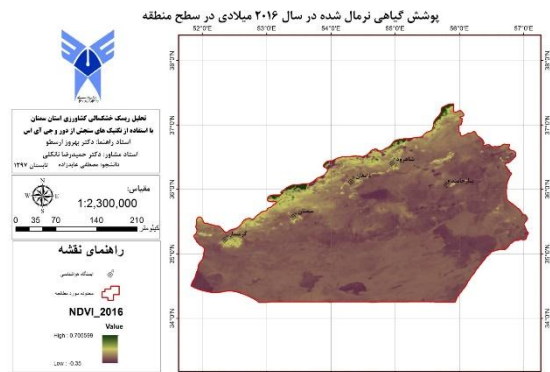
شکل (۳): شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NDVI در تصویر

ماهواره ای سال ۲۰۱۰ میلادی در سطح استان سمنان



شکل (۴): شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NDVI در تصویر

ماهواره ای سال ۲۰۱۳ میلادی در سطح استان سمنان



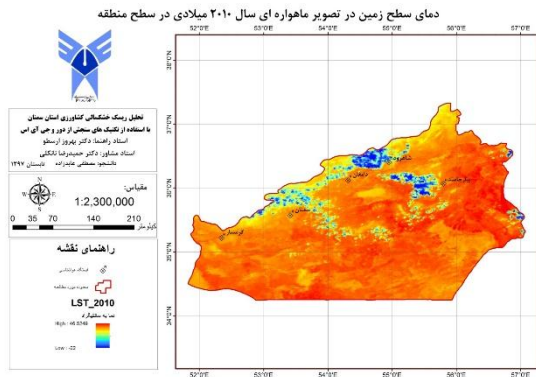
شکل (۵): شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NDVI در تصویر

ماهواره ای سال ۲۰۱۶ میلادی در سطح استان سمنان

### رابطه رطوبت خاک و شاخص های ماهواره ای

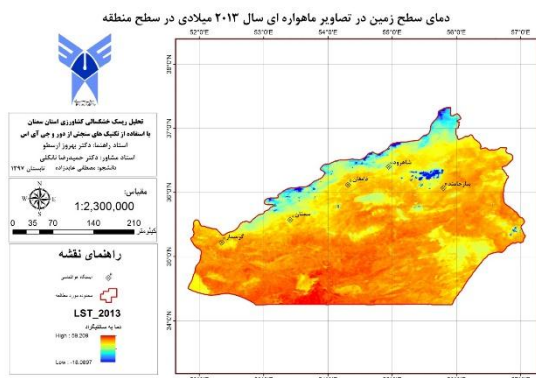
دمای سطح زمین (LST)، تفاضل دمای درخشندگی باندهای 31 و 32 (BT<sub>31-32</sub>) و شیب رابطه TVX (Slope-LST, Slope-BT<sub>31</sub>, Slope-<sub>32</sub>)،





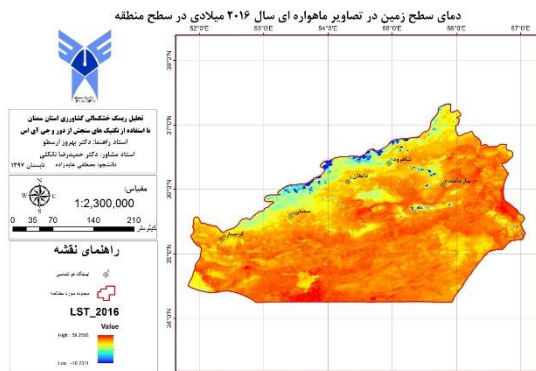
شکل (۷): شاخص دمای سطح زمین LST در تصویر ماهواره ای

سال ۲۰۱۰ میلادی در سطح استان سمنان



شکل (۸): شاخص دمای سطح زمین LST در تصویر ماهواره ای

سال ۲۰۱۳ میلادی در سطح استان سمنان



شکل (۹): شاخص دمای سطح زمین LST در تصویر ماهواره ای

سال ۲۰۱۶ میلادی در سطح استان سمنان

جدول (۴): خلاصه پارامترهای آماری خطای برآورد مدل ها

در روابط تعیین رطوبت لایه سطحی خاک

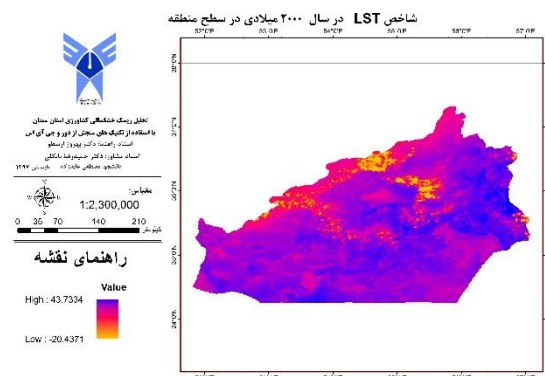
بقیه مدل ها برای به دست آوردن رطوبت لایه سطحی خاک تأیید می کند.

جدول (۳): ضرایب همبستگی بدست آمده از رابطه شاخص

های ماهواره ای و رطوبت لایه سطحی خاک

مدل	معادله	R <sup>2</sup> -adj	RMSE
1	SM <sub>0</sub> = -4.896+42.735 NDVI	0/53	3/6
2	SM <sub>0</sub> =99.945-0.306 LST	0/28	4/48
3	SM <sub>0</sub> =13.887-6.669 BT <sub>(31-32)</sub>	0/60	3/33
4	SM <sub>0</sub> =19.089+0.3 Slope-LST	0/72	2/79
5	SM <sub>0</sub> =18.756+0.294 Slope-BT <sub>31</sub>	0/682	2/97
6	SM <sub>0</sub> =18.446+0.289 Slope-BT <sub>32</sub>	0/678	2/99

شاخص LST (دمای سطح زمین) در مقایسه با سایر شاخص های مورد بررسی، با توجه به مطالب ذکر شده، برای ارزیابی رطوبت لایه سطحی خاک دارای اهمیت بیشتری بوده و بدین جهت مورد استفاده قرار گرفت. نقشه های خروجی شاخص ماهواره ای دمای سطح زمین (LST) استان سمنان در زیر آمده است. شکل زیر:



شکل (۶): شاخص دمای سطح زمین LST در تصویر ماهواره ای

سال 2000 میلادی در سطح استان سمنان

$$Z_i = \text{SPI}_i = P_i - P / S_p \quad (5)$$

که  $P_i$ : مجموع بارندگی ایستگاه در فصل رشد گیاهان در سال  $i$  (میلی‌متر)؛  $P$  و  $S_p$ : به ترتیب برابر مقدار میانگین و انحراف از معیار (میلی متر) داده‌های بارندگی ایستگاه در فصل رشد گیاهان است.

مقدار استاندارد شده مجموع بارندگی فصل رشد هر ایستگاه هواشناسی در یک سال معین (در اینجا برابر شاخص هواشناسی SPI فصل رشد در سال معین)، براساس رابطه (۴). محاسبه شد. سپس نقشه رستری SPI استان سمنان برای هر سال با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی در نرم افزار ArcGIS، ENVI (مناسب‌ترین روش منتخب برای این پژوهش) استخراج شد و با استفاده از جدول (5) بار دیگر طبقه‌بندی شدند. به گفته دیگر، نقشه رستری کلاس‌های شدت خشکسالی در فصل رشد گیاهان برای هر سال (شامل پنج کلاس شدت) به دست آمد. براساس داده‌های بارندگی ماهانه سنجنده MODIS به روش مشابه، نقشه کلاس‌های شدت خشکسالی استان سمنان برای سال‌های متوالی استخراج شد.

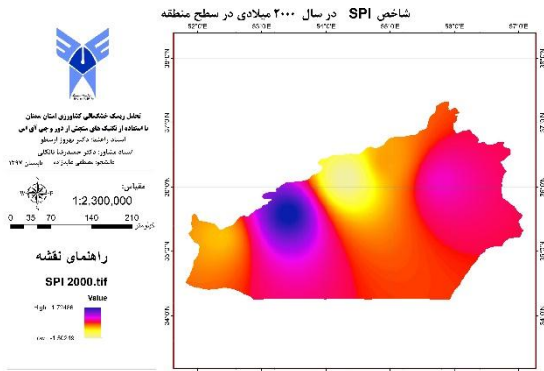
جدول (5): کلاس‌های شدت خشکسالی در روش شاخص  $Z$  (توزیع نرمال استاندارد)

نقشه‌های رستری به دست آمده با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی و SPI فصل رشد

مدل	حداکثر	آماره‌های خطای مطلق	
		خطای	خطای
1	54/	مقدار شاخص	کلاس شدت خشکسالی
2	04/13	$> 0$	خشکسالی (نرمال یا تر از آن)
3	20/9	$-0/99$	خشکسالی اندک
4	61/7	$-1/49$	خشکسالی متوسط
5	55/7	$-1/99$	خشکسالی شدید
6	04/7	$< -2/30$	خشکسالی خیلی شدید

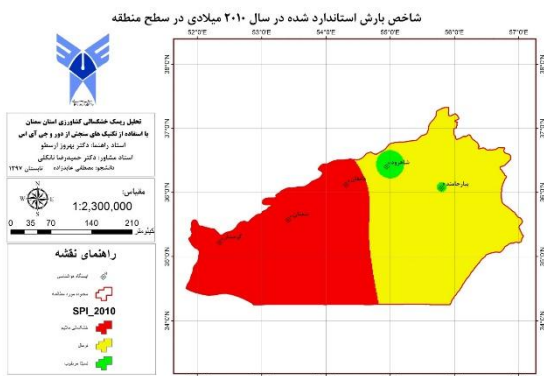
### شاخص بارش استاندارد شده SPI در ایستگاه‌های منتخب استان

با استفاده از داده‌های ماهانه بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی، مقدار مجموع بارندگی در فصل رشد گیاهان استان سمنان (آوریل - سپتامبر) برای هر ایستگاه در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۷ محاسبه شد. سپس در هر ایستگاه، مقدار میانگین و انحراف معیار بارندگی همان فصل در دوره آماری مذکور محاسبه شد. در پژوهش حاضر، نتایج آزمون آماری کلموگروف - اسمیرنوف برای متغیر مجموع بارندگی فصل رشد در یک دوره سی ساله، منتهی به سال ۲۰۱۷ برای تمام ایستگاه‌ها، نشان داد که این متغیر (بارندگی فصل رشد) در تمام ایستگاه‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کند. از سویی با توجه به محدودیت زمانی محصولات سنجنده MODIS (۲۰۰۰-۲۰۱۷)، فرض شده است که سری داده‌های بارندگی شش ماهه ایستگاه‌ها در دوره آماری نیز، از توزیع نرمال استاندارد  $Z$  پیروی کرده و این شاخص را می‌توان معادل یا هم‌ارز شاخص هواشناسی SPI فصل رشد گیاهان فرض کرد، ولی در دوره‌های زمانی ماهانه، به خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک، شاخص هواشناسی SPI را باید برآورد کرد. براساس توزیع گمبل (گیزاچوا، ۲۰۱۰) برآورد کرد.



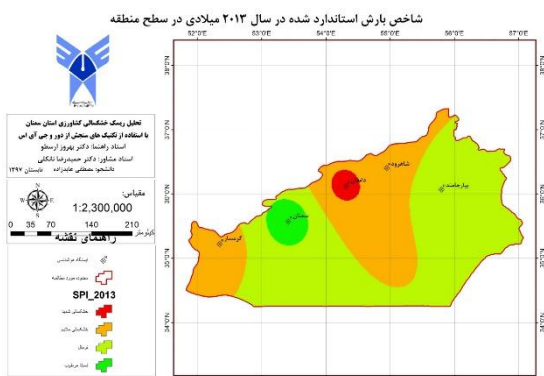
شکل (10): شاخص بارش استاندارد شده SPI در سال 2000

میلادی در سطح استان سمنان



شکل (11): شاخص بارش استاندارد شده SPI در سال ۲۰۱۰

میلادی در سطح استان سمنان



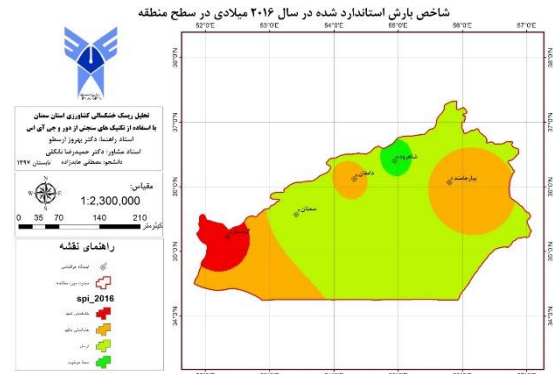
شکل (12): شاخص بارش استاندارد شده SPI در سال ۲۰۱۳

میلادی در سطح استان سمنان

گیاهان(مبتنی بر داده های بارندگی مشاهده ای ایستگاه ها) را در استان سمنان نشان می دهد. مطابق این نقشه ها، در سال های ۲۰۱۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷، این منطقه خشک ترین سال ها را تجربه کرده است. با توجه به شاخص SPI، در سال 2000 (در فصل رشد گیاهان) 3/19، 57/73، 35/7 و 2/97 درصد از کل منطقه، به ترتیب تحت تأثیر بدون خشکسالی، خشکسالی اندک، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی

خیلی شدید بوده است. در سال ۲۰۰۰، 7/18، 92/82 درصد از منطقه مورد مطالعه، به ترتیب بدون خشکسالی و خشکسالی اندک را نشان می دهند. درصد مساحتی از استان سمنان که تحت تأثیر پنج کلاس مذکور هستند، در سال 2005 به ترتیب برابر 0/35، 2/6، 96/8 و 0/25 و صفر درصد و در سال 2008 به ترتیب برابر 4/15، 95/08، 0/75 و 0/1 و صفر درصد است. نقشه شاخص خطر خشکسالی نشان می دهد که مناطق شمالی استان از خطر خشکسالی بیشتری برخوردار بوده و در حرکت به سمت جنوب و غرب استان مورد مطالعه از شدت خطر خشکسالی کاسته می شود، بیشترین خطر در مناطق جنوبی یافت می شود که در حرکت به سمت شمال منطقه مورد مطالعه از شدت خطر خشکسالی کاسته می شود. بیشترین درصد منطقه تحت پوشش خطر خشکسالی متوسط (۶۲/۴۶ درصد) و خیلی شدید (۵۳/۱۲ درصد) است. براساس نقشه تقسیمات واحد شهرستان، خطر خشکسالی نشان می دهد که شهرستان مهدیشهر دارای بالاترین خطر خشکسالی بوده و شهرستان های آرادان و گرمسار کم خطر ترین شهرستان ها از نظر خشکسالی در استان می باشند. همچنین خطر خشکسالی در شهرستان های سمنان، سرخه و آرادان در طبقه با خشکسالی خیلی شدید قرار گرفته و شهرستان میامی در طبقه خشکسالی کم قرار گرفته است. نقشه های خروجی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و مجموع بارش سالیانه استان سمنان در زیر آمده است. شکل زیر:

که در کلاس های مذکور تحت تأثیر خشکسالی بوده اند، در سال 2000 به ترتیب برابر 3/94، 52/36، 42/05، 1/65 درصد کل منطقه، در سال 2005، به ترتیب برابر 13/76، 60/64، 25/6، صفر درصد از استان سمنان و در سال 2008، به ترتیب برابر 8/97، 51/51، 39/52 و صفر درصد منطقه بوده است. بیانگر انطباق مناسب بین ماهواره Terra و داده های زمینی در تشخیص وقوع خشکسالی است. از آن جایی که لایه رستری SPI مبتنی بر Terra، دارای اطلاعات پیوسته ای از منطقه است، نسبت به لایه رستری SPI زمینی که با استفاده از روش زمین آماری و بر مبنای ۵ ایستگاه باران سنجی به دست آمده، از خطای کمتری برخوردار است. نقشه های خروجی مجموع بارش سالیانه استان سمنان در زیر آمده است: شکل زیر:



شکل (13): شاخص بارش استاندارد شده SPI در سال ۲۰۱۶

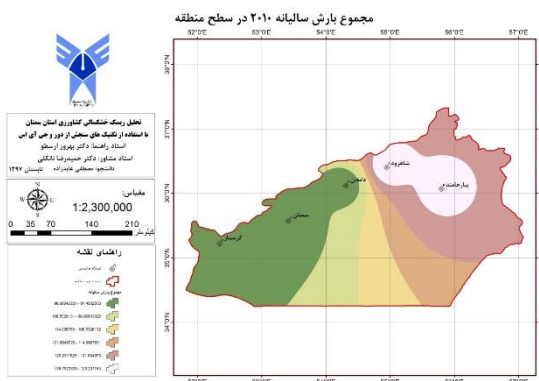
میلادی در سطح استان سمنان

اعتبارسنجی داده های بارندگی سنجنده MODIS ماهواره Terra با استفاده از معیارهای آماری خطا و مقایسه مقادیر برآورد شده ماهواره و مقادیر مشاهده ای در هر ایستگاه و میانگین بارندگی منطقه در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه انجام گرفت. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که بیشترین میزان همبستگی در مقیاس فصلی (0/95) است. کمترین مقدار RMSE در مقیاس ماهانه و بزرگترین مقدار آن در مقیاس سالانه است. مقدار میانگین خطا نیز هرچه به عدد صفر نزدیکتر باشد، بیانگر مشابهت بیشتر مقادیر برآوردی و مشاهده ای است. نتایج مقیاس ماهانه، Terra کارایی قابل قبول آن را بیان می کند. بنابراین مقادیر بارندگی دوره فصل رشد گیاهان در هر ایستگاه، از جمع مقادیر ماهانه ماهواره Terra برآورد شد. جدول (6).

جدول (6): میانگین معیارهای خطا در مرحله اعتبارسنجی داده های

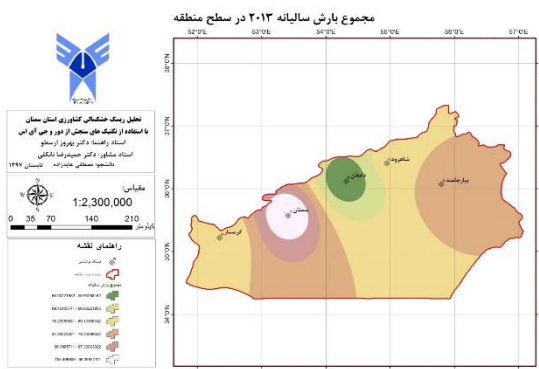
Terra برای تمام ایستگاه های انتخابی

مقیاس زمانی	ME	RMSE	R <sub>c</sub>	R <sub>s</sub>
ماهانه	-۴/۲۳	۵/۳	+۰/۸۳	+۰/۹۱
فصلی	-۱۰/۷۲	۱۲/۸	+۰/۸۹	+۰/۹۵
سالانه	-۵۰/۷۶	۲۰/۵	+۰/۶۷	+۰/۸۲



شکل (13): مجموع بارش سالیانه در سال ۲۰۱۰ میلادی در سطح

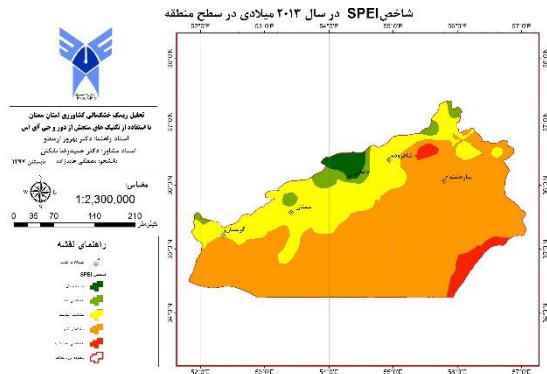
استان سمنان



شکل (14): مجموع بارش سالیانه در سال ۲۰۱۳ میلادی در سطح

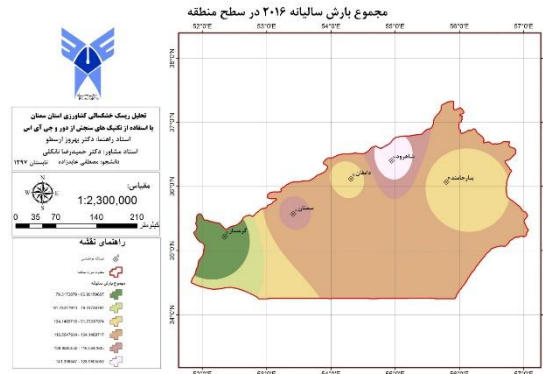
استان سمنان

در سال های 2010، 2013، 2016 و 2017، خشکسالی در فصل رشد گیاهان، سطح گسترده ای از استان سمنان را فراگرفته است. در این سال ها خشکسالی کمابیش کل استان را تحت تأثیر قرار داده است. درصد مساحتی از استان



شکل (17): شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده SPEI در سال

۲۰۱۳ میلادی در سطح استان سمنان



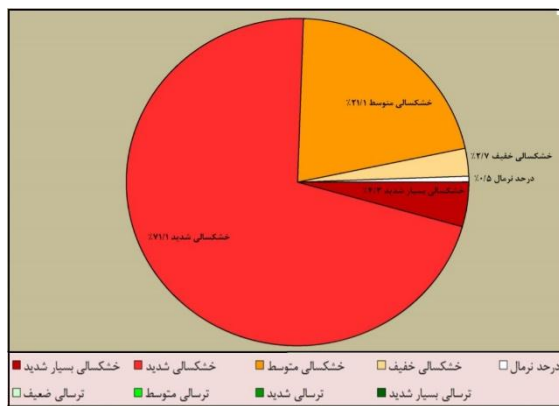
شکل (15): مجموع بارش سالیانه در سال ۲۰۱۶ میلادی در سطح

استان سمنان

### پهنه بندی خشکسالی در سطح استان سمنان

#### براساس شاخص SPEI

مطابق این نقشه ها و جدول مربوطه ۹۹/۴ درصد مساحت استان سمنان دچار خشکسالی است که شامل خشکسالی خفیف، متوسط، شدید و بسیار شدید می باشد. عمده ترین پهنه های خشکسالی شدید و بسیار شدید ۸۴ ماهه در شهرستان های شاهرود، سرخه، سمنان، آرادان، گرمسار و میامی دیده می شود. نقشه های خروجی شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) استان سمنان در زیر آمده است. شکل زیر:

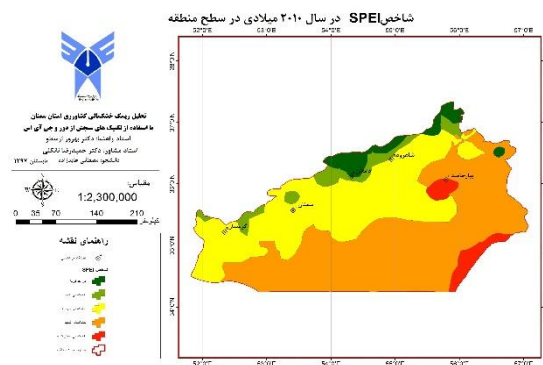


شکل (18): درصد مساحت تحت تاثیر خشکسالی براساس شاخص

SPEI دوره ۱۷ ساله در سطح استان سمنان

### محاسبه نقشه تحلیل ریسک خشکسالی

برای تهیه نقشه ریسک خشکسالی، از مفهوم فراوانی (احتمال وقوع) خشکسالی استفاده شد. به منظور محاسبه فراوانی خشکسالی در هر پیکسل، ابتدا لایه های رستری آنومالی NDVI و SPI طبقه بندی دودویی (بولین) شدند. بر مبنای تعریف، به هر پیکسل که دارای مقدار SPI یا درصد آنومالی برابر یا بزرگتر از صفر باشد، مقدار صفر (به منزله وقوع ترسالی) و در غیر این صورت، مقدار یک (به منزله وقوع خشکسالی) اختصاص داده شد. بنابراین در هر سال، یک لایه صفر-یک (بولین) براساس روش SPI و یک لایه صفر-یک (بولین) براساس روش آنومالی



شکل (16): شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده SPEI در سال

۲۰۱۰ میلادی در سطح استان سمنان

شد. گفتنی است، به دلیل محدودیت دانداده‌های ماهواره ای، عدد ۹ به منزله حداکثر فراوانی در نظر گرفته شده است. با توجه به دور آماری ۱۷ ساله، احتمال وقوع 0 تا 0/15 به منزله عدم خشکسالی، 0/15 تا 0/3 به معنای خشکسالی اندک، 0/3 تا 0/46 تا نماینده خشکسالی متوسط، 0/46 تا 0/76 نشان دهنده خشکسالی شدید و 0/76 تا 1 بیانگر خشکسالی خیلی شدید است.

نقشه ریسک خشکسالی، از ترکیب وزنی خطی نقشه‌های احتمال وقوع خشکسالی SPI و شاخص آنومالی NDVI به دست می‌آید. در پژوهش حاضر به نقشه‌های به دست آمده از هر روش، وزن 0/5 (اهمیت یکسان) اختصاص داده شده است.

نقشه‌های ریسک خشکسالی استان سمنان براساس ترکیب روش SPI مبتنی بر داده‌های زمینی و آنومالی NDVI و ترکیب روش SPI مبتنی بر داده‌های TERRA و آنومالی NDVI نشان می‌دهد که، استان سمنان به چهار منطقه خطرپذیر از نظر خشکسالی (شامل خطر کم، متوسط، شدید و خیلی شدید) طبقه بندی شده است. احتمال وقوع کلاس‌های خطر کم تا خیلی زیاد، به ترتیب برابر 0/15 تا 0/3، 0/3 تا 0/46، 0/46 تا 0/76 و 0/76 تا 1 است. نقشه ریسک نشان می‌دهد که در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷، بخش گسترده‌ای از استان سمنان در مناطق شمالی و جنوبی استان (حدود ۷۱/۲ درصد)، در معرض خطر شدید خشکسالی قرار گرفته است. همچنین بخش کوچکی از سطح استان (قسمت‌هایی از شمال شرقی و جنوب شرقی) در معرض خطر خیلی شدید خشکسالی قرار دارد. بخش مرکزی استان با مساحتی حدود 39/8 درصد، خطر خشکسالی متوسط را تجربه کرده است. براساس نقشه ریسک به دست آمده ازداده‌های ماهواره ای TERRA و MODIS، درصد مساحت مربوط به کلاس‌های خطر نرمال، خفیف، متوسط، شدید و خیلی شدید، به ترتیب برابر 0/5، ۲/۷، ۲۱/۱، ۷۱/۱ و ۴/۳ درصد از کل استان است. نقشه‌های ریسک از هر دو روش در بیشتر مناطق استان سمنان با هم مطابقت دارند.

NDVI تهیه شد. به گفته دیگر در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷، به تعداد ۱۷ لایه صفر-یک (1 و 0) بر اساس روش SPI و ۱۷ لایه صفر-یک (1 و 0) بر اساس روش آنومالی NDVI استخراج شد. اگر مقدار یک پیکسل در ۱۷ لایه برابر 1 باشد، به این معناست که در تمام سال‌ها خشکسالی در آن رخ داده است، هرچند شدت خشکسالی در سال‌های مختلف، متفاوت باشد.

در رابطه زیر DRI شاخص ریسک، DHI شاخص خطر و DVI شاخص آسیب پذیری می‌باشد که با ضرب کردن دو لایه خطر خشکسالی و آسیب پذیری به خشکسالی، نقشه ریسک خشکسالی به دست آمد. روی نقشه به دست آمده طبقه بندی دوباره انجام گرفت که در نهایت ریسک خشکسالی بر اساس نقاط شکست به ۴ طبقه ریسک کم، متوسط، بالا و خیلی بالا تقسیم بندی شد.

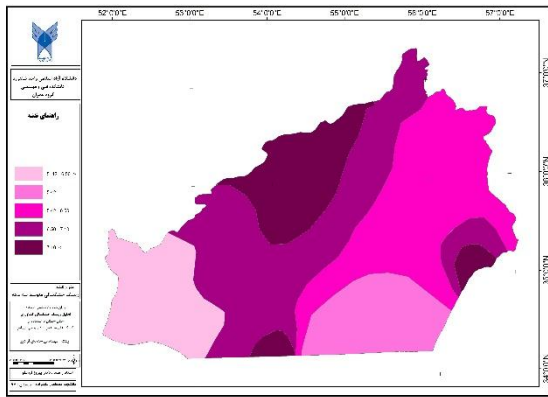
$$DRI = DHI \times DVI \quad (۶)$$

جدول (7): طبقات تعریف شده برای DHI

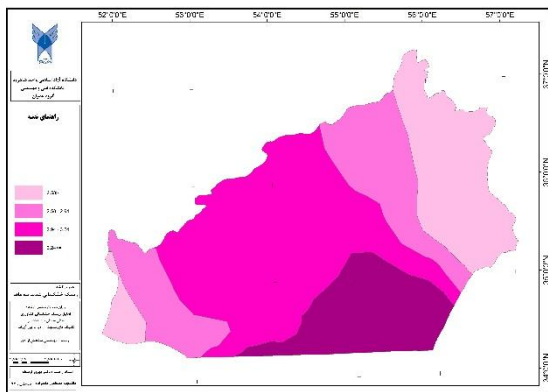
کم	متوسط	شدید	خیلی شدید
0 - 0/25	0/25 - 0/50	0/50 - 0/75	0/75 - 1

در مرحله بعد با جمع لایه‌های صفر-یک در هر روش، نقشه فراوانی وقوع خشکسالی در دوره ۱۷ ساله آماری به دست آمد. با توجه به تعریف گونفا (1996)، احتمال وقوع خشکسالی در یک منطقه مشخص را می‌توان به احتمال وقوع کم، متوسط و زیاد طبقه بندی کرد. بدین معنا که اگر خشکسالی در بیش از 50 درصد دوره آماری رخ داده باشد، احتمال وقوع خشکسالی زیاد؛ اگر وقوع خشکسالی در 30 تا 50 درصد دوره باشد، احتمال وقوع خشکسالی متوسط و اگر خشکسالی در کمتر از 30 درصد اتفاق افتاده باشد، به معنای احتمال کم است. بر این اساس، برای هر روش نقشه ریسک یا خطر خشکسالی (2-0 عدم خشکسالی، 3-2 خشکسالی اندک، 4-3 خشکسالی متوسط، 6-4 خشکسالی شدید و 9-6 خشکسالی خیلی شدید) به دست آمد.

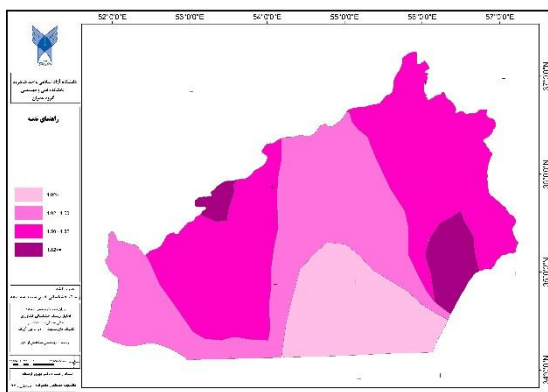
با ترکیب وزنی خطی نقشه‌های فراوانی به دست آمده از دو روش، نقشه نهایی ریسک خشکسالی استان سمنان تهیه



شکل (20): نقشه ریسک خشکسالی متوسط (۳ ماهه)



شکل (21): نقشه ریسک خشکسالی شدید (۳ ماهه)



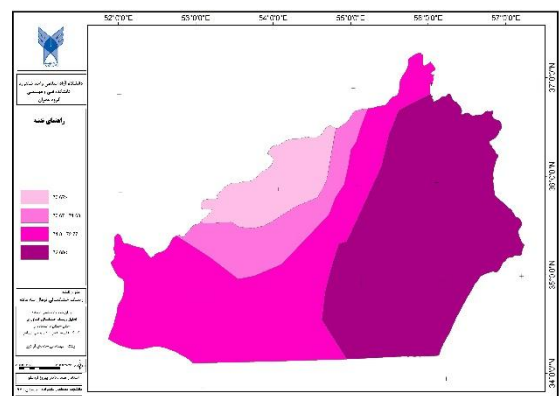
شکل (22): نقشه ریسک خشکسالی خیلی شدید (۳ ماهه)

درگام زمانی ۳ ماهه ریسک خشکسالی شدید شکل (21). نشان می دهد که مناطق جنوبی بیشتر در معرض وقوع خشکسالی شدید قرار دارد و در حرکت از مناطق مرکزی به سمت شرق و غرب منطقه از میزان فراوانی آن کاسته می شود. ریسک خشکسالی خیلی شدید شکل (22). نشان می دهد که مناطق جنوبی و غربی منطقه دارای کمترین فراوانی وقوع خشکسالی خیلی شدید بوده و بخش هایی در مرکز، شمال و شرق منطقه دارای فراوانی وقوع خشکسالی زیاد هستند.

در گام زمانی ۱۲ ماهه ریسک خشکسالی شدید شکل (25). نشان می دهد که مناطق مرکزی و شرقی بیشتر در معرض وقوع خشکسالی شدید قرار دارد و در حرکت به سمت غرب منطقه از میزان فراوانی آن کاسته می شود.

ریسک خشکسالی خیلی شدید شکل (26). نشان می دهد که مناطق غربی منطقه دارای بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی خیلی شدید بوده و در حرکت به سمت شرق منطقه مورد مطالعه از میزان فراوانی آن کاسته می شود.

نقشه های ریسک خشکسالی شدید گام های زمانی ۳ و ۱۲ ماهه اشکال (21) و (25). نشان داد که این نقشه ها از الگوی مکانی پراکنش مشابهی برخوردارند، به گونه ای که مراکز مرکزی استان در خشکسالی شدید و خیلی شدید قرار گرفته و در حرکت از مرکز به سمت شرق و غرب استان از شدت وقوع کاسته می شود و با شدت وقوع کم ظاهر می شود و همچنین میزان منطقه قرار گرفته شدید و خیلی شدید نسبت به نرمال و متوسط قابل ملاحظه است.

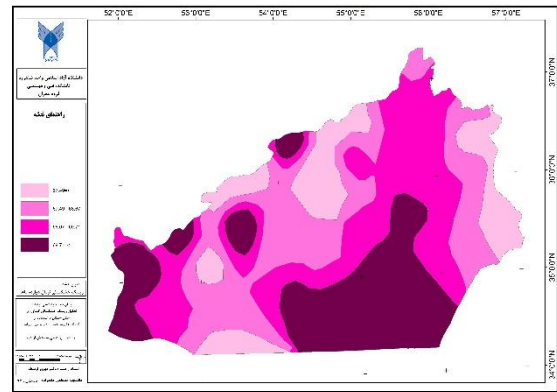


شکل (19): نقشه ریسک خشکسالی نرمال (۳ ماهه)

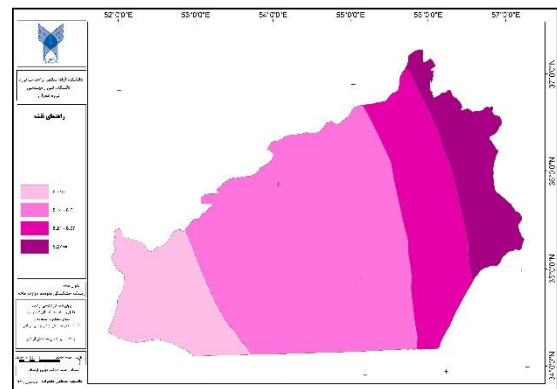
### بحث و نتیجه گیری

مهمترین گام در مدیریت خشکسالی به عنوان یک مخاطره جوی شناخت پدیده از ابعاد مختلف است. با توجه به دامنه وسیع تر خشکسالی در بخش های مختلف می بایست توزیع فضایی آن را مد نظر قرار داد. رخداد های کوتاه مدت مسلما نتایج قابل استنادی را برای مدیریت و تصمیم سازی در اختیار نمی گذارند و می بایست در بازه های مختلف آن را مد نظر قرار داد. با وجود آن که بارش در مارس ۲۰۱۶ به مقدار قابل توجهی رسیده است ولی این به مفهوم خروج از خشکسالی نیست. بنا به تعریف شاید بتوان شرایط اقلیمی مناسب را در کوتاه مدت تعریف کرد ولی همان طور که در نقشه ها مشاهده می شود هر چقدر دوره زمانی به سمت بلند مدت می رود آثار خشکسالی بیشتر و بیشتر می شود. و آن چه که قابل توجه و مهم است گستره وسیع خشکسالی در دراز مدت است، که بنا به تعریف بیشترین تاثیر آن بر منابع آب است. دیگر نکته حائز اهمیت افزایش پهنه های خشکسالی های شدید در بازه های زمانی طولانی بر روی کاربری های کشاورزی و منابع طبیعی است. همچنین نقاط متراکم جمعیتی در دوره های بلند مدت در معرض خشکسالی قرار گرفته اند.

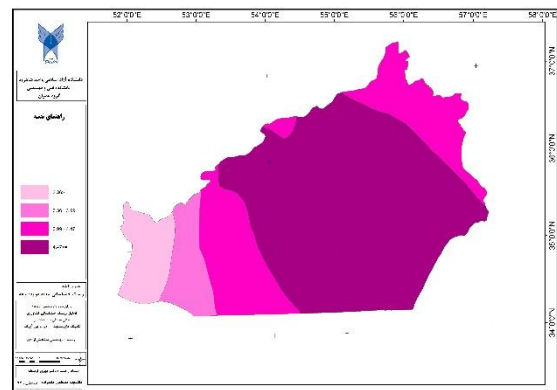
تحقیق حاضر، تغییرات مکانی پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین ناشی از خشکسالی در قالب شاخص های (NDVI)، (LST)، (SPI)، (SPEI) را در استان سمنان بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ را نشان می دهد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین متفاوت بوده و تابع عوامل مختلفی مانند ماه، نوع و خصوصیات پوشش گیاهی و شرایط دمایی آن ها است. شاخص NDVI یکی از شاخص های خشکسالی است که به صورت وسیعی در پایش و ارزیابی خشکسالی مورد استفاده قرار می گیرد. این شاخص توانایی نمایش اثرات خشکسالی هم بر پوشش گیاهی و هم بر درجه حرارت سطح زمین را داراست. نتایج نقشه های حاصل از شاخص NDVI نشان می دهد که سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ به عنوان سال های با شدت خشکسالی بیشتر و سال های



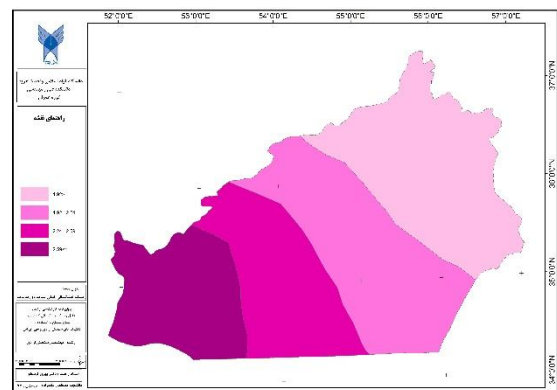
شکل (23): نقشه ریسک خشکسالی نرمال (۱۲ ماهه)



شکل (24): نقشه ریسک خشکسالی متوسط (۱۲ ماهه)



شکل (25): نقشه ریسک خشکسالی شدید (۱۲ ماهه)



شکل (26): نقشه ریسک خشکسالی خیلی شدید (۱۲ ماهه)



میانگین مربعات خطاها (RMSE)، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، تفاوت دمای درخشندگی باندهای 31 و 32 و شیب رابطه TVX (شاخص دما/پوشش گیاهی) به عنوان متغیرهای مؤثر در برآورد خشکسالی کشاورزی تشخیص داده شدند.

- شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) با میزان خشکسالی کشاورزی همبستگی مثبت و معنی داری از لحاظ آماری نشان داد.

- با توجه به نمودارها و جداول ارائه شده در قسمت نتایج تفاوت دمای روشنایی (درخشندگی) باندهای 31 و 32 و شیب رابطه TVX با میزان خشکسالی کشاورزی دارای همبستگی منفی و معنی داری از لحاظ آماری است.

- مدل های همبستگی حاصل از روابط بین رطوبت خاک و پارامترهای تصویری، قابلیت های زیادی برای برآورد خشکسالی کشاورزی نشان دادند.

این که علاوه بر متغیرهای به کار رفته در مدل ها، کدام متغیرهای دیگر قابل استخراج از تصاویر ماهواره ای، می توانند نقش تعیین کننده ای در تخمین خشکسالی کشاورزی داشته باشند، سوالی است که با تحقیقات در سطح وسیع تر و با تکرار بیشتر می توان به آن پاسخ داد.

### پیشنهادات

با توجه به نتایج کسب شده در این مطالعه و احساس نیاز به تحقیق بیشتر در این زمینه، برای ادامه تحقیق موارد زیر قابل طرح می باشند:

- توسعه مدل با بررسی طیف بیشتری از شاخص های ماهواره ای.

- توسعه تحقیق برای مناطق با پوشش های گیاهی دیگر و به خصوص مناطق زراعت آبی با اعمال اثر آبیاری ها.

۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ به عنوان سال های با کمترین درجات شدت خشکسالی بوده اند.

بررسی شاخص LST در دوره مطالعه نشان می دهد که در سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ شرایط دمایی در استان مطلوب است. در سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ مطلوب ترین شرایط دمایی در استان دیده می شود. در سال های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ شدیدترین شرایط دمایی در استان برقرار است. همچنین بیشترین درصد مساحت مربوط به طبقه بدون خشکسالی (۵۶ درصد) و کمترین مربوط به طبقه خشکسالی خیلی شدید (۲ درصد) بوده است.

در مطالعه حاضر شاخص های بارش استاندارد شده (SPI) و بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در استان سمنان مورد محاسبه و مقایسه قرار گرفت که شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریع تری نسبت به خشکسالی نشان داد. به طور کلی تعیین و ارزیابی عوامل و فرآیندهای مؤثر بر خشکسالی و چگونگی تأثیر آن ها بر شرایط خشکسالی بسیار سخت خواهد بود. همچنین تغییرات در شدت بارش می تواند نسبت رواناب به بارش (ضریب رواناب) را تغییر دهد که موجب تغییر بیلان آب و رژیم هیدرولوژیک می گردد. این پیچیدگی ها نشان می دهد که تحقیقات خشکسالی به ویژه با در نظر گرفتن فرآیند گرم شدن زمین با ابداع شاخص هایی که توانایی پایش خشکسالی را براساس پارامترهای مؤثر داشته باشند الزامی است. ۹۹/۴ درصد مساحت استان سمنان دچار خشکسالی است که شامل خشکسالی خفیف، متوسط، شدید و بسیار شدید می باشد. عمده ترین پهنه های خشکسالی شدید و بسیار شدید ۸۴ ماهه در شهرستان های شاهرود، سرخه، سمنان، آرادان، گرمسار و میامی دیده می شود. بدین ترتیب تحقیقات بیشتر در زمینه شاخص معرفی شده پیشنهاد می گردد. مهمترین یافته های این تحقیق را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- با بررسی مقادیر پارامترهای آماری استفاده شده در این تحقیق از قبیل ضریب تبیین ( $R^2$ ) و مجذور

پور اصغر، ف.، 1382. بررسی توزیع دما در سطح دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌های، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

شاهرخی، م.، 1382. تصحیح هندسی تصاویر سنجنده MODIS با استفاده از پارامترهای مداری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

علی اصغرزاده، ح.، و ثنایی نژاد، س.ج.، 1385. تخمین تبخیر- تعرق گیاهان با استفاده از داده‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوضه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه.

کریمیان، آ.، و افخمی، م.، 1385. کشاورزی صحیح با بهره‌گیری از تکنولوژی GIS و RS گامی در جهت توسعه پایدار زیست محیطی. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، جلد اول، 361-366.

گودرزی فراهانی، ن.، 1383. تحلیل درجه حرارت بیابان لوت با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس از ماهواره ترا، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

موقتی، س.، 1382. بررسی امکان سنجش آلودگی هوای تهران با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

یارمحمدی، پ.، ۱۳۸۴ لزوم بکارگیری توأم سیستمهای اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در پایش خشکسالی‌های خشکی و خشکسالی کشاورزی، شماره ۱۸.

شایگان، مهران ۱۳۸۱، تجزیه و تحلیل ریسک خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS مطالعه موردی: قوچان حوضه - شیروان پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

ارسطو، بهروز ۱۳۹۲، برآورد شاخص خشکسالی اقلیمی با استفاده از شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی در پوشش اراضی مختلف در استان سمنان، اولین همایش ملی کاربرد علوم و فناوری‌های نوین در کشاورزی و منابع طبیعی، میبد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.

- انجام تحقیق برای موقعیت های اقلیمی دیگر در کشور.

- استفاده از داده های راداری برای برآورد رطوبت لایه سطحی خاک.

- استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا نظیر TM، MSS و ASTER (به دلیل بزرگ بودن پیکسل های تصاویر مودیس در مقایسه با اغلب واحدهای کاربری و افزایش دقت کار به خصوص در مناطقی با پوشش سطحی ناهمگن).

- استفاده از تعداد تصاویر بیشتر و بهره برداری از تجهیزاتی از قبیل رادیومتر برای اندازه گیری و ثبت بازتاب ها و تصحیح دقیق ترائثات اتمسفری.

- استفاده از آنالیز حساسیت برای الویت بندی پارامترهای موجود در مدل بر اساس میزان تأثیر آن ها در خروجی مدل (با این عمل می توان وقت و هزینه بیشتری را جهت افزایش دقت پارامترهایی که بیشترین تأثیر را در مدل دارا می باشند، صرف کرد).

- توسعه تحقیق برای یک دوره طولانی جهت ارائه مدلی مناسب برای پیش بینی خشکسالی کشاورزی.

- بررسی ارتباط انحراف از LST و رطوبت لایه سطحی خاک در تحقیقی مشابه.

- توسعه تحقیق در اعماق مختلف خاک برای سایر پوشش های گیاهی.

## منابع:

بی نام 1367. آموزش فن سنجش از دور در ایران، امور آموزش مرکز سنجش از دور ایران.

بی نام، 1384. طرح پایش خشکسالی ایران با استفاده از داده های هواشناسی و تصاویر ماهواره ای. شرکت ساجاب گستر. سازمان جنگل ها و منابع طبیعی.

- Doraiswamy, P.C., Hatfield, J.L., Jackson, T.J., Akhmedov, B., Prueger, J., and Stern, A., 2004. Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 92, 548-559.
- Dozier, J., and Wan, Z., 1994. Development of practical multiband algorithms for estimating landsurface temperature from EOS/MODIS data. *International GeoScience and Remote Sensing Symposium*, 4: 2765-2767.
- EL-Kharraz, J. Sobrino, J. Jimenez-Munoz, G. Soria, M. Gomez, M. Romaguera, and M. Luis, 2003. land surface temperature and NDVI time series derived from NOAA-Pathfinder images and reanalysis data over the Mediterranean basin.
- Farrar, T. J., Nicholson, S. E., and Lare, A. R., 1994. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana. II. NDVI response to soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 50:121133.
- Forough Beik and Saradjian, M. Reza, 2003. Emissivity Determination for Land Surface Temperature estimation of Iran using AVHRR Thermal Infrared Data.
- Goetz, S. J., 1997. Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site. *International Journal of Remote Sensing*, 18 (1), 71- 94.
- Leblon, B., 1995. SOIL AND VEGETATION OPTICAL PROPERTIES. *Remote Sensing and GIS laboratory, Faculty of Forestry and Environmental Management, University of New Brunswick, Fredericton (NB), Canada, E3B 6C2.*
- Nicholson, S. E., & Farrar, T. J., 1994. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid. Botswana: I. NDVI response to rainfall. *Remote Sensing of Environment*, 50, 107- 120.
- ارسطو، بهروز ۱۳۷۹، بررسی و پیش بینی روند خشکسالی اقلیمی با استفاده از تحلیل سری های زمانی مطالعه موردی (ایستگاه های منتخب استان سمنان)، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، جهاد دانشگاهی استان کرمان.
- ارسطو، بهروز و همکاران، ۱۳۸۸، بررسی روند خشکسالی تعیین معیارها و مدل سازی خشکسالی بخش کشاورزی استان سمنان طرح خاص به سفارش سازمان جهاد کشاورزی استان سمنان، طرح پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان.
- پورتال مرکز ملی پیش و هشدار خشکسالی سازمان هواشناسی کشور.
- بدایع جمالی ج.س، ر، جوانمرد و - شیرمحمدی. ۱۳۸۱. پایش و پهنه بندی خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه بارش استاندارد شده. تحقیقات جغرافیایی ۶۷: ۴-۲۴.
- پیرمردیان، ن؛ شمس نیا س.ا. وشاهرخ نیا، م. ع. (۱۳۸۶). پایش و تحلیل پراکندگی مکانی شدت خشکسالی سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ استان فارس با استفاده از شاخص معیارشده بارش (SPI) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مجله مهندسی آب دوره ۱ شماره ۱، صص. ۶۱-۷۰.
- چایچی، م. وشهبابی فر (۱۳۸۷). پایش خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص های ماهواره ای در استان تهران، اولین کنفرانس بین المللی، بحران آب ۲۰-۲۲، اسفندماه ۱۳۸۷، دانشگاه زابل.
- خواجه، ف. (۱۳۸۶). پایش خشکسالی با استفاده از شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) در استان اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- Allison, E. W., R. J. Brown, H. E. Press, and J. G. Gairns, 1989. Monitoring drought affected vegetation with AVHRR. *Digest- International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4: 1965-1967.
- Anyamba, A., and Estman, J. R., 1996. Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to EL Nino/ Southern Oscillation. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 2533-2548.

## Agricultural Drought Risk Analysis Using Remote Sensing Techniques and GIS (Case Study: Semnan Province)

Mostafa Abedzadeh \*<sup>1</sup>, Behrouz Arastoo<sup>2</sup>, Hamid Reza Nankeli<sup>3</sup>

### Abstract

Agricultural drought is one of the most complex natural disasters. Due to spatial and temporal variations This phenomenon needs to improve the information and tools available to monitor this phenomenon on all scales. Remote sensing data and GIS, An appropriate monitoring tools to assess the extent and severity of droughts available in the villages. Plant growth rate is one of the most important indicator of the occurrence of drought . In this study, a number of plant indices were evaluated and, as a result, the indicator NDVI As appropriate The highest index for vegetation has been selected .

In this study, from the images MODIS The resolution right time and place for the province Drought risk analysis have been used. Period covered by the month March to July of the year 2000 20 1 7. First, geometric and radiometric correction images Have. Then by evaluating a seven -year series of images NDVI, SPI, LST, SPEI And the total annual rainfall in the region, the trend of drought changes has been shown. In this study, by using the satellite indices mentioned in Semnan province, the climate of the drought affected area was investigated. Satellite indicators show the effects of drought in Semnan

province in 2000 , 2010 , 2013 , 2016 .

According to this index in 2000 , 2001, 2006, 2007, 2016, 2017 there has been a drought in the province. Drought severity in 2000 , 2016 More than other years . Also, 2005 is Tersali and other years are the average years . The results showed that identifying drought-sensitive areas could have a very important role in managing the management of drought risk.

**Keywords :** Agricultural Drought Risk Analysis, Semnan Province, Field Assessment,

Geographic Information System (GIS).