



پایش خشکسالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور

بررسی موردی: استان یزد، سال‌های 1994 تا 2014

هادی زارع خورمیزی^{1*}، حمیدرضا غفاریان مالمیری²

1. دانشجوی کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

2. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

* نویسنده مسئول: hadi.zarekh@gmail.com

تاریخ دریافت: 1396/01/29 تاریخ پذیرش: 1396/10/20

چکیده

خشکسالی با تأثیر بر عملکرد محصول‌های کشاورزی، منابع آب و پوشش گیاهی موجب تسریع گسترش نواحی بیابانی می‌گردد. یکی از روش‌های بررسی خشکسالی و اثرات مخرب آن، پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با بهره‌گیری از شاخص‌های هواشناسی و فناوری‌های سنجش از راه دور است. به‌منظور تعیین تأثیر خشکسالی‌ها بر تغییرات پوشش گیاهی ابتدا شدت‌های خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI سالانه توسط داده‌های بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی در استان یزد تعیین شد. سپس به‌منظور پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی پنج روش درون‌یابی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در مرحله بعد، با استفاده از سری‌های زمانی 16 روزه شاخص NDVI سنجنده MODIS طی سال‌های 2000 تا 2014 میانگین NDVI فصلی و سالانه محاسبه شد. در مرحله بعد روابط بین شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI با شاخص NDVI در پوشش‌های مختلف استان یزد بررسی شد. بر اساس نتایج پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی، در سال‌های آبی 1999-2000 و 2007-2008 استان یزد در وضعیت خشکسالی شدید قرار داشته است. ارزیابی نتایج همبستگی پوشش‌های گیاهی مختلف استان یزد با شاخص‌های خشکسالی نشان داد جنگل‌های نیمه‌انبوه، مناطق بیشه‌زار و درختچه‌زار و مراتع بیشترین و جنگل‌های در دست کاشت و مناطق زراعی و باغ‌ها کمترین تأثیرپذیری را نسبت به خشکسالی داشته‌اند. بر پایه نتایج نقشه ضریب تشخیص (R^2)، بیشترین مقدار همبستگی مابین میانگین NDVI فصل بهار با شاخص خشکسالی SPI سالانه در جنگل‌های نیمه‌انبوه، مناطق بیشه‌زار و درختچه‌زار، مراتع درجه 2 و مراتع درجه 3 مشاهده شد به طوری که به ترتیب 57، 50، 44 و 41 درصد تغییرات شاخص NDVI فصل بهار در این مناطق تابع دوره‌های ترسالی و خشکسالی است. در فصل تابستان نیز در جنگل‌های نیمه‌انبوه، مراتع درجه 1، مراتع درجه 2، مراتع درجه 3 و مناطق بیشه‌زار و درختچه‌زار به ترتیب 62، 51، 41، 35 و 44 درصد تغییرات NDVI تابع تغییرات شاخص خشکسالی SPI بود.

واژگان کلیدی: همبستگی؛ شاخص بارندگی استاندارد؛ شاخص اکتشاف خشکسالی؛ سری‌های زمانی؛ مودیس

n مقدمه

پوشش گیاهی در محدوده مرئی و مادون قرمز طیف الکترومغناطیس، امکان شناخت تغییرات ناشی از خشکسالی را در گیاهان فراهم می‌سازد (6). استفاده از این فناوری و تعریف شاخص‌های مرتبط با سنجش از راه دور می‌تواند ارتباط میان خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی را بهتر نمایان سازد و در پایش دقیق‌تر خشکسالی به کار رود (13).

پیش‌بینی خشکسالی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خسارات ناشی از آن در بخش‌های مختلف نظیر کشاورزی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره داشته باشد. پیش‌بینی این پدیده خزنده منوط به تعریف دقیق آن و نحوه مرتبط ساختن با پدیده‌های مؤثر بر آن در دوره‌های زمانی گذشته است. در این ارتباط، شاخص‌های متنوعی تعریف شده‌اند که از مهم‌ترین یا آنها در تبیین خشکسالی می‌توان به شاخص خشکسالی پالمر¹ و شاخص استاندارد شده بارش² اشاره نمود؛ که شاخص دوم از طرف سازمان اقلیم جهانی به‌عنوان شاخص خشکسالی مرجع برای توصیف خشکسالی پذیرفته شده است (28 و 36). یکی دیگر از شاخص‌های جدید در زمینه پایش خشکسالی شاخص RDI³ است که توسط برخی محققین در شرایط آب و هوایی مختلف به کار گرفته شده و توانسته در برخی موارد برتری‌هایی را نسبت به شاخص SPI از خود نشان دهد (32).

در سال‌های اخیر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای پایش تغییرات پوشش گیاهی و پایش خشکسالی افزایش یافته است. در مطالعه اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS گزارش شد که بین میانگین شاخص‌های NDVI⁴ و SPI همبستگی بالایی در سطح معنی‌دار یک درصد وجود دارد، به طوری که با کاهش 0/20- از میزان شاخص SPI، به‌طور متوسط 1/2 درصد سطح پوشش گیاهی ضعیف در استان کردستان افزایش یافت (22). در پژوهشی دیگر اثر خشک‌سالی بر مراتع غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS طی سال‌های 1386 تا 1389 بررسی شد. بر اساس نتایج این پژوهش، با استفاده از

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی یا افزایش دما می‌باشد که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد، اما اثرات و فراوانی آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر نمایان می‌شود (3). این پدیده به‌کندی شروع شده و دارای ماهیتی پنهان است، به همین علت به‌عنوان یک پدیده خزنده شناخته شده است (15). در مواقعی که مدت زمان وقوع خشکسالی طولانی شود، خسارت‌های ناشی از آن نیز در بخش‌های مختلف نظیر کشاورزی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره به تدریج ظاهر می‌شود. خسارات و آثار ناشی از این پدیده در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی مانند سیل، زمین‌لرزه بسیار زیاد و فراگیرتر است (22). شروع خشک‌سالی به‌طور معمول با کاهش بارندگی همراه است که این مرحله به خشک‌سالی هواشناسی موسوم است. با کمبود بارش و توزیع نامناسب آن، رطوبت خاک کاهش بییافته و رویش گیاهان مرتعی و سایر گیاهان تحت تأثیر قرار می‌گیرد (7). یکی از مهم‌ترین پیامدهای خشک‌سالی، کاهش میزان پوشش گیاهی است. با کاهش پوشش گیاهی، شرایط محیطی برای بروز مشکلات مختلف نظیر فرسایش خاک، افزایش میزان رواناب سطحی بر اثر بارش‌های ناگهانی و سیل‌آسا و خطر بروز سیل و غیره فراهم می‌آید. بنابراین در راستای تدوین طرح‌های حفاظت محیط‌زیستی مناطق مختلف، پایش خشکسالی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت محسوب می‌شود (24).

در این رابطه، استفاده از فناوری‌های سنجش از دور انعکاسی و حرارتی، برای ارزیابی تأثیر خشک‌سالی به‌عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها شناخته شده است (14 و 18). سنجش از دور به‌دلیل مزایایی از قبیل قابلیت پوشش وسیع منطقه مورد مطالعه، امکان برداشت داده با توالی منظم و مکرر، فرمت رقومی مناسب برای پردازش کامپیوتری و ارزان‌تر بودن نسبت به روش‌های برداشت زمینی طی سال‌های اخیر، همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع جمع‌آوری داده‌های مکانی مطرح بوده است (17). فناوری مذکور با اندازه‌گیری بازتابش خاص

3 Reclamation Drought Index
4 Normalized Difference Vegetation Index

1 Palmer Drought Severity Index
2 Standardized Precipitation Index

که شرایط خشکسالی شدید در چتیسگر در سال‌های 2009، 2011 و 2012 به‌طور عمده وجود داشته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد همبستگی زیادی بین SPI و VHI، همبستگی ضعیفی بین SPI و شاخص NDVI و در برخی موارد همبستگی بین VHI و NDVI وجود دارند که این شاخص‌ها را برای مطالعه پایش خشکسالی مناسب می‌کند (26). به‌منظور برآورد خشکسالی در استان فارس ایران از تصاویر سنجنده AVHRR، تصاویر ماهواره SPOT و نیز شاخص‌های TCI¹⁰، VCI و VHI استفاده کردند که نتایج این بررسی نشان می‌دهد استفاده از شاخص‌های سنجنش از دور برای آگاهی از خشکسالی اولیه مناسب بوده و این شاخص‌ها می‌توانند برای مدیریت خشکسالی استفاده شوند (27). در پژوهشی دیگر با پایش خشکسالی در منطقه هوانگهوای چین، با استفاده از تصاویر AVHRR و مقایسه با داده‌های هواشناسی منطقه طی سال‌های 1981 تا 2000 مشخص شد که خشکسالی با شدت کم، پدیده‌ای رایج در منطقه شمال چین یاست (39).

هدف اول از مطالعه حاضر پایش خشکسالی‌های استان یزد طی سال‌های 1994 تا 2014 و تأثیر آن در تغییرات پوشش گیاهی مناطق مختلف استان با استفاده از شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI و تصاویر ماهواره‌ای MODIS است. تهیه نقشه‌های همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و شاخص NDVI هدف دیگر تحقیق حاضر است.

n مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی این پژوهش کل سطح استان یزد بوده است. استان یزد در مرکز ایران، بین عرض‌های جغرافیایی $34^{\circ}29'00''$ و $33^{\circ}28'00''$ و طول جغرافیایی $52^{\circ}49'00''$ و $56^{\circ}36'00''$ از نصف‌النهار مبدأ قرار گرفته است. وسعت استان یزد حدود 74000 کیلومتر مربع است. بلندترین ارتفاع آن قله شیرکوه با ارتفاع 4036 متر

فناوری‌های سنجنش از راه دور می‌توان برآورد جامعی از وضعیت خشکسالی به‌ویژه در مناطق فاقد آمار بارندگی ارائه کرد (7). در مطالعه‌ای دیگر با مقایسه شاخص سنجنش از دوری پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص هواشناسی خشکسالی (SPI) مشخص گردید که شاخص‌های SPI و NDVI در حالتی بهترین همبستگی را خواهند داشت که مقایسه میان شاخص استاندارد بارش 12 ماهه و NDVI صورت گیرد (37). در مطالعه‌ای، امکان تشخیص تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های زمینی و ماهواره‌ای در استان کرمانشاه بررسی شد. بر اساس نتایج این مطالعه، بیش‌ترین همبستگی شاخص‌های سنجنش از دوری با شاخص زمینی (SPI) مربوط به NDVI و کمترین همبستگی مربوط به VCI⁵ است (5). در بررسی کارایی داده‌های سنجنده MODIS در برآورد خشکسالی از سال 2000 تا 2011 در یحوضه آبریز دریاچه ارومیه گزارش شد که ضریب همبستگی VCI با SPI برابر 0/7 است و شاخص VCI جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در برآورد خشکسالی است (30). در تجزیه و تحلیل خشکسالی کشاورزی منطقه رایچور هند با استفاده از شاخص NDVI و LST⁶ سنجنده MODIS مشخص گردید که ترکیبی از NDVI و LST، اطلاعات بسیار مفیدی را برای پایش خشکسالی کشاورزی و سیستم هشداردهنده برای کشاورزان فراهم می‌کند (33). در بررسی خشکسالی کشاورزی در راجستان هند با استفاده از شاخص سنجنش از دوری VCI مستخرج از تصاویر NOAA-AVHRR و شاخص استاندارد بارش نشان داده شد که شاخص VCI برای سال 2003 نرمال و برای سال 2002 تنش خشکی و خشکسالی را نشان می‌دهد و این شاخص با شاخص SPI همبستگی خوبی نشان می‌دهد (4). به‌منظور پایش خشکسالی منطقه چتیسگر⁷ هند از شاخص‌های VHI⁸ و GVI⁹ تصاویر NOAA-AVHRR و شاخص NDVI از تصاویر سنجنده مودیس در طول سال‌های 2009 تا 2012 استفاده شد (26). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد

8 Vegetation Health Index

9 Global Vegetation Index

10 Temperature Condition Index

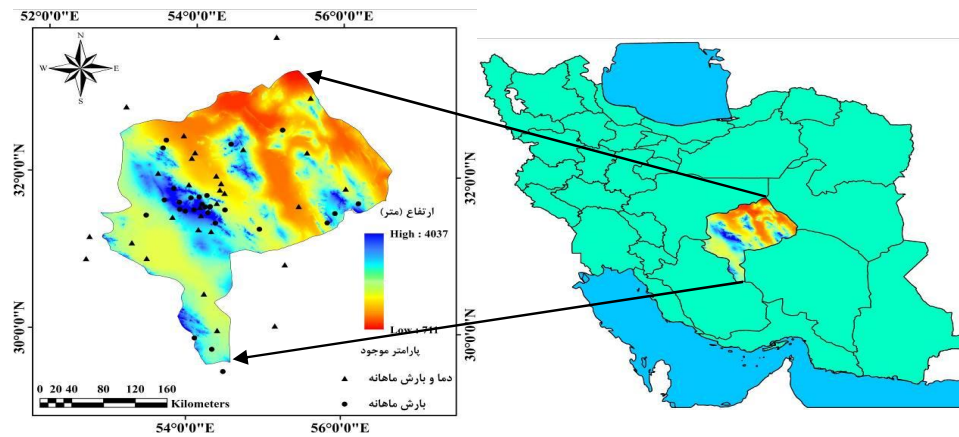
5 Vegetation Condition Index

6 Land Surface Temperature

7 Chhattisgarh

لایه ارتفاع از سطح دریا و همچنین موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در شکل 1 نشان داده شده است.

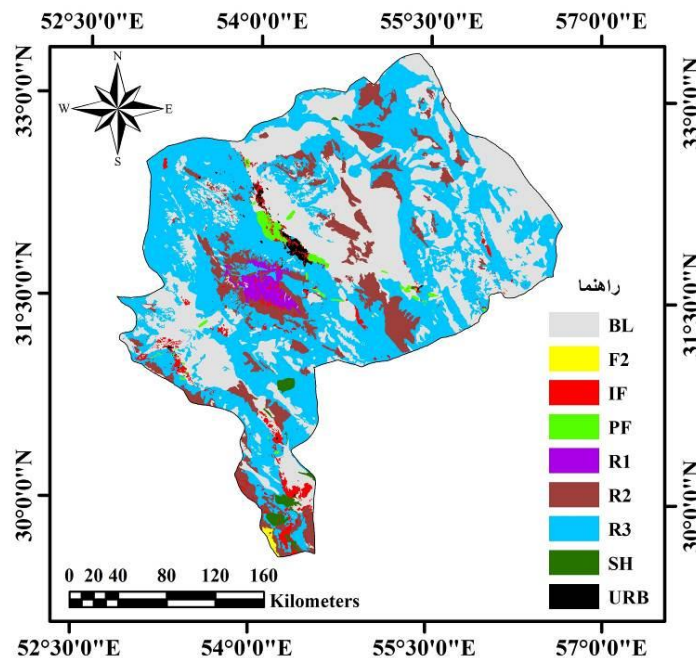
و پایین‌ترین نقطه آن کویر سیاه کوه با ارتفاع کمتر از 1000 متر است. موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران به همراه لایه ارتفاع از سطح دریا و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی (مثلت: ایستگاه با داده‌های دما و بارش ماهانه؛ دایره: ایستگاه با داده‌های بارش ماهانه)

منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند (شکل 2 و جدول 1). نشانه‌های مورد استفاده برای معرفی پدیده‌ها و عوارض مجزا شده در این نقشه براساس تعاریف سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور درج شده است.

در پژوهش حاضر تأثیر خشکسالی بر پوشش‌های مختلف استان یزد بررسی شد. نقشه کاربری و پوشش اراضی¹¹ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد اراضی با پوشش کمتر از 5 درصد، مراتع کم تراکم و مراتع نیمه‌متراکم به ترتیب 35/7، 47/3 و 11/3 درصد پوشش



شکل 2- نقشه پوشش اراضی استان یزد

جدول 1- نشانه‌ها و نوع پوشش اراضی و درصد مساحت آن

درصد پوشش	نوع پوشش	نشانه
35/73	اراضی با تراکم تاج پوشش گیاهان مرتعی کمتر از 5 درصد و بیرون زدگی‌های سنگی، پهنه‌های ماسه‌ای، کویر، اراضی شور و نمک‌زار و سایر اشکال بیابانی	BL
0/15	جنگل نیمه‌انبوه: جنگل با تراکم تاج پوشش 50 - 25 درصد	F2
2/11	زراعت آبی و باغ‌ها	IF
0/89	جنگل‌های دست‌کاشت	PF
1/24	مراتع متراکم: مراتع با تراکم تاج پوشش بیش از 50 درصد (گیاهان یک‌ساله و چندساله)	R1
11/34	مراتع نیمه متراکم: مراتع با تراکم تاج پوشش 50-25 درصد (گیاهان یک‌ساله و چندساله)	R2
47/31	مراتع کم تراکم: مراتع با تراکم تاج پوشش 25-5 درصد (گیاهان یک‌ساله و چندساله)	R3
0/72	بیشه‌زار و درختچه‌زار: درختچه‌زار با تراکم تاج پوشش بیش از 10 درصد	SH
0/47	مناطق مسکونی: شامل مناطق شهری و روستایی	URB

شاخص بارندگی استاندارد SPI

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

در این رابطه SPI شاخص استاندارد بارش، P_i معادل بارش سال مفروض به میلی‌متر \bar{P} میانگین بارش درازمدت ایستگاه و SD انحراف معیار بارش است. مقادیر مثبت و منفی SPI به ترتیب نشان‌دهنده بارندگی بیشتر و کمتر از میزان بارش متوسط هستند. با محاسبه شاخص SPI در هر بازه زمانی وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف تقسیم شد.

شاخص SPI به منظور کمی کردن کمبود بارش یا میزان خشکسالی در بازه‌های زمانی چندگانه توسط مک‌کی و همکاران در سال 1993 طراحی شده است (19). برای محاسبه این شاخص ابتدا توزیع گاما بر داده‌های بلندمدت بارندگی برازش داده شد؛ سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از روابط احتمالاتی به متغیر تصادفی توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک تبدیل گردید (23). این شاخص بر اساس رابطه 1 محاسبه شد.

جدول 2- طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI (32)

مقدار SPI	طبقه خشکسالی
$2 \leq SPI$	ترسالی بسیار شدید
$1/5 \leq SPI \leq 1/99$	ترسالی شدید
$1/49 \leq SPI \leq 1$	ترسالی متوسط
$0/99 \leq SPI \leq 0/00$	ترسالی خفیف (نرمال)
$0/00 \leq SPI \leq -0/99$	خشکسالی خفیف (نرمال)
$-1/00 \leq SPI \leq -1/49$	خشکسالی متوسط
$-1/5 \leq SPI \leq -1/99$	خشکسالی شدید
$SPI \leq -2/00$	خشکسالی بسیار شدید

شاخص اکتشاف خشکسالی RDI

شاخص RDI را می‌توان شاخص خشکسالی هواشناسی دانست. در پژوهش حاضر از شکل استاندارد شده این شاخص بهره‌گیری شد. مقدار اولیه شاخص (α_k) به صورت تجمعی و برای هر بازه زمانی قابل تعریف است. مقدار این شاخص برای سال i و بازه زمانی ماهانه از رابطه 2 محاسبه شد.

$$a_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}, i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

که در آن P_{ij} و PET_{ij} به ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق بالقوه در ماه z از سال i و N تعداد سال آماری در دسترس هستن. شکل اولیه RDI_{st} از رابطه 3 به دست آمد.

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{s_y} \quad (3)$$

که در آن $\ln(a_k^{(i)})$ و \bar{y} میانگین بارش درازمدت ایستگاه و s_y انحراف معیار بارش هستند. در برخی پژوهش‌ها، نشان داده شده است که α_k از توزیع گاما تبعیت می‌کند. در نتیجه در پژوهش حاضر از معادلات آبرامویتز - استگان برای نرمالیزه کردن و استاندارد کردن RDI استفاده شد (1). RDI استاندارد شده رفتاری شبیه به SPI دارد و لذا در تحلیل شرایط خشکسالی، از همان آستانه‌های مورد استفاده برای شاخص SPI (جدول 1) استفاده شد (32).

به منظور محاسبه شاخص RDI به داده‌های تبخیر و تعرق نیاز است؛ که در این پژوهش از روش هارگریوز - سامانی استفاده شد (11). بر این اساس در پژوهش حاضر با استفاده از دمای حداقل (T_{min}) و دمای حداکثر (T_{max}) ماهانه و مقدار تابش خورشید (R_a) مقدار تبخیر و تعرق ماهانه محاسبه شد (رابطه 4).

$$ET_0 = 0.0023 \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times (T_{mean} + 17.8) \times R_a \quad (4)$$

مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI در بازه زمانی 12 ماهه (سالانه) با استفاده از نرم افزار 12DrinC محاسبه شد (34).

تصاویر NDVI سنجنده MODIS

به منظور بررسی پایش اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی از تصاویر NDVI 16 روزه سنجنده MODIS بین سال‌های 2000 تا 2014 تحت نام MOD13Q1 با قدرت تفکیک مکانی 250 متر استفاده شد. سنجنده MODIS دارای 36 باند در محدوده 0/4 تا 14/4 میکرومتری طیف الکترومغناطیس است (8)؛ که شاخص NDVI با استفاده از باندهای شماره 1 و 2 این سنجنده با استفاده از رابطه 5 محاسبه شد.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

که در آن NIR و RED به ترتیب بازتاب طیفی باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز هستند. این باندها در سنجنده MODIS به ترتیب شامل باند 2 در محدوده 841 تا 876 نانومتر و باند 1 در محدوده 620 تا 670 نانومتر می‌باشند.

برای حذف داده‌های از دست رفته و دورافتاده و همچنین اصلاح تصاویر در سری‌های زمانی NDVI در هر سال از الگوریتم تجزیه و تحلیل هارمونیک سری‌های زمانی¹³ استفاده شد (31).

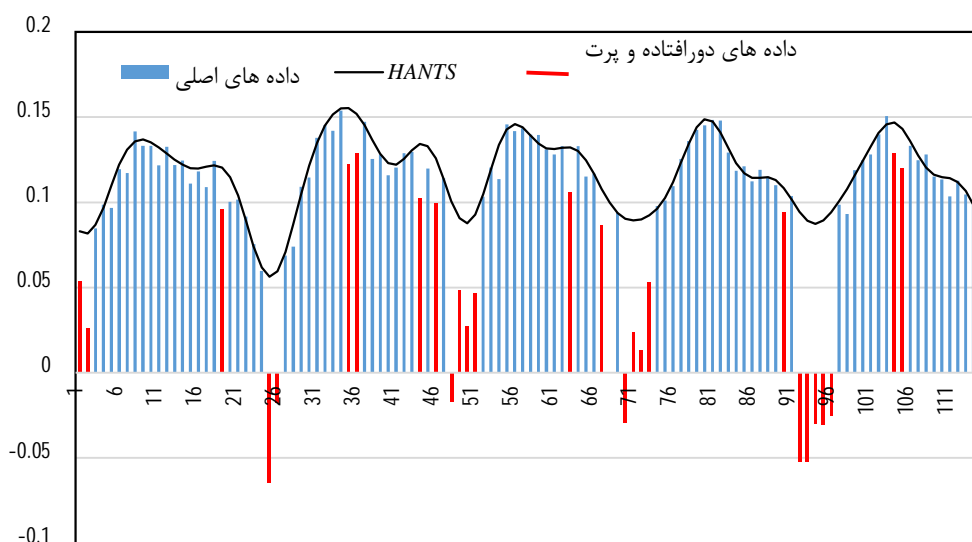
متغیرهای به کار برده شده در الگوریتم HANTS به منظور حذف خطاها در تصاویر NDVI در جدول 3 نشان داده شده است. برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد الگوریتم HANTS و متغیرهای مورد استفاده به پژوهش رورینک¹⁴ و همکاران (2000) و غفاریان مالمیری (2015) مراجعه شود (9 و 31).

تصاویر NDVI در هر سال توسط الگوریتم HANTS، میانگین NDVI سالانه و فصلی محاسبه شد.

پس به‌عنوان نمونه شکل 3 یک سری زمانی NDVI که دارای داده جافتاده و نتیجه HANTS پس از بازسازی آن آورده شده است. پس از حذف خطاها و بازسازی

جدول 3- متغیرهای مورد استفاده به منظور بازسازی تصاویر NDVI توسط الگوریتم HANTS

متغیر	مقدار
محدوده داده معتبر	1-0
دوره پایه	23 تصویر NDVI
تعداد فرکانس (NOF)	3
آستانه مقدار خطای قابل قبول (FET)	0/02
جهت نقاط دورافتاده	LOW
DOD	5



شکل 3- یک نمونه سری زمانی NDVI با داده های جافتاده و داده های دورافتاده و خروجی HANTS پس از بازسازی داده های

جافتاده و از بین بردن داده های دورافتاده

ایستگاه های نزدیک، در مجموع تعداد 59 ایستگاه در سطح استان یزد و اطراف استان یزد به منظور تهیه نقشه بارش منطقه و همچنین محاسبه شاخص های خشکسالی و سپس پهنه بندی خشکسالی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه تمام ایستگاه ها دارای داده های بارشی برای محاسبه میانگین بارش ماهانه اند، تعداد 59 ایستگاه به منظور پهنه بندی مقدار بارندگی و محاسبه شاخص خشکسالی SPI مورد استفاده قرار گرفت (شکل 1).

روش پژوهش

در پژوهش حاضر برای محاسبه شاخص های خشکسالی از آمار ایستگاه های سینوپتیک زیر نظر سازمان هواشناسی و ایستگاه های سنجش باران زیر نظر وزارت نیرو در استان یزد استفاده شد (شکل 1). پس از حذف ایستگاه های با دوره آماری کوتاه و بازسازی داده در ایستگاه های با داده های ازدست رفته به روش همبستگی با

خشکسالی و مقدار بارندگی منطقه طی دوره آماری 20 ساله طی سال‌های 1994-1995 تا 2013-2014 با توجه به سال آبی ایران محاسبه شد. روند کلی پژوهش در شکل 4 نمایش داده شده است.

در حالی که تنها تعداد 30 ایستگاه دارای پارامتر دما و بارش ماهانه بودند که برای محاسبه شاخص RDI و پهنه‌بندی این شاخص مورد استفاده قرار گرفتند (مثلث‌های سیاه در شکل 1).

همچنین با توجه به اینکه حداکثر دوره آماری مشترک در ایستگاه‌های مورد استفاده 20 سال بود شاخص‌های



شکل 4- روندنمای مراحل کلی انجام پژوهش

پهنه‌بندی بارندگی منطقه و همچنین شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI چهار نوع سمی‌واریوگرام کروی¹⁹، خطی²⁰، نمایی²¹ و گوسین²² در محیط نرم‌افزار GS+ V10 بررسی شد و سپس بهترین تابع براساس کمترین مقدار انحراف از تابع اصلی انتخاب شد. در مرحله بعد، به منظور ارزیابی و تعیین دقت روش‌های درون‌یابی از معیار ریشه دوم میانگین مربع خطا²³ استفاده شد (رابطه 6).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (6)$$

پس از بررسی نرمال بودن داده‌های شاخص‌های SPI و RDI به وسیله آزمون کلموگراف و اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار SPSS، این داده‌ها به منظور پهنه‌بندی خشکسالی استفاده گردید. به منظور تهیه نقشه بارش و همچنین پایش و پهنه‌بندی خشکسالی‌های استان یزد از پنج روش درون‌یابی کریجینگ¹⁵ ساده و معمولی، کوکریجینگ¹⁶ ساده و معمولی با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع و معکوس فاصله وزنی¹⁷ با توان 2 در محیط نرم‌افزار V10 GS+ و ARC GIS 10.1 استفاده شد. به منظور انتخاب تابع سمی‌واریوگرام¹⁸ (نیم تغییر نما) بهینه به جهت

20 Linear

21 Exponential

22 Gaussian

23 Root Mean Square Error

15 Kriging

16 Co-kriging

17 Inverse Distance Weighted

18 Semivariogram

19 Spherical

فصلی NDVI به صورت پیکسل به پیکسل در محیط نرم افزار MATLAB تهیه شد.

n نتایج

پهنه‌بندی بارندگی و شاخص‌های خشکسالی

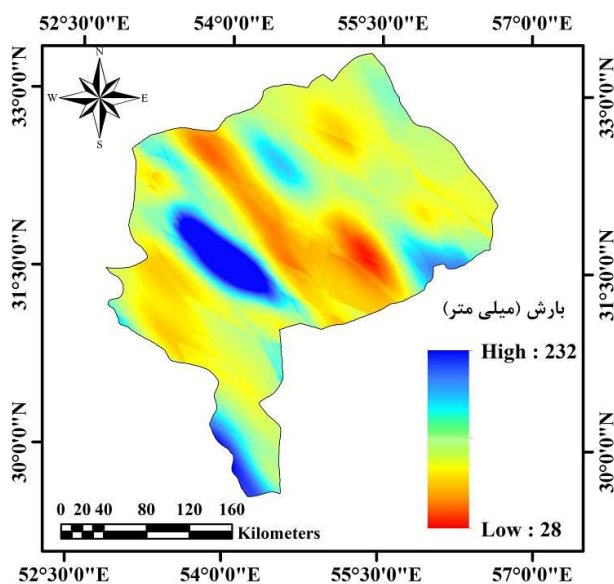
بر اساس نتایج، نوع سمی واریوگرام به منظور پهنه‌بندی مقدار بارندگی، ناهمسانگرد²⁴ و بهترین تابع برای برازش بر داده‌های بارندگی تابع گوسین است. همچنین به منظور پهنه‌بندی مقدار بارندگی روش درون‌یابی کوکریجینگ معمولی نسبت به سایر روش‌ها برتری داشت. به طوری که در روش کوکریجینگ معمولی با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع خطای جذر میانگین مربعات 27 میلی‌متر و مقدار همبستگی (R^2) 0/76 بود. در صورتی که در سایر روش‌های درون‌یابی مورد بررسی مقدار خطای RMSE بالاتر بود. بر اساس نتایج پهنه‌بندی، میانگین بارش در سطح استان یزد 83 میلی‌متر است (شکل 5). نوع تابع سمی واریوگرام و روش درون‌یابی مورد استفاده در هر سال و مقدار خطای RMSE به ترتیب برای شاخص‌های RDI و SPI در جداول 6 و 7 نشان داده شده است. لازم به ذکر است که نوع سمی واریوگرام در تمام سال‌ها برای شاخص‌های RDI و SPI همسانگرد²⁵ بود.

در این رابطه x_i و y_i به ترتیب داده‌های واقعی و داده‌های برازش شده می‌باشند (9).

روش درونی‌یابی جهت تهیه نقشه بارش و پهنه‌بندی شدت خشکسالی استان یزد بر اساس کمترین مقدار RMSE در بین پنج روش مختلف درون‌یابی انتخاب شد. مرحله بعد شامل تعیین روابط بین شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI با شاخص سنجش از دور NDVI است. در پژوهش حاضر مقدار همبستگی مقادیر شاخص‌های SPI و RDI 12 ماهه (سالانه) با شاخص NDVI در پوشش‌های مختلف استان یزد طی سال‌های 2000 تا 2014 بررسی و مقایسه شد. این مقایسه بر اساس محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین میانگین‌های سالانه و فصلی NDVI با میانگین SPI و RDI 12 ماهه (رابطه 7) انجام شد.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

در این رابطه، x_i و y_i به ترتیب داده نام از گروه اول و دوم داده‌ها و همچنین \bar{x} و \bar{y} میانگین گروه اول و دوم داده‌ها است. در مرحله آخر نقشه همبستگی (R^2) بین شاخص خشکسالی SPI 12 ماهه و میانگین‌های سالانه و



شکل 5- نقشه میانگین بارش منطقه بر حسب میلی‌متر در طول دوره آماری 1994-2014

جدول 6- مقادیر خطا در روش مورد استفاده پهنه‌بندی شاخص RDI

سال	تابع سمی- واریوگرام	روش درون‌یابی	RMSE	سال	تابع سمی- واریوگرام	روش درون‌یابی	RMSE
1995-1994	کروی	Cokriging-Ordinary	0/31	2005-2004	گوسین	Kriging-Ordinary	0/22
1996-1995	کروی	Kriging-Ordinary	0/28	2006-2005	گوسین	IDW-Power 2	0/32
1997-1996	گوسین	Kriging-Ordinary	0/32	2007-2006	نمایی	Kriging-Ordinary	0/31
1998-1997	گوسین	IDW-Power 2	0/43	2008-2007	گوسین	IDW-Power 2	0/30
1999-1998	کروی	Kriging-Ordinary	0/30	2009-2008	نمایی	IDW-Power 2	0/39
2000-1999	گوسین	Kriging-Ordinary	0/30	2010-2009	گوسین	Kriging-Ordinary	0/32
2001-2000	کروی	IDW-Power 2	0/39	2011-2010	گوسین	Cokriging-Ordinary	0/38
2002-2001	کروی	Kriging-Ordinary	0/43	2012-2011	کروی	Cokriging-Ordinary	0/46
2003-2002	گوسین	Kriging-Ordinary	0/31	2013-2012	گوسین	Kriging-Simple	0/34
2004-2003	کروی	Kriging-Ordinary	0/33	2014-2013	گوسین	Kriging-Ordinary	0/33

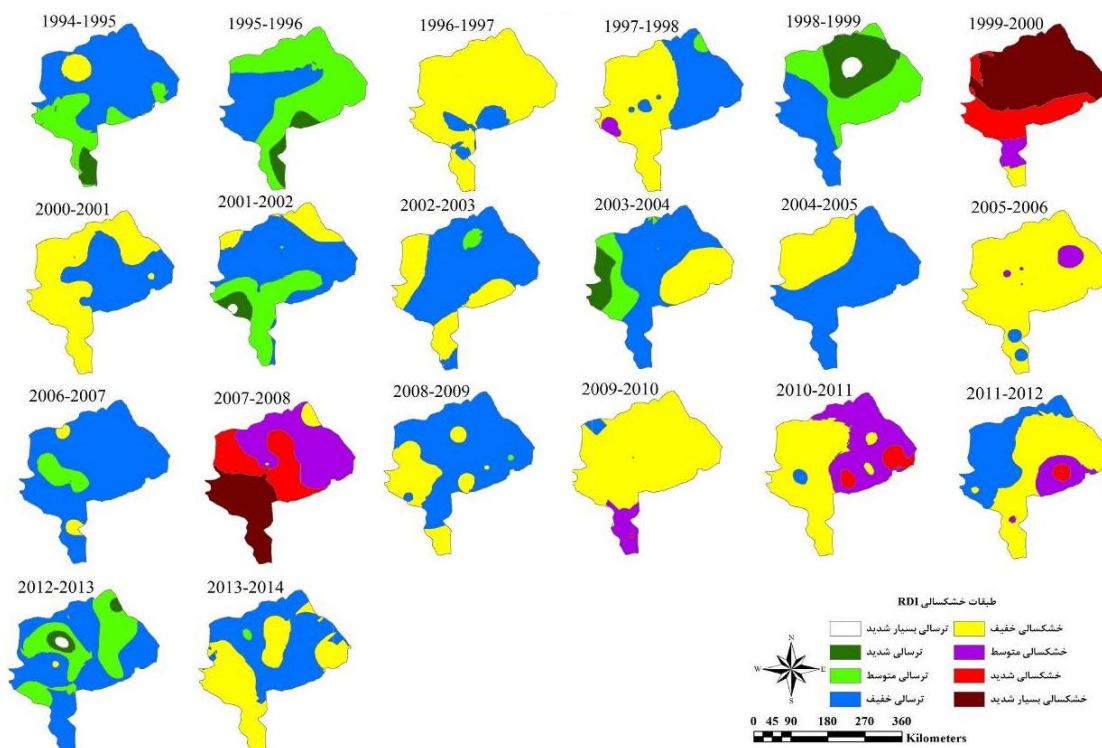
جدول 7- مقادیر خطا در روش مورد استفاده پهنه‌بندی شاخص SPI

سال	تابع سمی- واریوگرام	روش درون‌یابی	RMSE	سال	تابع سمی- واریوگرام	روش درون‌یابی	RMSE
1995-1994	کروی	Kriging-Ordinary	0/32	2005-2004	کروی	Cokriging-Ordinary	0/30
1996-1995	کروی	Cokriging-Ordinary	0/27	2006-2005	کروی	Kriging-Ordinary	0/32
1997-1996	گوسین	Cokriging-Ordinary	0/34	2007-2006	کروی	Kriging-Ordinary	0/26
1998-1997	کروی	Kriging-Ordinary	0/37	2008-2007	کروی	Kriging-Ordinary	0/31
1999-1998	نمایی	Cokriging-Ordinary	0/30	2009-2008	نمایی	Kriging-Ordinary	0/30
2000-1999	کروی	Cokriging-Ordinary	0/32	2010-2009	نمایی	Kriging-Ordinary	0/27
2001-2000	گوسین	IDW-Power 2	0/37	2011-2010	گوسین	Cokriging-Ordinary	0/30
2002-2001	گوسین	Kriging-Ordinary	0/33	2012-2011	گوسین	Cokriging-Ordinary	0/43
2003-2002	کروی	Cokriging-Ordinary	0/34	2013-2012	گوسین	Cokriging-Ordinary	0/33
2004-2003	کروی	Kriging-Ordinary	0/32	2014-2013	کروی	Cokriging-Ordinary	0/33

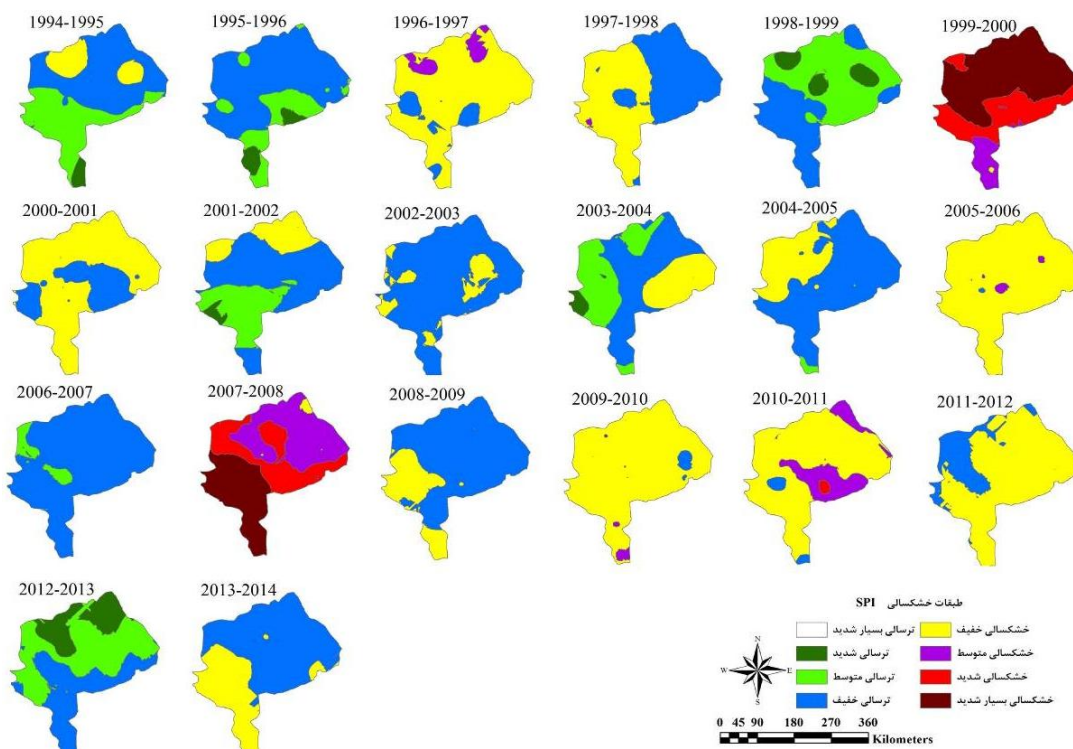
9 درصد آن در وضعیت خشکسالی متوسط بوده است (شکل 8 پایین). همچنین در سال آبی 2007-2008، 31/5 درصد مساحت استان یزد درگیر وضعیت خشکسالی بسیار شدید، 29/5 درصد در وضعیت خشکسالی شدید و 40/1 درصد آن در وضعیت خشکسالی متوسط بوده است (شکل 8 پایین).

روند تغییر شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI به‌طور میانگین در سطح کل استان یزد در شکل 9 نشان داده شده است. نتایج این نمودار نشان می‌دهد به‌طور متوسط منطقه مورد مطالعه هر 6 تا 8 سال یک‌بار درگیر یک خشکسالی شدید بوده است.

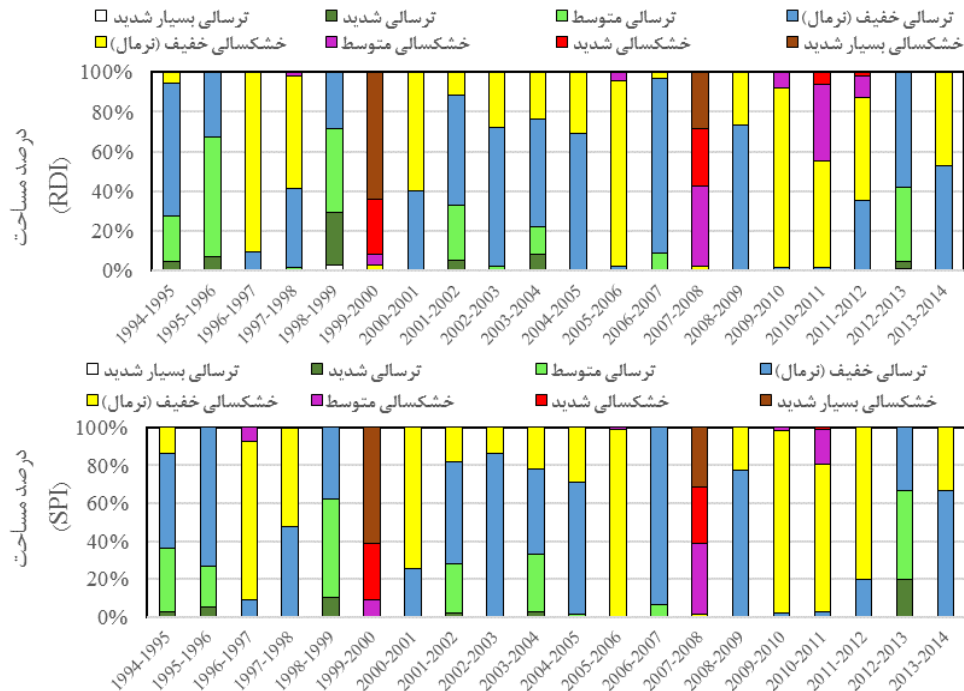
نتایج پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI نشان می‌دهد که در سال‌های آبی 1999-2000 و 2007-2008 بیشتر مساحت منطقه دارای خشکسالی بسیار شدید تا خفیف و در سال‌های آبی 1995-1996، 1998-1999 و 2012-2013 بیشترین مقدار بارندگی و ترسالی اتفاق افتاده است (شکل 6 و 7). درصد مساحت طبقات شدت‌های خشکسالی به‌دست آمده توسط شاخص‌های RDI و SPI در سال‌های مختلف در شکل 8 نشان داده شده است. با توجه به نتایج پهنه‌بندی شاخص خشکسالی SPI در سال آبی 1999-2000، 61/5 درصد مساحت استان یزد درگیر وضعیت خشکسالی بسیار شدید، 29/6 درصد مساحت آن درگیر خشکسالی شدید و



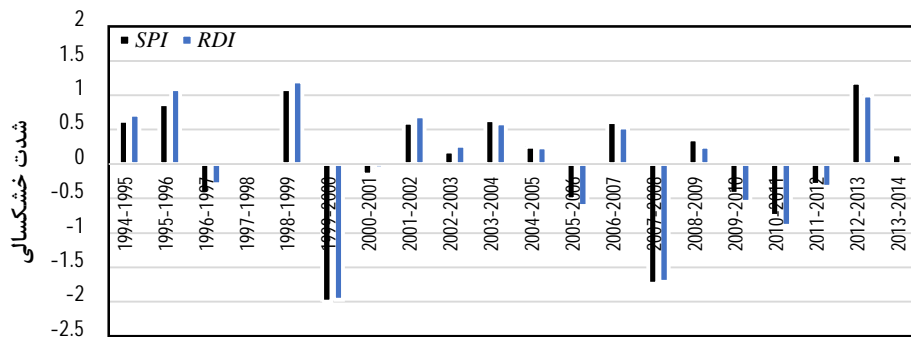
شکل 6- نتایج پهنه‌بندی شاخص خشکسالی RDI در استان یزد بین سال‌های 1994 تا 2014



شکل 7- نتایج پهنه‌بندی شاخص خشکسالی SPI در استان یزد بین سال‌های 1994 تا 2014



شکل 8- درصد مساحت طبقات شاخص خشکسالی RDI (بالا) و شاخص خشکسالی SPI (پایین) در استان یزد بین سال‌های 1994 تا 2014



شکل 9- روند تغییرات خشکسالی در کل استان یزد بین سال‌های 1994 تا 2014

تغییرات شاخص NDVI همبستگی معنی‌دار وجود نداشت. در مناطق زراعی و باغات و جنگل‌های دست کاشت در فصل بهار همبستگی در سطح 5 درصد وجود داشت و در مناطق مسکونی در فصول مختلف سال همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول 8). با توجه به اینکه نتایج تعیین شدت‌های خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI و همچنین نتایج مقدار همبستگی پوشش‌های مختلف استان یزد با این شاخص‌ها مشابه بود؛ بنابراین در ادامه تنها بین دو شاخص SPI و NDVI نقشه همبستگی تهیه شد (شکل 9 و جدول 8).

تعیین همبستگی شاخص‌های خشکسالی و پوشش گیاهی
مقدار همبستگی شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI 12 ماهه با میانگین NDVI فصلی و سالانه در پوشش‌های مختلف استان یزد در جدول 8 نشان داده شده است. با توجه به نتایج، تغییرات شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI با میانگین تغییرات NDVI در فصل بهار در اراضی با پوشش کمتر از 5 درصد، جنگل‌های نیمه‌انبوه، مراتع درجه دو و درجه سه و همچنین مناطق بیشه‌زار و درختچه‌زار دارای همبستگی معنی‌دار در سطح 1 درصد بود (جدول 8). با توجه به اینکه مراتع درجه یک عموماً در ارتفاعات قرار دارند، در فصل بهار بین وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی و

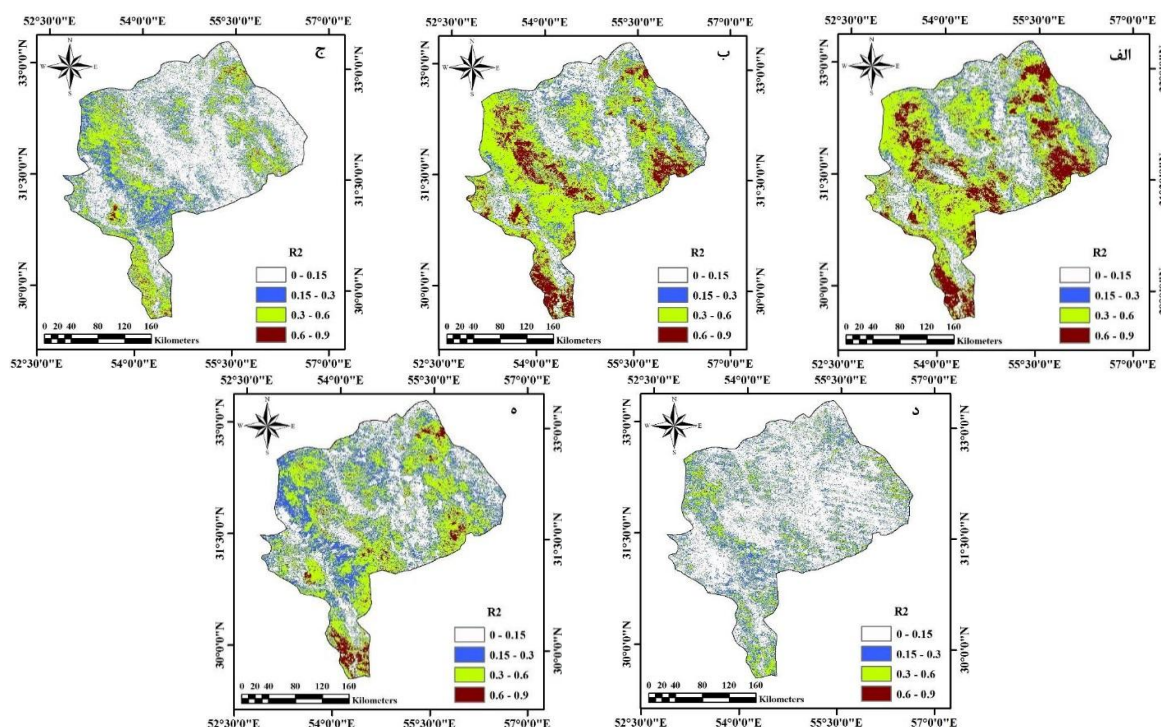
جدول 8- مقدار همبستگی شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI 12 ماهه با میانگین شاخص NDVI در فصول مختلف و میانگین سالانه NDVI در پوشش‌های مختلف استان یزد

سالانه	همبستگی با شاخص RDI				سالانه	همبستگی با شاخص SPI				نوع پوشش
	فصول					فصول				
	زمستان	پاییز	تابستان	بهار		زمستان	پاییز	تابستان	بهار	
0/49	0/49	0/42	0/61*	0/67**	0/55*	0/53*	0/46	0/66**	0/74**	BL
0/77**	0/63*	0/72**	0/82**	0/87**	0/75**	0/65*	0/72*	0/85**	0/83**	F2
0/60*	0/33	0/36	0/62*	0/60*	0/61*	0/33	0/32	0/62*	0/60*	IF
0/66**	0/66**	-0/09	0/48	0/60*	0/64*	0/62*	-0/13	0/48	0/58*	PF
0/43	-0/02	0/71**	0/84**	0/45	0/52	-0/12	0/76**	0/90**	0/50	R1
0/70**	0/58*	0/66**	0/8*	0/86**	0/73**	0/58*	0/68**	0/83**	0/88**	R2
0/64*	0/66**	0/57*	0/72**	0/81**	0/66**	0/86**	0/58*	0/75**	0/83**	R3
0/71**	0/62*	0/64*	0/76**	0/85**	0/72**	0/63*	0/62*	0/78**	0/84**	SH
0/46	0/38	0/04	0/48	0/46	0/47	0/39	0/04	0/51	0/47	URB

** معنی‌دار در سطح یک درصد * معنی‌دار در سطح 5 درصد

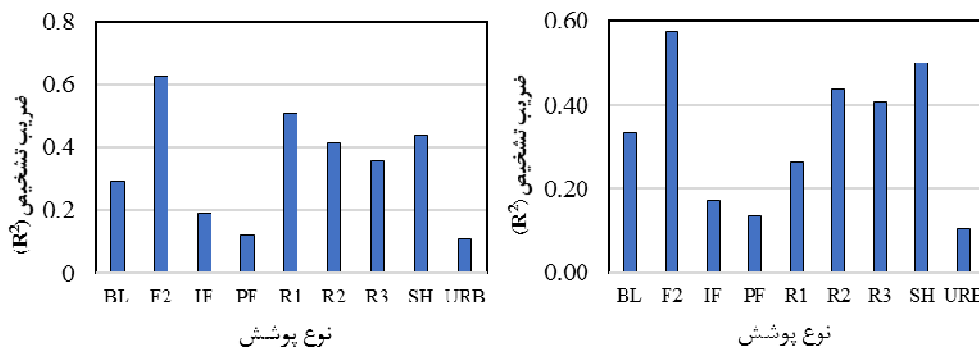
گیاهی در فصول بهار و تابستان است، بالاترین مقدار همبستگی در این فصول و کمترین مقدار همبستگی در فصول پاییز و زمستان مشاهده شد (شکل 10). مناطق با رنگ قهوه‌ای، با بالاترین مقدار همبستگی ($R^2=0/6$ تا $0/9$)، نسبت به مناطق دیگر بیشتر آسیب‌پذیرند (شکل 10).

میانگین همبستگی شاخص خشکسالی SPI 12 ماهه با میانگین NDVI فصول بهار، تابستان، پاییز، زمستان و همچنین میانگین سالانه NDVI در سطح استان یزد به ترتیب $0/37$ ، $0/33$ ، $0/20$ ، $0/14$ و $0/26$ به‌دست آمد (شکل 10). با توجه به اینکه رشد حداکثری پوشش



شکل 10- نقشه همبستگی (R^2) بین شاخص خشکسالی SPI 12 ماهه و میانگین NDVI فصل بهار (الف)، فصل تابستان (ب)، پاییز (ج)، زمستان (د) و میانگین سالانه NDVI (ه)

درجه 2 و مراتع درجه 3 به ترتیب 50، 44 و 41 درصد تغییرات شاخص NDVI فصل بهار تابع دوره‌های ترسالی و خشکسالی می‌باشد. در فصل تابستان نیز در جنگل‌های نیمه‌انبوه، مراتع درجه 1، مراتع درجه 2، مراتع درجه 3 و مناطق بیشه‌زار و درختچه‌زار به ترتیب 62، 51، 41، 35 و 44 درصد تغییرات NDVI تابع تغییرات شاخص خشکسالی SPI است (شکل 11 راست).



شکل 11- میانگین مقدار همبستگی شاخص خشکسالی SPI 12 ماهه و شاخص NDVI فصل بهار (چپ) و فصل تابستان (راست) در پوشش‌های مختلف

1999-2000 و 2007-2008 شدیدترین خشکسالی و در سال‌های آبی 1995-1996، 1999-1998 و 2013-2012 بیشترین مقدار بارندگی و ترسالی اتفاق افتاده است. مقایسه نتایج تعیین شدت‌های خشکسالی با شاخص‌های RDI و SPI و همچنین نتایج همبستگی پوشش‌های مختلف استان یزد با این شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI در ارزیابی شدت‌های خشکسالی استان یزد تفاوت معنی‌داری ندارند. با این حال باید توجه داشت که تعداد ایستگاه‌های بیشتری که در محاسبه و پهنه‌بندی شاخص SPI دخیل است می‌تواند در پایش خشکسالی نتایج متفاوتی ایجاد کند.

شاخص خشکسالی SPI با توجه به سادگی و فراگیر بودن و همچنین عدم نیاز به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل که منجر به افزایش تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در پایش و پهنه‌بندی این شاخص می‌شود؛ در پژوهش حاضر دارای نتایج مطلوب‌تری است. در پژوهشی دیگر نیز

میانگین مقدار همبستگی هر کدام از پوشش‌های زمین بین تغییرات دوره‌های خشکسالی و ترسالی شاخص SPI سالانه با میانگین NDVI فصل بهار و تابستان در شکل 11 نشان داده شده است. بالاترین مقدار همبستگی در فصل بهار در جنگل‌های نیمه‌انبوه (F2) مشاهده شد به طوری که 57 درصد تغییرات شاخص NDVI فصل بهار در این مناطق تابع دوره‌ترسالی و خشکسالی‌اند (شکل 11 چپ). در مناطق بیشه‌زار و درختچه‌زار، مراتع

n بحث و نتیجه‌گیری

از راه‌های بررسی خشکسالی و تأثیر مخرب آن، پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و فناوری‌های سنجش از راه دور است. در پژوهش حاضر به منظور برآورد شدت خشکسالی در استان یزد از دو شاخص خشکسالی RDI و SPI استفاده شد. روش‌های کرجینگ ساده و معمولی و کوکریجینگ ساده و معمولی با متغیر کمکی ارتفاع و روش معکوس فاصله وزنی با توان 2 برای درون‌یابی شاخص‌های خشکسالی در هر سال به کار برده شد. بر اساس نتایج، روش‌های درون‌یابی کرجینگ معمولی، کوکریجینگ معمولی به سایر روش‌ها دارای نتایج مطلوب‌تری بود. با این حال نمی‌توان برای درون‌یابی هر شاخص خشکسالی یک روش خاص پیشنهاد کرد. کیکسان‌نشدن روش درون‌یابی برای هر کدام از شاخص‌ها با نتایج پژوهش‌های دیگر در این زمینه مطابقت دارد (25 و 38). بر اساس نتایج پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI، در سال‌های آبی

با مقایسه شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI برای تحلیل خشکسالی کشاورزی نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری میان دو شاخص در ارزیابی خشکسالی وجود ندارد ولی شاخص خشکسالی RDI در ارزیابی خشکسالی‌های شدید از حساسیت بیشتری برخوردار است (32).

با توجه به نتایج، بین تغییرات شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI با میانگین NDVI در فصل بهار در اراضی با پوشش کمتر از 5 درصد، جنگل‌های نیمه‌انبوه، مراتع درجه دو و درجه سه و همچنین مناطق بیشه‌زار و درختچه‌زار همبستگی معنی‌دار در سطح 1 درصد وجود داشت و در مناطق زراعی و باغات و جنگل‌های دست کاشت در فصل بهار همبستگی در سطح 5 درصد وجود داشت. مطالعه اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS نیز نشان داد که بین میانگین شاخص‌های NDVI و SPI همبستگی بالایی در سطح معنی‌دار یک درصد وجود دارد (22). به‌طور کلی مقدار همبستگی پوشش‌های مختلف استان یزد نسبت به دوره‌های خشکسالی و ترسالی تابعی از نوع پوشش زمین، تغییرات توپوگرافی و مقدار بارش و همچنین نوع گونه گیاهی و فرم رویشی آن است. نوع فرم رویشی و گونه گیاهی نقش مهمی در تأثیرپذیری پوشش گیاهی از نوسانات بارندگی و خشکسالی در سال‌های مختلف دارد. فرم‌های رویشی مختلف شامل گیاهان فصلی و یک‌ساله، گیاهان دائمی علفی و گیاهان بوته‌ای و درختی‌اند. هر کدام از این فرم‌های رویشی استراتژی‌های مختلفی در رشد، تولید و زادآوری در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارند. به‌طوری که گیاهان فصلی و یک‌ساله کاملاً به بارندگی و نوسانات آن حساس‌اند. در صورتی که گیاهان دائمی علفی کمتر حساس و بوته‌ها و درختان غیرحساس هستند (21). بنابراین یکی از عوامل مهم در تغییرات مقدار همبستگی در مناطق و پوشش‌های مختلف تغییر در مقدار انبوهی و ترکیب این فرم‌های رویشی مختلف است. به‌طوری که هرچه شرایط برای حضور بیشتر گیاهان فصلی و یک‌ساله و گیاهان دائمی علفی فراهم شود واکنش آنها به تغییرات بارندگی بیشتر و مقدار همبستگی را افزایش خواهند داد. سایر پژوهش‌ها در این

زمینه فرم رویشی و نوع گونه گیاهی را عامل مؤثری در تأثیرپذیری پوشش گیاهی از بارندگی بیان کردند (2 و 10). با این حال در منطقه مورد مطالعه عامل اصلی در تغییرات مقدار همبستگی مناطق مختلف و همچنین پوشش‌های طبیعی با خشکسالی تغییرات توپوگرافی منطقه است (به شکل‌های 1، 2 و شکل 10 الف، ب توجه شود). زیرا این تغییرات ارتفاعی شرایط را برای حضور فرم‌های رویشی و گونه‌های مختلف فراهم می‌آورد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه مقدار بارندگی افزایش می‌یابد به‌طوری که همبستگی مثبت بین ارتفاع و مقدار بارندگی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد $(R^2 = 0/74)$. این افزایش بارندگی و تغییرات توپولوژیکی منجر به افزایش مقدار پوشش گیاهی و همچنین تغییر فرم رویشی و نوع گونه گیاهی می‌شود. بنابراین مناطق کم‌ارتفاع عموماً شامل گونه‌های خشبی و چوبی‌ست و با افزایش ارتفاع و افزایش مقدار بارش و همچنین کاهش دما منجر به تغییر فرم رویشی و حضور بیشتر گیاهان علفی خواهد شد. از طرفی در مناطق کم‌ارتفاع (ارتفاع زیر 1500 متر) گونه‌های مقاوم به خشکی نظیر انواع گونه‌های جنس سالسولا، گز، تاغ و غیره حضور دارند که نسبت کمبود بارش و دوره‌های خشکسالی مقاوم هستند. در سایر مطالعات نیز نتایج نشان داد حساسیت مناطق علفزار نسبت به تغییرات بارندگی نسبت به سایر تیپ‌های گیاهی بیشتر است (16 و 29). به‌طور کلی در منطقه مورد مطالعه مناطقی که در ارتفاع بالاتر از 1500 متر از سطح دریا قرار دارند نسبت به دوره‌های خشکسالی نسبت به مناطق زیر 1500 متر حساس‌تر هستند.

بر اساس نتایج بیشترین مقدار همبستگی در فصل بهار در جنگل‌های نیمه‌انبوه مشاهده شد. هر چند درختان به دلیل دارا بودن ریشه‌های عمیق قادر به استفاده از رطوبت موجود طبقات مختلف خاک می‌باشند با این حال مقدار همبستگی جنگل‌های نیمه‌انبوه نسبت به تغییرات خشکسالی نسبت به سایر پوشش‌ها بیشتر بود. علت امر وجود پوشش زیر اشکوب درختان در جنگل‌های نیمه‌انبوه است. به‌طوری که اغلب دارای ریشه‌های کوتاه‌تر هستند و نسبت به تغییرات بارندگی حساسیت بالاتری دارند. پس از جنگل‌های نیمه‌انبوه

باغ‌ها و مراتع بیشترین و جنگل‌های با تراکم بیش از 50 درصد و کشت‌های آبی کمترین تأثیرپذیری را از خشکسالی‌های بحرانی، متحمل شده‌اند (12).
به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص گیاهی NDVI و شاخص‌های خشکسالی هواشناسی کارایی بسیار خوبی را در تعیین مناطق حساس و آسیب‌پذیر طی دوره‌های خشکسالی دارد.

بالاترین مقدار همبستگی در مناطق بیشه‌زار درختچه‌زار و مراتع دیده شد. کمترین مقدار همبستگی در جنگل‌های دست کاشت و مناطق زراعی و باغ‌ها دیده شد. در مناطق زراعی و باغات و جنگل‌های دست کاشت به‌دلیل دخالت‌های انسان در آبیاری این مناطق و وابستگی کمتر نسبت به بارندگی و دوره‌های خشکسالی کمترین مقدار همبستگی مشاهده شد. در پژوهشی دیگر نیز نتایج نشان داد از میان پوشش‌های گیاهی مختلف، جنگل‌های تنک،

References

1. Angelidis, P., Maris, F., Kotsovinos, N., & Hrisanthou, V. (2012). Computation of drought index SPI with alternative distribution functions. *Water Resources Management*, 26 (9), 2453-2473.
2. 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.
3. Chenari, M. (2005). *Investigation on variation of some drought indices using markov chain in south alborz climate's samples*. Tehran University. M.Sc. Thesis, 159 p. (In Farsi).
4. 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.
5. Ebrahimzadeh, S., Bazrafshan, J., & Ghorbani, Kh. (2013). Study of plant vegetation variations using remote sensing and ground-based drought indices (Case study: Kermanshah province). *Journal of Agricultural Meteorology*, 1 (1), 36-46. (In Farsi).
6. Farajzadeh, M. (2005). *Drought (from concepts to solutions)*, National Geographic Organization Publisher. 128p. (In Farsi).
7. Fatehi Marj, A. & Baghernia, M. (2011). Rangeland drought monitoring using modis satellite images in west of IRAN for 2007-2009. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 5 (16), 13-22. (In Farsi).
8. 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, 1057-107.
9. 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.
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., Esmaeelpour 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. (2008). 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. *Iranian Journal of Natural Resources Research*, 61 (1), 211-223. (In Farsi).

13. Ji, L., & Peters, A.J. (2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing of Environment*, 87, 85-98.
14. Jia, L., Li, J., & Menenti, M. (2009). Drought monitoring and prediction by time series analysis of greenness and thermal anomalies at large scale. EGU General Assembly Conference Abstracts, Vienna, Austria, (19 - 24 April 2009).
15. Kogan, F.N. (2000). Contribution of remote sensing to drought early warning, pp. 75-87. In D.A. Wilhite et.al. (eds.). *Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management*. WMO, Geneva, Switzerland.
16. 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.
17. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (12), 2365-2407.
18. Lu, J., Jia, Li., & Zhou, J. (2015). Characterization of 2014 summer drought over Henan province using remotely sensed data. Proc. SPIE 9808, International Conference on Intelligent Earth Observing and Applications 2015, 980812 (December 9, 2015).
19. McKee, T.B., Doesken N.Y. & Kleist J.Y. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 Janvier, Anaheim, 179-184.
20. McVicar, T.R., Van Niel, T.G., Li, L.T., Hutchinson, M.F., Mu, X.M., & Liu, Z.H. (2007). Spatially distributing monthly reference evapotranspiration and pan evaporation considering topographic influences. *Hydrology*, 338, 196-220.
21. Mesdaghi, M., 2010. Range management in Iran. Astan ghods rzavi press. 6 edition. Mashhad. 336 p.
22. Mirmousavi, S.H. & Karimi, H. (2013). Effect of drought on vegetation cover using MODIS sensing images MODIS (Case Study: Kurdistan). *Geography and Development*, 11 (31), 57-76. (In Farsi).
23. Moazzenzadeh, R., Arshad, S., Ghahraman, B., & Davari, K. (2012). Drought monitoring in unirrigated lands based on the remote sensing technique. *Water and Irrigation Management*, 2 (2), 39-52. (In Farsi).
24. Moghaddasi, M., Morid, S., Ghaemi, H., & Samani, J. M.V. (2005). Daily drought monitoring, Tehran Province. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 36 (1), 51-62. (In Farsi).
25. Moradi, H.R., Rajabi, M., & M. Faragzadeh. (2011). Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran. *CATENA*, 84, 35-46.
26. 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*, 85-101.
27. Owraangi, M.A., Adamowski, J., Rahnemaie, N., Mohammadzadeh, A., & Afshin Sharifan, R. (2011). Drought monitoring methodology based on AVHRR image and SPOT vegetation maps. *Journal of Water Resources and Protection*, 3, 325-334.
28. Potop, V., Mozny, M., & Soukup, J. (2012). Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 156, 121-133.
29. 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.
30. Rezaeimoghadam, M.H., Valizadeh Kamran, Kh., Rostamzadeh. H., & Rezaee A. (2012). Evaluating the adequacy of MODIS in the assessment of drought (Case Study: Urmia Lake Basin). *Geography and Sustainability of Environment*, 2 (5), 37-52. (In Farsi).
31. 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.
32. Shokoohi, A. (2012). Comparison of SPI and RDI in drought analysis in local scale with emphasizing on agricultural drought (case study: qazvin and takestan). *Iranian of Irrigation & Water Engineering*, 3 (9), 111-122. (In Farsi).
33. Sruthi, S. & Mohammed Aslam, M. A. (2015). Agricultural drought analysis using the NDVI and Land Surface Temperature data; A case study of raichur district, *Aquatic Procedia*, 1258-1264.
34. Tigkas D., Vangelis, H., & Tsakiris, G. (2015). DrinC: A software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8 (3): 697-709. http://drinc.ewra.net/index_d.html
35. Tsakiris, G. & Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9 (10), 3-11.
36. Wang, Q., Adiku, S., Tenhunen, J., & Granier, A. (2005), On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment*, 94, 244-255.
37. Yazdanpanah, H., Momeny, M., Momeny, M., Movahedy, S., Dezfollian, H., Movahedy, S., & Soleimanitabar, M. (2014). Drought monitoring of south of Khuzestan province, Iran using remote sensing and SPI. *Geogheraphy & Environmental planning*, 25 (2), 85-98. (In Farsi).
38. Zamani, R., Akhonal, A.M., Solaimani, K., Ansari, F., & Allahbakhshian, P. (2012). Application of geostatistics in zone classification of drought severities (Case study: Fars Province). *Journal of Watershed Management Research*, 3 (6), 15-29. (In Farsi).
39. Zhang, M., Zhu, X., Fan, J., Li, G., & Zhang, Y. (2009). Monitoring drought dynamics in Huanghuai region of China using AVHRR-based vegetation health indices in comparison with ground data, *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XI*, Vol. 7472, 1131-1145. (18 September 2009)

Drought monitoring and its impact on vegetation cover using remote sensing techniques (Case Study: Yazd province, from 1994 to 2014)

H. Zare Khormizie ^{1*}, H. R. Ghafarian Malamiri ²

1. MSc Student, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
 2. Assistant Professor, Yazd University, Yazd, Iran.
- * Corresponding Author: hadi.zarekh@gmail.com

Received date: 18/04/2017

Accepted date: 10/01/2018

Abstract

Drought with its effects on the performance of agricultural productions, water resources and vegetation cover accelerates the expansion of desertification. One of the methods for drought study and its devastating effects is monitoring and mapping of drought using meteorological indices and remote sensing techniques. To determine the impacts of drought on vegetation cover changes, the intensity of the drought was determined using the annual drought indices (i.e. the annual SPI and RDI). For drought indices mapping, five interpolation methods were used and compared. Then, the annual and seasonal average of NDVI was calculated using the MODIS 16-day NDVI time series from 2000 to 2014. The relationship between the drought indices (SPI and RDI) and the NDVI in different vegetation coverages was evaluated in Yazd province. According to the zoning of drought indices, Yazd province has been in a state of severe drought between 1999-2000 and 2007-2008. Evaluation of correlation results between different vegetation coverages type in Yazd province with drought indices showed that the semi-dense forests, woodlands, shrub-land, and pasture were severely affected by drought while the planting forests, agricultural areas, and gardens were less affected. Based on the results of coefficient of determination (R^2) maps, the highest correlation between the average of NDVI in the spring and the annual drought index (SPI) was founded in the semi-dense forests, woodlands, shrub-land, and pastures grade 2 and 3 with the R^2 of 57, 50, 44 and 41 percent, respectively. Likewise, in the summer, the semi-dense forests, pastures grade 1, 2, and 3, woodlands and shrubbery zones, had the R^2 of 62, 51, 41, 35 and 44 percent, respectively.

Keywords: Correlation; SPI; RDI; Time Series; MODIS