

بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی *NDVI* در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان

محمد باعقیده*، استادیار گروه جغرافیا- دانشگاه تربیت معلم سبزوار

بهلول علیجانی، استاد گروه جغرافیا - دانشگاه تربیت معلم تهران

پرویز ضیائی‌ان، استادیار گروه جغرافیا - دانشگاه تربیت معلم تهران

چکیده

برای شناسایی شاخص جایگزین به جای شاخص‌های اقلیمی ارزیابی و پایش خشکسالی‌ها، آمار بارش ماهانه‌ی دوره‌ی رشد (مارس تا سپتامبر) ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان و تصاویر ماهواره *NOAA* در دوره‌ی آماری ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ تهیه و پردازش شدند. از آمار بارش شاخص *SPI* و از تصاویر ماهواره‌ای شاخص *NDVI* محاسبه و استخراج شدند. نواحی پوشش گیاهی استان از روی نقشه‌ی کاربری، اراضی به صورت مراتع غنی، متوسط، و فقیر تعیین شدند. در بین دوره‌های زمانی مختلف، شاخص *SPI*، دوره‌ی زمانی سه ماهه، همبستگی بالایی نشان داد و بقیه‌ی محاسبات براساس این دوره زمانی محاسبه شد. نتایج تحقیق نشان داد که در همه‌ی ایستگاه‌ها و کل استان مقدار شاخص‌ها در ماه‌های بهار، یعنی مارس تا می، بالا بود و در ماه‌های تابستان از مقدار آن‌ها کاسته شد. در سطح استان اندازه شاخص‌ها در مراتع غنی بالا و در مراتع فقیر کاهش نشان می‌دهد. همبستگی بین شاخص‌ها نیز در همه‌ی ایستگاه‌ها قابل قبول بود، این مساله نشان داد شاخص پوشش گیاهی *NDVI* می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی و پایش خشکسالی‌ها باشد. ارزش این شاخص در مناطقی که داده‌های هواشناسی بسیار پراکنده هستند و یا سری زمانی مرتب و مداوم ندارند بسیار بالا است.

واژگان کلیدی

خشکسالی، *SPI*، *NDVI*، پوشش گیاهی. استان اصفهان

۱- مقدمه

حدود ۶۴/۷ درصد از وسعت ایران (معادل ۱۰۵ میلیون هکتار) جزء اقلیم خشک و نیمه خشک می باشد. متوسط بارش کشور کم تر از یک سوم متوسط بارش سالانه جهان است و این میزان نیز از توزیع زمانی و مکانی مناسبی برخوردار نیست. خشک سالی به عنوان یک مخاطره ی طبیعی همواره بخش های مختلف کشور را متاثر نموده است. بررسی فراوانی رخداد خشک سالی نشان می دهد ایران از سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۴ با بیش از ۱۰ دوره ی خشک سالی مواجه بوده است. بررسی دقیق تر در دهه ی اخیر نیز گویای این است که در فاصله ی سال های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ کشور تحت تأثیر خشکی و کم آبی شدید قرار گرفته است، به طوری که بارش سالانه طی سال های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ حدود ۴۵ درصد کاهش داشته است. در دوره ی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ روند خشک سالی، به ویژه در مناطق جنوب، جنوب شرقی، مرکز و تا حدودی جنوب غرب ادامه داشته است. در مناطق خشک و نیمه خشک با توجه به حساسیت منطقه و کمبود بارش، اثرات خشک سالی تشدید شده و به خصوص بر روی منابع آب، کشاورزی و ... نمود بیش تری می یابد. بر اثر وقوع خشک سالی دوره ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ ذخیره ی آب کشور ۴۵ درصد افت کرد و ۲/۸ میلیون تن گندم و ۲۸۰ هزار تن جو از بین رفت و ۸۰۰ هزار راس دام در اثر تشنگی و گرسنگی تلف شدند. تنها در فاصله پنج سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ خسارت های ناشی از خشک سالی های پیوسته حدود ۹۲۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است (وزارت کشور، ۱۳۸۴).

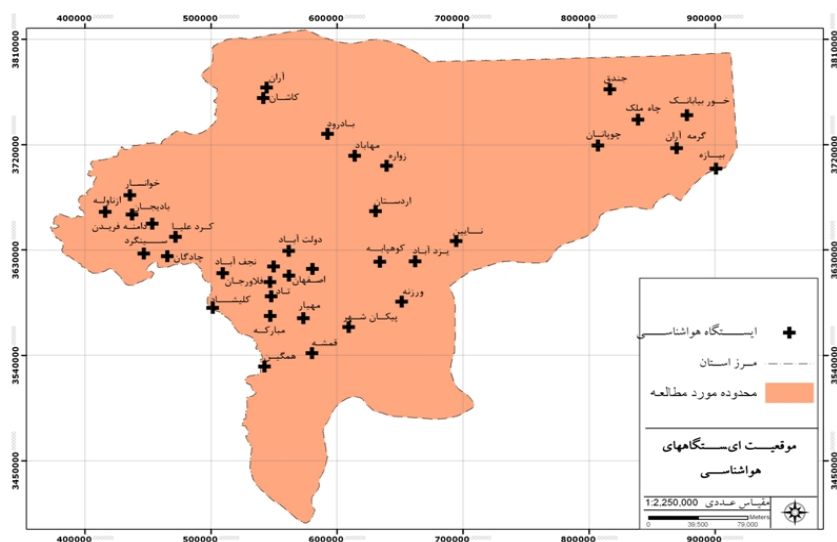
مطالب فوق نشان می دهد که در دهه های اخیر خشک سالی بر اقلیم کشور و از جمله استان اصفهان مستولی بوده است. بررسی سری های زمانی بارش، فراوانی رخداد پدیده خشک سالی را در استان اصفهان تأیید می کند. تداوم و شدت بسیاری از این رویدادها بسیار چشم گیر و قابل توجه می باشد (نوری، ۱۳۸۰: ۵۲). این در حالی است که روند رشد جمعیت و به پیروی از آن نیاز به آب در این منطقه از کشور رو به افزایش است. افزایش جمعیت به همراه کاهش نسبی بارش و افزایش دما، استعداد این استان را برای وقوع خشک سالی افزایش داده است. این وضعیت به ویژه در مناطق پر جمعیت و صنعتی بیش تر محسوس است. نیاز شدید جمعیت و صنعت به آب در استان اصفهان سبب شده است که کسری موجود در ذخایر آب استان حتی در ترسالی ها نتواند ترمیم شود. طی سال های ۱۳۸۲-۱۳۷۹ رخداد ممتد و طولانی خشک سالی بخش های مختلف اقتصادی، اجتماعی، و منابع تولید اکثر مناطق استان اصفهان را تحت تأثیر قرار داد و خسارات جبران ناپذیری بر پیکره تولیدات کشاورزی و محیط زیست وارد نمود. اثرات این خشک سالی ها نه تنها در حوضه زاینده رود بلکه در شهرستان های واقع در مناطق کوهستانی که بارش سالانه قابل توجهی دارند نیز مشهود است. برآوردها نشان می دهد که طی سال های زراعی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ به ترتیب بالغ بر ۲۷۶۳ و ۲۲۸۲ میلیارد ریال به طور مستقیم به تولیدکنندگان بخش کشاورزی استان خسارت وارد شده است (جعفری، ۱۳۸۴: ۳۵-۲۲). هر چند بررسی و تحلیل خشک سالی های استان اصفهان با استفاده از روش های مختلف مورد توجه محققان متعددی قرار داشته است (نوری، ۱۳۸۰؛ جعفری، ۱۳۸۴؛ اسلامیان، ۱۳۸۵)، اما توجه کم تری به استفاده از شاخص های گیاهی به عنوان یکی از شیوه های نوین در پایش خشک سالی ها شده است. از آن جایی که گیاهان به تغییرات اقلیمی به ویژه تغییرات آب محیطی واکنش دقیق تری نشان می دهند، از قدیم از شاخص های مهم تشخیص نوع آب و هوا و تغییرات آن بوده اند.

ایستگاه های هواشناسی در مناطق بیابانی کشور چندان فراوان نیستند، از طرف دیگر داده های هواشناسی آن ها در بیش تر موارد از تداوم منظم و طولانی برخوردار نیست. در صورتی که پایش مداوم و کارآمد

خشک‌سالی‌ها الزاماً باید به‌طور مداوم و منظم و در کل منطقه انجام گیرد. در حال حاضر تصاویر ماهواره‌ای به‌طور منظم و با دقت تفکیک مکانی بالا، از سطح زمین تهیه می‌شوند و می‌توانند شرایط نظم و گسترده‌گی فضایی را فراهم کنند (ویلهایت، ۲۰۰۰: ۱۸-۱). امتیاز دیگر داده‌های تصاویر ماهواره‌ای قابلیت ورود مستقیم آن‌ها به سیستم‌های پردازشی است که بازنگری و بهنگام‌سازی سریع آن‌ها را ممکن می‌سازد (جلیلی، ۱۳۸۴: ۵۸). بدین جهت این پژوهش سعی دارد که کارایی شاخص پوشش گیاهی ماهواره‌ای را در مطالعه تغییرات خشک‌سالی‌های استان اصفهان بررسی نماید. تا بتواند با اثبات قابلیت این شاخص، راهی مطمئن و دقیق برای شناخت و پایش خشک‌سالی‌ها ارائه دهد.

۲- مواد و روش‌ها

در این جا برای بررسی قابلیت شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده NDVI^۱ از شاخص اقلیمی دیگری به نام شاخص بارش استاندارد شده (SPI^۲) استفاده شده است. سپس همبستگی بین این دو شاخص در نواحی مختلف استان اصفهان سنجیده شد. ابتدا جهت برآورد شاخص SPI آمار بارش ماهانه ۳۶ ایستگاه هواشناسی استان در دوره‌ی آماری ۳۱ ساله (۱۹۷۳-۲۰۰۳) از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. مکان این ایستگاه‌ها در شکل ۱ و مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آمده است. سپس برای استخراج شاخص پوشش گیاهی (NDVI) تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA به شماره‌های ۱۴، ۱۶، و ۱۷ با قدرت تفکیک ۱/۱ کیلومتر از سازمان فضایی کشور برای بازه‌ی زمانی (۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳) فقط برای ماه‌های دوره‌ی رشد، یعنی مارس تا سپتامبر، تهیه شدند. این دوره در برگیرنده سال‌های خشک و تر است. تعداد تصاویر تهیه شده برای هر ماه دوره آماری به جهت شرایط متفاوت جوی، متفاوت بود. وجود این محدودیت‌ها سبب شد برای برخی از ماه‌ها چون، سپتامبر ۱۹۹۹ می ۲۰۰۰، آگوست و سپتامبر ۲۰۰۳، هیچ تصویری تهیه نشود. اما در مقابل در برخی از ماه‌ها مانند جولای، ۲۰۰۳ هفت تصویر تهیه شد. در مجموع در کل دوره آماری، ۴۵ ماه مورد بررسی قرار گرفت. این تعداد آمار برای تهیه مدل‌های رگرسیونی کافی می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های استان

^۱ - Normalized Difference Vegetation Index

^۲ - Standardized Precipitation Index

جدول ۱. ایستگاه‌های هواشناسی منتخب منطقه‌ی مطالعه.

نام ایستگاه	طول	عرض	نام ایستگاه	طول	عرض
آران	۵۱/۴۸	۳۴/۰۶	خوانسار	۵۰/۳۱	۳۳/۲۳
اردستان	۵۲/۴	۳۳/۱	خمینی شهر	۵۱/۵۳	۳۲/۶۸
ازناوله	۵۰/۱	۳۳/۱	خور بیابانک	۵۵/۰۸	۳۳/۷۸
بادیجان	۵۰/۳۳	۳۳/۰۸	کلیشاد	۵۱	۳۲/۳۵
بادرود	۵۲	۳۳/۷	کوه پایه	۵۲/۴۳	۳۲/۷۱
بیازه	۵۵/۳۳	۳۳/۳۳	کرد علیا	۵۰/۷	۳۲/۹۱
چادگان	۵۰/۶۳	۳۲/۷۶	مهاباد	۵۲/۲۳	۳۳/۵۳
چاه ملک	۵۴/۶۶	۳۳/۷۶	مهیار	۵۱/۷۸	۳۲/۲۸
چوپانان	۵۴/۳۱	۳۳/۵۷	مبارکه	۵۱/۵	۳۲/۳
دامنه	۵۰/۵	۳۳/۰۱	نابین	۵۳/۰۸	۳۲/۸۶
دولت آباد	۵۱/۶۶	۳۲/۸	نجف آباد	۵۱/۱	۳۲/۶۳
اصفهان	۵۱/۶۶	۳۲/۶۱	پیکان شهر	۵۲/۱۶	۳۲/۲۱
فلاورجان	۵۱/۵	۳۲/۵۶	شرق اصفهان	۵۱/۸۶	۳۲/۶۶
گرمه	۵۴/۹۸	۳۳/۵۳	سینگرد	۵۰/۴۳	۳۲/۷۸
قمشه	۵۱/۸۵	۳۲/۰۱	تاد	۵۱/۵۱	۳۲/۴۵
همگین	۵۱/۴۵	۳۱/۹۱	ورزنه	۵۲/۶۱	۳۲/۴
جندق	۵۴/۴۳	۳۴	یزد آباد	۵۲/۷۳	۳۲/۷۱
کاشان	۵۱/۴۵	۳۳/۹۸	زواره	۵۲/۵	۳۳/۴۵

تصحیحات هندسی و زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای، براساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ توپوگرافی استان انجام شد. کار اصلی تصحیحات هندسی بازیابی^۱ تصاویر، یعنی دستیابی به تصاویر پایه‌ی منطبق با واقعیت زمین است (جهانی، ۱۳۷۵: ۳۳). در فرایند بازیابی تصحیحات رادیومتر^۲ و هندسی انجام می‌شود. تصحیحات رادیومتر^۲ به منظور از بین بردن خطاهای ایجاد شده در تصویر، اعمال می‌شوند. این خطاها حاصل تأثیر داده‌های نادرست یا پیکسل‌های اطلاعاتی است که تصویر نشده‌اند (زبیری و همکاران، ۱۳۷۵: ۴۸). به همراه فایل های تصاویر ماهواره‌ای معمولاً یک فایل جانبی که حاوی اطلاعات مربوط به مختصات تصویر است، ارائه می‌گردد که در آن مختصات تقریبی تصاویر وجود دارد. این مختصات فقط جهت توجیه داده‌های ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه بوده و مختصات واقعی پیکسل‌ها نمی‌باشد (گاتمن، ۱۹۹۰: ۲۸۲-۲۹۵). برای انجام تصحیحات هندسی ابتدا یکی از تصاویر با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ و براساس سیستم مختصات عرض و طول جغرافیایی زمین مرجع شد. تصاویر دیگر نیز براساس این تصویر اولیه درسیستم فوق ثبت شدند. حداکثر خطای (RMS3) مورد پذیرش ۰/۵ پیکسل در نظر گرفته شد. برای احراز این شرط ۱۲ نقطه مبنا مورد استفاده قرار گرفت، این نقاط در محدوده‌ی مطالعاتی استان اصفهان قرار داشتند؛ چند نقطه نیز از محدوده‌ی سواحل خلیج فارس، دریای عمان، و دریای خزر انتخاب شدند. مرز استان اصفهان با سیستم تصویر UTMWGS-84 تهیه شده است؛ این سیستم

^۱ - Image Restoration

^۲ - Radiometric Correction

جهت همخوانی با تصاویر ماهواره‌ای به سیستم عرض و طول جغرافیایی تبدیل شده و روی تصاویر قرارگرفت تا محدوده‌ی استخراج شاخص‌ها معین شود. تمامی مراحل مربوط به پردازش نهایی تصاویر، از جمله ترکیب و تفریق باندها و اعمال روابط منتهی به استخراج شاخص 11 توسط نرم افزارهای مربوطه انجام گرفت. در تصاویر مورد استفاده به تصحیحات رادیومتری نیازی نشد.

۲-۱- شاخص NDVI

این شاخص از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌هایی است که در زمینه‌ی مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده است (کاسا^۱، ۱۹۹۰). فرایند محاسباتی ساده دارد و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیک می‌باشد. این شاخص بیش‌ترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه‌ی خاک، به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کم‌تری دارد. شاخص NDVI از رابطه زیر محاسبه می‌شود (کوگان^۲، ۱۹۹۳: ۱۹۹-۱۹۷)

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

که در آن NIR، بازتاب در باند فرورسرخ نزدیک و RED، انعکاس در باند سرخ است. اگرچه از دیدگاه نظری مقدار این شاخص در محدوده ۱- و ۱+ می‌باشد ولی در عمل کم‌تر از ۱ و بیش‌تر از ۱- است. مقادیر این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم به سوی عدد یک میل می‌کند ولی ابرها، برف و آب با مقادیر منفی مشخص می‌شوند. سنگ‌ها و خاک‌های بایر که واکنش‌های طیفی مشابه در دو باند مورد استفاده دارند با مقادیر نزدیک به صفر دیده می‌شوند. در این شاخص خاک معمولی، معادل یک منظور می‌شود. هر قدر فاصله شاخص یک پیکسل بالاتر از اندازه خاک باشد نشان دهنده تراکم پوشش گیاهی است (آلیسون^۳، ۱۹۸۹: ۱۹۶۷-۱۹۶۵). استفاده از شاخص NDVI در مراحل مختلف رشد گیاه نتایج خاصی را ارائه می‌دهد، نتایج این شاخص در مرحله‌ی گل دادن، میوه دادن و فصل رویش بهتر از مراحل دیگر رشد است. با اعمال رابطه ۱ در تصاویر پیش‌پردازش شده، شاخص NDVI محاسبه شد. برای ماه‌هایی دارای چند تصویر، متوسط ماهانه تهیه شد. مقادیر متوسط ماهانه NDVI در طول دوره‌ی آماری باتوجه به مختصات مناطق معرف از تصاویر استخراج شدند.

۲-۲- شاخص SPI

این شاخص برای کمی نمودن کمبود بارش یا میزان خشک‌سالی در بازه‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴، و ۴۸ ماهه) طراحی شده است. این مقیاس‌های زمانی متفاوت، اثرات ویژه‌ی خشک‌سالی را بر روی قابلیت دسترسی به منابع آبی مختلف بیان می‌کند و دقت محاسبات را بالا می‌برد (هانگ و هایس^۴، ۲۰۰۱: ۷۴۵-۷۵۸). شاخص SPI در مطالعه، تأثیرات کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه‌ها، کارایی مناسبی دارد (قلی‌زاده، ۱۳۸۳: ۸۲). برای محاسبه‌ی شاخص SPI ابتدا باید بارش ایستگاه‌ها با توزیع‌های مختلف برازش شوند تا بهترین توزیع انتخاب شود. بررسی مک‌کی^۵ و همکارانش (۱۹۹۳: ۱۸۴-۱۷۹) نشان داده است که توزیع گاما برازش مناسبی برای داده‌های بارش دارد. تابع توزیع گاما به شرح زیر است:

¹ - Kassa

² - Kogan

³ - Allison

⁴ - Hong and Hayes

⁵ - Mckee

$$G(x) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-x/\beta} \quad (2)$$

که در آن α پارامتر شکل؛ β ، پارامتر مقیاس؛ X ، مقدار بارش برحسب میلی‌متر است. تمامی آن‌ها بیش‌تر از صفر است. عبارت $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است. تابع احتمال تجمعی به صورت زیر محاسبه می‌شود (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳: ۱۷۹-۱۸۴):

$$\int_0^x Y(X) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x X^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx \quad G(X) = \quad (3)$$

اگر $T = \frac{X}{\hat{\beta}}$ آنگاه تابع اخیر به شکل تابع گامای ناقص در می‌آید:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (4)$$

که در آن T ، نسبت مقدار بارش به پارامتر مقیاس است. از آنجایی که تابع گاما برای مقادیر $X=0$ تعریف نشده است و توزیع بارش ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، احتمال تجمعی به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$H(X) = q + (1-q)G(x) \quad (5)$$

در این رابطه q احتمال صفر است و در صورتی که m تعداد مقادیر صفر در یک سری زمانی بارش باشد، q را می‌توان از طریق رابطه زیر برآورد نمود:

$$q = \frac{m}{n} \quad (6)$$

پس از محاسبه‌ی احتمال تجمعی کل، $H(X)$ ، مقدار متغییر تصادفی نرمال استاندارد هم احتمال، با احتمال مذکور که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است، محاسبه می‌گردد. این مقدار همان شاخص SPI است. معادلات زیر مقدار Z یا SPI را از روی مقادیر $H(X)$ محاسبه می‌کنند:

$$Z = SPI = - \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (0 < H(X) \leq .5) \quad (7)$$

$$Z = SPI = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (.5 < H(X) \leq 1) \quad (8)$$

که در آن

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{H(X)^2} \right]} \quad (0 < H(X) \leq 1) \quad (9)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(X))^2} \right]} \quad (.5 < H(X) \leq 1) \quad (10)$$

در این معادلات $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$ مقادیر ثابت و $H(X)$ احتمال تجمعی است.

$$D_1 = 3.432788 \quad D_2 = 0.18929 \quad D_3 = 0.003308 \quad C_0 = 2.535537 \\ C_1 = 0.802853 \quad C_2 = 0.030328$$

جهت تسهیل در محاسبات، مرکز ملی تعدیل خشک‌سالی ایالات متحده آمریکا، نرم‌افزار ویژه SPI را تهیه کرده است. در خروجی این نرم‌افزار شاخص محاسبه شده در محدوده ۲+ و بیش‌تر برای ترسالی حاد و در محدوده ۲- و کم‌تر برای خشک‌سالی حاد درجه‌بندی می‌شود. این گروه‌بندی براساس رتبه‌بندی اولیه طراحان شاخص انجام می‌گیرد. درجات خشک‌سالی براساس نمرات شاخص بارش استاندارد شده در جدول ۲ آورده شده است. بارش ماهانه برای هر یک از ایستگاه‌ها در دوره آماری مورد نظر استخراج شد. براساس تحقیق مک‌کی و همکارانش (۱۹۹۳) از بین سری‌های مختلف SPI دوره‌های زمانی یک، سه، و شش ماهه به عنوان دوره‌های کوتاه مدت و دوره‌های دوازده، بیست و چهار، و چهل و هشت ماهه به عنوان دوره‌های بلند مدت تعیین شده‌اند. سری‌های کوتاه مدت در بررسی خشک‌سالی‌های کشاورزی و سری‌های بلند مدت در شناسایی و بررسی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارند (هاگس^۱ و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۵۹۲-۱۵۷۱). شاخص ماهانه SPI ایستگاه‌های هواشناسی در دوره‌ی آماری محاسبه شد.

جدول ۲: طبقه‌بندی ضرایب شاخص SPI (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳).

نمرات SPI	طبقه
$2 \leq$	ترسالی بسیار شدید (حاد)
۱/۵ - ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ - ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا ۰/۹۹ -	تقریباً نرمال
۱ - ۱/۴۹ -	خشک‌سالی متوسط (ملایم)
۱/۵ - ۱/۹۹ -	خشک‌سالی شدید
$2 - \leq$	خشک‌سالی بسیار شدید (حاد)

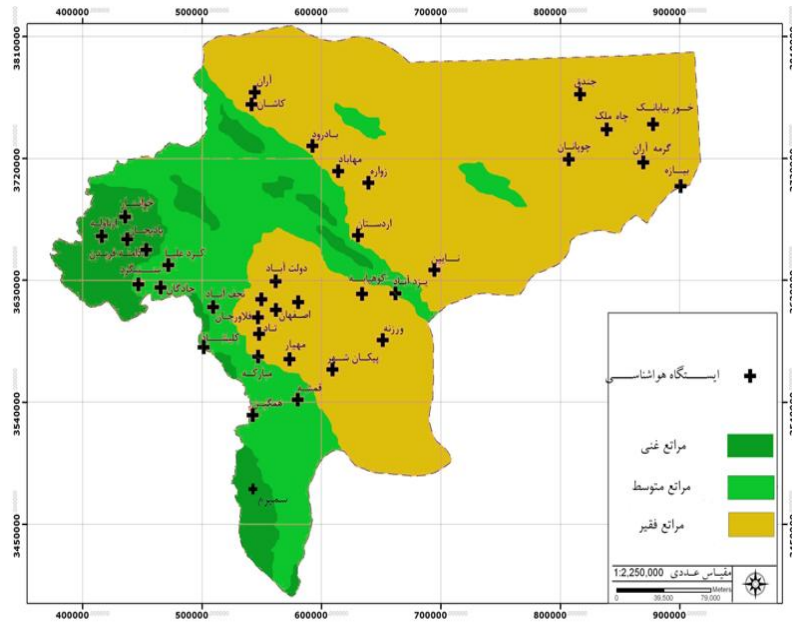
۲-۳- انتخاب مناطق معرف

جهت بررسی دقت و توان شاخص پوشش گیاهی در هماهنگی و تخمین شاخص اقلیمی SPI، مناطقی به عنوان مناطق معرف در سطح استان انتخاب شدند. در گزینش این مناطق تا حد امکان سعی شده است که از پوشش گیاهی مرتعی یا محصولات زراعی دیم که بیش‌ترین تأثیر پذیری را از تغییرات بارش دارند، استفاده شود. شرط دیگر انتخاب این مناطق وجود ایستگاه‌های هواشناسی و دسترسی به داده‌های بارش است. البته مناطقی نیز که فاقد ایستگاه هواشناسی بودند، برای ارزیابی دقت محاسبات در شرایط وجود و نبود ایستگاه هواشناسی انتخاب شدند. در این مناطق شاخص SPI از طریق درون‌یابی برآورد شد. تفکیک انواع مراتع استان هم براساس نقشه‌ی کاربری اراضی اداره کل منابع طبیعی استان انجام شد. براساس این نقشه، مراتع به سه گروه غنی، متوسط، و فقیر تقسیم شدند مناطق معرف (شکل ۳) براساس مقایسه‌ی نقشه‌ی مراتع تفکیک شده با نقشه‌ی پراکندگی مکانی ایستگاه‌های هواشناسی به شرح زیر انتخاب شدند:

ایستگاه‌های خوانسار، بادیجان، دامنه فریدن، و ازناوله در منطقه‌ی پوشش مراتع غنی قرار گرفتند، ایستگاه‌های همگین، سینگرد، نجف‌آباد، در منطقه‌ی مراتع متوسط قرار گرفتند. ایستگاه‌های نائین، کوهپایه و چاه ملک در منطقه‌ی مراتع فقیر قرار گرفتند.

^۱-Hughes

محدوده شهرستان سمیرم در جنوب غرب و کبوترآباد در ناحیه‌ی مرکزی به عنوان مناطق فاقد ایستگاه هواشناسی انتخاب شدند.



شکل ۲. نواحی پوشش گیاهی استان اصفهان. (اداره کل منابع طبیعی اصفهان، ۱۳۸۰)

۴-۲- بررسی روابط بین شاخص‌ها

به منظور تعیین قدرت کارایی شاخص NDVI در مطالعه‌ی خشک‌سالی‌ها، همبستگی بین این شاخص و شاخص خشک‌سالی اقلیمی یعنی SPI محاسبه شد. ابتدا همبستگی شاخص‌ها در ایستگاه‌های معرف هر ناحیه، برای همه دوره‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد، سپس براساس نتایج این همبستگی‌ها دوره‌ی زمانی مناسب تعیین گردید. همبستگی‌های سایر ایستگاه‌ها برای دوره‌ی زمانی تعیین شده محاسبه گردید. نتایج محاسبه به صورت نمودارهایی برای ایستگاه‌های هر ناحیه، معرف نمایش داده شد.

۳- نتایج

نتایج همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی و اقلیمی در همه‌ی بازه‌های زمانی در ایستگاه‌های معرف نواحی منتخب در سطح $\alpha = 0.05$ معنی‌دار بودند (جدول ۳). ضرایب همبستگی جدول ۳ میانگین همه‌ی ۱۲ ایستگاه منتخب است. در این تحقیق هم همانند کار جی و پیترز^۱ (۲۰۰۳) شاخص SPI دوره‌ی زمانی سه ماهه بالاترین ضریب همبستگی را نشان داد. علت این حالت را می‌توان عکس‌العمل تاخیردار پوشش گیاهی به تغییرات بارش به سبب ظرفیت نگهداری آب در خاک دانست. این شاخص به صورت غیرمستقیم از شرایط بارشی تأثیر می‌پذیرد. به این معنی که تأثیر شرایط کم آبی یا پرآبی با تاخیر، ابتدا در پوشش گیاهی منعکس شده و سپس کمیت شاخص را تغییر می‌دهد. مطالعات تنکابایل^۲ (۲۰۰۳) نیز این تأخیر را با طول متوسط ۳ ماه تأیید می‌کند. با توجه به این یافته، در محاسبات همبستگی ایستگاه‌های دیگر از سری SPI سه ماهه استفاده شد.

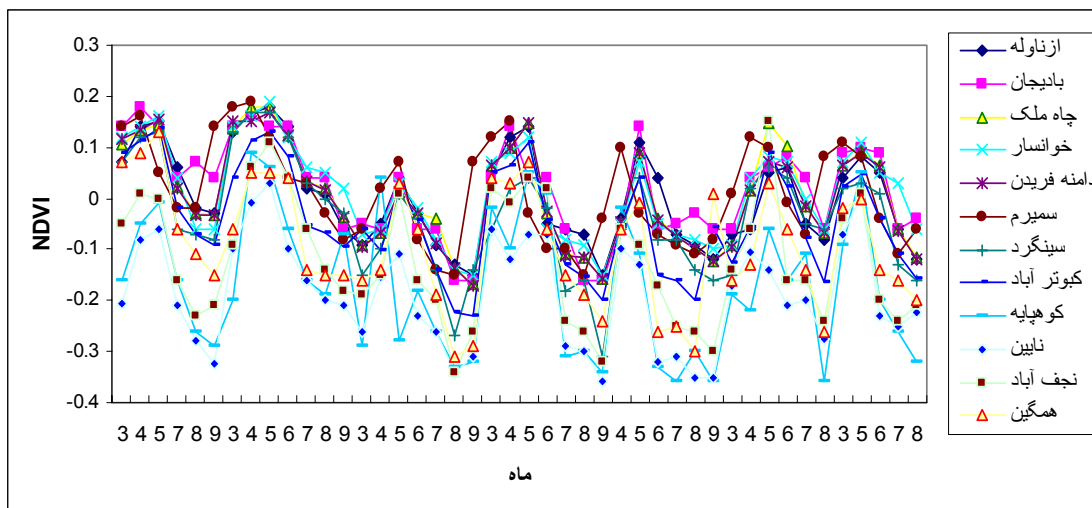
¹- Ji and Peters

²- Thenkabai

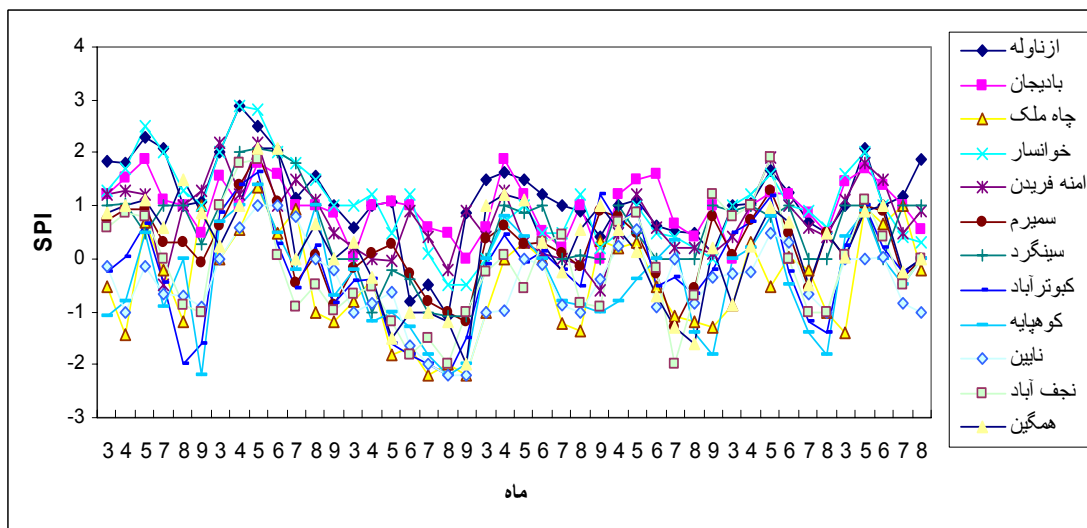
جدول ۳: متوسط ضریب همبستگی بین شاخص NDVI و سری‌های SPI در ایستگاه‌های معرف. ($a=0.05$)

SPI سری	۱ماهه	۳ماهه	۶ماهه	۱۲ماهه	۲۴ماهه	۴۸ماهه
r	۰/۵۸۱	۰/۶۶۱	۰/۵۵۸	۰/۵۲۰	۰/۵۰۸	۰/۴۱۰

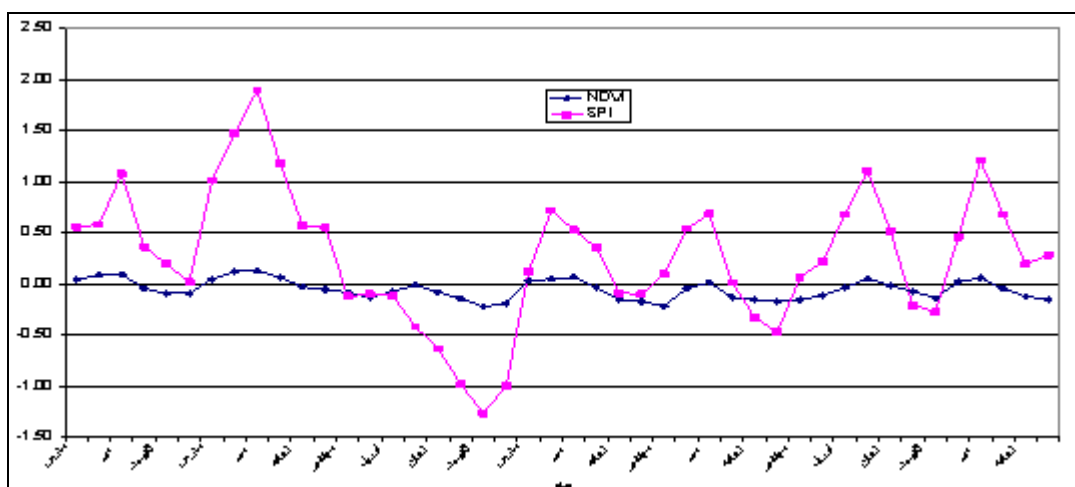
تغییرات مقادیر محاسبه شده‌ی شاخص NDVI، در شکل ۳ و سری سه ماهه‌ی شاخص SPI. در شکل ۴ و هماهنگی بین متوسط هر دو شاخص براساس تمام ایستگاه‌ها در شکل ۵ ترسیم شده‌اند. شکل ۳ یک حالت تناوبی تغییرات شاخص پوشش گیاهی را در ماه‌های هر سال نشان می‌دهد، اما بررسی انفرادی هر کدام از ایستگاه‌ها چنین الگویی را نشان نمی‌دهد. تغییرات شاخص پوشش گیاهی در طول ماه‌های سال نامنظم است. این وضعیت از منحنی متوسط شاخص پوشش گیاهی در شکل ۵ معلوم است. شاخص اقلیمی SPI هم تقریباً چنین وضعی دارد. برخلاف ظاهر شکل ۴. تغییرات منحنی‌های انفرادی ایستگاه‌ها نامنظم است، همان‌طور که از شکل ۵ هم هویدا است. نکته‌ی مهم شکل ۵، هماهنگی بین دو شاخص است. اگرچه مقدار شاخص SPI بیش‌تر از شاخص پوشش گیاهی است ولی تغییرات دو شاخص تقریباً هماهنگ است. اندازه‌ی این هماهنگی در ضرایب همبستگی بین شاخص‌های NDVI و SPI سه ماهه در ایستگاه‌های معرف معلوم است. این ضرایب در جدول ۴ ارائه شده‌اند. طبق این جدول در همه‌ی ایستگاه‌های معرف تغییرات هر دو شاخص هماهنگ است. این هماهنگی هم در محدوده‌ی خوانسار، ازناوله، باديجان و دامنه‌ی فریدن بیش‌تر از منطقه ناپین، نجف‌آباد، چاه ملک و کوه پایه است. علت این مساله نوع و کیفیت مراتع می‌باشد. نواحی غربی استان اصفهان، همانگونه که در شکل ۲ مشخص است دارای مراتع غنی است که ضرایب همبستگی بالاتری را بین شاخص SPI و شاخص‌های پوشش گیاهی سبب شده است. در محدوده شهرستان سمیرم علی‌رغم وجود پوشش گیاهی مرتعی غنی، ضریب همبستگی قابل توجهی بین شاخص‌ها مشاهده نشد، که دلیل آن برآورد مقادیر SPI این محدوده از طریق درونیایی بوده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد داده‌های آماری بارش ایستگاه سمیرم به علت نقص بیش از حد، قابلیت ورود به مدل SPI و محاسبه این شاخص را به صورت مستقیم نداشتند. مقادیر نسبتاً بالای NDVI محاسبه شده برای این محدوده، گویای وجود شرایط بارشی مناسب و پوشش گیاهی غنی است که در شاخص SPI منعکس نشده است، و در واقع یکی از نقاط ضعف شاخص اقلیمی SPI در برابر شاخص ماهواره‌ای محسوب می‌شود. به همین دلیل در منطقه کبوتر آباد واقع در نواحی مرکزی استان نیز همبستگی معنی داری مشاهده نشد.



شکل ۳: مقادیر NDVI محاسبه شده در ایستگاه‌های معرف. محور افقی ماه‌های دوره رشد سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ را نشان می‌دهد. شماره‌های آن ماه‌های سال را به شرح زیر نشان می‌دهند: شماره ۳ مربوط به ماه مارس و ۹ معرف ماه سپتامبر است.



شکل ۴: مقادیر شاخص SPI سه ماهه در ایستگاه‌های معرف. محور افقی همانند شکل ۳ است.



شکل ۵: نمودارهای متوسط شاخص‌های NDVI و SPI سه ماهه در کل ایستگاه‌های معرف در طول دوره مطالعه.

جدول ۴: ضرایب همبستگی بین شاخص‌های NDVI و SPI در ایستگاه‌های معرف و استان ($\alpha = 0.05$)

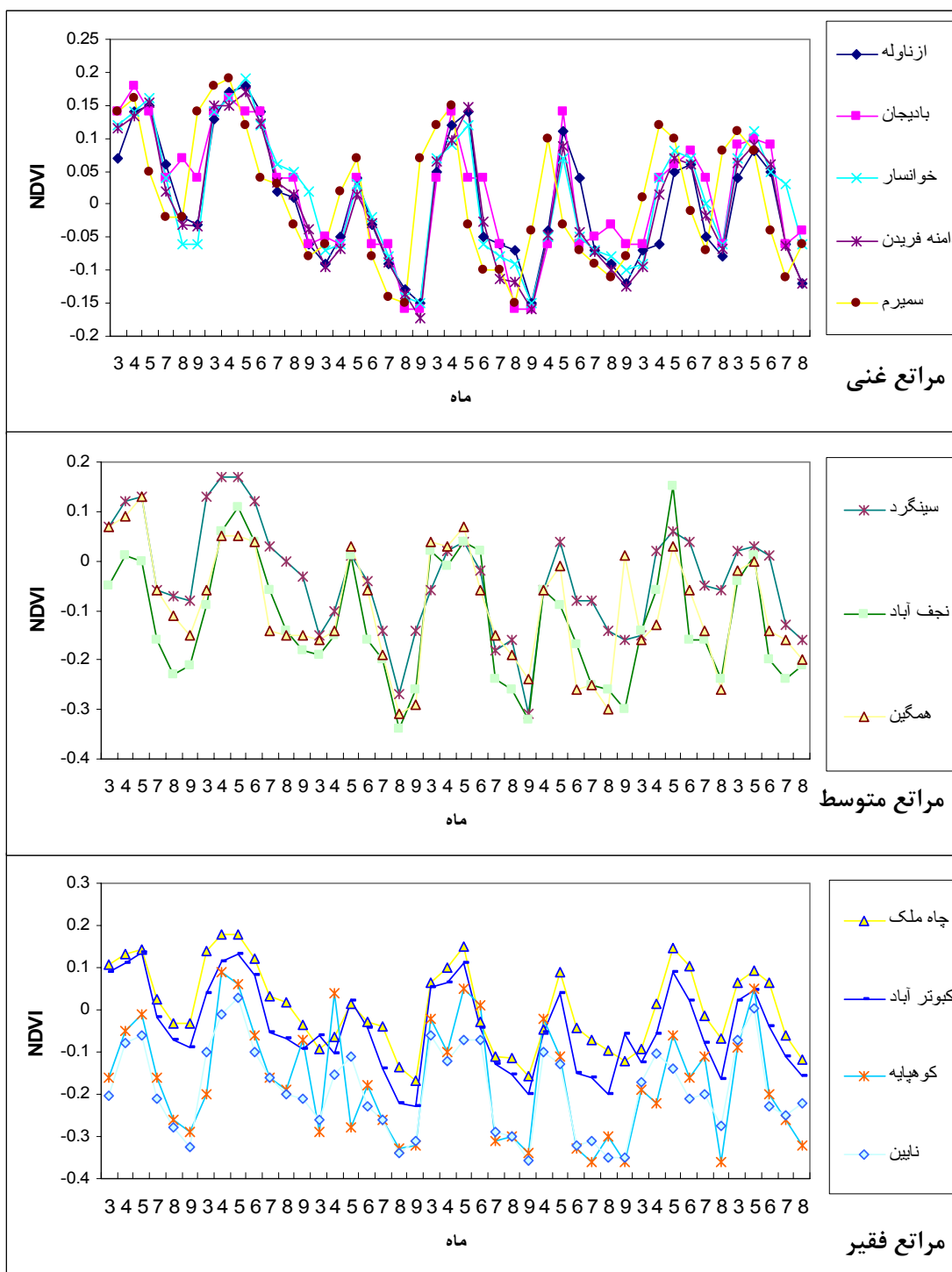
	ازناوله	بادیجان	خوانسار	دامنه	سمیرم	همگین	سینگرد	نیچف‌آباد	کوهپایه	چاه‌ملک	نابین	کبوترآباد
r	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۶۸	۰/۵۹	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۱۵	۰/۵۳

از طرف دیگر در منطقه چاه ملک در منتهی‌الیه شرق استان نیز همبستگی بین شاخص‌ها پائین بود. این منطقه از متوسط بارش سالانه ناچیزی (۸۳ میل‌متر) برخوردار است و شاخص SPI محاسبه شده به سمت مقادیر منفی گرایش دارد. ایستگاه مربوطه از آمارکافی برخوردار بوده و به صورت مستقیم در معادلات محاسبه SPI شرکت داده شده است. با این وجود مقادیر شاخص NDVI برآورد شده، بالاتر از متوسط منطقه و در حد ایستگاه‌ها و مناطق پر بارش غرب استان است. این عدم هماهنگی عمدتاً به دلیل وجود اراضی کشاورزی و آبیاری آن‌ها در دوره‌ی رشد می‌باشد که به ارائه مقادیر غیر واقعی NDVI انجامیده است.

۳-۱- نواحی پوشش گیاهی

تغییرات شاخص NDVI ایستگاه‌های منتخب هر کدام از نواحی پوشش گیاهی به‌طور جداگانه در شکل ۶ و تغییرات شاخص SPI در شکل ۷ ترسیم شده‌اند. تقریباً در همه‌ی مناطق شاخص NDVI در ماه مه افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد که گاه تا اواسط ژوئن تداوم می‌یابد. این مقادیر حداکثر NDVI منطبق با زمان گلدهی و حداکثر تاج پوشش گیاهی می‌باشد. در مناطقی مانند سمیرم، دامنه، فریدن، خوانسار و بادیجان که از مراتع بیلاقی و غنی برخوردار هستند، بعد از زمان گلدهی و در هنگام شروع بهره‌برداری از مراتع و چرای بیش از حد، افت محسوس در پوشش گیاهی و متعاقباً کاهش NDVI مشاهده می‌شود (شکل ۶).

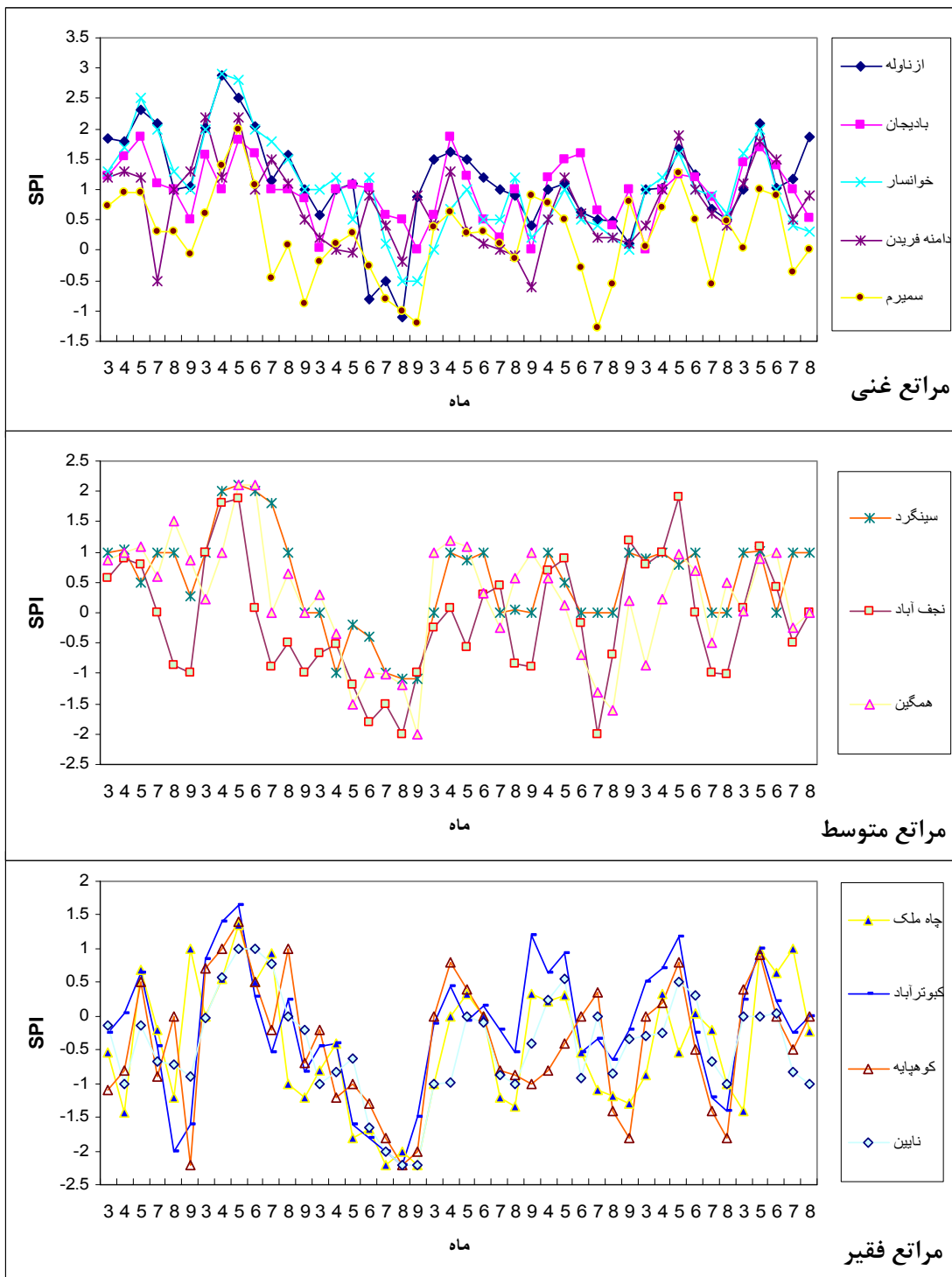
مقادیر شاخص NDVI در زمان بعد از بهره‌برداری، بین سال‌های تر و خشک فرق می‌کند. در سال‌های همراه با خشک‌سالی مانند سال ۱۹۹۹، به علت کاهش قابل ملاحظه مقدار بارش، پوشش گیاهی کاهش شدیدی می‌یابد و در نتیجه مقدار شاخص NDVI کاهش می‌یابد. اما در شرایط ترسالی (۱۹۹۸) به جهت وجود بارش فراوان، پوشش گیاهی با تنش مواجه نبوده و به دلیل رشد مجدد آن، مقدار شاخص NDVI افزایش می‌یابد. این وضعیت را در مناطق واقع در غرب و جنوب غرب استان، می‌توان مشاهده کرد. منحنی NDVI ایستگاه سمیرم با ایستگاه‌های دیگر هماهنگی خوب ندارد و از نظر مقادیر SPI هم (شکل ۷) کم‌ترین مقدار را دارد. در مجموع منحنی‌های شاخص NDVI در مراتع غنی هماهنگ‌تر هستند. طبق شکل ۶ این هماهنگی در مراتع متوسط ضعیف شده و در مراتع فقیر خیلی کاهش پیدا کرده است، برای این که در مراتع فقیر هم شرایط اقلیمی و هم میزان رشد گیاه بسیار پراکنده و ناهماهنگ است.



شکل ۶: تغییرات شاخص *NDVI* در ایستگاه‌های منتخب نواحی پوشش گیاهی. شرح محور افقی همانند شکل ۳ است.

همانگی شاخص *SPI* در مراتع فقیر بیشتر از مراتع غنی است (شکل ۷). برای این که در مراتع فقیر شرایط خشکی فراگیرتر است و همه‌ی نقاط شرایط مشابهی را بروز می‌دهند. مقادیر *SPI* در همه‌ی ایستگاه‌ها در ماه‌های مارس تا می مقدار بیشتری را نشان می‌دهد و در ماه‌های تابستان به حد اقل می‌رسد. نمودارهای

شکل ۷، یک روند کلی کاهش شاخص را، از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ نشان می‌دهد. یعنی این‌که بر شدت خشکی منطقه در طول این سال‌ها افزوده شده است.



شکل ۷: تغییرات شاخص SPI در ایستگاه‌های منتخب نواحی پوشش گیاهی. شرح محور افقی همانند شکل ۳ است.

هدف نهایی پژوهش حاضر ارزیابی مدلی جایگزین برای شاخص اقلیمی جهت تحلیل و پیش بینی خشک‌سالی‌ها بود. بدین منظور همبستگی بین تغییرات شاخص‌ها در ایستگاه‌های معرف و کل استان براساس رابطه‌ی زیر محاسبه و در جدول ۵ درج شده است.

$$SPI = bNDVI + a$$

مدل بالا و نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که تغییرات شاخص *SPI* تا چه اندازه‌ای با تغییرات شاخص *NDVI* هماهنگی دارد. این نتایج هم‌چنین نشان می‌دهند که در موارد نبود داده‌های هواشناسی شاخص *NDVI* جایگزین خوبی برای شاخص اقلیمی *SPI* است و می‌توان از آن برای تحلیل خشک‌سالی‌ها استفاده کرد. همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد، همبستگی بین شاخص‌ها در همه ایستگاه‌ها بالا و معنی‌دار است. بنا بر این می‌توان مدل‌های رگرسیونی و تابع همبستگی بین آن‌ها را نوشت. مدل هماهنگی تغییرات در همه ایستگاه‌ها مثبت است. طبق جدول ۵، همبستگی‌های ایستگاه‌ها از $r = 0.48$ در ایستگاه چاه ملک تا $r = 0.76$ در ایستگاه خوانسار تغییر می‌کند.

جدول ۵: روابط رگرسیونی بین شاخص‌های *SPI* و *NDVI* در ایستگاه‌های معرف. ($a = 0.05$)

مدل رگرسیون	r	نام ایستگاه
$SPI = 1.11NDVI + 6.157$	0.7256	ازناوله
$SPI = .91NDVI + 3.84$	0.70697	بادیجان
$SPI = -.459NDVI + 4.581$	0.48135	چاه ملک
$SPI = .958NDVI + 6.518$	0.76746	خوانسار
$SPI = .745NDVI + 4.676$	0.67454	دامنه فریدن
$SPI = .198NDVI + 4.278$	0.58813	سمیرم
$SPI = .692NDVI + 4.473$	0.6257	سینگرد
$SPI = .00316NDVI + 4.888$	0.52716	کبوتر آباد
$SPI = .222NDVI + 3.695$	0.5283	کوهپایه
$SPI = .293NDVI + 3.959$	0.55543	نابین
$SPI = .487NDVI + 4.925$	0.60042	نجف آباد
$SPI = .69NDVI + 4.91$	0.60564	همگین

۴ - نتیجه‌گیری

به‌منظور شناسایی یک شاخص معتبر و مداوم و فراگیر برای جایگزینی شاخص‌های اقلیمی خشک‌سالی‌ها شاخص پوشش گیاهی *NDVI* انتخاب گردید. از شاخص‌های اقلیمی هم، شاخص *SPI* انتخاب شد. شاخص *NDVI* براساس ضرایب انعکاسی تصاویر ماهواره‌ای در باندهای مناسب در دوره‌ی رشد سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ محاسبه شد. آمار بارش ماهانه ۳۶ ایستگاه استان اصفهان در دوره‌ی مذکور استخراج شد. در مجموع پس از تصحیح و ارزیابی داده‌ها و بررسی تصاویر ماهواره‌ای، ۴۵ ماه آماری فراهم شد. نواحی پوشش گیاهی استان هم به سه گروه مراتع غنی و متوسط و فقیر تقسیم شدند. تغییرات شاخص‌های *NDVI* و *SPI* به‌طور

جداگانه در تمام ایستگاه‌های معرف نواحی مرتعی غنی، متوسط و فقیر بررسی شد. در همه‌ی سال‌های مطالعه، اندازه‌ی شاخص‌ها در ماه‌های مارس تا می بالا بود و در ماه‌های تابستان کاهش داشتند. هر دو شاخص شرایط حاکمیت خشکی و کاهش پوشش گیاهی را نشان دادند. در سطح استان هم، اندازه‌ی شاخص پوشش گیاهی در مراتع غنی، معنی‌دار بود. همبستگی بین دو شاخص در سری‌های سه ماهه شاخص SPI بالا بود. در نتیجه در همه محاسبات از شاخص سه ماهه استفاده شد.

همبستگی بین شاخص‌ها در همه ایستگاه‌ها در سطح ($\alpha = 0.05$) معنی‌دار بود. این همبستگی‌ها نشان داد که شاخص پوشش گیاهی NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص SPI باشد. و در مکان‌هایی که داده‌های هواشناسی کم‌تر هستند و یا این‌که به دقت آن‌ها نمی‌توان اعتماد کرد، می‌توان از شاخص پوشش گیاهی که در این سال‌ها به طور مرتب و از همه جای کره زمین تهیه می‌شود استفاده کرد.

۵ - فهرست منابع

- (۱) اسلامیان، سید سعید؛ مدرس، رضا و سلطانی، سعید (۱۳۸۵). گروه‌بندی مکانی خشک‌سالی با استفاده از شاخص استاندارد بارش در استان اصفهان، آب و فاضلاب، ۵۷، صص ۷۵-۷۲.
- (۲) جعفری، احمد (۱۳۸۴). تدبیر آینده با نگاه به گذشته. درس‌هایی از خشک‌سالی‌های اخیر استان اصفهان، خشکی و خشک‌سالی کشاورزی، ۱۷، صص ۳۵-۲۲.
- (۳) جلیلی، شیدا (۱۳۸۴). مقایسه شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی در پایش خشک‌سالی‌ها (مطالعه موردی استان تهران) پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- (۴) جهانی، علی (۱۳۷۵). قابلیت اطلاعات ماهواره‌ای و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مطالعات ارزیابی زمین (مطالعه موردی حوضه طالقان) پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- (۵) زبیری، محمود و مجد، علیرضا (۱۳۷۵). آشنایی با فن سنجش ازدور و کاربرد آن در منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- (۶) شیرمحمدی، رضا (۱۳۸۲). کاربرد SPI در بررسی الگوهای مکانی و زمانی خشک‌سالی‌های فصل بهار استان خراسان. بولتن علمی مرکز ملی اقلیم‌شناسی، ۱، صص ۷۶-۶۸.
- (۷) قلی‌زاده، محمد حسین (۱۳۸۳). پیش‌بینی و پایش آگاهی خشک‌سالی در غرب ایران. پایان‌نامه‌ی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران.
- (۸) نوری، محسن (۱۳۸۰). تحلیل خشک‌سالی‌های استان اصفهان. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران.
- (۹) وزارت کشور (۱۳۸۴). گزارش تفصیلی خشک‌سالی‌های اخیر.
- (10) Allison, E.W. (1989). *Monitoring drought affected vegetation with AVHRR Digest-International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4:1965-1967.*
- (11) Gutman, G.G. (1990). *Towards monitoring drought from space. Journal of Climate, 3:282-295.*
- (12) Hong, W and J. Hayes (2001). *An Evaluation of the standardized precipitation Index, China Z Index and the statistical Z-Score. International Journal of Climatology, 21:745-758.*
- (13) Hughes, B and Mark A. Saunders (2002), *A drought climatology for Europe, International Journal of Climatology, 22:1571-1592.*
- (14) Ji, L. and Peters, A. J., 2003. *Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. Center for Advanced Land Management Information Technologies, University of Nebraska- Lincoln, Lincoln, NE 68588- 0517, USA.*
- (15) Kassa, A. (1990). *Drought risk monitoring for Sudan using NDVI, 1982-1993. A Dissertation submitted to the University College London.*
- (16) Kogan, F.N. (1993). *United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1:197-199*
- (17) Mckee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scale. Proceedings of the Eight Conference on Applied Climatology (pp.179-184). American Meteorological Society, Boston, MA.*
- (18) Thenkabail, P. S., Gamage, M. S. D. N. and Smakhtin, V. U. (2003). *The Use of Remote Sensing Data for Drought Assessment and Monitoring in Southwest Asia. IWMI Research Report No. 85.*
- (19) Wilhite, D.A. 2000. *Drought as a natural hazard. In: Wilhite, D. A. (Editor), Drought: A global assessment, 1. Routledge, London. Pp.1- 18.*