

## بررسی ارتباط خشکسالی و تغییرات NDVI در تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی (مطالعه موردی: مراتع جنوب استان یزد)

۱- هادی زارع خورمیزی، دانشجوی کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

۲- سید زین العابدین حسینی، استادیار دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد  
zhosseini@yazd.ac.ir

۳- محمد حسین مختاری، استادیار دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

۴- حمیدرضا غفاریان مالمیری، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۳

### چکیده

کاهش بارندگی و افزایش دما هر یک به تنهایی یا با کمک هم، منجر به بروز خشکسالی می‌شوند. خشکسالی با تأثیر بر منابع آب و پوشش گیاهی یک منطقه باعث تسریع گسترش نواحی بیابانی می‌گردد. به منظور بررسی ارتباط خشکسالی‌های سالانه و تغییرات پوشش گیاهی مراتع جنوب استان یزد، از داده‌های هواشناسی و سنجش از دور استفاده شد. در ابتدا، شدت‌های خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI در بازه زمانی سالانه تعیین شد. پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی به کمک پنج روش درون‌یابی انجام شد. سپس با استفاده از تصاویر سری زمانی NDVI سنجنده MODIS طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ میانگین NDVI فصلی و سالانه محاسبه شد. در گام بعدی، روابط بین شاخص‌های خشکسالی و شاخص NDVI در ۱۶ تیپ گیاهی مرتعی بررسی شد. بر اساس نتایج شدت خشکسالی در سال‌های آبی ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و ۲۰۰۸-۲۰۰۷ منطقه مورد مطالعه به ترتیب در وضعیت خشکسالی متوسط و خشکسالی بسیار شدید قرار داشته است. ارزیابی نتایج همبستگی نشان داد در بیشتر تیپ‌های گیاهی بین میانگین NDVI سالانه، فصل بهار و تابستان با شاخص‌های خشکسالی همبستگی معنی‌داری ( $p < 0.01$ ) وجود دارد. بر اساس نتایج بیشترین میزان ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین تغییرات شاخص NDVI سالانه و شاخص SPI سالانه در تیپ گیاهی *Artemisia sieberi* وجود دارد. پس از آن بالاترین میزان ضریب تبیین در تیپ‌های گیاهی *Zygophyllum eurypterum*-*Artemisia sieberi*، *Amygdalus scoparia*-*Acer cineracens*-*Pistacia atlantica* و *Amygdalus scoparia* به دست آمد. به طوری که به ترتیب در این تیپ‌های گیاهی ۶۸، ۶۵ و ۶۳ درصد تغییرات شاخص NDVI سالانه تابع تغییرات شاخص خشکسالی SPI می‌باشد. تأثیر خشکسالی بر تیپ‌های گیاهی مختلف، بسته به شرایط اکولوژیک منطقه، نوع گونه گیاهی، فرم رویشی و همچنین سایر گونه‌های همراه در تیپ گیاهی متفاوت است.

واژگان کلیدی: همبستگی؛ شاخص بارندگی استاندارد؛ شاخص اکتشاف خشکسالی؛ سنجش از دور؛ مودیس.

### مقدمه

در مواقعی که مدت زمان وقوع آن طولانی می‌شود، خسارت‌های ناشی از آن نیز در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و غیره به تدریج ظاهر می‌شود. خسارات و آثار ناشی از این پدیده در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی مانند سیل، زمین لرزه بسیار زیاد و فراگیرتر است [۱۹]. شروع خشکسالی به طور معمول با کاهش بارندگی همراه است که این مرحله به خشکسالی هواشناسی موسوم است. با کمبود بارش و

خشکسالی به طور معمول با کاهش میزان بارش و افزایش دما ایجاد می‌شود. این دو عامل هر یک تنهایی یا با کمک هم می‌توانند در بروز شدت‌های مختلف این پدیده موثر باشند. خشکسالی در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد؛ اما تأثیر و فراوانی آن در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک بیشتر نمایان می‌شود [۲]. پدیده خشکسالی به‌کندی شروع شده و دارای ماهیتی، پنهانی است به همین علت به عنوان یک پدیده خزنده بیان می‌شود [۱۳].

بین میانگین شاخص‌های NDVI و SPI همبستگی بالایی در سطح یک درصد وجود دارد [۱۹]. در پژوهشی کارآیی داده‌های سنجنده‌ی MODIS در برآورد خشکسالی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه بررسی شد. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی VCI<sup>۵</sup> با SPI برابر ۰/۷ و همبستگی TCI<sup>۶</sup> با SPI برابر ۰/۲۵ است [۲۳]. نتایج بررسی خشکسالی کشاورزی در راجستان هند با استفاده از شاخص VCI تصاویر NOAA-AVHRR و شاخص استاندارد بارش نشان داد که شاخص VCI برای سال ۲۰۰۳ نرمال و برای سال ۲۰۰۲ خشکسالی را نشان می‌دهد و این شاخص با شاخص SPI همبستگی خوبی نشان می‌دهد [۳]. بررسی همبستگی شاخص‌های NDVI، VHI، TCI و VCI با شاخص خشکسالی SPI در منطقه خشک آریزونا و نیومکزیکو و نیز در منطقه مرطوب کارولینای شمالی و جنوبی نشان داد که شاخص VHI برای برآورد خشکسالی، روش مناسبی است [۲۴]. پژوهش‌های اندکی به بررسی رابطه‌ی تغییرات تیپ‌های مختلف گیاهی با دوره‌های خشکسالی و ترسالی پرداخته‌اند. با این حال، در این زمینه رابطه نوسانات بارندگی بر شکل‌های رویشی و تیپ‌های گیاهی بررسی شده است. نتایج بررسی تغییرات پوشش گیاهی در شمال چین در پاسخ به میزان بارندگی با استفاده از تصاویر نوا نشان داد که در مناطق علفزار همبستگی بسیار زیادی میان تغییرات پوشش گیاهی و بارندگی وجود دارد [۱۴]. در پژوهشی دیگر رابطه نوسانات بارندگی و تغییرات پوشش گیاهی در دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ در بخشی از مراتع استان یزد بررسی شد. نتایج به دست آمده بیان‌گر ارتباط معنی‌دار تیپ‌های پوشش گیاهی فورب و گراس با نوسانات بارندگی و نبود ارتباط یا ارتباط ضعیف بین تیپ‌های بوته‌زار، درختی و درختچه‌ای با بارندگی بود [۹]. در مطالعه‌ی دیگر بررسی و مقایسه تاثیر بارش در تغییرات پوشش گیاهی در چهار تیپ مرتعی و یک تیپ جنگلی نشان داد که میزان تأثیرات بارش در تیپ‌های مورد مطالعه، بسته به شکل رویشی و شرایط اکولوژیکی مناطق مورد مطالعه، با یکدیگر متفاوت است [۸]. در چین تغییرات جوامع گیاهی مختلف در ارتباط با شرایط آب و هوایی مقایسه شد. نتایج

توزیع نامناسب آن، رطوبت خاک کاهش می‌یابد و رویش گیاهان مرتعی و سایر گیاهان تحت تاثیر قرار می‌گیرد [۴]. یکی از مهم‌ترین پیامدهای خشکسالی، کاهش مقدار پوشش گیاهی مراتع است. با کاهش پوشش گیاهی، شرایط محیطی برای بروز مشکلات مختلف نظیر فرسایش خاک، افزایش میزان رواناب سطحی و خطر بروز سیل و غیره فراهم می‌شود. مراتع از جمله نعمت‌های الهی است که نقش ارزنده‌ای در محیط زیست و همچنین رشد و توسعه اقتصاد ملی هر کشوری ایفا می‌نمایند. حفظ خاک، تولید علوفه، تعدیل‌کننده آب و هوا و جریان‌های آبی کشور، تولید گیاهان دارویی و صنعتی، زیستگاه و تفرجگاه مردم، از فواید مهم مراتع هستند [۱۸]. تداوم بهره‌برداری از مراتع مناطق خشک مستلزم شناخت روند تغییرات پوشش گیاهی و عوامل مؤثر بر آن نظیر خشکسالی است. بنابراین، در راستای تدوین طرح‌های حفاظت مراتع، پایش خشکسالی و شناسایی اثر آن بر پوشش گیاهی مراتع، از ابزارهای مهم مدیریت این مناطق محسوب می‌گردد. در این رابطه، استفاده از سنجش از دور انعکاسی، برای ارزیابی اثرات خشکسالی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها شناخته شده است [۱۹]. علت این امر مزیت کسب مکرر داده‌ها، دید وسیع و فرمت رقومی مناسب برای پردازش کامپیوتری داده‌های سنجش از دور است [۱۵].

در سال‌های اخیر استفاده از قابلیت‌های تصاویر ماهواره‌ای برای پایش تغییرات پوشش گیاهی و خشکسالی افزایش یافته است. پژوهش‌های بسیاری در زمینه ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های سنجش از دور انجام شده است. نتایج پایش خشکسالی چتیسگر<sup>۱</sup> هند با استفاده از شاخص‌های مختلف سنجش راه دور در طول سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ نشان داد که بین SPI<sup>۲</sup> و VHI<sup>۳</sup> همبستگی بالا و بین SPI و شاخص NDVI<sup>۴</sup> همبستگی ضعیف وجود دارد [۲۰]. در مطالعه‌ای دیگر اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی MODIS بررسی شد. نتایج نشان داد

1- Chhattisgarh

2- Standardized Precipitation Index

3- Vegetation Health Index

4- Normalized Difference Vegetation Index

5- Vegetation Condition Index

6- Temperature Condition Index

نام تیپ‌های گیاهی و شکل رویشی و شکل ۲ نقشه تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

### روش پژوهش

#### ۱- شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

شاخص SPI، نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس دارد. این شاخص برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است. شاخص SPI بوسیله مک‌کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ با توجه به تاثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیر زمینی ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است. شاخص SPI با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۱۷].

$$SPI = \frac{(P_i - P)}{SD} \quad (1)$$

که در آن:

$P_i$  شاخص استاندارد بارش،  $P_i$  معادل بارش سال مفروض به میلی‌متر  $P$  میانگین بارش درازمدت ایستگاه و  $SD$  انحراف معیار بارش است. برای محاسبه شاخص SPI ابتدا باید بارش ایستگاه‌ها با توزیع‌های مختلف برازش داده شوند تا بهترین توزیع انتخاب شود. در پژوهش حاضر از توزیع گاما استفاده شد. پس از محاسبه شاخص SPI در هر بازه زمانی وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف تقسیم می‌شود (جدول ۲).

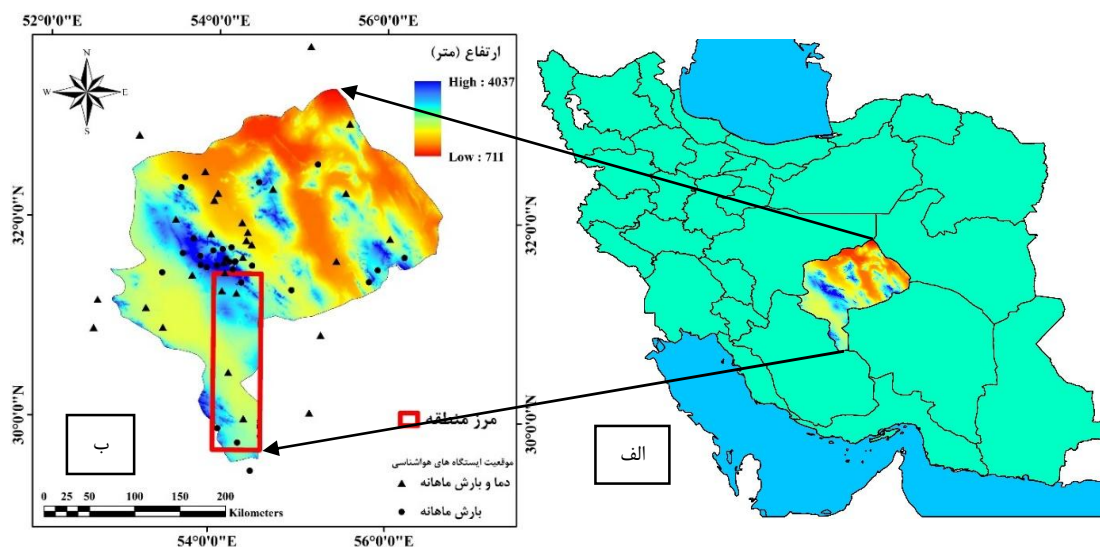
نشان داد که گیاهان بوته‌ای، به دلیل قابلیت جذب آب از لایه‌های مختلف خاک، نسبت به گیاهان علفی حساسیت کمتری در مقابل خشکی از خود نشان می‌دهند همچنین گیاهان چوبی نسبت به گیاهان بوته‌ای حساسیت کمتری دارند [۲۱].

هدف اصلی از این پژوهش، بررسی ارتباط خشکسالی‌های سالانه و تغییرات تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی اقلیمی SPI و  $RDI^1$  و شاخص NDVI سنجنده MODIS است. تهیه نقشه همبستگی بین شاخص NDVI و شاخص‌های خشکسالی از دیگر اهداف این پژوهش است که در شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در طی دوره‌های خشکسالی کاربرد دارد.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

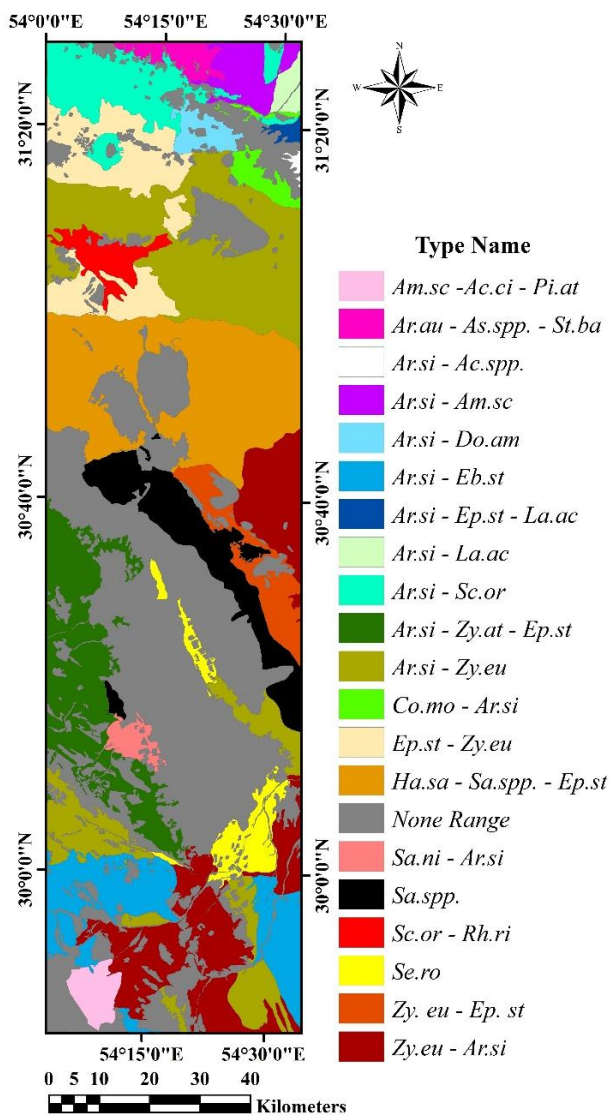
منطقه مطالعاتی در جنوب استان یزد بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۱ درجه، ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه تا ۵۴ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. وسعت منطقه مورد مطالعه حدود ۱۰۲۷۹ کیلومتر مربع است. موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه نقشه مدل رقومی ارتفاع و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در شکل ۱ نشان داده شده است. منطقه مطالعاتی با توجه به تنوع تیپ‌های گیاهی و همچنین تغییرات توپوگرافی در این ناحیه انتخاب گردید. جدول ۱



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران (الف) و استان یزد (ب)

جدول ۱- نام تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه و مخفف نام آن (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد)

نام تیپ	شکل رویشی غالب	مخفف نام تیپ
<i>Amygdalus scoparia-Acer cineracens-Pistacia atlantica</i>	درختی و درختچه‌ای	<i>Am.sc - Ac.ci - Pi.at</i>
<i>Artemisia aucheri- Astragalus spp. - Stipa barbata</i>	بوته‌ای	<i>Ar.au - As.spp. - St.ba</i>
<i>Artemisia sieberi-Ebenus stellata</i>	بوته‌ای	<i>Ar.si - Eb.st</i>
<i>Artemisia sieberi-Scariola orientalis</i>	بوته‌ای	<i>Ar.si - Sc.or</i>
<i>Artemisia sieberi-Zygophyllum atriplicoides-Ephedra strobilacea</i>	بوته‌ای-درختچه‌ای	<i>Ar.si - Zy.at - Ep.st</i>
<i>Artemisia sieberi-Zygophyllum eurypterum</i>	بوته‌ای-درختچه‌ای	<i>Ar.si - Zy.eu</i>
<i>Artemisia sieberi - Amygdalus scoparia</i>	بوته‌ای	<i>Ar.si - Am.sc</i>
<i>Artemisia sieberi - Dorema ammoniacum</i>	بوته‌ای	<i>Ar.si - Do.am</i>
<i>Cornulaca monoacantha - Artemisia sieberi</i>	بوته‌ای	<i>Co.mo - Ar.si</i>
<i>Ephedra strobilacea-Zygophyllum eurypterum</i>	بوته‌ای-درختچه‌ای	<i>Ep.st - Zy.eu</i>
<i>Hammada salicornica-Salsola spp.-Ephedra strobilacea</i>	بوته‌ای	<i>Ha.sa - Sa.spp. - Ep.st</i>
<i>Salsola spp.</i>	بوته‌ای	<i>Sa.spp.</i>
<i>Scariola orientalis-Rheum ribes</i>	بوته‌ای	<i>Sc.or - Rh.ri</i>
<i>Seidlitzia rosmarinus</i>	درختچه‌ای	<i>Se.ro</i>
<i>Zygophyllum eurypterum-Artemisia sieberi</i>	درختچه‌ای - بوته‌ای	<i>Zy.eu - Ar.si</i>
<i>Zygophyllum eurypterum-Ephedra strobilacea</i>	درختچه‌ای - بوته‌ای	<i>Zy. eu - Ep. st</i>



شکل ۲- نقشه تیپ‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI [۲۸]

مقدار SPI	طبقه خشکسالی	احتمال (%)
$SPI \geq 2$	ترسالی بسیار شدید	۲/۳
$1/5 \leq SPI \leq 1/99$	ترسالی شدید	۴/۴
$1 \leq SPI \leq 1/49$	ترسالی متوسط	۹/۲
$0/0 \leq SPI \leq 0/99$	ترسالی خفیف (نرمال)	۳۴/۱
$-0/99 \leq SPI \leq 0/0$	خشکسالی خفیف (نرمال)	۳۴/۱
$-1/49 \leq SPI \leq -1/0$	خشکسالی متوسط	۹/۲
$-1/99 \leq SPI \leq -1/5$	خشکسالی شدید	۴/۴
$SPI \leq -2/0$	خشکسالی بسیار شدید	۲/۳

## ۲- شاخص اکتشاف خشکسالی (RDI)

شاخص RDI یک شاخص خشکسالی هواشناسی است که می‌توان به سه صورت بیان نمود: مقدار اولیه  $RDI, \alpha k$  نرمال شده (RDI<sub>n</sub>) و استاندارد شده (RDI<sub>st</sub>). در این پژوهش از شکل استاندارد شده این شاخص با توزیع گاما استفاده شد. RDI استاندارد شده از همان رفتار SPI برخوردار است. بنابراین، می‌توان برای تحلیل شرایط خشکسالی با استفاده مقادیر RDI<sub>st</sub> از همان آستانه‌های مورد برای شاخص SPI (جدول ۱) استفاده نمود [۲۸].

همان‌طور که ذکر شد به منظور محاسبه شاخص RDI به داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل نیاز است. برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در این پژوهش از روش هارگریوز - سامانی استفاده شد [۱۱]. با استفاده از دمای حداقل ( $T_{min}$ ) و دمای حداکثر ( $T_{max}$ ) ماهانه و میزان تابش خورشید ( $R_a$ ) میزان تبخیر و تعرق ماهانه محاسبه شد (رابطه ۲).

$$ET_o = 0.0023 \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times (T_{mean} + 17.8) \times R_a \quad (2)$$

به‌طور کلی به‌منظور محاسبه میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و محاسبه شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI در بازه زمانی سالانه (۱۲ ماهه) از نرم‌افزار DrinC<sup>۱</sup> استفاده شد.

## ۳- شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده NDVI

سنجنده MODIS یکی از پنج سنجنده مستقر بر روی ماهواره ترا است که در اواسط سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب گردید. این سنجنده دارای ۳۶ باند در محدوده ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر طیف الکترومغناطیس بوده؛ که ۲۰ باند

آن در محدوده مرئی و ۱۶ باند آن در ناحیه حرارتی است [۵]. توان تفکیک مکانی برای باندهای ۱ و ۲، ۲۵۰ متر، برای باندهای ۳ تا ۷، ۵۰۰ متر و برای باندهای ۸ تا ۳۶، یک کیلومتر می‌باشد. این سنجنده دارای قدرت تفکیک زمانی بالا (۱ تا ۲ روز) است.

یکی از شاخص‌هایی که در زمینه پایش تغییرات پوشش گیاهی کاربردهای فراوانی دارد شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) می‌باشد [۲۶].

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

که در آن:

$NIR$  و  $RED$  به ترتیب باز تابش طیفی باند مادون قرمز نزدیک (باند ۲ سنجنده MODIS در محدوده ۸۴۱ تا ۸۷۶ نانومتر) و باند قرمز (باند ۱ سنجنده MODIS در محدوده ۶۲۰ تا ۶۷۰ نانومتر) است. دامنه این شاخص از -۱ تا +۱ متغیر است. در این مطالعه از محصول ۱۶ روزه شاخص NDVI سنجنده MODIS از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ تحت نام MOD13Q1 با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استفاده شد. این محصولات به‌عنوان سطح ۳ با سیستم تصویر Sinusoidal ارائه شده است که سپس به سیستم تصویری UTM تغییر داده شد. مشکل اصلی تصاویر NDVI این سطح وجود داده‌های دور افتاده<sup>۲</sup> و داده‌های از دست رفته<sup>۳</sup> با فواصل بسیار کوتاه و با توزیع پراکنده در سری‌های زمانی است. در این پژوهش، به منظور حذف داده‌های از دست رفته و دور افتاده در سری‌های زمانی تصاویر NDVI در هر سال (۲۳ تصویر در هر سال) از

2- Out layer

3- Gap

1- Drought Indices Calculator

تصاویر NDVI در جدول ۳ نشان داده شده است. پس از حذف نویز تصاویر NDVI در هر سال، میانگین NDVI سالانه و فصلی در نرم افزار ENVI 4.8 محاسبه شد.

الگوریتم تجزیه و تحلیل هارمونیک سری‌های زمانی (HANTS) استفاده شد [۶، ۲۵ و ۲۹]. متغیرهای به‌کار برده شده در الگوریتم HANTS به منظور حذف نویز در

جدول ۳- متغیر مورد استفاده به منظور ایجاد تصاویر فاقد خطا در الگوریتم HANTS	
میزان	پارامتر در الگوریتم
۱-۰	محدوده داده معتبر
۲۳ تصویر NDVI	دوره پایه
۳	تعداد فرکانس (NOF)
۰/۰۲	آستانه میزان خطای قابل قبول (FET)
LOW	جهت نقاط دورافتاده
۵	DOD

ارتفاع و معکوس فاصله وزنی) استفاده شد. به منظور انتخاب تابع سمی‌واریوگرام<sup>۱</sup> بهینه برای پهنه‌بندی بارندگی منطقه و همچنین شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI چهار نوع سمی‌واریوگرام<sup>۲</sup>، خطی<sup>۳</sup>، نمایی<sup>۴</sup> و گوسین<sup>۵</sup> در محیط نرم‌افزار GS<sup>+</sup> V10 بررسی شد و سپس بهترین تابع براساس کمترین میزان انحراف از تابع اصلی انتخاب شد.

ارزیابی و تعیین دقت روش‌های درون‌یابی با استفاده از معیار ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) تعریف شده در رابطه ۴، انجام شد [۶].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

که در آن:

$x_i$  و  $y_i$  به ترتیب داده‌های واقعی و داده‌های برآورد شده می‌باشند. روش مناسب درون‌یابی بر اساس کمترین میزان RMSE برای تهیه نقشه میانگین بارندگی منطقه و پهنه‌بندی شدت‌های خشکسالی انتخاب شد. مرحله بعد شامل تعیین روابط بین شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI با شاخص سنجش از دور NDVI است که در آن میزان همبستگی شاخص‌های SPI و RDI سالانه با شاخص NDVI در تیپ‌های گیاهی مختلف مقایسه شده است. این مقایسه با استفاده از میانگین‌های سالانه و فصلی NDVI با میانگین سالانه SPI و RDI با استفاده از

با توجه به اینکه هدف این پژوهش بررسی همبستگی تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی با شاخص‌های خشکسالی و تهیه نقشه همبستگی بین تغییرات شاخص NDVI و شاخص‌های خشکسالی به صورت نقطه‌ای می‌باشد. بنابراین لازم است ابتدا شاخص‌های خشکسالی با کمترین میزان خطا پهنه‌بندی شوند. به منظور محاسبه شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI و همچنین میزان بارش از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک (زیر نظر سازمان هواشناسی) و ایستگاه‌های باران سنجی (زیر نظر وزارت نیرو) استفاده شد. با توجه به اینکه تمام ایستگاه‌های مورد استفاده دارای میانگین بارش ماهانه هستند، از داده‌های ۵۹ ایستگاه به منظور پهنه‌بندی میزان بارندگی و محاسبه شاخص خشکسالی SPI استفاده شد (شکل ۱). در صورتی که برای محاسبه شاخص خشکسالی RDI تعداد ۳۰ ایستگاه دارای متغیر دما و بارش ماهانه بودند که برای محاسبه و پهنه‌بندی این شاخص مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). شاخص‌های خشکسالی (همچنین میزان بارندگی منطقه) در دوره آماری ۲۰ ساله (سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴-۲۰۱۳) با توجه به سال آبی ایران (از ابتدای مهر تا پایان شهریور) محاسبه شد.

نرمال بودن داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی به کمک آزمون کلموگراف و اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار SPSS، انجام و برای محاسبه شاخص خشکسالی SPI و RDI استفاده شد. به منظور پایش و پهنه‌بندی خشکسالی و همچنین تعیین مقدار بارندگی در منطقه مورد مطالعه از پنج روش درون‌یابی (کریجینگ ساده و معمولی، کوکریجینگ ساده و معمولی با استفاده از متغیر کمکی

- 1- Semi variogram
- 2- Spherical
- 3- Linear
- 4- Exponential
- 5- Gaussian

می‌دهد و دید کامل‌تری را در شناسایی مناطق و پوشش‌های گیاهی آسیب‌پذیر ایجاد می‌کند.

### نتایج

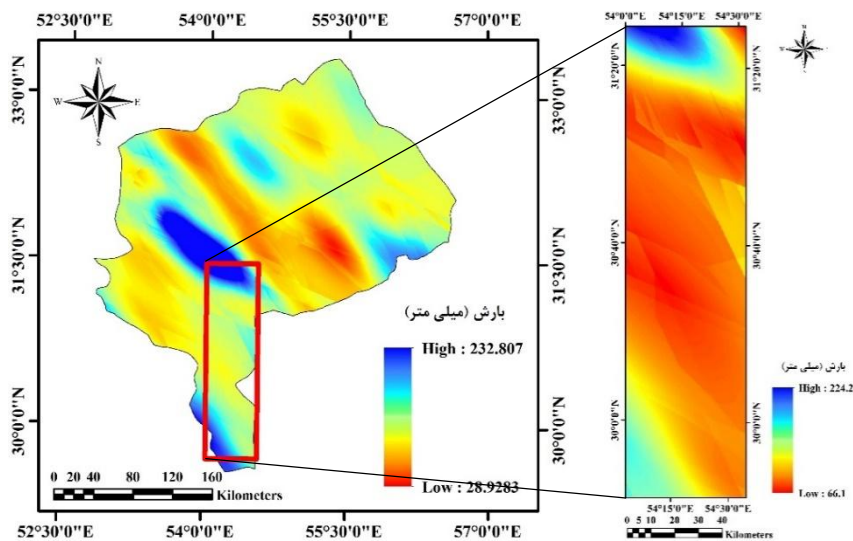
#### ۱- پایش و پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی

نقشه میزان بارش منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش پهنه‌بندی کوکریجینگ معمولی با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع با خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) ۲۷ میلی‌متر و میزان همبستگی ( $R^2$ ) ۰/۷۶ تهیه شده است (شکل ۳). میانگین بارش در منطقه مورد مطالعه ۱۰۵ میلی‌متر است. شکل ۴ برای نمونه مشخصات مدل‌های سمی واریوگرام مورد استفاده در سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۵ و ۲۰۰۶-۲۰۰۷ را به ترتیب برای پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI نشان می‌دهد. جدول ۴ و ۵ میزان خطای RMSE روش‌های مختلف درون‌یابی را برای پهنه‌بندی شاخص‌های RDI و SPI به ترتیب نشان می‌دهد.

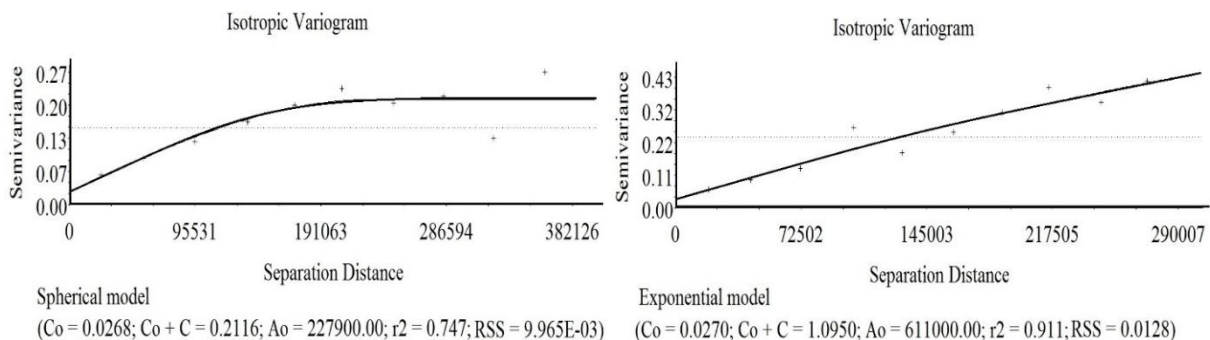
همبستگی پیرسون (رابطه ۵) انجام شد [۱۹]. با توجه به اینکه تصاویر سنجنده MODIS از سال ۲۰۰۰ موجود می‌باشد؛ روابط بین شاخص‌های خشکسالی و NDVI سنجنده MODIS طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ بررسی شد.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

در مرحله آخر، نقشه همبستگی ( $R^2$ ) بین شاخص خشکسالی SPI سالانه و میانگین NDVI سالانه و فصل بهار به صورت پیکسل به پیکسل تهیه شد. این نقشه نسبت به بررسی‌های نقطه‌ای و یا ناحیه‌ای روابط بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های سنجش از دور بین تیپ‌های گیاهی و مناطق مختلف را بهتر نشان



شکل ۳- نقشه میانگین بارش منطقه مورد مطالعه (۱۹۹۴-۲۰۱۴)



شکل ۴- مشخصات مدل‌های سمی واریوگرام مورد استفاده در سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۵ و ۲۰۰۶-۲۰۰۷ به ترتیب به منظور پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی RDI (چپ) و SPI (راست)

جدول ۴- مقادیر خطا در روش مورد استفاده پهنه‌بندی شاخص RDI

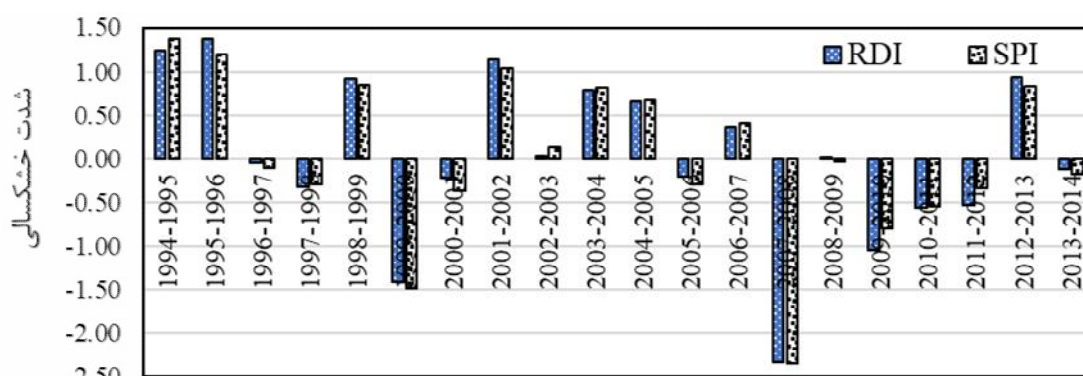
سال	روش درون‌یابی	RMSE	سال	روش درون‌یابی	RMSE
۱۹۹۴-۱۹۹۵	Cokriging-Ordinary	۰/۳۱	۲۰۰۴-۲۰۰۵	Kriging-Ordinary	۰/۲۲
۱۹۹۵-۱۹۹۶	Kriging-Ordinary	۰/۲۸	۲۰۰۵-۲۰۰۶	IDW-Power 2	۰/۳۲
۱۹۹۶-۱۹۹۷	Kriging-Ordinary	۰/۳۲	۲۰۰۶-۲۰۰۷	Kriging-Ordinary	۰/۳۱
۱۹۹۷-۱۹۹۸	IDW-Power 2	۰/۴۳	۲۰۰۷-۲۰۰۸	IDW-Power 2	۰/۳۰
۱۹۹۸-۱۹۹۹	Kriging-Ordinary	۰/۳۰	۲۰۰۸-۲۰۰۹	IDW-Power 2	۰/۳۹
۱۹۹۹-۲۰۰۰	Kriging-Ordinary	۰/۳۰	۲۰۰۹-۲۰۱۰	Kriging-Ordinary	۰/۳۲
۲۰۰۰-۲۰۰۱	IDW-Power 2	۰/۳۹	۲۰۱۰-۲۰۱۱	Cokriging-Ordinary	۰/۳۸
۲۰۰۱-۲۰۰۲	Kriging-Ordinary	۰/۴۳	۲۰۱۱-۲۰۱۲	Cokriging-Ordinary	۰/۴۶
۲۰۰۲-۲۰۰۳	Kriging-Ordinary	۰/۳۱	۲۰۱۲-۲۰۱۳	Kriging-Simple	۰/۳۴
۲۰۰۳-۲۰۰۴	Kriging-Ordinary	۰/۳۳	۲۰۱۳-۲۰۱۴	Kriging-Ordinary	۰/۳۳

جدول ۵- مقادیر خطا در روش مورد استفاده پهنه‌بندی شاخص SPI

سال	روش درون‌یابی	RMSE	سال	روش درون‌یابی	RMSE
۱۹۹۴-۱۹۹۵	Kriging-Ordinary	۰/۳۲	۲۰۰۴-۲۰۰۵	Cokriging-Ordinary	۰/۳۰
۱۹۹۵-۱۹۹۶	Cokriging-Ordinary	۰/۲۷	۲۰۰۵-۲۰۰۶	Kriging-Ordinary	۰/۳۲
۱۹۹۶-۱۹۹۷	Cokriging-Ordinary	۰/۳۴	۲۰۰۶-۲۰۰۷	Kriging-Ordinary	۰/۲۶
۱۹۹۷-۱۹۹۸	Kriging-Ordinary	۰/۳۷	۲۰۰۷-۲۰۰۸	Kriging-Ordinary	۰/۳۱
۱۹۹۸-۱۹۹۹	Cokriging-Ordinary	۰/۳۰	۲۰۰۸-۲۰۰۹	Kriging-Ordinary	۰/۳۰
۱۹۹۹-۲۰۰۰	Cokriging-Ordinary	۰/۳۲	۲۰۰۹-۲۰۱۰	Kriging-Ordinary	۰/۲۷
۲۰۰۰-۲۰۰۱	IDW-Power 2	۰/۳۷	۲۰۱۰-۲۰۱۱	Cokriging-Ordinary	۰/۳۰
۲۰۰۱-۲۰۰۲	Kriging-Ordinary	۰/۳۳	۲۰۱۱-۲۰۱۲	Cokriging-Ordinary	۰/۴۳
۲۰۰۲-۲۰۰۳	Cokriging-Ordinary	۰/۳۴	۲۰۱۲-۲۰۱۳	Cokriging-Ordinary	۰/۳۳
۲۰۰۳-۲۰۰۴	Kriging-Ordinary	۰/۳۲	۲۰۱۳-۲۰۱۴	Cokriging-Ordinary	۰/۳۳

آبی و خشکسالی ادامه یافته است. همچنین در سال‌های آبی ۱۹۹۵-۱۹۹۶، ۱۹۹۶-۱۹۹۷ و ۲۰۰۱-۲۰۰۲ منطقه مورد مطالعه در وضعیت ترسالی متوسط قرار داشته است. از طرفی با توجه به شکل ۵، شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI در تعیین شدت‌های خشکسالی تقریباً نتایج مشابهی را نشان دادند.

روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI را در منطقه مورد مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه شکل مذکور در سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰ منطقه مورد مطالعه در وضعیت خشکسالی متوسط و در سال آبی ۲۰۰۷-۲۰۰۸ منطقه در وضعیت خشکسالی بسیار شدید قرار داشته است. از طرفی پس از خشکسالی بسیار شدید سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸ در سال‌های پس از آن نیز روند کم



شکل ۵- روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی طی سال‌های آبی ۱۹۹۴-۱۹۹۵ تا ۲۰۱۳-۲۰۱۴ در منطقه مورد مطالعه



## ۲- نتایج همبستگی شاخص‌های خشکسالی و تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی

میانگین NDVI فصل تابستان در تمام تیپ‌های گیاهی همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد. بین تغییرات شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI سالانه و میانگین NDVI سالانه در تیپ‌های گیاهی *Ar.au* - *St.ba* - *Sc.or* و *As.spp.* - *Ar.si* همبستگی معنی‌دار وجود ندارد. در تیپ‌های گیاهی *Ar.si - Do.am*، *Ep.st* - *Zy.eu* و *Sc.or - Rh.ri* و *Ha.sa - Sa.spp.* - *Ep.st* همبستگی معنی‌دار در سطح پنج و در سایر تیپ‌های گیاهی همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد. با توجه به جدول ۶ میزان همبستگی شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI با NDVI فصلی و سالانه در تیپ‌های مختلف گیاهی نتایج مشابهی را نشان داد. بنابراین، در ادامه تنها نتایج شاخص SPI مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

میزان همبستگی شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI سالانه با میانگین فصلی و سالانه شاخص NDVI در تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی در جدول ۶ نشان داده شده است. بین تغییرات شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI سالانه و میانگین NDVI فصل بهار در تمام تیپ‌های مورد مطالعه به جز تیپ گیاهی *Ar.au - As.spp. - St.ba* همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد. با توجه به اینکه تیپ گیاهی *Ar.au - As.spp. - St.ba* در ارتفاعات بالا قرار دارد و فصل رشد با تاخیر در این تیپ گیاهی شروع می‌شود، بالاترین همبستگی در این تیپ گیاهی در فصل تابستان مشاهده می‌شود. همچنین بین تغییرات شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI سالانه و

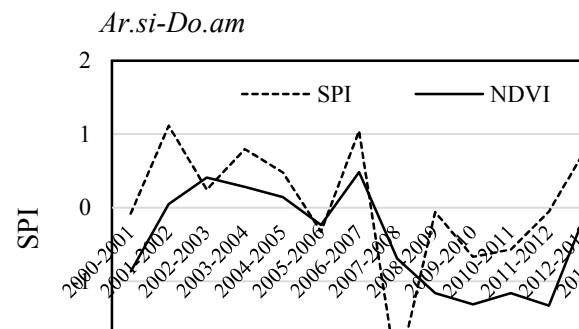
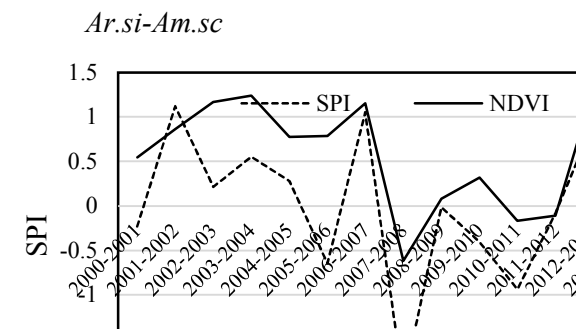
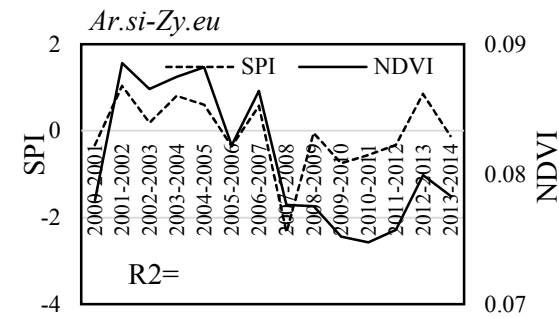
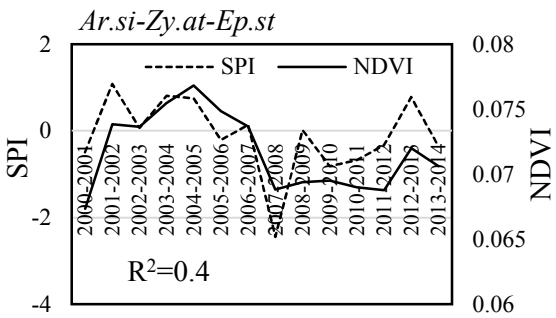
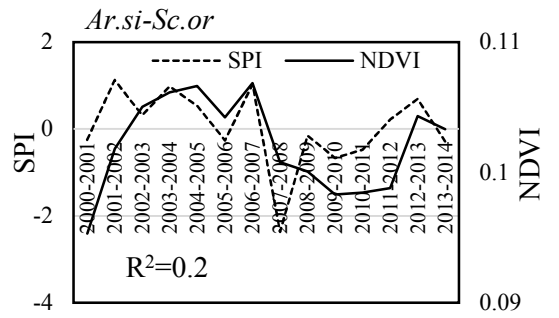
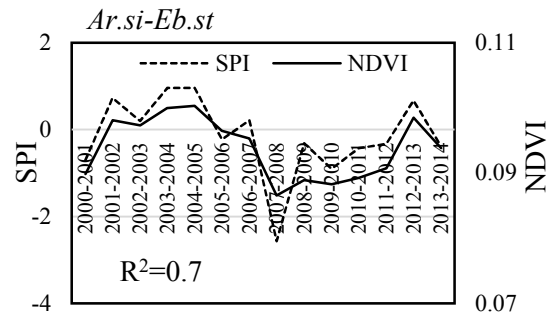
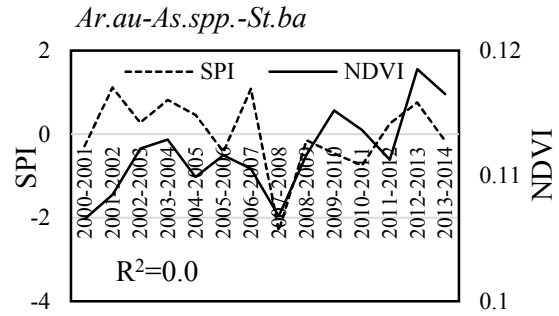
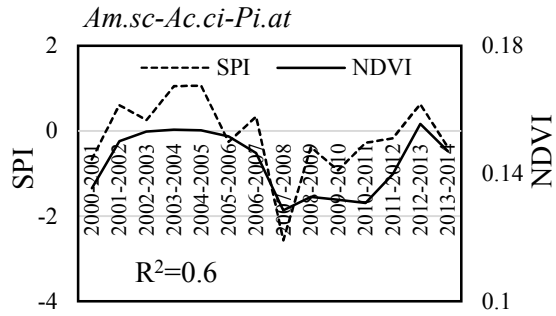
جدول ۶- میزان همبستگی شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI سالانه با میانگین فصلی و سالانه NDVI در تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی

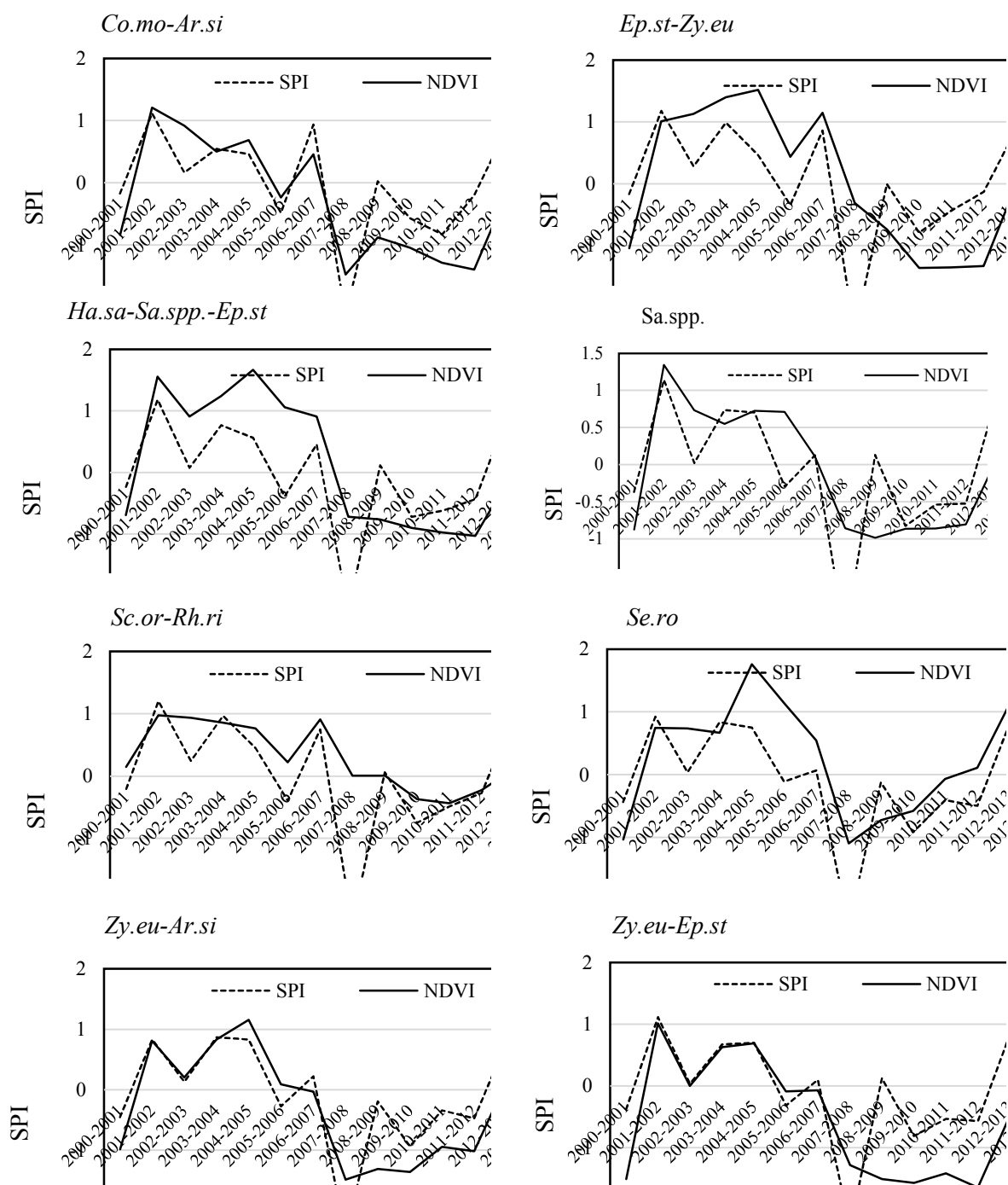
شاخص RDI					شاخص SPI					نام تیپ
سالانه	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سالانه	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	
۰/۷۹**	۰/۶۲*	۰/۷۲**	۰/۸۲**	۰/۸۸**	۰/۷۹**	۰/۶۵*	۰/۷۳**	۰/۸۶**	۰/۸۷**	<i>Am.sc - Ac.ci - Pi.at</i>
۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۵۲	۰/۸۴**	۰/۲۱	۰/۲۳	-۰/۰۲	۰/۵۴*	۰/۸۲**	۰/۱۸	<i>Ar.au - As.spp. - St.ba</i>
۰/۸۵**	۰/۶۶**	۰/۸۱**	۰/۹۱**	۰/۹۳**	۰/۸۷**	۰/۶۸**	۰/۷۸**	۰/۹۱**	۰/۹۲**	<i>Ar.si - Eb.st</i>
۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۶۲*	۰/۷۸**	۰/۷۹**	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۶۵*	۰/۸۰**	۰/۷۷**	<i>Ar.si - Sc.or</i>
۰/۶۵**	۰/۶۸**	۰/۷۲**	۰/۷۶**	۰/۸۱**	۰/۶۶**	۰/۷۰**	۰/۷۲**	۰/۷۹**	۰/۸۰**	<i>Ar.si - Zy.at - Ep.st</i>
۰/۶۶**	۰/۶۲*	۰/۶۱*	۰/۸۹**	۰/۸۱**	۰/۶۶**	۰/۶*	۰/۶۰*	۰/۷۶**	۰/۸۰**	<i>Ar.si - Zy.eu</i>
۰/۸۳**	۰/۳۲	۰/۶۸**	۰/۷۳**	۰/۸۴**	۰/۸۱**	۰/۳۱	۰/۶۷**	۰/۸۹**	۰/۸۳**	<i>Ar.si - Am.sc</i>
۰/۵۸*	۰/۶۷**	۰/۶۱*	۰/۸۰**	۰/۷۹**	۰/۵۸*	۰/۶۷**	۰/۶۳*	۰/۷۵**	۰/۷۹**	<i>Ar.si - Do.am</i>
۰/۷۷**	۰/۵۳*	۰/۵۱	۰/۸۰**	۰/۸۶**	۰/۷۶**	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۸۱**	۰/۸۴**	<i>Co.mo - Ar.si</i>
۰/۵۵*	۰/۵۷*	۰/۵۷*	۰/۷۳**	۰/۸۰**	۰/۵۵*	۰/۵۷*	۰/۵۶*	۰/۷۳**	۰/۸۰**	<i>Ep.st - Zy.eu</i>
۰/۶۲*	۰/۵۷*	۰/۵۷*	۰/۶۷**	۰/۷۸**	۰/۶۱*	۰/۵۴*	۰/۵۶*	۰/۶۷**	۰/۷۶**	<i>Ha.sa - Sa.spp. - Ep.st</i>
۰/۶۷**	۰/۷۰**	۰/۶۵*	۰/۷۳**	۰/۷۳**	۰/۶۶**	۰/۶۹**	۰/۶۶*	۰/۷۴**	۰/۷۲**	<i>Sa.spp.</i>
۰/۶۴*	۰/۵۴*	۰/۶۳*	۰/۷۶**	۰/۸۱**	۰/۶۳*	۰/۵۱	۰/۶۰*	۰/۷۴**	۰/۷۹**	<i>Sc.or - Rh.ri</i>
۰/۷۳**	۰/۵۹*	۰/۶۱*	۰/۷۱**	۰/۷۰**	۰/۷۳**	۰/۵۹*	۰/۵۸*	۰/۷۲**	۰/۷۰**	<i>Se.ro</i>
۰/۸۲**	۰/۶۶*	۰/۷۵**	۰/۸۶**	۰/۸۷**	۰/۸۳**	۰/۶۷**	۰/۷۴**	۰/۸۷**	۰/۸۷**	<i>Zy.eu - Ar.si</i>
۰/۶۸**	۰/۷۰**	۰/۶۸**	۰/۷۵**	۰/۷۷**	۰/۶۸**	۰/۷**	۰/۶۹**	۰/۷۶**	۰/۷۷**	<i>Zy.eu - Ep.st</i>

\*\* : معنی‌دار در سطح یک درصد \* : معنی‌دار در سطح پنج درصد

طوری که ۷۵ درصد تغییرات شاخص NDVI در این تیپ گیاهی تابع تغییرات شاخص خشکسالی SPI است. پس از آن در تیپ‌های گیاهی *Ar.si - Am.sc*، *Zy.eu - Ar.si* و *Am.sc - Ac.ci - Pi.at* به ترتیب ۶۸، ۶۵ و ۶۳ درصد تغییرات شاخص NDVI سالانه تابع تغییرات شاخص خشکسالی SPI است.

شکل ۶ روند تغییرات شاخص خشکسالی SPI سالانه با تغییرات NDVI سالانه را در تیپ‌های مختلف گیاهی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۶، کمترین میزان همبستگی بین تغییرات NDVI سالانه و شاخص خشکسالی SPI سالانه در تیپ گیاهی *Ar.au - As.spp. - St.ba* و *Ar.si - Sc.or* مشاهده شد. بیشترین میزان همبستگی در تیپ گیاهی *Ar.si - Eb.st* مشاهده شد، به



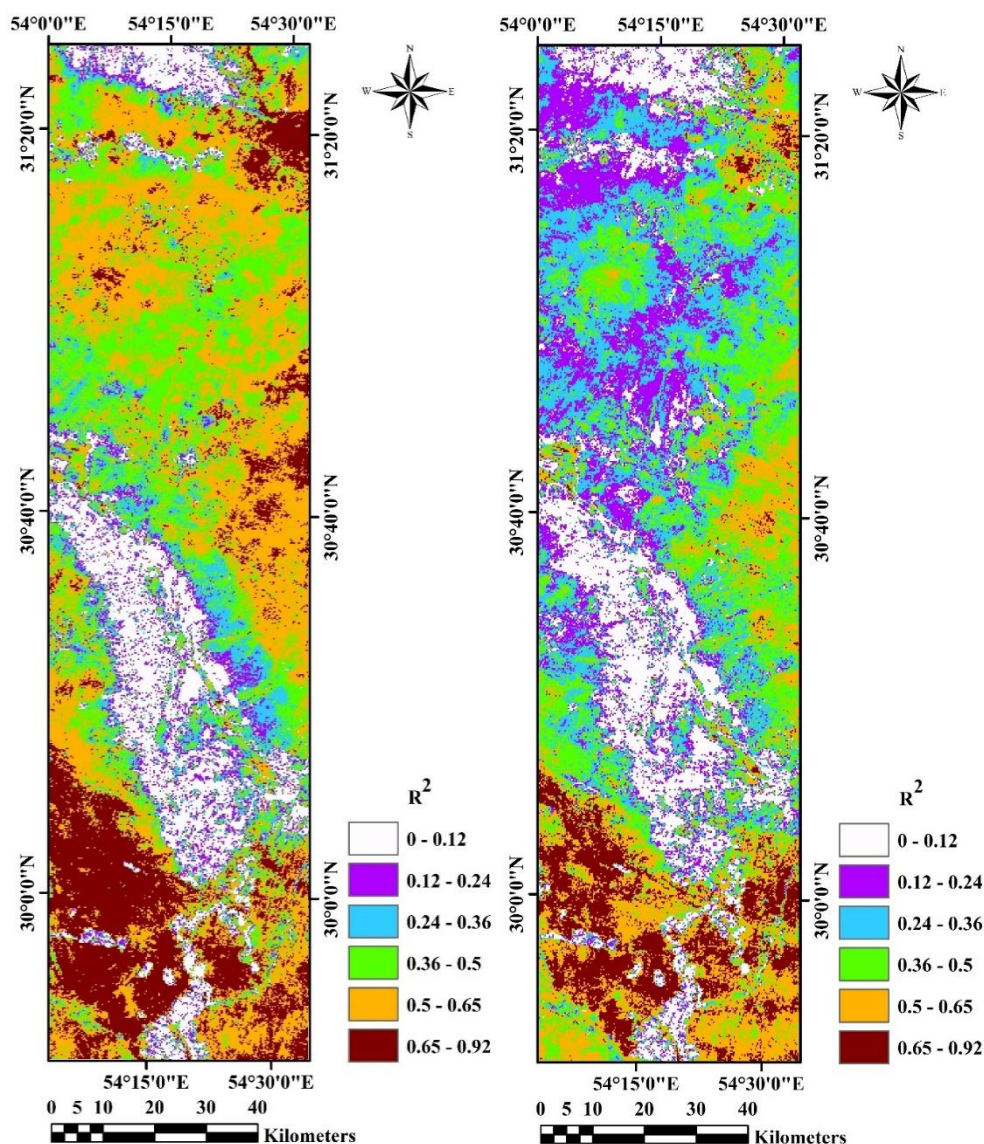


شکل ۶- روند تغییرات شاخص خشکسالی SPI سالانه با میانگین NDVI سالانه در تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی

تابعی از تغییرات توپوگرافی منطقه، میزان بارندگی، درصد پوشش گیاهی، نوع گونه و شکل رویشی آن است. میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه تابعی از تغییرات توپوگرافی می‌باشد. تغییرات توپوگرافی با تاثیری که بر تغییرات شرایط اقلیمی و خاکی منطقه دارد منجر به تنوع پوشش گیاهی و تغییرات نوع گونه و شکل رویشی شده و بر میزان همبستگی تیپ‌های گیاهی مختلف تاثیر می‌گذارد. بالاترین میزان همبستگی در جنوب منطقه

شکل ۷ نقشه همبستگی بین شاخص SPI سالانه با میانگین NDVI سالانه و فصل را نشان می‌دهد. به طور کلی، میانگین میزان همبستگی بین شاخص SPI سالانه با میانگین NDVI سالانه و فصل بهار به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۴۵ می‌باشد. با توجه به اینکه حداکثر رشد پوشش گیاهی در فصل بهار است، بیشترین میزان همبستگی در این فصل مشاهده می‌شود. تغییرات همبستگی پوشش‌های گیاهی در منطقه مورد مطالعه

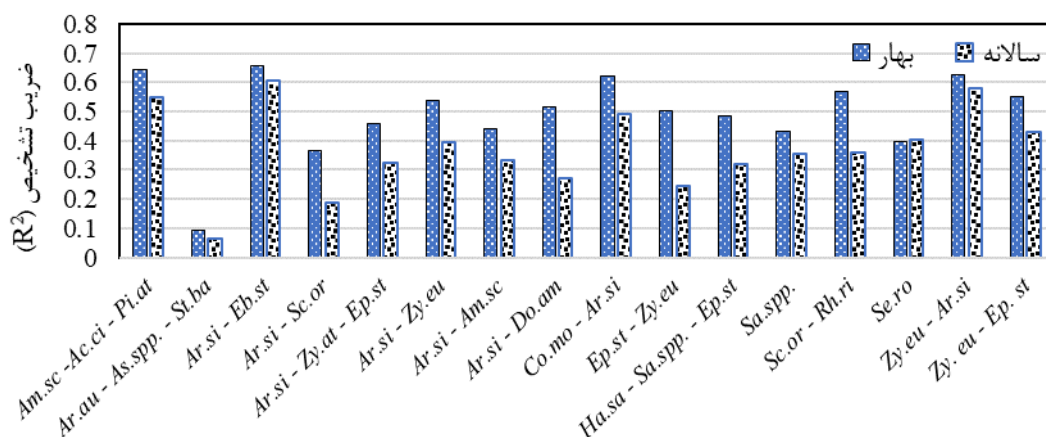
مورد مطالعه دیده می‌شود و بنابراین این مناطق در دوره های خشکسالی آسیب پذیرتر هستند (شکل ۷).



شکل ۷- نقشه همبستگی بین شاخص خشکسالی SPI سالانه با میانگین NDVI فصل بهار (راست) و میانگین سالانه NDVI (چپ)

طول سال می‌باشد. این امر ممکن است به دلیل حضور گیاهان یکساله در تیپ گیاهی یا نوع شکل رویشی و فنولوژی گونه‌های غالب در تیپ‌های گیاهی باشد. به‌عنوان مثال، گونه‌های گیاهی که در فصل بهار حضور دارند و پس از شروع فصل تابستان با افزایش دما و کاهش رطوبت خاک از بین می‌روند و یا اندام‌های هوایی آنها دچار تغییراتی نظیر ریزش برگ‌ها می‌شود. گونه‌های *Rheum* *Zygophyllum* *Dorema ammoniacum* *ribes eurypterum* منجر به تغییرات شدید همبستگی بین شاخص NDVI و شاخص خشکسالی SPI در فصول مختلف می‌شوند.

شکل ۸ میانگین همبستگی بین تغییرات شاخص SPI سالانه و میانگین NDVI سالانه و فصل بهار در تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه استخراجی را نشان می‌دهد. در تیپ‌های گیاهی مختلف همبستگی‌های متفاوتی میان شاخص خشکسالی SPI و شاخص NDVI وجود دارد. با توجه به شکل ۸ بالاترین میزان همبستگی در فصل بهار و در تیپ‌های گیاهی *Ar.si - Eb.st*، *Am.sc - Ac.ci - Pi.at*، *Zy.eu - Ar.si* و *Co.mo - Ar.si* مشاهده می‌شود در برخی تیپ‌های گیاهی، تفاوت میان میزان همبستگی شاخص SPI با NDVI سالانه و فصل بهار زیاد و در برخی تیپ‌های گیاهی این تفاوت کم است. علت این تفاوت زیاد در برخی تیپ‌های گیاهی، پایدار نبودن پوشش گیاهی در



شکل ۸- میانگین ضریب تشخیص ( $R^2$ ) بین تغییرات شاخص SPI سالانه و میانگین NDVI سالانه و فصل بهار در تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه

### بحث و نتیجه گیری

یکی از روش‌های مطالعه خشکسالی و بررسی تاثیر مخرب آن، پایش و پهنه‌بندی آن با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و همچنین مرتبط ساختن این پدیده خزانده با سایر پدیده‌ها است. در این پژوهش به منظور برآورد شدت خشکسالی از دو شاخص خشکسالی RDI و SPI در بازه زمانی سالانه استفاده شد. بر اساس نتایج پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI، در سال‌های آبی ۲۰۰۰-۱۹۹۹ و ۲۰۰۸-۲۰۰۷ شدیدترین خشکسالی و در سال‌های آبی ۱۹۹۵-۱۹۹۶، ۱۹۹۴-۱۹۹۵ و ۲۰۰۱-۲۰۰۲ بیشترین میزان بارندگی و ترسالی در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. مقایسه شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI و همچنین نتایج همبستگی تیپ‌های مختلف گیاهی با این شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI در ارزیابی شدت‌های خشکسالی‌ها در منطقه مورد مطالعه تفاوت چندانی ندارند. با این حال باید توجه داشت عدم نیاز شاخص SPI به داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل و در نتیجه افزایش تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در درون‌یابی و پهنه‌بندی این شاخص باعث می‌شود که نتایج پهنه‌بندی این شاخص با شاخص RDI متفاوت باشد. شاخص خشکسالی SPI با توجه به سادگی و فراگیر بودن و همچنین عدم نیاز به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در پایش و پهنه‌بندی خشکسالی دارای نتایج مطلوبی است. در پژوهشی نیز شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI برای تحلیل

تفاوت معنی‌داری میان دو شاخص در ارزیابی خشکسالی وجود ندارد [۲۸]. با توجه به نتایج، بین تغییرات شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI سالانه با میانگین NDVI در فصل بهار و تابستان و همچنین میانگین NDVI سالانه در بیشتر تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه، همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد. این موضوع قابلیت استفاده از فناوری سنجش از راه دور و شاخص‌های پوشش گیاهی را در پایش خشکسالی‌های هواشناسی نشان می‌دهد. مطالعه اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی MODIS نیز نشان داد که بین میانگین شاخص‌های NDVI و SPI همبستگی در سطح معنی‌داری یک درصد وجود دارد [۱۹]. نتایج بررسی ارتباط شاخص‌های NDVI، VHI، TCI و VCI با شاخص شاخص خشکسالی SPI در منطقه خشک آریزونا و نیومکزیکو و نیز منطقه مرطوب کارولینای شمالی و جنوبی نشان داد که شاخص VHI برای برآورد خشکسالی مناسب می‌باشد [۲۴]. نتایج پایش خشکسالی‌های در منطقه چتیسگر هند با استفاده از شاخص‌های مختلف سنجش از دور نشان داد که شاخص‌های سنجش از راه دور کارآیی مناسبی در پایش خشکسالی دارند [۲۰]. نسبت پوشش گیاهی زنده، پوشش گیاهی غیرزنده و اجزای فیزیکی (سنگ، سنگریزه و خاک) سه جزء مهم

است [۸]. پژوهش‌های دیگر در این زمینه شکل رویشی و نوع گونه گیاهی را عامل مؤثری در تأثیرپذیری پوشش گیاهی از بارندگی می‌دانند [۱ و ۱۰]. نتایج پژوهش‌های دیگر در این زمینه مشخص کرد که حساسیت مناطق علفزار نسبت به تغییرات بارندگی نسبت به سایر تیپ‌های گیاهی بیشتر است [۱۴ و ۲۲].

گیاهان بوته‌ای و درختچه‌ای در مناطق بیابانی قابلیت بسیار بالایی در مقابل خشکی دارند [۱۶]. گیاهان بوته‌ای و درختچه‌ای به دلیل داشتن ساختمان چوبی و ریشه‌های عمیق نسبت به گیاهان یکساله و پوشش‌های گیاهی فورب و گراس از مقاومت بیشتری نسبت به دوره‌های خشکی برخوردار هستند. بررسی تغییرات جوامع گیاهی مختلف در ارتباط با شرایط آب و هوایی در چین نشان داد که گیاهان بوته‌ای، به دلیل قابلیت جذب آب از لایه‌های مختلف خاک، نسبت به گیاهان علفی حساسیت کمتری در مقابل خشکی از خود نشان می‌دهند و نیز گیاهان چوبی نسبت به گیاهان بوته‌ای حساسیت کمتری دارند [۲۱]. در پژوهشی دیگر نیز رابطه نوسانات بارندگی و تغییرات پوشش گیاهی در دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ در بخشی از مراتع استان یزد بررسی شد. نتایج نشان داد تیپ‌های گیاهی فورب و گراس نسبت به تیپ‌های بوته‌زار، درختی و درختچه‌ای نسبت به نوسانات بارندگی همبستگی بیشتری دارند [۹]. هر چند شکل رویشی غالب در منطقه مورد مطالعه شامل گونه‌های بوته‌ای و درختچه‌ای است، با این حال همبستگی متفاوت بین تیپ‌های گیاهی ناشی از حضور گونه‌های همراه نظیر انواع گونه‌های گیاهی یکساله و گراس‌ها و فورب‌های چند ساله می‌باشد که نسبت به دوره‌های خشکسالی و ترسالی حساسیت بالاتری دارند. به عنوان مثال، در تیپ گیاهی *Am.sc - Ac.ci - Pi.at* هر چند گونه‌های غالب شامل گیاهان درختی و درختچه‌ای است، با این حال نسبت به دوره‌های خشکسالی و ترسالی همبستگی بالایی را نشان داد. علت امر وجود پوشش زیر اشکوب درختان در این منطقه است. به طوری که اغلب دارای ریشه‌های کوتاه‌تر هستند و نسبت به تغییرات بارندگی حساسیت بالاتری دارند.

تعیین کننده بازتابش پوشش گیاهی هستند که در این بین، پوشش گیاهی زنده از اهمیت زیادی برخوردار است [۸]. مقدار بازتابش از پوشش زنده به مقدار آب، ساختمان سلول، مقدار کلروفیل و ساختمان گیاه بستگی دارد [۷]. با کاهش میزان بارندگی و وقوع خشکسالی، فعالیت فتوسنتزی کاهش می‌یابد و در نتیجه کاهش بازتاب گیاهان را به دنبال خواهد داشت [۲۷]. به طوری که در فصول مختلف میزان بازتابش گیاهان در باندهای طیفی مرئی و مادون قرمز متفاوت است که این امر نیز تغییرات شاخص گیاهی NDVI را به دنبال خواهد داشت. در این پژوهش نوسان زیادی در میزان همبستگی شاخص NDVI با شاخص‌های خشکسالی مشاهده گردید که در مورد تیپ‌های گیاهی مختلف بسته به نوع گونه و شکل رویشی و همچنین سایر گونه‌های همراه متفاوت بود.

با توجه به نقشه همبستگی پوشش‌های گیاهی مختلف با شاخص‌های خشکسالی مشخص می‌شود میزان همبستگی تابعی از تغییرات توپوگرافی منطقه و میزان بارش و همچنین نوع و شکل رویشی گونه گیاهی است. در منطقه مورد مطالعه عامل اصلی تغییرات میزان همبستگی تیپ‌های گیاهی مختلف با خشکسالی، تغییرات توپوگرافی منطقه (ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت شیب) است. این عامل منجر به تغییرات شرایط اقلیمی (بارندگی، شدت تابش، دما) و ویژگی‌های خاکی منطقه می‌شود. این افزایش بارندگی و تغییرات توپولوژیکی منجر به افزایش میزان پوشش گیاهی و همچنین تغییر شکل رویشی و نوع گونه گیاهی می‌شود. بنابراین، مناطق کم ارتفاع عموماً شامل گونه‌های خشبی و چوبی می‌باشد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان بارش افزایش و دما کاهش می‌یابد که این امر منجر به تغییر شکل رویشی و حضور بیشتر گیاهان علفی خواهد شد. از طرفی در مناطق کم ارتفاع گونه‌های مقاوم به خشکی (نظیر انواع گونه‌های جنس سالسولا، گز، تاغ و ...) حضور دارند که نسبت به کمبود بارش و دوره‌های خشکسالی مقاوم هستند. در پژوهشی با بررسی تأثیر بارش در تغییرات پوشش گیاهی در چهار تیپ مرتعی و یک تیپ جنگلی ثابت شد که میزان تأثیر بارش در تیپ‌های مورد مطالعه، بسته به شکل رویشی و شرایط اکولوژیکی مناطق مورد مطالعه، با یکدیگر متفاوت

های خشکسالی دارد. همچنین با کمک این شاخص‌ها می‌توان برای کاهش خسارات ناشی از خشکسالی در عرصه‌های طبیعی به ویژه مدیریت مراتع در هنگام وقوع خشکسالی برنامه‌ریزی نمود.

به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شاخص گیاهی NDVI سنجنده MODIS و شاخص‌های خشکسالی هواشناسی کارآیی بسیار خوبی را در تعیین مناطق و پوشش های گیاهی حساس و آسیب‌پذیر در دوره

## References

- [1]. Chamaille-jammes, S., & Fritz, H. (2009). Precipitation-NDVI relationships in eastern and southern african savannas vary along a precipitation gradient. *International Journal of Remote Sensing*, 30 (13): 3409-3422.
- [2]. Chenari, M. (2005). Investigation on variation of some drought indices using markov chain in south alborz climate's samples. Tehran University. M.Sc. Thesis, 159p, (in Farsi).
- [3]. Dutta, D., Kundu, A., Patel, N.R., Saha, S.K., & Siddiqui, A.R. (2015). Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 18; 53-63.
- [4]. Fatehi marj, A., & Baghernia, M. (2011). Rangeland drought monitoring using MODIS satellite images in west of iran for 2007-2009. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 5(16); 13-22, (in Farsi).
- [5]. Frey, R.A., Ackerman, S.A., Liu, Y., Strabala, K.I., Zhang, H., Key, J.R., & Wang, X. (2008). Cloud detection with MODIS. Part I: Improvements in the MODIS cloud mask for collection 5. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 25:1057-1072.
- [6]. Ghafarian Malamiri, H.R. (2015). Reconstruction of gap-free time series satellite observations of land surface temperature to model spectral soil thermal admittance (Doctoral dissertation), Technische Universiteit Delft, The Netherlands.
- [7]. Goldsmith, F.B. (1991). *Monitoring for Conservation and Ecology*. Chapman and Hall, London. 275p.
- [8]. Hadian, F., Jafari R., Bashari, H., & Soltani, S. (2014). Monitoring the effects of precipitation on vegetation cover changes using remote sensing techniques in 12 years period (Case study: Semirom Isfahan). *Journal of Range and Watershed Management*, 66 (4): 621-633, (in Farsi).
- [9]. Hosseini, S.Z., Kappas, M., & Propastin, P. (2011). Estimating relationship between vegetation dynamic and precipitation in central iran. Toledo, Spain.
- [10]. Jagerbrand, A.K., Molau, U., Alatalo, J.M., & Chrimes, D. (2009). Plant community responses to 5 years of simulated climate change in meadow and heath ecosystems at a subarctic-alpine site. *Oecologia*, 161: 601-610.
- [11]. Jahanbakhsh, S., Rezaee Banafshe, M., Esmaelpour M., & Tadayoni, M. (2012). The evaluation of potential evapotranspiration estimation models and Its spatial distribution in the southern basin of Aras river. *Journal of Geogheraphy & Planning*, 16 (40): 25-46, (in Farsi).
- [12]. Jalali, N., & Khalilpor, A. (2009). Identification of spatial extent of extreme droughts and their impact on forests and rangelands in Iran during 1995-2001 using rainfall data and satellite images. *Journal of the Iranian Natural Resources*, 61(1): 211-223, (in Farsi).
- [13]. Kogan, F.N. (2000). Contribution of remote sensing to drought early warning, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Environmental satellite Data and Information services (NESDIS), Washigton DC. U.S.A. pp 86-100.
- [14]. Liang, E.Y., Shao, X.M., & He, J.C. (2005). Relationships between tree growth and NDVI of grassland in the semiarid grassland of north China. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (13):2901-2908.
- [15]. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (12): 2365-2407.
- [16]. Mayhew, W. W. (1965). Adaptations of the Amphibian, *Scaphiopus couchi*, to Desert

- Conditions, *American Midland Naturalist*, 74(1): 95-109.
- [17]. McKee, T.B., Doesken, N.Y. & Kleist, J.Y. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society: Anaheim, CA, 174-184.
- [18]. Mesdaghi, M. (2010). Raga management in Iran. Astane ghods publications, Mashhad. 336p, (in Farsi).
- [19]. Mirmousavi, S.H., & Karimi, H. (2013). Effect of drought on vegetation cover using MODIS sensing images case: Kurdistan Province. *Geography and Development*, 11 (31): 57-76, (in Farsi).
- [20]. Mukherjee, T., Mukherjee, S., Mukhopadhaya, A., Roy, A.K., & Dutta, S. (2014). Drought monitoring of chhattisgarh using different indices based on remote sensing data. *Climate Change and Biodiversity*, 1: 85-101.
- [21]. Peixi, S., Hongbin, C., & Qiaodi, Y. (2008). Plant community characteristics and their relationships with climate in the Hexi Corridor region of northwestern China. *Frontiers of Forestry in China*, 3(4): 393-400.
- [22]. Propastin, P.A., Kappas, M., Erasmi, S., & Muratova, N.R. (2007). Remote sensing based study on intra-annual dynamics of vegetation and climate in drylands of kazakhstan. *Basic and Applied Dryland Research*, 1(2): 138-154.
- [23]. Rezaeimoghadam, M.H., Valizadeh kamran, KH., Rostamizade, H. & Rezaee, A. (2013). Evaluating the adequacy of MODIS in the assessment of drought (Case study: Urmia Lake Basin). *Geography and Environmental Sustainability*, 2 (5): 37-52, (in Farsi).
- [24]. Rhee, J., Im, J., & Carbone, G. (2010). Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data, *Remote Sensing of Environment*, 114 (12): 2875-2887.
- [25]. Roerink, G.J., & Menenti, M. & Verhoef, W. (2000). Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series. *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1911-1917.
- [26]. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.
- [27]. Scanlon, T.M., Albertson, J.D., Caylor, K.K., & Williams, C.A. (2002). Determining land surface fractional cover from NDVI and rainfall time series for a savanna ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, 82: 376-388.
- [28]. Shokoohi, A. 2012. Comparison of SPI and RDI in drought analysis at local scale with emphasizing on agricultural drought (Case study: Qazvin and Takestan). *Iranian of irrigation water engineering*, 3(9): 111-122, (in Farsi).
- [29]. Zare khormizie, H., Hosseini, S.Z., Mokhtari, M.H., Ghafarian Malamiri, H.R. (2017). Reconstruction of MODIS NDVI time series using harmonic analysis of time series algorithm (HANTS). *Spatial Planning*. 21(3): 221-255, (in Farsi).



## Analysis of relationship between drought and NDVI variations in different vegetation types (Case study: Southern rangelands of Yazd province)

- 1- H. Zare Khormizie, MSc Student of Range Management, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Yazd, Iran
- 2- S. Z. Hosseini, Assistant Professor, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Yazd, Iran  
zhosseini@yazd.ac.ir
- 3- M. H. Mokhtari, Assistant Professor, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Yazd, Iran
- 4- H. R. Ghafarian Malamiri, Assistant Professor, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

Received: 09 Jan 2017

Accepted: 02 Feb 2018

### Abstract

Drought can be caused by reducing rainfall and/or increasing temperature. Drought has negative impact on water resources and vegetation, accelerates the desertification. In order to investigate the relationship between annual droughts and vegetation changes in southern part of the Yazd province, meteorological drought indices and remote sensing technology were employed. Firstly, annual drought intensities were determined using SPI and RDI indices. Five interpolation methods have been investigated and compared for drought zoning. In the next step, mean annual and seasonal NDVI were calculated using time series of MODIS images of 2000 to 2014 years. Then, relationship between drought indices and NDVI in 16 vegetation types were determined. According to the results, the drought intensity of the study area during time span of 1999-2000 and 2007-2008 were moderate and very high, respectively. Analyzing of correlation between NDVI and drought indices in different vegetation types indicates a significant correlation between annual, spring, and summer NDVI in most of the vegetation types ( $P < 0.01$ ). Coefficient of determination ( $R^2$ ) between annual variations of NDVI and annual SPI was obtained in *Artemisia sieberi-Ebenus stellata*, *Zygophyllum eurypterum-Artemisia sieberi*, *Artemisia sieberi - Amygdalus scoparia* and *Amygdalus scoparia-Acer cineracens-Pistacia atlantica* vegetation type with  $R^2 = 0.75, 0.68, 0.65$  and  $0.63$ , respectively. So, in these plant types, 75, 68, 65 and 63 percent of variations of the annual NDVI index are in order subject to changes in the SPI drought index. Moreover, depending on ecological condition, species type, life forms, and accompany species; effect of drought on vegetation types is different.

**Keywords:** Correlation; SPI; RDI; Arid land; Yazd.