

زشت - ۱۰ اسفند ۹۴

1st National Conference on the Natural Environment



جمهوری اسلامی ایران
باسمه تعالی



اولین همایش ملی محیط زیست طبیعی

1st National Conference On The Natural Environment

کواینامه پذیرش مقاله

پژوهشگران محترم:

مهاخدایی، روزبه شاد، یاسر مقصودی، مرجان قائمی

با نظریات محترم داوران مقاله شما تحت عنوان:

تهیه شاخص ترکیبی خشکالی با استفاده از شاخص های ماهواره ای به کمک آنالیز مولفه اصلی (PCA)

در اولین همایش ملی محیط زیست طبیعی که در تاریخ ۱۰ اسفند ۱۳۹۴ توسط پژوهشگاه محیط زیست جهاد دانشگاهی برگزار

گردید، به صورت ارائه سخنرانی مورد پذیرش قرار گرفته و در مجموعه مقالات این همایش به چاپ رسیده است.

سر بلندی و توفیق روز افزون شمار در راه اعتلای علم دانش و معرفت از خداوند متعالی مسالت داریم.

دکتر لادن کاظمی راد

دیر اجرائی

مهندس مکرم رواجش





تهیه شاخص ترکیبی پایش خشکسالی به کمک تصاویر ماهواره‌ای و آنالیز مولفه اصلی (PCA)

مهسا خدایی^{۱*}، روزبه شاد^۲، یاسر مقصودی^۳، مرجان قائمی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، mahsa.khodaei@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، Rouzbeh_Shad@yahoo.com

۳- استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ymaghsoudi@kntu.ac.ir

۴- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، mghaemi270@gmail.com

چکیده

خشکسالی از جمله بلاهای طبیعی است که همواره بر حوزه‌های کشاورزی، اکولوژی و اقتصادی - اجتماعی تاثیر گذار است. در دهه‌های اخیر فناوری سنجش از دور به علت جمع‌آوری داده‌های مکانی در مقیاس وسیع، به‌روز بودن اطلاعات و بهره‌گیری از تکنیک‌های طیفی، به صورت گسترده در مطالعات پایش خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته است. در چند سال اخیر محققین تلاش نمودند تا با ترکیب مولفه‌های طبیعی مختلف مانند: بارش، سلامت پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، رطوبت خاک و نظیر آن، شاخص‌های ماهواره‌ای خشکسالی را ارتقا و بهبود دهند. در این مقاله شاخص خشکسالی ترکیبی با ترکیب سه شاخص وضعیت پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و بارش به کمک آنالیز مولفه اصلی تولید می‌گردد. مولفه اصلی این آنالیز که شامل بیش از ۷۰٪ اطلاعات است، به عنوان شاخص خشکسالی ترکیبی (SDI) معرفی می‌گردد. به منظور اعتبار سنجی شاخص ترکیبی معرفی شده در فرآیند پایش خشکسالی، از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) استفاده می‌شود. نتایج مطالعات نشان داد این شاخص ترکیبی در فصل رشد گیاهی به خوبی میتواند روند خشکسالی در سطح منطقه را پایش نماید.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص ماهواره‌ای، سنجش از دور

۱- مقدمه

پایش خشکسالی با مشکلاتی نظیر محدودیت داده‌های مورد نیاز، عدم دقت زمانی، مجهول بودن شدت وقوع خشکسالی و نداشتن درک درست از خسارات خشکسالی، مواجه است [1]. در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری در پایش مخاطرات طبیعی مانند خشکسالی به منظور ارائه تصویری گسترده و جامع از روند رخداد طبیعی به کار گرفته شده است. مشاهدات فضایی با جمع‌آوری اطلاعات وسیعی از سطح زمین در بازه‌های زمانی متفاوت، امکان پایش روند خشکسالی را براساس بازتابندگی طیفی در باندهای مختلف، فراهم می‌آورند. امروزه با پیشرفت علم سنجش از دور و فراهم شدن تصاویر ماهواره‌ای متعدد، با قدرت تفکیک‌های زمانی و مکانی متنوع و مناسب، می‌توان خشکسالی را با دقت بالاتر و هزینه و زمان کمتر پایش نمود. در مطالعات اولیه خشکسالی، پژوهشگران سعی نمودند عامل‌های آب و هوایی مانند بارش را به عنوان شاخص‌هایی بر نظارت خشکسالی وارد کنند. از این رو این شاخص‌ها، شاخص‌های هواشناسی



خشکسالی نامیده می‌شوند. از عمده‌ترین شاخص‌های خشکسالی زمین مبنا که پیش‌تر از ورود علم سنجش از دور به عرصه خشکسالی، بسیار پر کاربرد بوده‌اند و هنوز هم از آن‌ها استفاده می‌شود می‌توان به شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI)^۱، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)^۲، شاخص بارش استاندارد (SPI)^۳ و نظیر آن اشاره نمود. شاخص‌های هواشناسی خشکسالی زمین مبنا هستند، چرا که به کمک اطلاعات هیدرولوژی و اقلیمی مانند بارندگی، جریان رودخانه‌ها، درجه حرارت، برف، و سایر اطلاعات ایستگاه‌های زمینی تهیه و به کار گرفته می‌شوند تا تصویر جامعی از وضعیت خشکسالی را در سطح منطقه بیان نمایند. به علت کمبود آمار اقلیمی (ایستگاه‌های هواشناسی) در اغلب مناطق، شاخص‌های هواشناسی جهت ارزیابی پدیده چندان مناسب به نظر نمی‌رسند. از طرفی توسعه یک شاخص خشکسالی نیازمند در نظر گرفتن پارامترهای طبیعی دیگر مانند وسعت منطقه، نوع پوشش گیاهی منطقه، رشد گیاه، و دمای سطح زمین است [2]. از این رو در دهه‌های اخیر نیاز به روش‌هایی نوین در پایش خشکسالی که با در نظر گرفتن پارامترهای تحت تاثیر آن، قادر به ارائه رویکردی جامع از وضعیت خشکسالی باشند، افزایش یافت. فناوری سنجش از دور به علت جمع‌آوری داده‌های مکانی در مقیاس گسترده و بهره‌گیری از تکنیک‌های طیفی، می‌تواند گزینه مناسبی در تعیین پارامترهای مورد نیاز باشد. از جمله بخش‌های تحت تاثیر خشکسالی میتوان به پوشش گیاهی اشاره نمود. وضعیت پوشش گیاهی می‌تواند گویای تاثیر تمامی پارامترهای بارش، رطوبت خاک و فعالیت‌های کشاورزی در سطح منطقه می‌باشد. بسیاری از مطالعات گویای رابطه میزان انرژی انعکاسی در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک با مسزبان پوشش گیاهی در سطح زمین بوده‌اند. این موضوع منجر به توسعه شاخص‌های گیاهی جهت نمایش کمی تغییرات پوشش گیاهی شد. از مهم‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی خشکسالی، شاخص تفاصل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)^۴ است. این شاخص در مطالعات مختلف در سطح محلی، قاره‌ای و جهانی عملکرد قابل قبولی ارائه داده‌است. شاخص‌های دیگری همچون VCI^۵، SAVI^۶ و نظیر آن، به منظور بهبود عملکرد شاخص NDVI ارائه شدند. از دیگر شاخص‌های مورد توجه محققین در مطالعه خشکسالی دمای سطح زمین (LST) و به دنبال آن شاخص وضعیت دما (TCI) است. دمای سطح زمین جزو عواملی است که وضعیت خشکسالی منطقه بر آن تاثیر گذار است. معرفی شاخص جدید وضعیت سلامت گیاه (VHI) نشان داد شاخص TCI مکمل مناسبی برای نمایه VCI به منظور نظارت بر خشکسالی است و هنگامی که این دو با یکدیگر ترکیب می‌شوند، ابزار قابل اعتمادی برای پایش خشکسالی فراهم می‌گردد [3]. در مطالعات اخیر پایش خشکسالی محققین دریافتند که ادغام همزمان پارامترهای تحت تاثیر خشکسالی، ابزار مطمئن تری جهت پایش خشکسالی فراهم می‌آورد.

در تحقیقی در سال ۲۰۱۳، تکنیکی نوین برای حل برخی مشکلات موجود در پایش ماهواره‌ای خشکسالی ارائه شد [4]. همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد، شاخص‌های VCI و TCI دو شاخص پر کاربرد در برآورد شدت خشکسالی و طول دوره آن، در مقیاس محلی و جهانی می‌باشند. با این حال هر یک از این شاخص‌ها با محدودیت‌هایی روبرو هستند. هیچ یک از شاخص‌های فوق VCI و TCI، به طور مستقیم اطلاعات آب و هوایی مانند تغییرات بارش را در نظر نگرفته‌اند. در حالی که این پارامتر (بارش) یکی از عوامل بسیار موثر در خشکسالی به ویژه در مناطق نیمه خشک است. در مطالعه مذکور از داده‌های TRMM به عنوان مولفه‌ای از بارش، از TCI به عنوان مولفه‌ای از رطوبت خاک و از VCI به عنوان مولفه‌ای از پوشش گیاهی استفاده می‌شود. اگرچه VCI، TCI و بارش می‌توانند به ترتیب برای پایش خشکسالی پوشش گیاهی، خاک و جنبه‌های آب و هوایی به کار روند، اما اطلاعات همبسته‌ای میان آن‌ها وجود دارد. علاوه بر این، سهم VCI، TCI و بارش، در نظارت خشکسالی در فصول مختلف، تابع رابطه خطی مشخصی نیست [4]. در این مطالعه، از آنالیز مولفه اصلی (PCA)^۷

¹ Palmer Drought Severity Index

² Surface Water Supply Index

³ Standardized Precipitation Index

⁴ Normalized Difference Vegetation Index

⁵ Vegetation Condition Index

⁶ Soil-Adjusted Vegetation Index

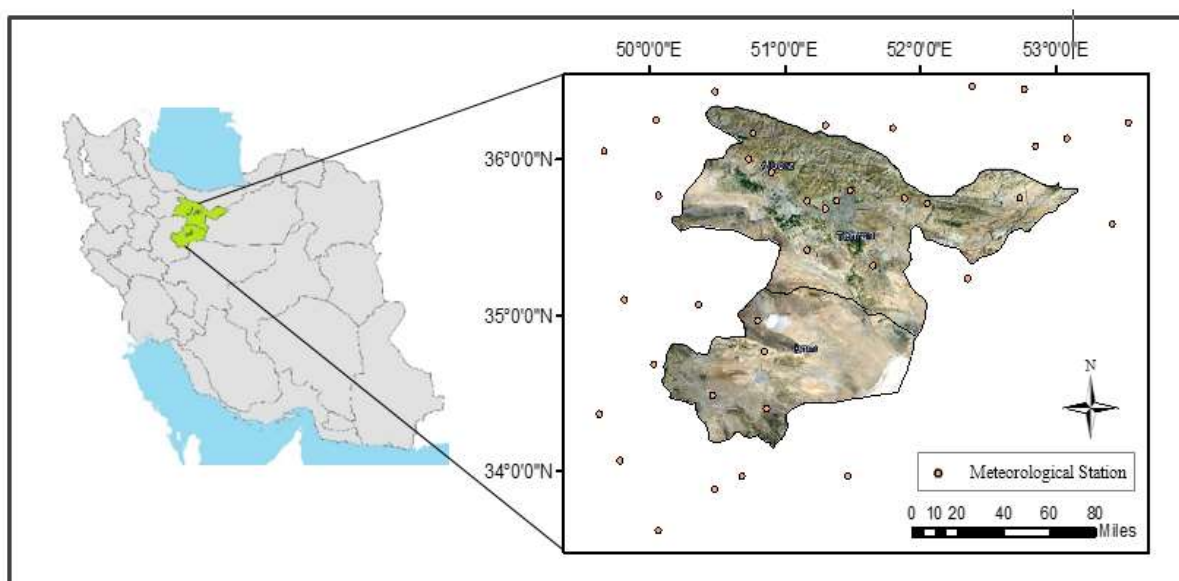
⁷ Principle Component Analysis



برای گرفتن اطلاعات اصلی از VCI, TCI و بارش و همچنین حذف همبستگی بین آنها استفاده می‌شود. VCI, TCI و بارش هر ماه به عنوان باندهای اصلی ورودی هستند. در این مطالعه نیز سه شاخص NDVI, دمای سطح زمین و بارش ماهانه توسط آنالیز PCA با یکدیگر ادغام می‌گردند و در نهایت مولفه اصلی این آنالیز که شامل بیش از ۷۵٪ اطلاعات باندهای ورودی است، تحت عنوان شاخص ترکیبی خشکسالی ارائه می‌گردد.

۲- منطقه و داده‌های مطالعاتی

کشور ایران همانند بسیاری از کشورهای دیگر خاورمیانه از نظر تامین آب در وضعیت مناسبی قرار ندارد. این کشور به دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی، جزو مناطق کم باران جهان بشمار می‌آید. در سال‌های اخیر سازمان ملی خشکسالی ایران از وقوع خشکسالی‌های پی در پی و جدی در سطح کشور از جمله سه استان تهران، البرز و قم خبر داده است. مطالعه خشکسالی در استان تهران، پایتخت کشور، به دلیل حساسیت این استان و همچنین جمعیت بسیار زیادی که در خود جای داده است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استان البرز و قم نیز از جمله استان‌هایی هستند که در مورد وضعیت خشکسالی آنها در چند سال اخیر، به طور مداوم هشدار داده شده است. در این مطالعه استان‌های تهران، البرز و قم واقع در بخش شمالی کشور ایران با محدوده طول جغرافیایی ۳۰° ۵۰' تا ۱۰° ۵۳' و عرض جغرافیایی ۳۶° ۲۱' تا ۳۴° ۲۱' مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مساحت این منطقه $۳/۰۴ \times ۱۰^۴$ کیلومتر مربع است. ارتفاع استان تهران از ۲۰۰۰ در مرتفع‌ترین نقاط در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. ارتفاع استان قم نیز از سطح دریا به‌طور متوسط ۹۳۰ متر است. میانگین درجه حرارت سالانه هر دو استان بین ۱۷ تا ۲۰ درجه متغیر است. میزان بارندگی میانگین سالانه این دو استان بین ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در این تحقیق دوره هفت ساله سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار گرفتند. شکل (۱) نمایی از منطقه مطالعاتی و پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی در سطح این سه استان و استان‌های مجاور را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمای کلی از منطقه مطالعاتی و پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک آب و هواشناسی



۲-۱- داده‌های مورد نیاز در تحقیق

بازه زمانی مطالعاتی در این تحقیق سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ می‌باشد. در سطح این منطقه مطالعاتی بر اساس شرایط آب و هوایی ماه‌های مارس تا می به عنوان دوره رشد گیاه (بهار) و ماه‌های سپتامبر تا نوامبر به عنوان دوره افول رشد گیاه (پاییز)، شناخته می‌شوند [5]. از این رو در این مطالعه به منظور بررسی تاثیر فصل مطالعاتی بر عملکرد شاخص‌ها، ماه‌های مارس تا آخر می و سپتامبر تا آخر نوامبر در نظر گرفته می‌شوند. به طور کلی داده‌های مورد استفاده در این مطالعه را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود، الف) داده‌های ایستگاه‌های زمینی، ب) داده‌های سنجش از دوری. در ادامه هر یک از این دسته داده‌ها به طور مفصل توضیح داده خواهند شد.

۲-۱-۱- داده‌های زمینی

در سطح منطقه مطالعاتی استان‌های تهران، البرز و قم، ۱۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک وجود دارد. در این مطالعه به منظور پیاده‌سازی روش پهنه بندی بارش، داده‌های برخی ایستگاه‌های استان‌های مجاور منطقه مطالعاتی نیز در نظر گرفته می‌شوند و در نهایت ۴۱ ایستگاه وارد مطالعه می‌گردد. شکل (۴-۱) پراکندگی این ایستگاه‌های سینوپتیک را در سطح منطقه نشان می‌دهد. داده‌های بارش تجمعی ماهانه ۴۱ ایستگاه سینوپتیک، برای سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ در شش ماه مطالعاتی مارس، آوریل، می، سپتامبر، اکتبر و نوامبر از سازمان هواشناسی ایران تهیه شدند.

۲-۱-۲- داده‌های سنجش از دوری

داده سنجش از دوری به کار رفته در این تحقیق شامل شاخص NDVI می‌باشد. سری شاخص‌های NDVI برای هر یک از شش ماه مطالعاتی در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴، به کمک باندهای طیفی محصول MOD09A1 سنجنده مودیس در نرم افزار ENVI تهیه می‌گردد. در این تحقیق، مقیاس زمانی مطالعه به صورت ماهانه می‌باشد، از این رو شاخص‌های ماهانه مربوط هر یک از ماه‌های مطالعاتی به کمک تصاویر سنجش از دور آماده می‌گردند. در این مطالعه محصول MOD09A1 collection v005 این سنجنده که از لحاظ قدرت تفکیک مکانی و زمانی متناسب با وسعت منطقه و بازه‌های زمانی مورد نیاز تحقیق است، استفاده می‌گردد. داده‌های MOD09A1 برآوردی از بازتاب طیفی سطح در نبود جذب و پراکنش اتمسفری فراهم می‌نمایند. این تصاویر با قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه شامل ۷ باند پوشش‌دهنده طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) با رزولوشن ۵۰۰ متر هستند. این سری از داده‌های MODIS دارای رزولوشن زمانی ۸ روزه هستند. به منظور برآورد تصویر بازتاب سطحی ماهانه در هر یک از ماه‌های مطالعاتی، تصاویر بازتاب مربوط به هر ماه تهیه و با وزن دهی به تصاویر ۸ روزه براساس تعداد روزهای متعلق به هر ماه محاسبه شدند و سپس شاخص NDVI، به کمک باندهای تصویر MOD09A1 تهیه شد. در این مطالعه داده‌های LST هشت روزه سنجنده مودیس (MOD11A2, collection v005) تهیه شدند. مقادیر ماهانه LST با وزن دهی به تصاویر ۸ روزه براساس تعداد روزهای متعلق به هر ماه محاسبه شدند. موزاییک پوشش‌دهنده



تصاویر MOD09A1 و MOD11A2 از منطقه، موزاییک (h22v05) می‌باشد. داده‌های MOD09A1 و MOD11A2 دارای سیستم تصویر Sinusoidal هستند. این تصاویر به منظور همسان‌سازی سیستم مختصات داده‌های سنجش از دوری این مطالعه، توسط ابزار MRT^A (معرفی شده توسط خود سایت مودیس) به سیستم مختصات UTM^A، تبدیل می‌گردند.

۳- روش‌ها

در این مطالعه شاخص NDVI، همراه با شاخص بارش و دمای سطح زمین وارد آنالیز PCA می‌گردند. پیش از ورود هر یک از شاخص‌های فوق به آنالیز PCA لازم است یک سری استانداردسازی بر روی آنها صورت گیرد. همانطور که پیشتر نیز بدان اشاره شد شاخص NDVI از جمله پر کاربردترین شاخص‌های مطالعات وضعیت پوشش گیاهی است. این شاخص دارای دو مولفه اکولوژی و آب و هوا است. شاخص VCI به منظور بهبود عملکرد شاخص NDVI، نوسانات کوتاه مدت که مربوط به فاکتور آب و هواست را از تغییرات طولانی مدت اکوسیستمی، جدا می‌نماید. مطالعات مختلف نشان داده اند که عملکرد VCI در پایش خشکسالی به کمک رطوبت گیاه، نسبت به NDVI بهتر بوده است [3].

$$VCI = \frac{NDVI_j - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

که در آن $NDVI$ ، مقدار پیکسل $NDVI$ ماهانه ماه j است. $NDVI_{max}$ و $NDVI_{min}$ به ترتیب مقادیر کمینه و بیشینه $NDVI$ ماهانه در پیکسل معادل هستند که با تطبیق پیکسل‌های تصاویر $NDVI$ ماه j در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۴ محاسبه شده‌اند. همانطور که توضیح داده شد، سری زمانی شاخص دمای سطح زمین (LST) توسط سری‌های زمانی محصول MOD11A2 تهیه شدند. شاخص TCI با الگوریتمی مشابه VCI به منظور بهبود عملکرد شاخص LST معرفی شده است. بر خلاف شاخص VCI دمای بالا نشان دهنده شرایط نامطلوب خشک d را نشان می‌دهد و دمای سطح کم شرایط مطلوب را مشخص می‌کند. بنابراین شاخص TCI به صورت زیر تعریف می‌شود [3].

$$TCI = \frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

در رابطه فوق LST ، مقدار پیکسل LST ماهانه ماه j است و LST_{min} و LST_{max} به ترتیب مقادیر کمینه و بیشینه LST ماهانه در پیکسل معادل هستند که با تطبیق پیکسل‌های تصاویر LST ماه j ، در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۴ محاسبه شده‌اند. همچنین برای تهیه فرمت رستری بارش مورد استفاده در این مطالعه، داده‌های بارش تجمعی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک توسط روش کریجینگ عادی در نرم افزار ArcGIS برای هر ماه درونیابی شده و سپس وارد آنالیز PCA می‌گردند.



آنالیز مولفه اصلی تکنیکی است برای حذف تکرار یا افزونگی در یک مجموعه داده و فشرده‌سازی تمام اطلاعاتی که در این مجموعه داده وجود دارد در حالی که اطلاعات بسیار کمی از دست رود [4]. در سنجش از دور PCA به عنوان ابزاری برای حذف مولفه‌های فرعی با ارزش توضیحی کم استفاده زیادی داشته است. در این روش متغیرهای موجود در یک فضای چند حالته همبسته، به یک مجموعه از مولفه‌های غیر همبسته خلاصه می‌شوند که هر یک از آنها ترکیب خطی از متغیرهای اصلی می‌باشند. مولفه‌های غیر همبسته به دست آمده مولفه‌های اساسی نامیده می‌شوند. اگرچه وضعیت خاک و پوشش گیاهی، وضعیت دما و وضعیت بارش می‌توانند برای پایش خشکسالی به کار روند، با این حال میان آنها اطلاعات وابسته ای وجود دارد از طرفی فصول مختلف هیچ رابطه مستقیم و جهانی میان آنها مشهود نیست [4]. شاخص پوشش گیاهی VCI هر ماه همراه با بارش و TCI همان ماه به عنوان ورودی های آنالیز PCA هستند. این فرآیند در نرم افزار ENVI انجام می‌گردد. تعداد باندهای مولفه اصلی برابر با همان تعداد ورودی‌ها (یعنی سه تا) است. از آنجا که مولفه اصلی آنالیز شامل ۷۵٪ اطلاعات داده‌های ورودی است این شاخص تحت عنوان شاخص پایش خشکسالی ترکیبی (SDI^{10}) ارائه می‌گردد.

۴- ارزیابی شاخص ترکیبی

شاخص‌های هواشناسی خشکسالی که پیشتر از علم سنجش از دور در مطالعه خشکسالی معرفی شده‌اند، به دلیل وابستگی به ایستگاه‌های زمینی در پایش وسیع و زمان واقعی خشکسالی، دارای محدودیت‌هایی هستند. با این وجود ماهیت و عملکرد قابل قبول این داده‌ها در نقاط ایستگاه‌های هواشناسی سبب شده است تا در مطالعات مختلفی از آنها به عنوان ابزاری جهت ارزیابی شاخص‌های ماهواره‌ای استفاده گردد. در این مطالعه به منظور اعتبار سنجی و بررسی نحوه عملکرد شاخص ارائه شده از شاخص استاندارد بارش SPI استفاده می‌شود. شاخص SPI در سال ۱۹۹۳ توسط McKee و همکارانش ارائه شد [45]. SPI در درجه اول یک شاخص خشکسالی هواشناسی است و فاکتور مؤثر در محاسبه آن، عنصر بارندگی می‌باشد. شاخص SPI برای کمی نمودن کمبود بارش در بازه‌های زمانی چندگانه طراحی شده است و سابقه تاریخی خشکسالی را برای مقایسه شرایط فعلی و گذشته در نظر می‌گیرد [6]. بدین صورت که در محاسبه این شاخص، اطلاعات بارش ماهانه هر ایستگاه آب و هوایی، در طول دوره آماری طولانی مدت (حداقل ۳۰ سال) استفاده می‌گردد. از جمله امتیازات ویژه این شاخص سادگی و امکان تعیین مقیاس زمانی آن توسط کاربر است [7]. در این مطالعه به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی شاخص ترکیبی (SDI)، شاخص SPI با استفاده از اطلاعات ۱۶ ایستگاه سینوپتیک زمینی، طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۴ محاسبه شد و SPI سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص معرفی شده به کار گرفته شدند. از آنجا که در مطالعات گذشته، به تاخیر زمانی یک تا سه ماه میان شاخص SPI و پاسخ برخی از شاخص‌های پایش خشکسالی مانند NDVI، اشاره شده است [8,9]، در این مطالعه SPI1 و SPI3 که به ترتیب نشان دهنده SPI یک ماهه و SPI سه ماهه هستند محاسبه و به کار گرفته می‌شوند. میانگین مقادیر هر

¹⁰ Synthetized Drought Index

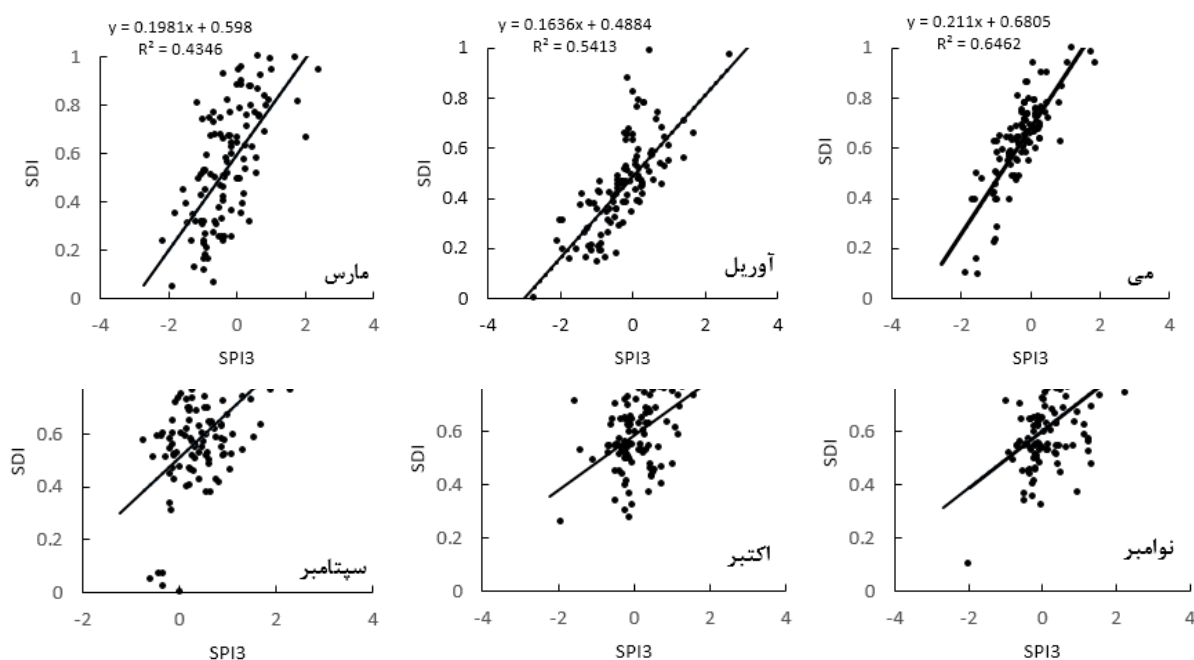


شاخص SDI در اطراف هر ایستگاه محاسبه و در آنالیز رگرسیون شاخص به کار می رود. در جدول (۱) نتایج ضریب تعیین آنالیز رگرسیون بین شاخص SDI را با هر یک از شاخص های SPI3 و SPI1 نشان می دهد.

جدول ۱: ضرایب تعیین آنالیز رگرسیون شاخص SDI و شاخص SPI1 و SPI3

| R ² (SDI-SPI3) N=۱۱۲ | R ² (SDI-SPI1) N=112 | R ² ماه |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| 0.4346 | 0.3102 | مارس |
| 0.5413 | 0.46 | آوریل |
| 0.6462 | 0.4514 | می |
| 0.469 | 0.2867 | سپتامبر |
| 0.2005 | 0.125 | اکتبر |
| 0.2147 | 0.1182 | نوامبر |

در شاخص های پایش رطوبت گیاهی نوع پوشش گیاهی، ریشه گیاه، دوره رشد هر گیاه تاثیر زیادی در عملکرد آن بارش در پایش خشکسالی دارد. به علاوه گیاهان به دلیل ویژگی ذاتی خود توانایی مقابله با کمبود رطوبت را دارند از این رو ممکن است رخداد خشکی در منطقه را دیرتر نشان دهند. همچنین عملکرد شاخص های گیاهی در مناطقی با پوشش گیاهی کم تراکم و تنک به دلیل تاثیر خاک زمینه، دچار اختلال می شود. بنابراین همانطور که انتظار می رفت و مطالعات مختلفی نشان داده اند، ضریب تعیین میان شاخص SDI با شاخص SPI3، در مقایسه با شاخص SPI1 بیشتر است. اگرچه عملکرد شاخص SDI در





ماه‌های آوریل و می بهتر از دو شاخص دیگر ارزیابی شده‌است، با این حال همانطور که در جدول (۱) و شکل (۲) مشخص است، عملکرد این شاخص در ماه‌های دیگر به ویژه ماه‌های فصل افول رشد گیاه، ضعیف می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری

پایش ماهواره‌ای خشکسالی به دلیل توانایی علم سنجش از دور در مطالعه وسیع، پیوسته و کم هزینه خشکسالی، مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است. در این مطالعه سه شاخص بسیار مهم در مطالعه خشکسالی شامل بارش، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین توسط آنالیز PCA با یکدیگر ادغام شدند و شاخص اصلی این آنالیز تحت عنوان شاخص خشکسالی ترکیبی معرفی شد. نتایج اعتبارسنجی این شاخص با شاخص استاندارد شده بارش در ۱۶ ایستگاه در سطح منطقه مطالعاتی نشان داد، همانطور که انتظار می‌رفت و مطالعات مختلفی نشان داده‌اند، ضریب تعیین میان شاخص SDI با شاخص SPI3، در مقایسه با شاخص SPI1 بیشتر است. اگرچه عملکرد شاخص SDI در ماه‌های آوریل و می بهتر از دو شاخص دیگر ارزیابی شده‌است، عملکرد این شاخص در ماه‌های دیگر به ویژه ماه‌های فصل افول رشد گیاه، ضعیف‌تر از دو شاخص دیگر می‌باشد. بنابراین این شاخص در فصول رشد گیاهی عملکرد بسیار قابل قبولی ارائه خواهد داد، با این وجود عملکرد آن در فصل پاییز با محدودیت‌هایی روبرو است.

مراجع

- [۱] یار محمدی، پ. (۱۳۸۴)، لزوم بکارگیری توأم سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در پایش خشکسالی ها، فصلنامه علمی-ترویجی خشکی و خشکسالی کشاورزی، شماره ۱.
- [2] Narasimhan, B., & Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1), 69-88.
- [3] Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11), 91-100.
- [4] Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., & Huang, Y. (2013). A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23, 245-253.
- [5] Shahabfar, A., Ghulam, A., & Eitzinger, J. (2012). Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 119-127.
- [6] McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179-183.
- [7] Narasimhan, B., & Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1), 69-88.
- [8] Ghulam, A., Qin, Q., Teyip, T., & Li, Z. L. (2007). Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(2), 150-164.
- [9] Wang, J., Rich, P. M., & Price, K. P. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 24(11), 2345-2364.