

مطالعه خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و داده‌های سنجش‌ازدور (استان آذربایجان غربی)

عارف صابری^۱، سمیه سلطانی گردفرامری^{۲*} و میرحسین میریعقوب زاده^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران

۳. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(دریافت: ۹۶/۶/۱۷، پذیرش نهایی: ۹۶/۱۱/۱۷)

چکیده

در سال‌های اخیر خشک‌سالی تأثیر مخربی در بیشتر بخش‌های اکولوژی، مدیریت منابع آب، و فرآیندهای زیست‌محیطی برجا گذاشته است. در این تحقیق جهت ارزیابی خشک‌سالی از اطلاعات حاصله از تصاویر سنجنده MODIS در استخراج شاخص NDVI و DVI استفاده شده است. هدف از این تحقیق بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی در منطقه با استفاده از دو شاخص هواشناسی SPI و ZSI به صورت دوره‌های ماهانه و همچنین بررسی رابطه بین شاخص پوشش گیاهی با خشک‌سالی‌های هواشناسی می‌باشد. درصد کل پوشش در منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ترسالی ۱۳۸۳، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ به ترتیب ۱۹/۵، ۱۹/۶، ۱۹/۵ و ۱۹/۵ درصد بوده و در سال‌های خشک‌سالی ۱۳۸۴، ۱۳۸۷، ۱۳۸۹ به ترتیب ۱۸/۷، ۱۸/۷ و ۱۹ درصد محاسبه شد. بیشترین همبستگی بین شاخص NDVI و DVI با دوره‌های کوتاه‌مدت (۱، ۲ و ۳ ماهه) شاخص‌های SPI و ZSI وجود دارد. همچنین همبستگی معنی‌دار بین شاخص‌های پوشش گیاهی و دوره‌های بلندمدت شاخص‌های هواشناسی مشاهده نشد. به‌طور کلی بیشترین میزان همبستگی در طول دوره آماری بین شاخص‌های SPI و NDVI و همچنین در سالی که شرایط خشک‌سالی نرمال گزارش شد، به دست آمد. علاوه بر این تعیین روند شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از روش من-کنندال نشان از وجود روند نزولی در همه شاخص‌ها و افزایش خشک‌سالی و کاهش پوشش گیاهی در طول دوره آماری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی هواشناسی، شاخص، سنجش‌ازدور، همبستگی، مودیس.

۱. مقدمه

همان‌طور که از نام پدیده خشک‌سالی مشخص می‌شود می‌توان میزان اهمیت و بررسی این پدیده طبیعی را مشخص کرد، البته به‌طور دقیق و بدون اطلاعات لازم و مناسب و دقیقی در زمینه‌های مؤثر در پدیده خشک‌سالی نمی‌توان میزان این پدیده را تشخیص داد. با توجه به موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن در منطقه آب‌وهوایی نیمه‌خشک و خشک ایران، بررسی مسئله خشک‌سالی در بسیاری از مناطق مهم می‌باشد چراکه این مسائل می‌توانند بر اقتصاد کشور تأثیرگذار باشند. خشک‌سالی ابعاد و جنبه‌های مختلفی دارد. نوع خشک‌سالی معمولاً بر پایه میزان و درجه خشکی و طول دوره تداوم خشکی در مقایسه با میزان طبیعی و نرمال بارش بیان می‌شود. از دیدگاه اقلیم‌شناسان، خشک‌سالی یک پدیده طبیعی است

که در اثر تغییرات الگوهای آب‌وهوای ناشی از کاهش نزولات جوی کمتر از حد معمول، خودبه‌خود ایجاد می‌شود و ادامه آن موجب عدم تعادل اکولوژیکی و هیدرولوژیکی می‌شود (ون و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعات زیادی در زمینه خشک‌سالی در ایران و خارج از ایران انجام شده است که در آنها شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی (مصطفی‌زاده و ذبیحی، ۱۳۹۵)، هیدرولوژیکی (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵) و یا شاخص‌های سنجش‌ازدور (بایارجرگال و همکاران، ۲۰۱۴) به کار گرفته شده است. طاهرزاده (۱۳۸۷) با بررسی NDVI و شاخص بارندگی استاندارد شده در حوزه آبریز میناب در دوره آماری ۱۸ ساله نشان داد که همبستگی مثبت NDVI با شاخص SPI (Standardized Precipitation Index) وجود

گیاهی منطقه بر اثر خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای، خشک‌سالی را از روش تجزیه و تحلیل بردار تغییر به‌عنوان یکی از الگوریتم‌های تشخیص تغییر در استان کرمانشاه بررسی کردند. بردار تغییر برای چهار شاخص ماهواره‌ای مبتنی بر پوشش گیاهی حاصل از سنجنده AVHRR و یک شاخص زمینی (SPI) محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های ماهواره‌ای از نظر تشخیص اندازه تغییر، همبستگی خوبی با یکدیگر دارند و بیشترین همبستگی بین شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص زمینی مربوط به شاخص NDVI و کمترین همبستگی مربوط به شاخص VCI می‌باشد. ون و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از همبستگی منفی بین شاخص گیاهی و دمای سطح زمین به پیش‌خشک‌سالی در جلگه‌های جنوبی بخش‌هایی از تگزاس اکلاهما با استفاده از سنجنده MODIS پرداختند. وجود همبستگی بین بارش و شاخص NDVI با یک تأخیر زمانی از نتایج این تحقیق بود. کویرینگ و گانش (۲۰۰۹) کارایی شاخص شرایط گیاهی در برابر شاخص‌های PDSI، شاخص ZSI و SPI در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در تگزاس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات حاکی از استفاده شاخص VCI با احتیاط می‌باشد. چرا که همبستگی این شاخص با شاخص‌های بیان شده کم است و شاخص VCI با فاکتورهای متغیر مکانی همبستگی قوی دارد. هادیان و همکاران (۱۳۹۵) برای بررسی تأثیر خشک‌سالی‌های اخیر بر کاهش سطح و تغییرات کاربری اراضی اطراف دریاچه مهارلو در استان فارس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به این نتیجه رسیدند که در سه دوره زمانی ۹، ۱۳ و ۲۲ ساله بررسی شده، دوره اخیر (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹) میزان تخریب منابع طبیعی و کاهش پوشش گیاهی با شدت بیشتری اتفاق افتاده است. در مطالعه دیگری در استان اصفهان صفری شاد و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS، روند تغییرات شاخص نرمال شده پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات بارندگی بر روی شاخص

دارد. همچنین میزان همبستگی در فصول کم‌باران کمتر می‌شود؛ اما با شروع بارش و رشد گیاه مقدار همبستگی افزایش می‌یابد. رحیم زاده باجگیران و همکاران (۲۰۰۸) امکان استفاده از شاخص‌های NDVI و VCI مستخرج از تصاویر سنجنده AVHRR را برای پیش‌خشک‌سالی در شمال غرب ایران بررسی کردند. بهترین همبستگی بین NDVI و VCI با بارش سه‌ماهه (ماه جاری به علاوه دو ماه قبل) به دست آمد و در مقایسه با VCI، همبستگی بهتری بین NDVI و بارش وجود داشت. با به‌کارگیری شاخص NDVI و VCI نشان داده شد شرایط خشک‌سالی ماه‌های آوریل ۲۰۰۰ و می ۲۰۰۱ و شرایط ترسالی ماه‌های می ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ در منطقه کاشان وجود دارد. محمودزاده و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی همبستگی شاخص خشک‌سالی SPI و شاخص NDVI حاصل از سنجنده AVHRR در منطقه فریدون‌شهر را بررسی کرد. شاخص SPI برای دوره‌های سه، شش، نه و دوازده ماهه برای ماه‌های آوریل، می، ژوئن در طول دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۹۸ استخراج شد. میانگین ارزش تصاویر NDVI و SPI سه‌ماهه‌ی ماه ژوئن بالاترین همبستگی را در ماه‌های مورد مطالعه دارا بود. همچنین در بررسی‌ها مشخص شد که در اغلب مناطق همبستگی معنی‌داری بین NDVI ماه‌های آوریل و می با SPI سه‌ماهه، ماه‌های دسامبر و ژانویه وجود دارد. پرویز و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی جهت پیش‌خشک‌سالی از اطلاعات حاصل از تصاویر MODIS در استخراج شاخص‌های NDVI، NDWI، LST/NDVI، VTCI، DSI استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار همبستگی بین بارش ماهانه با شاخص‌های مورد مطالعه مربوط به شاخص VTCI می‌باشد. سایر شاخص‌ها دارای تأخیر زمانی نسبت به زمان وقوع بارش بوده و کمترین میزان همبستگی مربوط به شاخص NDVI بود که دلیل عمده این عامل می‌تواند ناشی از نوع پوشش گیاهی حاکم در منطقه مورد مطالعه باشد. ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی تحت عنوان امکان‌سنجی تشخیص تغییرات رخ داده در پوشش

می‌کند. ایستگاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق همراه با مشخصات طول و عرض جغرافیایی و همچنین ارتفاع از سطح دریا و سال آماری در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک برای هریک از ایستگاه‌ها از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) با دوره آماری مشترک ۱۱ ساله به منظور استخراج شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی استفاده شد. داده‌های سنجنش‌ازدور مورد استفاده در این مطالعه شامل تصاویر سنجنده MODIS از ماهواره Terra از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۴ می‌باشد. دلیل انتخاب این سنجنده در این تحقیق وجود توان تفکیک طیفی و مکانی بالا، تکنیک کالیبراسیون مخصوص، باریک بودن اکثر باندهای طیفی این سنجنده است که این ویژگی‌ها سبب جلوگیری از جذب طیفی بخار آب در باند مادون قرمز شده و در نتیجه خطاهایی که توسط جذب بخار آب ایجاد می‌شود بسیار کوچک است. در نتیجه دقت محاسباتی در تعیین شاخص NDVI و DVI افزایش می‌یابد (هولکا، ۲۰۰۸). در این تحقیق، هشت سال (سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۴، ۱۳۸۵، ۱۳۸۷، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳) و هر سال ۶ تصویر از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS) تهیه شدند. در مرحله پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تصحیح هندسی برای تبدیل سیستم مختصات سینوسی به سیستم UTM و همپوشانی تصویر با استفاده از روش تصویر در تصویر و انتخاب نقاط مشابه زمینی و در نهایت بر اساس کم کردن خطای موجود در نقاط انتخاب شده انجام شد. همچنین تصحیح رادیومتریک با اجرای دستور Drak Subtract و Drak subtract و تعیین گزینه Band minimum و انتخاب ارزش پیکسلی باند با بیشترین دقت (باند پانکروماتیک) به صورت اتوماتیک برای رفع تیرگی انجام شد و تصحیحات لازم برای حذف پوشش ابر نیز بر روی تصاویر صورت گرفت. در مرحله پس‌پردازش تمامی شاخص‌های تهیه شده، ارزیابی و نتایج آنها به صورت DN (ارزش پیکسلی) استخراج و برای انجام مراحل کار به فرمت TIFF ذخیره و در ArcGIS

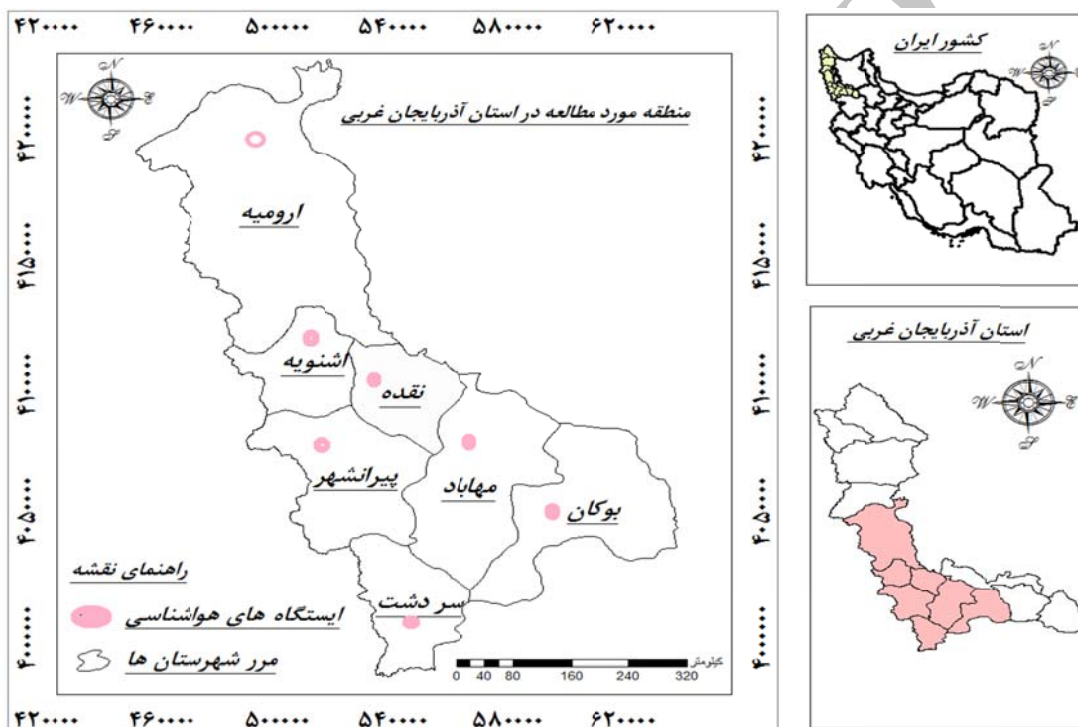
NDVI هم‌زمان با خشک‌سالی‌های کشاورزی و هواشناسی رخ نمی‌دهد. خشک‌سالی عارضه‌ای جدی برای بیشتر کشورهای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و در کشور ایران در حال حاضر یک بحران جدی به‌شمار می‌آید. در این تحقیق سعی بر آن شده تا میزان اثر این پدیده طبیعی در استان آذربایجان غربی بررسی شود. از طرفی کسب اطلاعات درباره وضعیت پوشش گیاهی و تغییرات پیوسته آنها توسط روش‌های معمولی بسیار مشکل و پرهزینه است. سنجنش‌ازدور به‌عنوان روشی برای کسب اطلاعات درباره هدف مورد نظر تعریف می‌شود. با توجه به موقعیت جغرافیایی این استان و ورود اولین سامانه بارشی از طرف شمال و شمال غرب کشور و همچنین موقعیت دریاچه ارومیه و اهمیت آن در چندین سال اخیر، استان آذربایجان غربی انتخاب شده است تا خشک‌سالی هواشناسی در این منطقه مطالعه و تأثیر آن بر پوشش گیاهی با تکنیک سنجنش‌ازدور بررسی شود.

۲. روش پژوهش

استان آذربایجان غربی یکی از استان‌های شمال غرب کشور با طول جغرافیایی $31^{\circ} 44'$ و $29^{\circ} 47'$ شرقی و عرض $39^{\circ} 47'$ و $35^{\circ} 56'$ شمالی است که از شمال به جمهوری آذربایجان و ترکیه و از مغرب به کشورهای ترکیه و عراق، از شرق به استان آذربایجان شرقی و زنجان و از قسمت جنوبی به استان کردستان محدود می‌شود. این استان دارای مساحت 37210 کیلومتر مربع است که تقریباً $2/25$ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. موقعیت منطقه در سطح استان و کشور در شکل ۱ نمایش داده شده است. این استان یکی از مناطق کوهستانی کشور است که از لحاظ توپوگرافی متنوع و گسترده می‌باشد. استان آذربایجان غربی با ساختار طبیعی دارای اکوسیستم‌های ویژه‌ای از ترکیبات گیاهی است که در سطوح مختلف دارای پوشش گیاهی مختلف بوده و بیشتر قسمت‌های آن به صورت جنگل و مرتع خودنمایی

NDVI استفاده شد. به دلیل ارتباط نزدیک بین وضعیت پوشش گیاهی و رطوبت در دسترس خاک که یکی از معیارهای اصلی پایش خشکسالی است، NDVI به طور وسیع در مطالعات خشکی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین با توجه به انتخاب شاخص DVI به عنوان بهترین شاخص در برآورد حجم سرپای توده های جنگلی (محمدی و شتایی، ۱۳۸۸)، شاخص DVI نیز محاسبه و بررسی شد.

9.3 نقشه نهایی تهیه شد. هر یک از ارزش های استخراج شده به صورت text برای بررسی همبستگی با شاخص های خشک سالی وارد نرم افزار آماری SPSS شده و نتایج به صورت جداولی در ادامه ارائه شده است. تمامی مراحل انجام پیش پردازش و پردازش در نرم افزار ENVI 4.5 صورت گرفته است. برای بررسی خشک سالی هواشناسی و ارتباط آن با پوشش گیاهی در این مطالعه از شاخص رایج و بسیار کاربردی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه.

جدول ۱. آمار و موقعیت ایستگاه ها سینوپتیک منطقه.

شهرستان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
ارومیه	۴۵ ۰۳	۳۷ ۰۴	۱۳۲۸
اشنویه	۴۵ ۰۸	۳۷ ۰۳	۱۴۱۶
نقده	۴۵ ۲۵	۳۶ ۵۷	۱۳۰۷
پیرانشهر	۴۵ ۰۹	۳۶ ۴۲	۱۴۴۴
سردشت	۴۵ ۲۹	۳۶ ۰۹	۱۵۵۷
مهاباد	۴۵ ۴۳	۳۶ ۴۵	۱۳۵۱/۸
بوکان	۴۵ ۱۴	۳۶ ۳۲	۱۳۸۶/۱

$$SPI = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (2)$$

$$0.5 \leq H(x) \leq 1$$

در معادلات فوق $H(x)$ احتمال تجمعی بارش مشاهده شده است که از توزیع گاما به دست می‌آید. همچنین ثابت‌های معادلات بالا عبارتند از:

$$C_0 = 2.5015 \quad d_1 = 3.433 \quad C_1 = 0.802 \quad d_2 = 0.189$$

$$C_2 = 0.010 \quad d_3 = 0.0013$$

۱-۲. شاخص ZSI

این شاخص برای برآورد خشک‌سالی ارائه شد که بر پایه توزیع پیرسون نوع سوم، داده‌های بارش را محاسبه می‌کند. طبق توزیع پیرسون نوع سوم داده‌ها باید نرمال باشند (کندال و استوارت، ۱۹۷۷).

$$z = \frac{X_i - X}{S} \quad (3)$$

در رابطه بالا X_i بارش سالانه، X متوسط بارش سالانه، S انحراف معیار بارش سالانه، Z نمایه خشک‌سالی می‌باشند. جدول طبقه‌بندی شدت و گستره خشک‌سالی بر اساس این شاخص در جدول ۳ نمایش داده شده است.

شاخص SPI، نمایه‌ای است که اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین را برای یک بازه زمانی مشخص می‌کند و در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه قابل محاسبه است. این روش با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است (مک کی و همکاران، ۱۹۹۵). از نظر ریاضی SPI، بر مبنای احتمالات تجمعی بارش‌ها در یک ایستگاه استوار است. با توجه به خصوصیات SPI، این نمایه در سراسر دنیا برای پایش دوره‌های خشکی مورد استفاده قرار گرفته است. جهت محاسبه این نمایه از تابع توزیع گاما برای برازش داده‌های بلندمدت بارش استفاده می‌شود؛ که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوطه، نمایه SPI به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$SPI = \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (1)$$

$$0 \leq H(x) \leq 0.05$$

جدول ۲. طبقه‌بندی شاخص SPI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۵).

طبقه	شدیداً مرطوب	خیلی مرطوب	مرطوب متوسط	مرطوب ملایم	تقریباً نرمال	خشک ملایم	خشک متوسط	خیلی خشک
مقادیر SPI	< ۲	۱/۹۹ تا ۱/۵	۱/۴۹ تا ۱	۰/۵ تا ۰/۹۹	۰/۴۹ تا -۰/۴۹	-۰/۵ تا -۰/۹۹	-۱ تا -۱/۴۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹

جدول ۳. طبقات مختلف شاخص ZSI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۵).

طبقات شدت خشک‌سالی	نرمال	خشک‌سالی ضعیف	خشک‌سالی متوسط	خشک‌سالی شدید	خشک‌سالی بسیار شدید
شاخص عددی Z	+۰/۲۵ تا -۰/۲۵	-۰/۵۲ تا -۰/۲۵	-۰/۵۲ تا -۰/۸۴	-۱/۲۸ تا -۰/۸۴	کمتر از -۱/۲۸

۰/۹) می‌باشد. آب، برف و یخ دارای مقادیر منفی و خاک دارای مقدار ۰/۰۵ و در منطقه پوشیده از ابر تقریباً برابر با صفر است (هولین، ۱۹۸۶).

۲-۴. آزمون من-کندال

برای ارزیابی معنی‌داری روند در داده‌های سری زمانی هواشناسی و هیدرولوژی از روند ناپارامتری استفاده می‌شود. این نوع داده‌ها دارای توزیع نرمال نبوده و اریب هستند. آزمون من-کندال برای یافتن روند در شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و پوشش گیاهی در این تحقیق به کار برده شد. آزمون من-کندال با تعریف آماره S به صورت رابطه (۶) می‌باشد.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (6)$$

که در آن X_j و X_i به ترتیب آمین و ژامین داده مشاهده‌ای و n اندازه نمونه (طول دوره آماری) است. تابع علامت با رابطه (۷) قابل محاسبه است.

$$\text{Sgn}(X) = \begin{cases} +1 & (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & (x_i - x_k) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

با فرض مستقل بودن و یکنواخت بودن داده‌ها میانگین و انحراف معیار S به صورت روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شوند:

$$E(S) = 0 \quad (8)$$

$$v(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m (i-1)(2i+5)}{18} \quad (9)$$

در رابطه بالا n تعداد داده‌ها، m تعداد گره‌ها و t تعداد داده‌ها در هر گره است. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m، برابر t می‌باشد.

میزان نمره استاندارد شده Z که همان مقدار آماره من-کندال است از رابطه (۱۰) قابل محاسبه است:

۲-۲. شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی

یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌ها در جهان است که به طور وسیع در مسائل مختلف به کار می‌رود. شاخص NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) نسبت به تغییر در مقدار بیومس، مقدار کلروفیل و تنش در مقدار آب تاج پوشش واکنش نشان می‌دهد (کریگلر و همکاران، ۱۹۶۹). رابطه زیر نحوه محاسبه NDVI در نرم‌افزار ENVI 4.5 می‌باشد.

$$NDVI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}} \quad (4)$$

P_{nir} و P_{red} به ترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشد. از نظر تئوری، مقدار این شاخص در محدوده (-۱ و +۱) متغیر است. بعد از انجام مراحل تصحیحات تصاویر و محاسبه این شاخص، اگر مقدار این شاخص $0 \leq NDVI \leq 1$ نشان دهنده‌ی پوشش گیاهی و اگر $-1 \leq NDVI \leq 0$ نشان دهنده‌ی وجود خاک می‌باشد. محدوده تغییرات معمول برای پوشش گیاهی ۰/۲ تا ۰/۸ می‌باشد (باعقیده و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۳. شاخص پوشش گیاهی تفاضلی

در شاخص پوشش گیاهی تفاضلی که توسط ریچاردسون و ویگند (۱۹۹۷) پیشنهاد شده است، باند قرمز نزدیک توسط شیب خط خاک وزن داده می‌شود. فرمول این شاخص مطابق فرمول زیر است. ارزش‌های منفی در شاخص DVI (Difference Vegetation Index) نشان دهنده‌ی آب، ارزش صفر نشان دهنده‌ی خاک لخت و ارزش‌های مثبت نشان دهنده‌ی پوشش گیاهی است (ریچاردسون و ویگاند، ۱۹۹۷). در این رابطه NIR و Red به ترتیب میزان بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز می‌باشند.

$$DVI = NIR - Red \quad (5)$$

مقدار کلی هر دو شاخص برای پوشش گیاهی تنک در محدوده (۰/۰۵ تا ۰/۱)، پوشش گیاهی متوسط تا متراکم (۰/۱ تا ۰/۵) و پوشش گیاهی بسیار متراکم و غنی (۰/۵ تا ۰/۸) می‌باشد.

خشک‌سالی سعی شده است تا همبستگی بین این شاخص‌ها و شاخص‌های هواشناسی مورد مطالعه در این تحقیق یعنی شاخص SPI و ZSI در دوره‌های مختلف بلند و کوتاه‌مدت محاسبه شود. طی محاسبات صورت گرفته توسط شاخص‌های SPI و ZSI مشخص شد که در این منطقه در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۵، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ ترسالی و در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ خشک‌سالی صورت گرفته است و در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ شرایط نرمال برقرار است. شاخص‌های پوشش گیاهی نیز برای سال‌های ۱۳۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۷، ۸۹، ۹۰، ۹۱ و ۹۳ در شرایط ترسالی، خشک‌سالی و نرمال در نظر گرفته شد و تغییر در میزان پوشش گیاهی در سال‌های خشک‌سالی و ترسالی و نرمال بررسی شد (شکل ۲ تا ۵). طبق این شکل‌ها اعداد NDVI و DVI محاسبه شده، در چهار طبقه قرار داده شد و با چهار رنگ قهوه‌ای (فاقد پوشش گیاهی)، رنگ زرد (پوشش گیاهی ضعیف)، سبز (پوشش گیاهی متوسط) و در نهایت رنگ سیاه (پوشش گیاهی متراکم) طی ۶ ماه از سال‌های مورد نظر (فروردین تا شهریور) مشخص شد. نتایج این شاخص حاکی از این است که در سه ماه ابتدای سال‌های مورد بررسی، پوشش گیاهی متوسط در منطقه غالب بوده و در سه ماه دوم سال نقشه‌ها نشان‌دهنده‌ی پوشش گیاهی ضعیف و بدون پوشش هستند زیرا بارندگی در این زمان بسیار محدود بوده است. از طرفی در این ماه‌های سال، چرای بیش از حد باعث تخریب پوشش گیاهی شده است. به نظر می‌رسد پوشش گیاهی در سه ماه ابتدای سال تحت تأثیر ذوب برف و بارندگی‌های زمستانه و پاییزه سال قبل، شرایط مناسب‌تری در این زمان داشته است. بر اساس ارزش‌های استخراج شده، درصد کل پوشش در منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ترسالی ۱۳۸۳، ۱۳۹۰، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۳ به ترتیب ۱۹/۸۵، ۱۹/۵، ۱۹/۶ و ۱۹/۵ درصد بوده و در سال‌های خشک‌سالی ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ به ترتیب ۱۸/۷، ۱۸/۷ و ۱۹ درصد محاسبه گردید که نشان‌دهنده‌ی کاهش پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است.

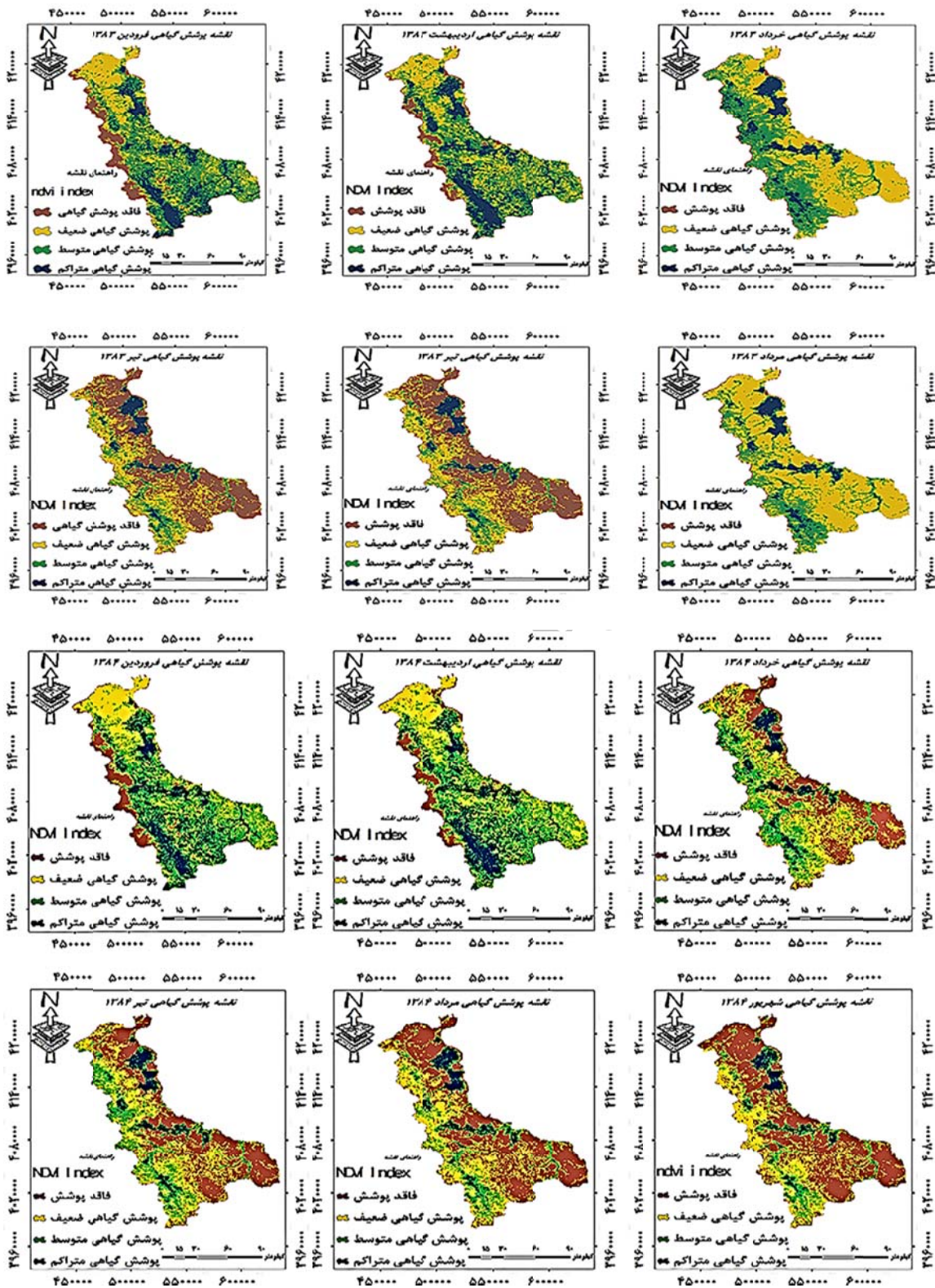
$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\text{var}(s)} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\text{var}(s)} & s < 0 \end{cases} \quad (10)$$

چنانچه مقدار Z بزرگ‌تر از $\pm 1/96$ باشد داده‌ها دارای روند بوده و فرض صفر رد می‌شود، در غیر این صورت فاقد روند است. Z آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اعتماد مورد آزمون می‌تواند مقادیر مختلفی به خود بگیرد و S پارامتر روش من-کنندال است که به نحوه محاسبه آن در بالا اشاره شد. مقدار آماره Z برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به ترتیب برابر با ۱/۹۶ و ۲/۵۸ در نظر گرفته می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۵).

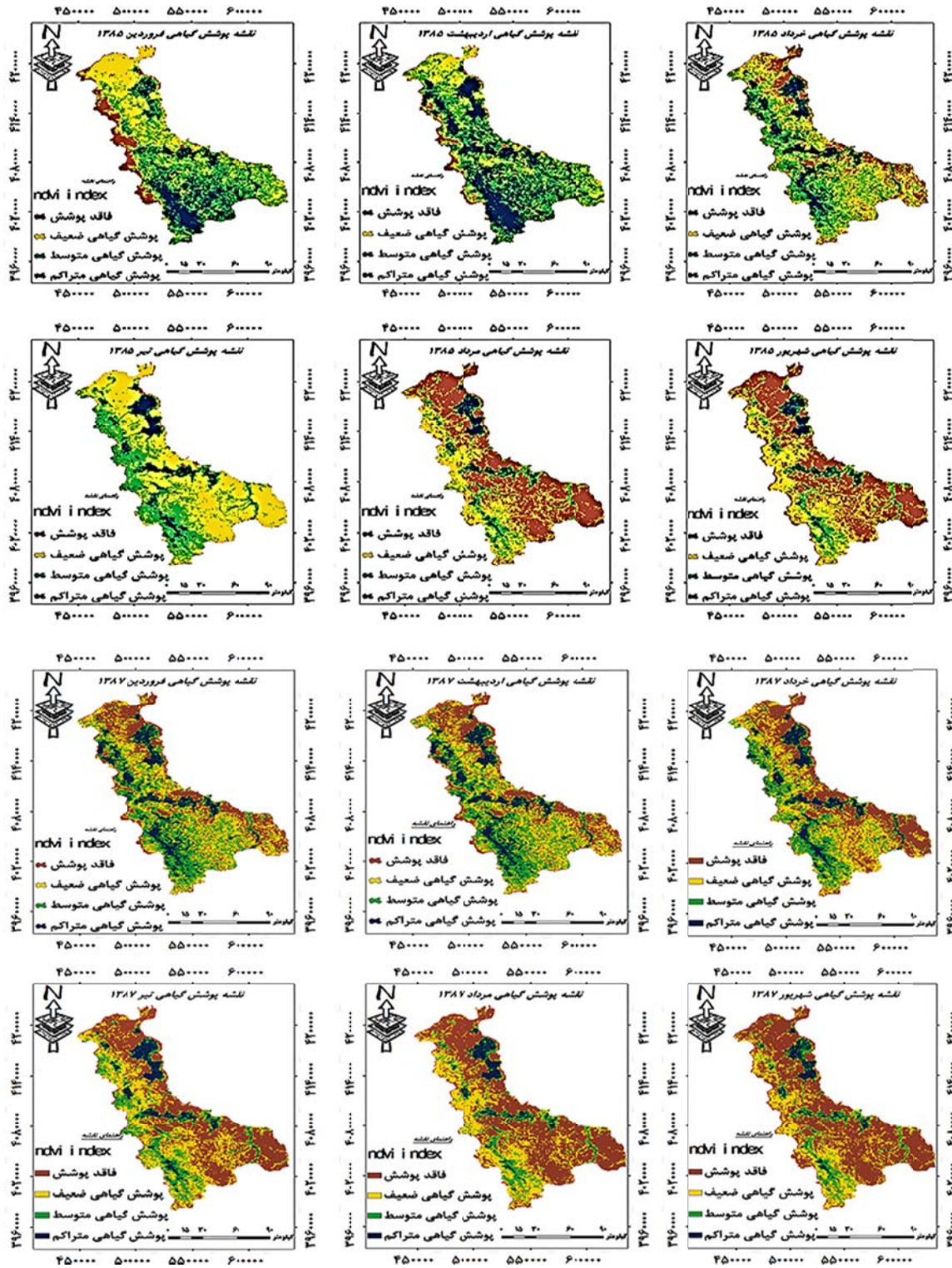
در این تحقیق هر یک از شاخص‌های سنجنش‌ازدور و خشک‌سالی هواشناسی تهیه و برای بررسی ارتباط بین دو شاخص، از آزمون آماری استفاده شد. در این آزمون هر یک از DNهای استخراج شده از نرم‌افزار ENVI با استفاده از نرم‌افزار SPSS طبقه‌بندی و در چهار کلاس قرار گرفتند. همچنین مقدار شاخص NDVI و DVI نیز به صورت ماهانه برای هر سال تعیین و در ادامه با شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی، همبستگی تعیین شد. به منظور تعیین همبستگی بین شاخص‌های مورد مطالعه، از ضریب همبستگی پیرسون در سطح آماری ۱ و ۵ درصد استفاده شده است.

۳. نتایج

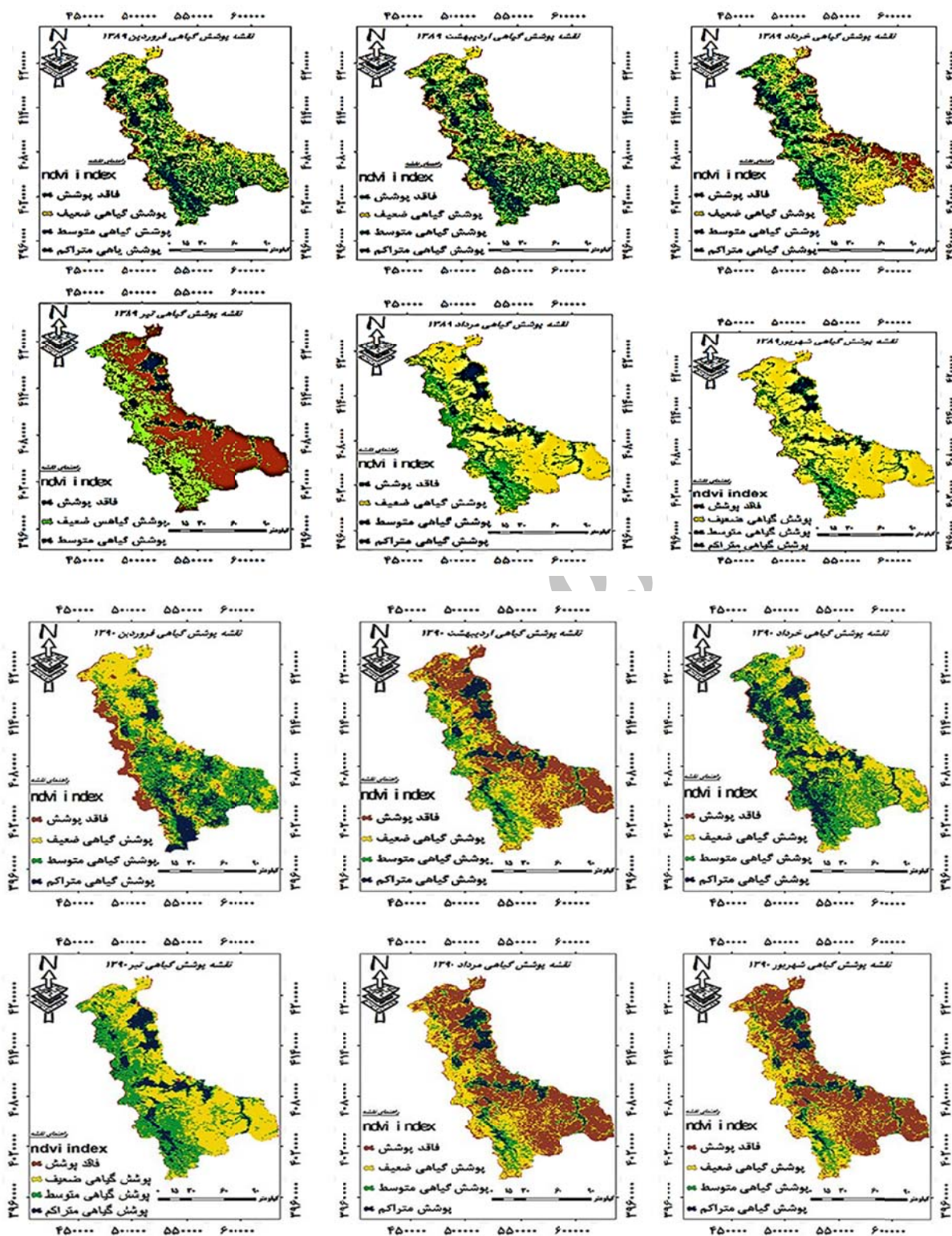
در ابتدا پوشش منطقه با نقشه‌های پوشش گیاهی به دست آمده توسط اداره منابع طبیعی استان آذربایجان غربی مقایسه و سپس از صحت شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و DVI به دست آمده ناشی از تصاویر اطمینان حاصل شد. با توجه به شرایط توپوگرافی، این منطقه بیشتر شامل مراتع ییلاقی و قشلاقی می‌باشد و کاربری‌های دیگر کمتر مشاهده می‌شود. برای مشخص شدن قدرت کارایی شاخص پوشش گیاهی در مطالعه



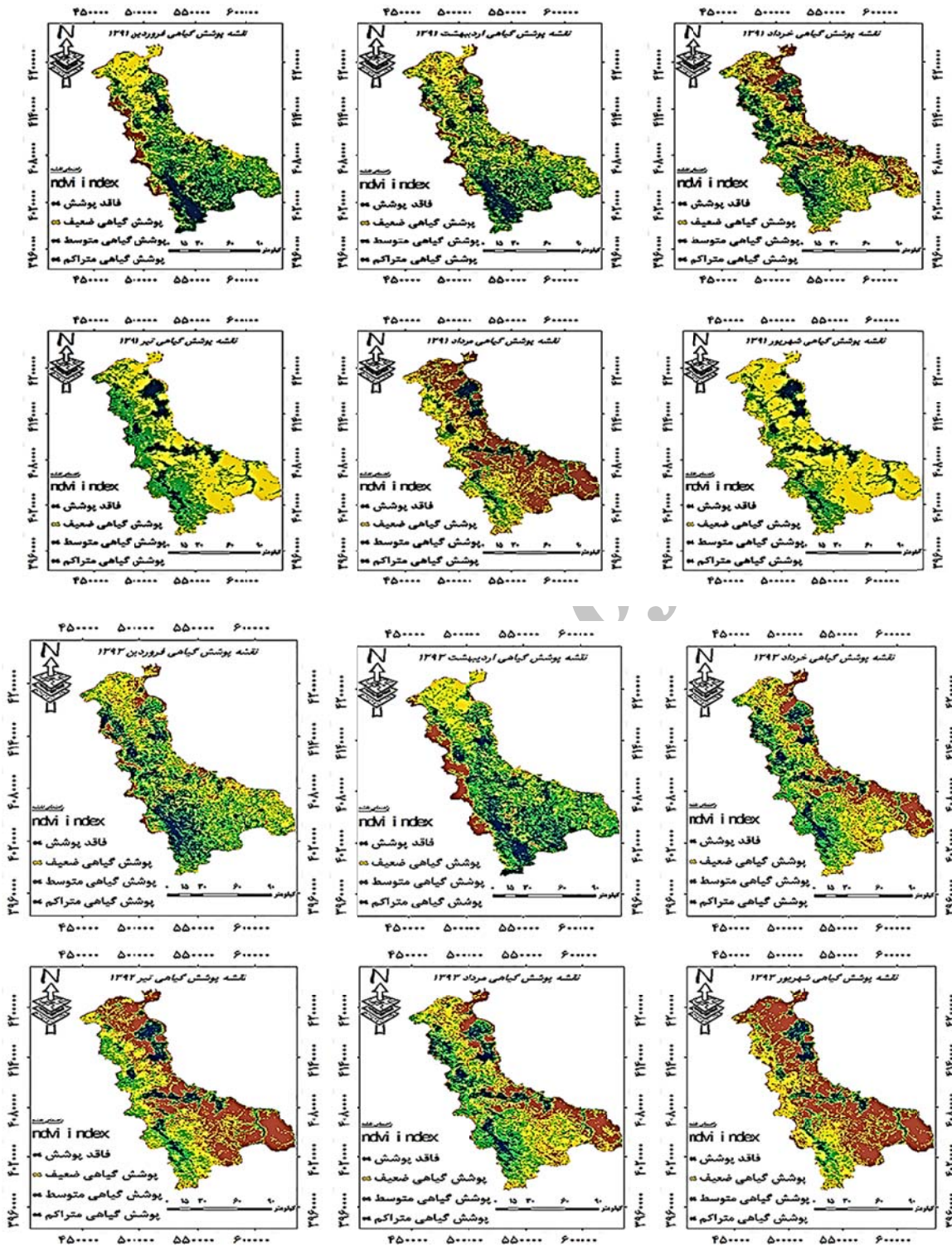
شکل ۲. شاخص NDVI در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ (رنگ قهوه‌ای: فاقد پوشش گیاهی، رنگ زرد: پوشش گیاهی ضعیف، سبز: پوشش گیاهی متوسط و رنگ سیاه: پوشش گیاهی متراکم).



شکل ۳. شاخص NDVI در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ (رنگ قهوه‌ای: فاقد پوشش گیاهی، رنگ زرد: پوشش گیاهی ضعیف، سبز: پوشش گیاهی متوسط و رنگ سیاه: پوشش گیاهی متراکم).



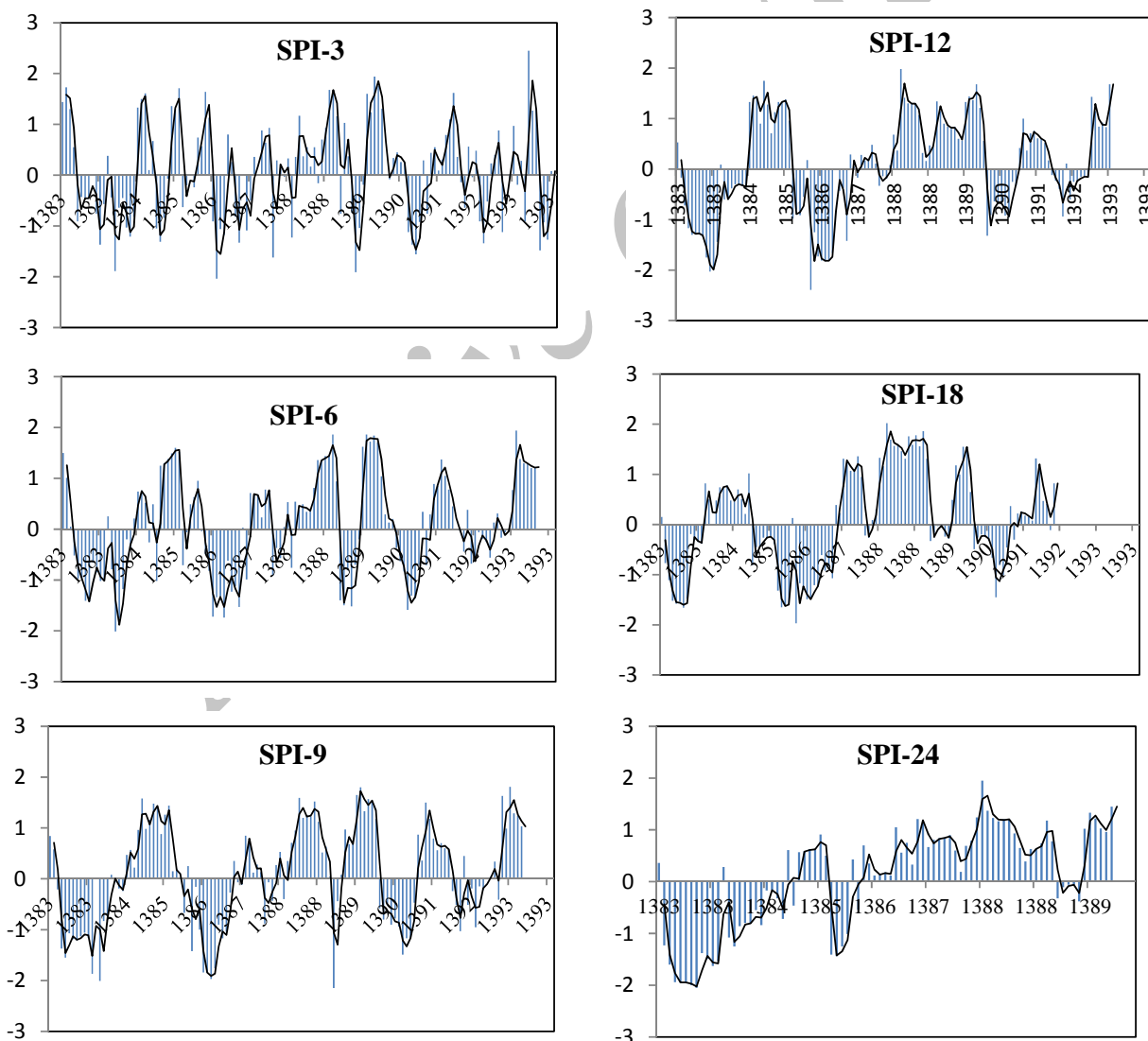
شکل ۴. شاخص NDVI در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ (رنگ قهوه‌ای: فاقد پوشش گیاهی، رنگ زرد: پوشش گیاهی ضعیف، سبز: پوشش گیاهی متوسط و رنگ سیاه: پوشش گیاهی متراکم).



شکل ۵. شاخص NDVI در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ (رنگ قهوه‌ای: فاقد پوشش گیاهی، رنگ زرد: پوشش گیاهی ضعیف، سبز: پوشش گیاهی متوسط و رنگ سیاه: پوشش گیاهی متراکم).

جدول تعیین خشک‌سالی، نسبتاً مرطوب و نزدیک نرمال است درحالی‌که در سال ۱۳۹۰ ترسالی اتفاق افتاده است. اما در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷، ۱۳۹۱، ۱۳۹۳ در منطقه خشک‌سالی خفیف تا شدید رخ داده است. برای بررسی دقیق‌تر با استفاده از شاخص SPI شش‌ماهه نیز می‌توان گفت که سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ دارای شرایط رطوبتی متوسط و خوب هستند اما سال‌های ۸۹ و ۹۰ ترسالی بوده است. با این حال سال ۱۳۸۷ خشک‌سالی شدید اما سال‌های ۹۱ و ۹۳ خشک‌سالی ضعیف رخ داده است.

شکل ۶ تغییرات شاخص SPI را در دوره‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه در دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۴ نمایش می‌دهد. بر اساس این شکل می‌توان گفت که شاخص SPI ۳ و ۶ ماهه نوسانات بیشتری را در طی دوره‌های آماری مورد نظر نسبت به بارش نشان می‌دهند؛ به‌گونه‌ای که هرچه مدت SPI بلندتر در نظر گرفته شود تغییرات یا نوسانات کاهش می‌یابد. با توجه به نمودار و مقادیر SPI به‌دست‌آمده، می‌توان چنین بیان کرد که در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۹ مقادیر شاخص SPI سه‌ماهه برای منطقه با توجه به



شکل ۶. شاخص SPI به‌صورت دوره ۳ تا ۲۴ ماهه در طی سال آماری.

بررسی و پوشش گیاهی ضعیف در سه ماه دوم سال است. هرچند در برخی از ماه‌ها تفاوت قابل‌توجهی بین این دو شاخص پوشش گیاهی مشاهده می‌شود (فروردین ۱۳۸۴ نسبت به فروردین سایر ماه‌ها). به‌طور کلی نتایج حاکی از ارتباط معنی‌دار شاخص‌های پوشش گیاهی و شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی کوتاه‌مدت است.

برای تعیین مناسب‌ترین شاخص خشک‌سالی هواشناسی، همچنین شاخص ZSI نیز محاسبه شد. مطابق شکل ۱۱ می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات و نوسانات این شاخص هم مانند شاخص SPI در طی دوره آماری بیشترین حساسیت و واکنش را نسبت به دوره آماری کوتاه‌مدت ۳ تا ۶ و در نهایت ۹ ماهه نشان می‌دهد. همچنین این شاخص نسبت به SPI نوسانات بیشتری در دوره‌های بلندمدت دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص ZSI سه‌ماهه در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۵، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ در منطقه مورد مطالعه شرایط رطوبتی از نزدیک نرمال تا بسیار مرطوب متغیر بوده است اما برای سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ خشک‌سالی به‌صورت خفیف تا خشک‌سالی شدید رخ داده است. همچنین بر اساس شاخص ZSI شش‌ماهه نیز سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۵ رطوبت کم و در حالت نزدیک به نرمال قرار داشته است، اما سال ۱۳۸۷ میزان بارش کمتر از میانگین بارش سالانه بوده و خشک‌سالی شدید در منطقه رخ داده است. در صورتی که سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ شرایط رطوبتی منطقه به‌صورت نسبتاً مرطوب تا مرطوب متغیر بوده است.

جدول ۴ مقادیر همبستگی شاخص SPI در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت را با شاخص NDVI نشان می‌دهد. طبق آنچه که در مطالعات مختلف ذکر شده است و به‌صورت منطقی، پوشش گیاهی به تغییرات کوتاه‌مدت رطوبت (کمتر از ۳ ماه) پاسخ می‌دهد. در این مقاله نیز همبستگی بالای پوشش گیاهی با SPI کوتاه‌مدت ۱ و ۲ ماهه به دست آمده است. در سال ۱۳۹۰ بیشترین همبستگی (۹۲ درصد) با شاخص سه‌ماهه، به دلیل یکنواختی بارش در منطقه و شرایط نرمال از نظر خشک‌سالی مشاهده می‌شود. میزان بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه در این سال دارای نوسان کمتر و بیشترین مقدار نسبت به سال‌های دیگر است. بررسی تصاویر ماهواره نیز نشان داد که پوشش گیاهی در این سال‌ها (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) نسبت به سال‌های دیگر بیشتر بوده است. به این ترتیب همبستگی بین دو شاخص در این سال نسبت به بقیه سال‌ها بالاتر است. در شاخص‌های بلندمدت همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد مقدار همبستگی این دو شاخص بسیار کم است؛ به‌طوری‌که در همه سال‌های مورد مطالعه ضریب همبستگی معنی‌دار نبود.

با توجه به نتایج حاصل از همبستگی شاخص پوشش گیاهی DVI با شاخص خشک‌سالی SPI در جدول ۵، همانند شاخص NDVI در دوره‌های کوتاه‌مدت ۱، ۲ و ۳ ماهه همبستگی بالاتر و مثبت مشاهده می‌شود. شکل‌های ۷ تا ۱۰ نقشه‌های به‌دست‌آمده از نتایج شاخص DVI در سال‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. نتایج این شاخص نیز همانند شاخص NDVI حاکی از پوشش گیاهی مناسب در سه ماه اول سال‌های

جدول ۴. همبستگی بین شاخص NDVI با دوره‌های ماهانه SPI در سطح ۱ و ۵ درصد.

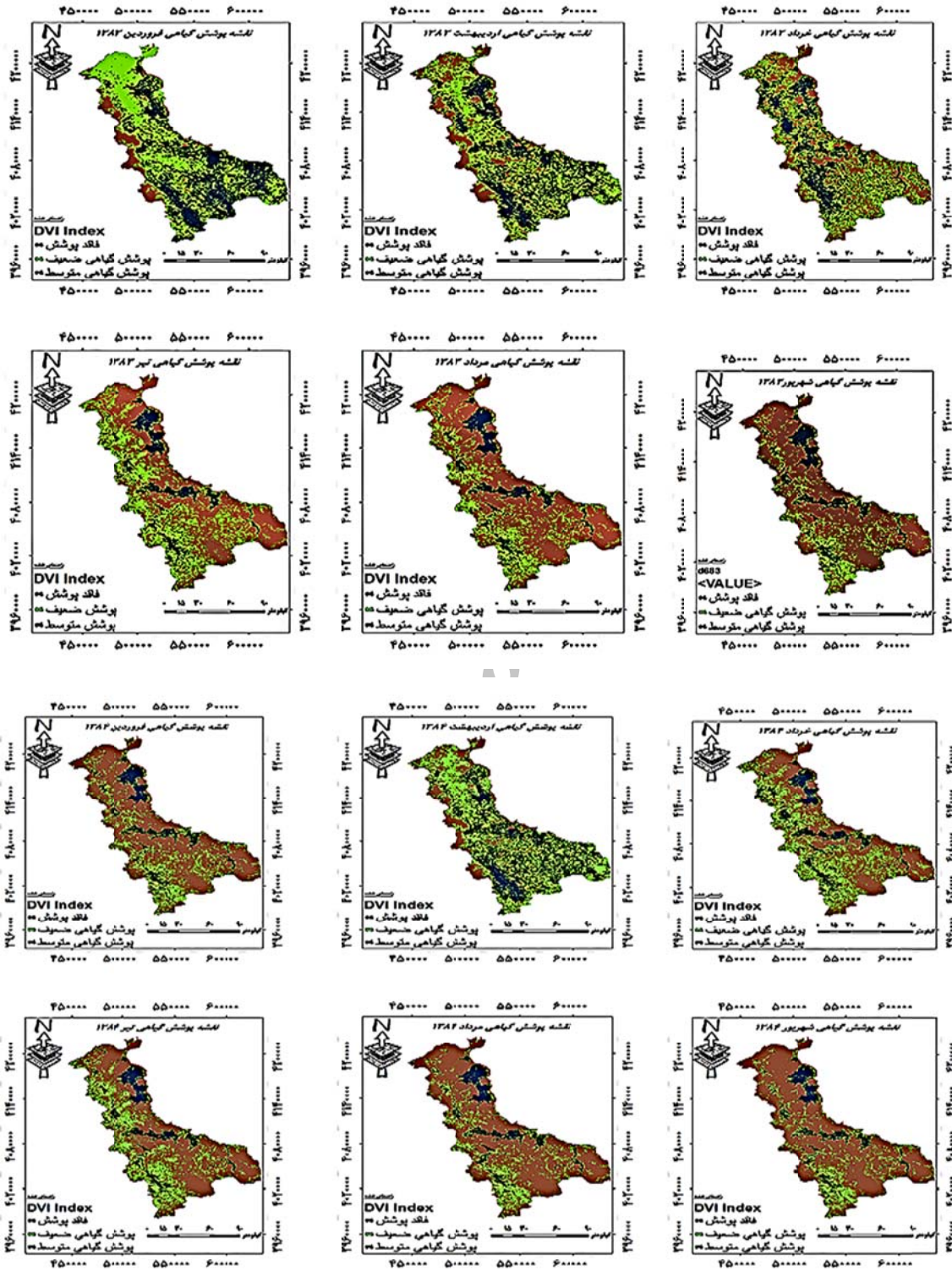
شاخص/دوره	سال ۱۳۸۳	سال ۱۳۸۴	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۸۷	سال ۱۳۸۹	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۱	سال ۱۳۹۳
SPI ۱ ماه	۰/۵۱۸*	۰/۷۷۸*	۰/۶۵۲	۰/۸۸۹**	۰/۷۶۷*	۰/۸۲۲*	۰/۶۲۳*	۰/۶۷۷*
SPI ۲ ماه	۰/۶۴۲*	۰/۵۳۸*	۰/۵۸۸	۰/۷۳۸*	۰/۶۶۶*	۰/۷۵۹*	۰/۶۷۲*	۰/۷۵۳*
SPI ۳ ماه	۰/۶۳۸*	۰/۲۱۷	۰/۱۹۴	۰/۸۷۸**	۰/۷۶۲*	۰/۹۲۱**	۰/۵۷۰*	۰/۶۸۵*
SPI ۶ ماهه	۰/۶۰۹*	۰/۳۳۹	۰/۱۰۵	۰/۷۳۸*	۰/۷۷۴*	۰/۸۸۶**	۰/۲۵۷	۰/۶۵۸*
SPI ۹ ماهه	۰/۳۷۳	۰/۲۰۹	۰/۴۷۲	۰/۶۵۵*	۰/۵۵۸	۰/۹۰۲**	۰/۳۵۵	۰/۳۹۲
SPI ۱۲ ماهه	۰/۴۴۳	۰/۴۱۲	۰/۲۸۳	۰/۵۱۴	۰/۵۷۶	۰/۵۶۲	۰/۱۴۶	۰/۱۷۸
SPI ۱۸ ماهه	۰/۳۲۵	۰/۴۱۵	۰/۲۳۶	۰/۲۴۲	۰/۴۵۳	۰/۳۲۶	۰/۰۵۶	۰/۰۱۳
SPI ۲۴ ماهه	۰/۴۵۲	۰/۳۱۹	۰/۳۴۳	۰/۱۲۳	۰/۲۳۴	۰/۱۲۸	۰/۲۱۵	۰/۲۸۹

** و * معنی داری در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب و بدون ستاره به معنی عدم معنی داری

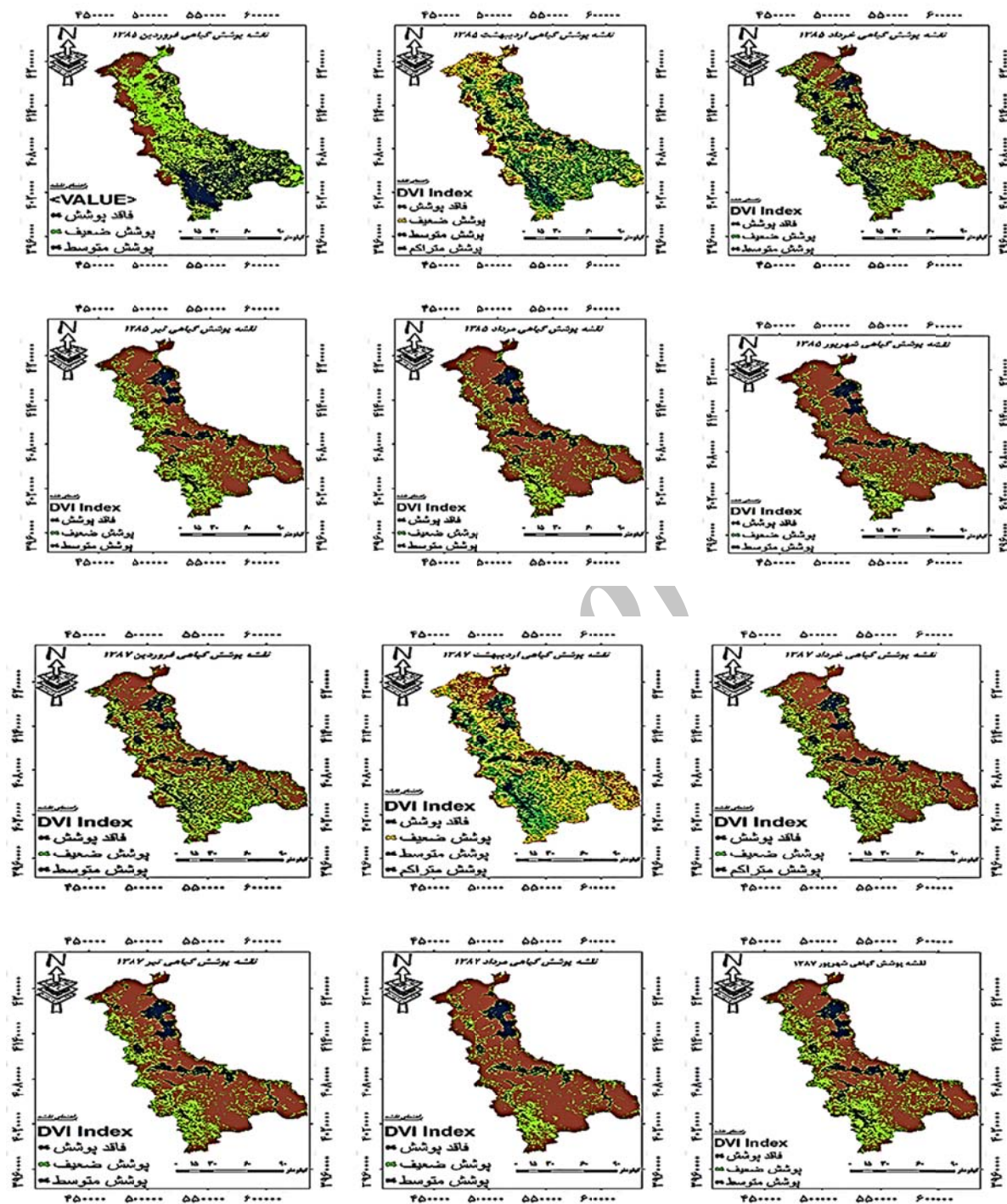
جدول ۵. همبستگی بین شاخص DVI با دوره‌های ماهانه SPI در سطح ۱ و ۵ درصد.

شاخص/دوره	سال ۱۳۸۳	سال ۱۳۸۴	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۸۷	سال ۱۳۸۹	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۱	سال ۱۳۹۳
SPI ۱ ماه	۰/۷۲۵*	۰/۶۶۷*	۰/۷۲۲*	۰/۸۷۶**	۰/۷۹۳*	۰/۶۵۳*	۰/۷۱۲*	۰/۶۹۱*
SPI ۲ ماه	۰/۶۷۷*	۰/۷۴۱*	۰/۷۸۷*	۰/۸۴۲*	۰/۶۸۵*	۰/۶۳۲*	۰/۶۹۸*	۰/۶۸۹*
SPI ۳ ماه	۰/۶۵۲*	۰/۵۶۸*	۰/۶۵۲*	۰/۷۵۲*	۰/۷۲۳*	۰/۶۲۳*	۰/۶۴۴*	۰/۶۵۶*
SPI ۶ ماهه	۰/۵۵۸*	۰/۶۷۵*	۰/۶۲۲*	۰/۶۳۸*	۰/۸۳۸*	۰/۵۲۳	۰/۶۴۱*	۰/۵۲۳
SPI ۹ ماهه	۰/۲۱۲	۰/۳۱۲	۰/۴۱۱	۰/۴۵۲	۰/۴۲۲	۰/۱۵۹	۰/۳۳۲	۰/۲۱۴
SPI ۱۲ ماهه	۰/۳۲۵	۰/۳۷۲	۰/۴۱۲	۰/۳۵۴	۰/۴۸۷	۰/۴۳۱	۰/۳۹۵	۰/۳۲۲
SPI ۱۸ ماهه	۰/۲۵۵	۰/۲۸۳	۰/۳۶۵	۰/۴۷۲	۰/۴۱۰	۰/۳۷۲	۰/۴۳۵	۰/۳۱۲
SPI ۲۴ ماهه	۰/۱۲۴	۰/۲۱۴	۰/۲۲۲	۰/۲۲۸	۰/۲۴۵	۰/۳۱۲	۰/۲۳۸	۰/۱۲۸

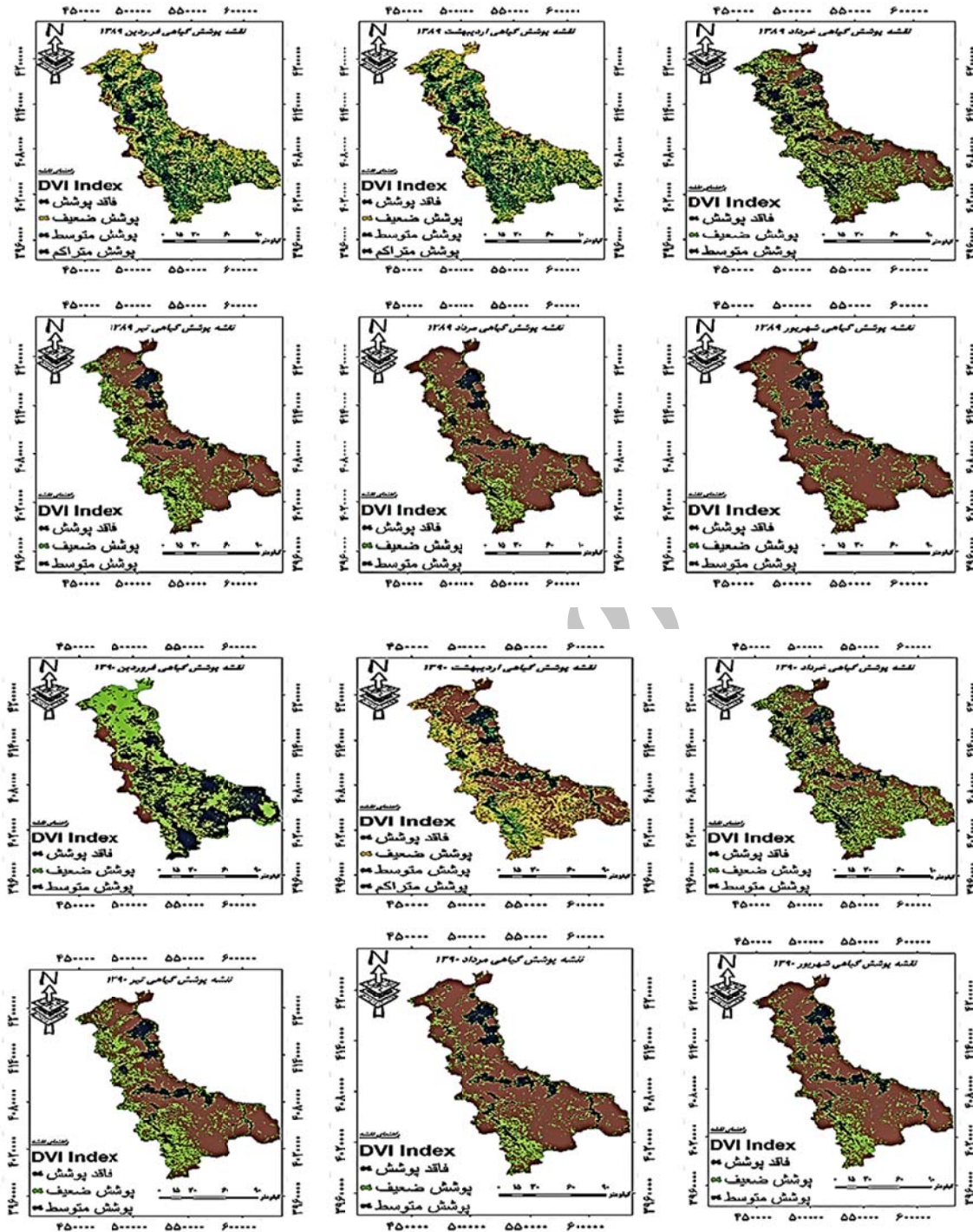
** و * معنی داری در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب و بدون ستاره به معنی عدم معنی داری



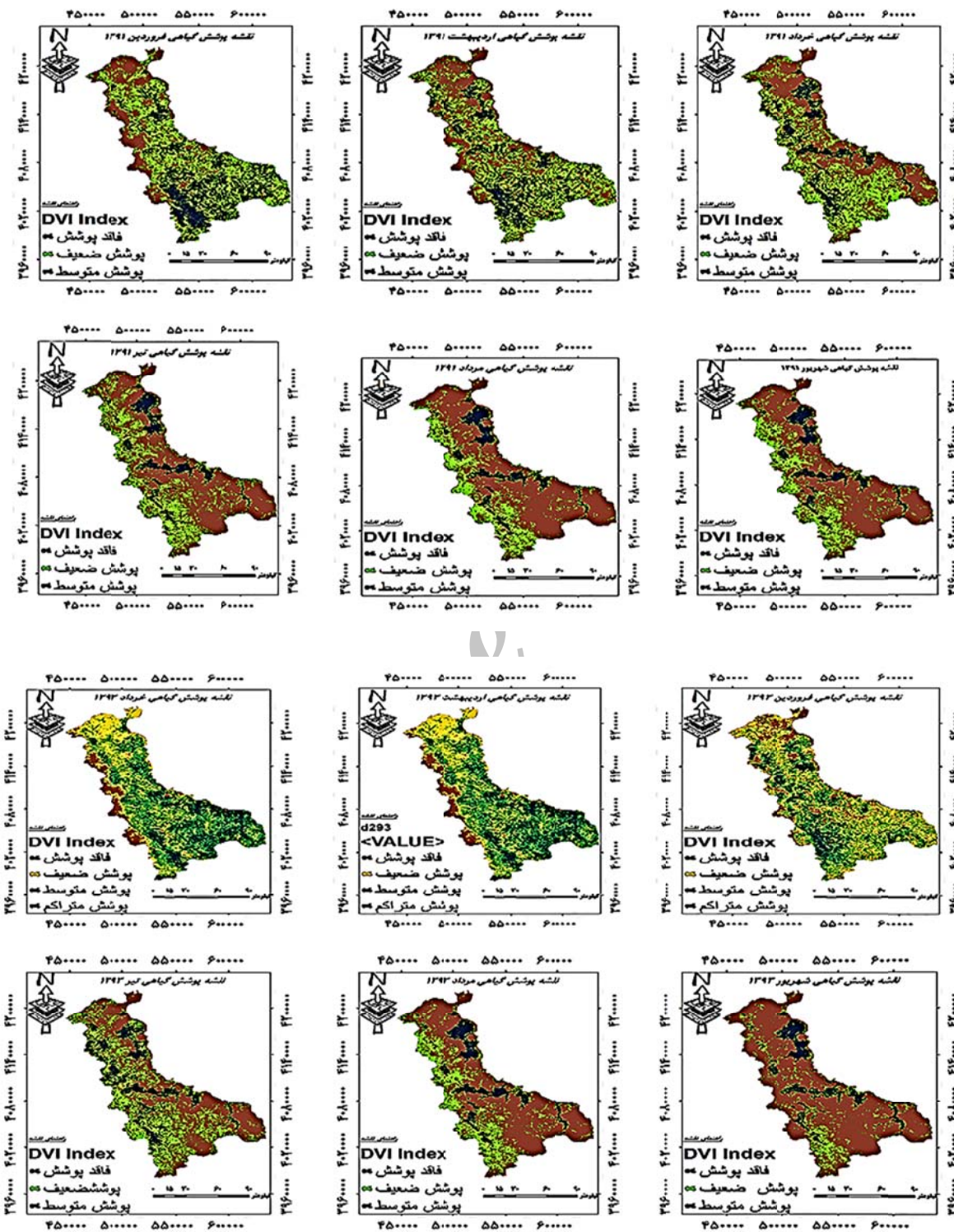
شکل ۷. شاخص DVI در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ (رنگ قهوه‌ای: فاقد پوشش گیاهی، رنگ زرد: پوشش گیاهی ضعیف، سبز: پوشش گیاهی متوسط و رنگ سیاه: پوشش گیاهی متراکم).



شکل ۸ شاخص DVI در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ (رنگ قهوه‌ای: فاقد پوشش گیاهی، رنگ زرد: پوشش گیاهی ضعیف، سبز: پوشش گیاهی متوسط و رنگ سیاه: پوشش گیاهی متراکم).



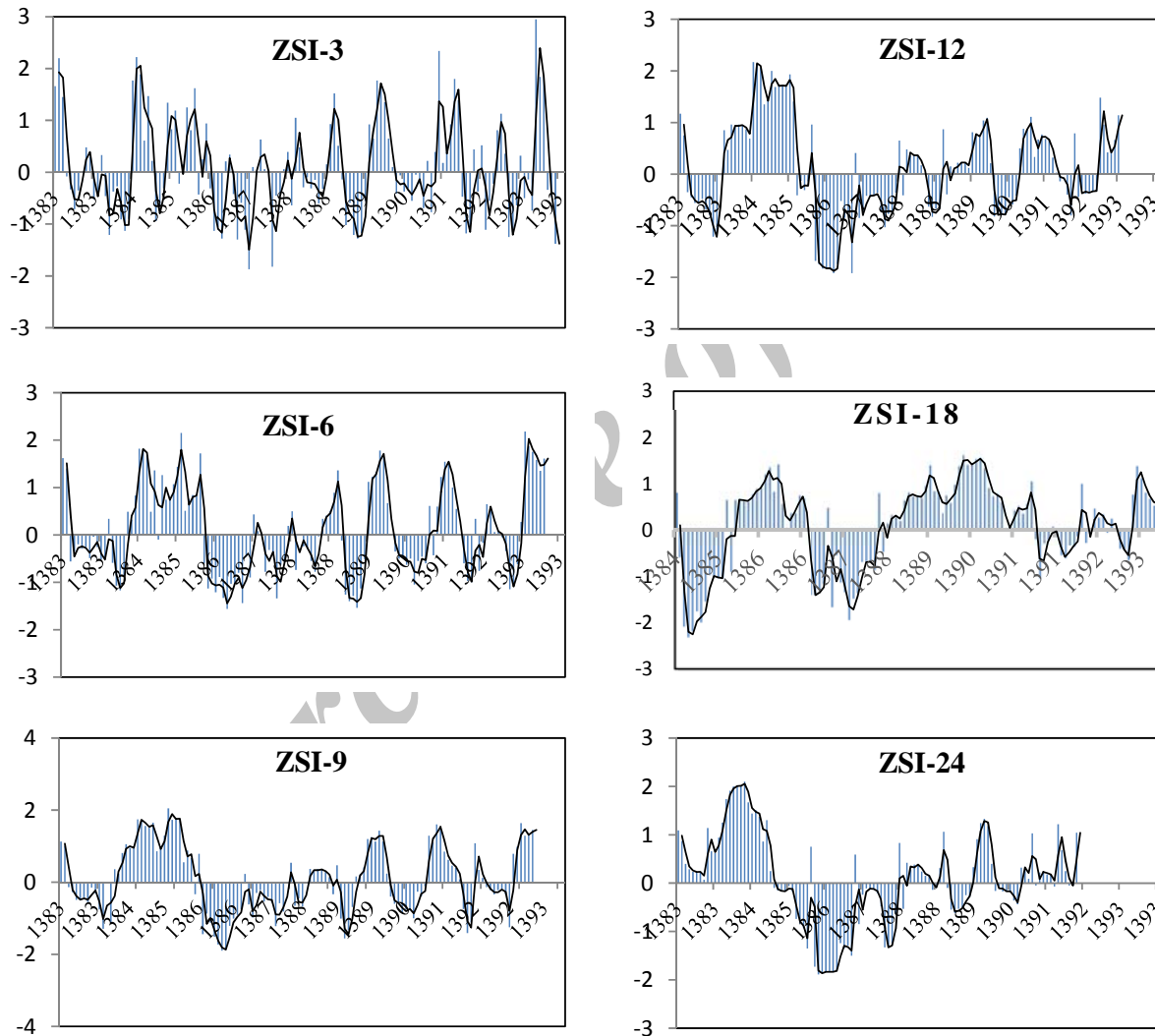
شکل ۹. شاخص DVI در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ (رنگ قهوه‌ای: فاقد پوشش گیاهی، رنگ زرد: پوشش گیاهی ضعیف، سبز: پوشش گیاهی متوسط و رنگ سیاه: پوشش گیاهی متراکم).



شکل ۱۰. شاخص DVI در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ (رنگ قهوه‌ای: فاقد پوشش گیاهی، رنگ زرد: پوشش گیاهی ضعیف، سبز: پوشش گیاهی متوسط و رنگ سیاه: پوشش گیاهی متراکم).

بالاترین درجه همبستگی بین دو شاخص به دست آمد. در مقایسه نتایج این دو شاخص نسبت به شاخص خشک‌سالی SPI، میزان همبستگی کمتر مشاهده گردید؛ هرچند در سال ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ بین شاخص پوشش گیاهی و این شاخص خشک‌سالی هواشناسی همبستگی منفی برقرار است. به نظر می‌رسد در استفاده از شاخص ZSI باید با احتیاط بیشتری عمل کرد.

میزان همبستگی این شاخص با مقادیر NDVI محاسبه شده از تصاویر ماهواره‌ای در جدول ۶ نشان داده شده است. در این جدول برای شاخص ZSI همانند شاخص SPI مقدار همبستگی در دوره‌های کوتاه‌مدت (۱ تا ۳ ماهه) بیشتر است و در دوره‌های بلندمدت شاخص خشک‌سالی کمترین مقدار همبستگی بین این دو شاخص مشاهده شد. سال ۱۳۹۰ که سال نرمال از نظر خشک‌سالی تعیین شد،



شکل ۱۱. شاخص ZSI به صورت دوره ۳ تا ۲۴ ماهه در طی سال آماری.

جدول ۶. همبستگی بین شاخص NDVI با دوره‌های ماهانه ZSI در سطح ۱ و ۵ درصد.

شاخص/دوره	سال ۱۳۸۳	سال ۱۳۸۴	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۸۷	سال ۱۳۸۹	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۱	سال ۱۳۹۳
ZSI ۱ ماه	۰/۶۶۱*	۰/۵۸۷	۰/۷۱۲**	۰/۸۷۸**	۰/۷۷۲*	۰/۶۹۸*	۰/۶۳۲	۰/۶۵۸
ZSI ۲ ماه	۰/۵۸۷	۰/۶۹۸*	۰/۶۶۵	۰/۷۵۴*	۰/۷۲۱*	۰/۶۹۶*	۰/۶۳۳	۰/۶۲۳
ZSI ۳ ماه	-۰/۴۳۲	-۰/۵۸۱	۰/۶۸۵	۰/۸۷۴**	۰/۷۵۱*	۰/۹۵۰**	۰/۵۷۷	۰/۴۷۹
ZSI ۶ ماهه	۰/۶۹۳*	۰/۴۲۶	۰/۰۶۷	۰/۷۲۱*	۰/۷۷۰*	۰/۸۳۱*	۰/۱۴۳	۰/۱۸۲
ZSI ۹ ماهه	۰/۵۶۳	۰/۲۲۲	۰/۴۵۶	۰/۶۶۰	۰/۵۷۱	۰/۹۲۳**	۰/۳۴۲	۰/۳۸۲
ZSI ۱۲ ماهه	۰/۵۲۱	۰/۳۲۷	۰/۳۰۰	۰/۴۵۶	۰/۵۳۴	۰/۵۲۲	۰/۲۶۱	۰/۲۹۰
ZSI ۱۸ ماهه	۰/۴۲۳	۰/۲۳۱	۰/۳۱۷	۰/۳۲۸	۰/۳۲۱	۰/۳۳۵	۰/۰۴۳	۰/۰۲۴
ZSI ۲۴ ماهه	۰/۴۷۳	۰/۲۳۷	۰/۳۶۰	۰/۱۲۹	۰/۲۳۸	۰/۱۲۲	۰/۳۵۲	۰/۳۸۶

** و * معنی داری در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب و بدون ستاره به معنی عدم معنی داری

منطقه بر اساس رابطه (۱۱) محاسبه و در جدول ۸ نمایش داده شده است. در مناطقی که ایستگاه هواشناسی و یا داده‌های کافی آماری برای بررسی خشک‌سالی هواشناسی وجود ندارد می‌توان از تصاویر ماهواره به منظور بررسی خشک‌سالی استفاده کرد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که تغییرات شاخص SPI سه‌ماهه تا چه اندازه با تغییرات شاخص NDVI هماهنگی دارد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، همبستگی بین شاخص‌ها در همه ایستگاه‌ها معنی دار است؛ بنابراین می‌توان مدل رگرسیونی و تابع همبستگی بین آنها را به صورت زیر نوشت:

$$\text{Ln}(x)+b Y=c \quad (\text{NDVI})+b \text{Ln SPI}=c \quad (11)$$

با توجه به نتایج جدول ۷ همبستگی بین شاخص‌های DVI و ZSI در دوره‌های کوتاه و بلندمدت در طی مدت آماری مشترک در منطقه بررسی شد. نتایج نشان داد که در سال ۱۳۸۴ (خشک‌سالی از نظر شاخص خشک‌سالی هواشناسی) و در دوره بلندمدت شاخص خشک‌سالی کمترین میزان همبستگی (۰/۰۸) به دست آمد. همچنین نتایج به دست آمده نشان‌دهنده همبستگی بیشتر این دو شاخص در دوره‌های کوتاه‌مدت نسبت به دوره‌های بلندمدت می‌باشد. هرچند در مقایسه با شاخص NDVI مقادیر همبستگی کمتر مشاهده شد. همبستگی بین تغییرات شاخص‌ها در ایستگاه‌های معرف

جدول ۷. همبستگی بین شاخص DVI با دوره‌های ماهانه ZSI در سطح ۱ و ۵ درصد.

شاخص/دوره	سال ۱۳۸۳	سال ۱۳۸۴	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۸۷	سال ۱۳۸۹	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۱	سال ۱۳۹۳
ZSI ۱ ماه	۰/۶۲۸*	۰/۶۸۸*	۰/۶۱۲	۰/۷۲۵**	۰/۷۱۱*	۰/۷۵۶*	۰/۶۸۷*	۰/۶۹۹*
ZSI ۲ ماه	۰/۶۲۱*	۰/۶۵۷	۰/۶۳۲*	۰/۷۲۱**	۰/۷۸۵**	۰/۶۹۲*	۰/۵۸۹	۰/۵۲۱
ZSI ۳ ماه	۰/۶۳۱*	۰/۵۳۷	۰/۶۲۱*	۰/۶۳۳*	۰/۶۳۹*	۰/۶۱۰	۰/۶۳۳*	۰/۶۷۷*
ZSI ۶ ماهه	۰/۵۱۱	۰/۵۲۲	۰/۵۳۲	۰/۶۵۸*	۰/۶۵۸*	۰/۵۸۸	۰/۵۶۸	۰/۶۲۱
ZSI ۹ ماهه	۰/۳۲۵	۰/۲۱۱	۰/۴۲۱	۰/۳۷۲	۰/۳۵۵	۰/۲۱۴	۰/۳۲۱	۰/۳۹۲
ZSI ۱۲ ماهه	۰/۳۳۲	۰/۱۲۵	۰/۱۴۵	۰/۳۰۰	۰/۴۳۶	۰/۱۷۷	۰/۳۶۲	۰/۳۶۵
ZSI ۱۸ ماهه	۰/۱۸۵	۰/۲۵۵	۰/۳۲۵	۰/۲۶۸	۰/۳۲۶	۰/۳۴۴	۰/۴۸۵	۰/۳۳
ZSI ۲۴ ماهه	۰/۱۲۴	۰/۰۸۰	۰/۳۳	۰/۲۱۱	۰/۳۲۱	۰/۱۰۱	۰/۱۲۵	۰/۲۵۶

** و * معنی داری در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب و بدون ستاره به معنی عدم معنی داری

جدول ۸. روابط رگرسیونی شاخص SPI-3 (۳ ماهه) با شاخص NDVI در ایستگاه‌های معرف در سطح ۵ درصد.

نام ایستگاه	r	مدل رگرسیون
ارومیه	۰/۶۶۵	$SPI = -259.7 \ln(NDVI) + 1879.1$
اشنویه	۰/۳۹۱	$SPI = -126.5 \ln(NDVI) + 915.78$
نقده	۰/۴۷۱	$SPI = -148 \ln(NDVI) + 1071$
مهاباد	۰/۳۶۱	$SPI = -13.7 \ln(NDVI) + 99.818$
پیرانشهر	۰/۱۰۷	$SPI = -21.64 \ln(NDVI) + 156.92$
سردشت	۰/۱۳۳	$SPI = 47.179 \ln(NDVI) - 340.97$
بوکان	۰/۱۱۵	$SPI = 22.872 \ln(NDVI) - 165.06$

همچنین این روند نزولی و معنی‌دار است که نشان از افزایش خشک‌سالی و کاهش پوشش گیاهی در طول دوره آماری می‌باشد.

جدول ۱۰. نتایج آزمون من-کندال جهت تشخیص روند شاخص‌های مورد بررسی.

شاخص	Z_s	S	روند
SPI	**۲/۸۷	۱۰۳	نزولی
ZSI	*۲/۰۸	۷۵	نزولی
NDVI	*۲/۳۶	۱۵	نزولی
DVI	**۳/۱	۱۱	نزولی

** و * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد به ترتیب

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به محاسبات شاخص‌های هواشناسی مشخص شد که در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ شرایط ترسالی در منطقه غالب بوده است. ولی در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ خشک‌سالی خفیف تا شدید رخ داده است. نتایج شاخص NDVI این مطلب را تأیید کرد و درصد کل پوشش در منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ به ترتیب ۱۹/۵، ۱۹/۸۵، ۱۹/۵ و ۱۹/۶ و در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ به ترتیب ۱۸/۷، ۱۸/۷ و ۱۹ درصد محاسبه شد. مقایسه‌های انجام شده میان شاخص‌های NDVI و DVI و شاخص‌های هواشناسی SPI و ZSI به ترتیب ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۹ و ۱۲ و ۲۴ ماهه، نشان داد که به‌طور کلی شاخص‌های

نتایج نشان داد که مقدار ضریب همبستگی از حداقل ۱۰/۷ درصد در ایستگاه پیرانشهر تا ۶۶/۵ درصد در ایستگاه ارومیه تغییر می‌کند. در نتیجه ایستگاه مرکز استان به‌خوبی معرف تغییرات شاخص خشک‌سالی هواشناسی و پوشش گیاهی می‌باشد. به‌منظور بررسی صحت مدل‌های رگرسیونی به‌دست آمده، با داشتن مقادیر شاخص NDVI در همین بازه زمانی شاخص خشک‌سالی هواشناسی (SPI) محاسبه شده و با مقادیر واقعی آن مقایسه شد. این مقایسه از طریق شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ارزیابی گردید (جدول ۹). هر چه مقدار این شاخص آماری کمتر باشد، بیانگر عملکرد بهتر مدل است.

جدول ۹. ارزیابی داده‌های واقعی و برآورد شده.

نام ایستگاه	RMSE
ارومیه	۲/۳۵
اشنویه	۳/۱۰
نقده	۲/۱۵
مهاباد	۴/۴۶
پیرانشهر	۴/۷۸
سردشت	۵/۵۶
بوکان	۳/۱۷

بررسی روند شاخص‌های مورد مطالعه در این تحقیق با روش من-کندال نشان داد که مقدار Z_s بزرگ‌تر از $\pm 1/96$ است و در نتیجه داده‌ها دارای روند می‌باشند.

(۲۰۰۴) مطالعاتی در زمینه خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی انجام دادند که در نتایج، به همبستگی بالای شاخص NDVI با دوره‌های کوتاه‌مدت SPI تأکید کردند.

مراجع

ابراهیم‌زاده، س.، بذرافشان، ج. و قربانی، ک. ه.، ۱۳۹۲، مطالعه تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از سنجش‌ازدور و شاخص‌های خشک‌سالی زمینی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱(۱)، ۳۶-۴۶.

باعقیده، م.، علیجانی، ب. و ضیائی، پ.، ۱۳۹۰، بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشک‌سالی‌های استان اصفهان. مطالعه جغرافیایی مناطق خشک، ۱(۴)، ۱-۱۶.

پرویز، ل.، خلقی، م.، ولیزاده، خ. و عراقی نژاد، ش.، ۱۳۹۰، بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی؛ مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سفیدرود. مجله جغرافیا و توسعه، ۹(۲۲)، ۱۴۷-۱۶۴.

صفری شاد، م.، حبیب نژاد روشن، م. و ایلدرمی، ع.، ۱۳۹۵، ارزیابی شاخص NDSI در پایش خشک‌سالی به کمک تکنیک سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: استان اصفهان). فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۵(۱۰۰)، ۳۶-۴۴.

طاهرزاده، س.، ۱۳۸۶، آنالیز خشک‌سالی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و تکنیک GIS در حوزه میناب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۵، اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۸۰.

فاضل دهکردی، ل.، آذرینوند، ح.، زارع چاهوکی، م.، محمودی کهن، ف. و خلیقی سیگارودی، ش.، ۱۳۹۵، پایش خشک‌سالی با استفاده از

پوشش گیاهی همبستگی خوبی با شاخص‌های هواشناسی در دوره‌های کوتاه‌مدت در طول دوره آماری داشته است. البته در سال‌هایی که خشک‌سالی هواشناسی روی داده است (برای مثال سال ۱۳۸۷)، مقدار همبستگی شاخص‌ها کاهش در صورتی که در سال‌های ترسالی و نرمال (برای مثال سال ۱۳۹۰) بیشترین میزان همبستگی با شاخص‌های کوتاه‌مدت مشاهده گردید. طاهرزاده (۱۳۸۶) نیز گزارش کرد که میزان همبستگی شاخص SPI و NDVI در فصول کم باران کمتر می‌شود اما با شروع بارش و رشد گیاه مقدار همبستگی افزایش می‌یابد. فاضل دهکردی و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان دادند که با تغییر روند اقلیمی به سمت نرمال و یا ترسالی مقادیر شاخص پوشش گیاهی افزایش نیز افزایش یافته است. نتایج شاخص‌های پوشش گیاهی حاکی از این است که در ماه‌های ابتدای سال‌های مورد بررسی، پوشش گیاهی متوسط در منطقه تحت تأثیر ذوب برف و بارندگی‌های زمستانه و پاییزه سال قبل غالب بوده و در سه ماه دوم سال نقشه‌ها نشان‌دهنده‌ی پوشش گیاهی ضعیف و بدون پوشش هستند چراکه بارندگی در این زمان بسیار محدود بوده است و چرای بیش‌ازحد باعث تخریب پوشش گیاهی شده است. به‌طورکلی بر اساس نتایج حاصله می‌توان چنین بیان کرد که در مکان‌هایی که داده‌های هواشناسی در دسترس نیست یا کمتر هستند یا اگر اطمینان کافی از داده‌ها در دست نیست می‌توان از شاخص پوشش گیاهی به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره در هر نقطه از کره زمین برای بررسی پدیده‌هایی مثل خشک‌سالی استفاده کرد. صفری‌شاد و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه اثر خشک‌سالی با شاخص NDVI بیان کردند که در بعضی مناطق و در حالت کلی یک تأخیر زمانی بین بارش و شاخص NDVI و NDV وجود دارد. پرویز و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که با توجه به نوع پوشش گیاهی موجود در منطقه همبستگی‌های متغیری بین شاخص‌های خشک‌سالی و پوشش گیاهی وجود دارد. محمودزاده و همکاران (۱۳۸۷)، طاهرزاده (۱۳۸۶)، رحیم‌زاده باجگیران و همکاران (۲۰۰۸) و ون و همکاران

شاخص خشک‌سالی SPI و NDVI در فریدون‌شهر اصفهان، سومین کنفرانس منابع آب و مدیریت، دانشگاه تبریز.

مصطفی‌زاده، ر. و ذبیحی، م.، ۱۳۹۵، تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R (بررسی موردی: استان کردستان). مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۳)، ۶۳۳-۶۴۳.

هادیان، ف.، حسینی، ز. و هادیان، ه.، ۱۳۹۵، بررسی تأثیر خشک‌سالی‌های اخیر بر کاهش سطح و تغییرات کاربری اراضی اطراف دریاچه مهارلو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. فصلنامه علمی-پژوهشی گیاه و زیست‌بوم، ۱۲(۴۹)، ۴۱-۵۶.

- Bayarjargal, Y., Adyasuren, T. and Mukhtuya, S., 2000, Drought and Vegetation Monitoring in the Arid and Semi-arid Regions of the Mongolia Using Remote Sensing and Groung Data. Proceeding of 21st Asian Conference on Remote Sensing, Taipei, Taiwan, (1), 327-377.
- Holben, B. N., 1986, Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. International Journal of Remote Sensing, 7, 1417-1434.
- Hulka, J., 2008, Calibrating ASTER for Snow Cover Analysis. 11th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2008. University of Girona, Spain.
- Kendall, M. G. and Stuart, A., 1977, The Advanced Theory of Statistics. MacMillan Publishing New York.
- Kriegler, F. J., Malila, W. A., Nalepka, R. F. and Richardson, W., 1969, Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 97-131.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J., 1995,

شاخص پوشش گیاهی NDVI (مطالعه موردی: مراتع استان ایلام). نشریه مرتع و آبخیزداری، ۶۹(۱)، ۱۴۱-۱۵۴.

کریمی، م.، شاهدی، ک. و خسروی، خ.، ۱۳۹۵، بررسی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی در حوزه آبخیز قره‌سو. مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۱)، ۱۵۹-۱۷۰.

محمدی، ج. و شتابی، ش.، ۱۳۸۸، ارزیابی حساسیت شاخص‌های طیفی گیاهی با استفاده از تابع حساسیت در برآورد حجم سرپای توده‌های جنگلی. مجله پژوهش علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۶(۲)، ۱۰۱-۱۲۰.

محمودزاده، ا.، ثقفیان، ب. و مختاری، ا.، ۱۳۸۷، کاربرد

- Drought monitoring with multiple time scales. 9th Conference on Applied Climatology, 233-236, Dallas, Boston, MA: American Meteorological Society.
- Quiring, S. and Ganesh, S., 2009, Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. Agricultural and Forest Meteorology, 1-10.
- Rahimzadeh-Bajgiran, P., Darvishsefat, A., Khalili, A. and Makhdom, A., 2008, Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the northwest of Iran. Journal of Arid Environmental, 72, 1086-1096.
- Richardson, A. J. and Wiegand, C. L., 1997, Distinguishing Vegetation From Soil Background Information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43, 1541-1552.
- Wan, Z., Wang, P. and Li, X., 2004, Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Products for Monitoring Drought in the Southern Great Plains, USA. International Journal of Remote Sensing, 25(1), 61-72.

Study of drought using meteorological and remote sensing data (Azarbaijan province)

Saberi, A.¹, Soltani-Gerdefaramarzi, S.^{2*} and Miryaghoubzadeh, M.³

1. M.Sc. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Yazd, Iran

2. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Yazd, Iran

3. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmiah University, Urmiah, Iran

(Received: 29 Aug 2017, Accepted: 06 Feb 2018)

Summary

In recent years, drought has created a destructive impact on the ecology, water resources management, and ecological processes. In this context, appropriate and appropriate method for predicting and monitoring the drought could have a significant impact in neutralizing the effect of this natural phenomenon. In this research, drought monitoring and evaluation of data from MODIS images were used in the extraction of NDVI and DVI indices. The study area of West Azarbaijan province is one of the northwest provinces of the country. In this study, images of meteorological index of drought or wet year have been used. ArcGIS 9.3 has been used to prepare and perform the necessary corrections on the images, as well as to prepare the vegetation cover index (NDVI) and vegetation difference index (DVI) using ENVI 4.5 software, to classify the results and output in the form of images. The aim of this study was to evaluate meteorological droughts using SPI and ZSI as monthly intervals and also determine the correlation between vegetation and meteorological droughts that happened in this area. The results of SPI and ZSI indices indicate that in the first three months of the year, the vegetation is moderate in the prevailing region, and in the second quarter of the year, the maps indicate weak and uncoated vegetation, because the rainfall is very limited in this time. On the other hand, in these months of the year, overgrazing has caused plant degradation. Vegetation in the first three months of the year seems to have had more favorable conditions due to the melting of snow and winter and autumn rainfall of the previous year. Percentage of vegetation coverage in the study area for the wet years 1383, 1385, 1390 and 1393, was respectively reported as 19.85%, 19.5%, 19.6% and 19.5% and also in the drought years 1384, 1387, and 1389 it was calculated as 18.71%, 18.7% and 19% respectively. The results of SPI and ZSI indices indicate that in the first three months of the year, the vegetation is moderate in the prevailing region, and in the second quarter of the year, the maps indicate weak and uncoated vegetation because the rainfall is very limited at this time. On the other hand, in these months of the year, overgrazing has caused plant degradation. Should be cautious about further action because One NDVI index is correlated with meteorological drought indices SPI and ZSI which is varied with respect to the short-term and long-term interval respectively. The result confirmed that NDVI and SPI indices were appropriate for monitoring and assessment of drought.

The highest correlation values between NDVI and DVI was observed for short term intervals of SPI and ZSI (1, 2 and 3 months). Generally the highest correlation values during the statistical period between NDVI and SPI was obtained as well as in the year when normal drought conditions were reported. In addition, the determination of trends of the indices using the Man Kendall test indicated that there exist a downward trend in all indices and there was an increase in drought and vegetation decline during the statistical period.

Keywords: Meteorological drought, index, remote sensing, correlation, MODIS.

*Corresponding author:

ssoltani@ardakan.ac.ir