

بررسی کارآیی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشکسالی منطقه کاشان

علی اکبر شمسی پور^{۱*}، سید کاظم علوی پناه^۲ و حسین محمدی^۳

۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: akbar_shamsipour@yahoo.com

۲- استاد، گروه کارتوگرافی، دانشگاه تهران

۳- استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۸۹/۰۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۵

چکیده

هدف این مطالعه، ردیابی و تحلیل اثرهای محیطی خشکسالی‌ها بوسیله شاخص‌های سنجش از دور در منطقه بیابانی و خشک کاشان است. تغییرات زمانی خشکسالی‌ها با استفاده از شاخص Z نرمال در دو مقیاس سالانه و فصلی (بهار)، بررسی شد. داده‌های طیفی و حرارتی از سری داده‌های ماهواره NOAA-AVHRR بین سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۴ جهت استخراج شاخص‌های مرتبط با خشکسالی استفاده گردید. شاخص‌های خشکسالی بر مبنای وضع پوشش گیاهی و دمای درخشایی سطحی بدست‌آمده از باندهای طیفی (۱ و ۲) و حرارتی (۴ و ۵) شامل: شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت دما (TCI) و شاخص سلامتی گیاه (VHI) می‌باشد که مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از بکارگیری شاخص‌های مزبور نشان می‌دهد که محدوده مطالعاتی از پوشش گیاهی فقیری برخوردار است. به طوری که مقادیر شاخص NDVI منطقه بطور غالب کمتر از ۰/۲ بدست‌آمد. همچنین بکارگیری شاخص‌های گیاهی NDVI، VCI و رطوبت سطح خاک (LSM)، سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ همراه با خشکسالی و سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ دارای شرایط ترسالی بودند. ولی دمای سطح زمین (LST) و شاخص‌های TCI و VHI شرایط متفاوت دمایی را در ماه‌های آوریل و می بطور مشخص نشان دادند. بدین ترتیب با اعتبارسنجی نتایج حاصل از شاخص‌های دورسنجی، آزمون معناداری آنها با شاخص‌های اقلیمی محاسبه شد. بنابراین بر مبنای محاسبه‌های انجام شده شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص‌های گیاهی تطابق بیشتری دارند. همچنین شرایط حرارتی محیط را شاخص‌های حرارتی با دقت بیشتری نمایان می‌سازند. در نهایت، با توجه به ردیابی با دقت مناسب پوشش سطحی بوسیله شاخص‌های پوشش گیاهی و حساسیت مناسب شاخص‌های حرارتی نسبت به تغییرات دمایی محیط، بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور در مطالعات محیطی مناطق خشک و بیابانی همانند کاشان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی اقلیمی، شاخص‌های گیاهی، دمای سطح زمین، سنجش از دور، باندهای حرارتی و کاشان.

مقدمه

بارندگی، (۲) ترکیب بارندگی با دما، رطوبت و یا تبخیر، (۳) رطوبت خاک و پارامتر محصول، (۴) شاخص‌های اقلیمی و برآورد تبخیر و تعرق، (۵) تعاریف و گرایش‌های عمومی (Jeyaseelan, 2005). این متغیرها در بعد مکانی

تعریف خشکسالی‌ها بوسیله WMO¹، نشان می‌دهد که خشکسالی‌ها براساس موارد زیر طبقه‌بندی می‌شوند: (۱)

1- World Meteorology Organization

ماهواره NOAA³ جهت مطالعات منابع طبیعی بسیار مناسب بوده گزارش کردند (Karnieli *et al.*, 2006). بنابراین سری ماهواره‌های هواشناسی NOAA مورد استفاده، دارای دستگاه تابش‌سنج پیشرفته با توان تفکیک بسیار بالا AVHRR/3 هستند. به طوری که تصاویر سنجنده AVHRR به سبب میدان دید $\pm 55^\circ$ و قدرت تفکیک مکانی ۱/۱ کیلومتر برای مطالعات هواشناسی و محیطی مفید هستند (Krishna *et al.*, 1990).

داده‌های این سنجنده دو شاخص عمده سطحی فراهم می‌کند؛ ۱) شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی⁴ (NDVI)، ۲) دمای سطح زمین⁵ (LST). شاخص NDVI مهم‌ترین شاخص گیاهی مورد استفاده است، و بر مبنای نسبت بین حداکثر انعکاس تابش در باند طیفی مادون قرمز نزدیک و حداکثر جذب تابش در باند طیفی قرمز می‌باشد (Tucker, 1979). از آنجایی که دمای سطح خاک در رشد پوشش گیاهی مؤثر است، مقادیر LST به صورت معیاری برای ارزیابی وضعیت و گسترش پوشش گیاهی استفاده می‌شود (White *et al.*, 1997 and Runing *et al.*, 1995). Singh *et al.*, Badeck *et al.*, 2004, Tucker *et al.*, 2001, Gutman, 1991 (2003).

دانشمندان متعددی شاخص‌های گیاهی را برای ارزیابی محصول زراعی مزارع، پایش بارندگی، برآورد خطرات جوی در توده زنده مراتع، وضعیت خشکسالی و تعیین شادابی پوشش گیاهی مطرح نموده‌اند (and Tucker *et al.*, 1982, Kogan, Hielkema *et al.*, 1986 Justice *et al.*, 1985, 1987, 1990, 1998, Dabrowska-Zielinska *et al.*, 2002).

و فضایی در سامانه اقلیم مطالعه می‌شوند. به طوری که در دهه‌های اخیر کشور ایران به صورت متناوب تحت تأثیر خشکسالی‌ها قرار داشته و آثار مخرب آنها بر محصول‌های کشاورزی، مراتع و به تبع آن دام‌ها و نهایت در زندگی انسان‌ها بنحوی قابل مشاهده است.

فناوری سنجنش از دور دستیابی اطلاعات را از نواحی وسیع بوسیله سنجنده‌های عملیاتی در باندهای طیفی متعدد ممکن ساخته است که بوسیله هواپیماها و ماهواره‌ها مخابره می‌شوند. البته باندهای طیفی استفاده شده بوسیله سنجنده، بخش‌هایی از دامنه بین طیف‌های مرئی و موج‌های کوتاه ($0.58 - 12.5\mu\text{m}$) را می‌پوشاند. به نحوی که پیشرفت‌های سریع در فناوری رایانه و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در قالب نقشه‌های مکانی و داده‌های توصیفی در پردازش داده‌های ماهواره‌ای از طریق سنجنش از دور (RS¹)، درک جدیدی از تجسم فضایی داده‌های منابع طبیعی را ارائه می‌دهد. از این رو مجموع اطلاعات بدست‌آمده از فنون سنجنش از دور با دیگر سری داده‌ها پتانسیل بالایی برای تشخیص، پایش و ارزیابی خشکسالی‌ها ارائه می‌دهند (Jeyaseelan, 2005).

داده‌های ماهواره‌ای نقش روزافزونی در پایش پوشش گیاهی مرتبط با شرایط خشکسالی بازی می‌کنند. اولین کاربرد این داده‌ها در ارزیابی‌های زیستی وضعیت پوشش گیاهی در شمال سنگال طی سال‌های ۱۹۸۱-۱۹۸۳ بود (Tucker *et al.*, 1983, 1985) و متعاقب آن، محققان دیگر این کار را در سراسر منطقه ساحل غربی آفریقا و جاهای دیگر گسترش داده و نتایج مشابهی مبنی بر اینکه از میان سنجنده‌های متعدد موجود، سنجنده AVHRR² از

3-National Oceanic and atmospheric administration

4- Normalized Differences Vegetation Index

5. Land Surface Temperature

1- Remote Sensing

2-Advanced Very High Resolution Radiometer

از داده‌های *AVHRR* و با محاسبه و اعمال میزان توان تشعشعی سطوح مختلف دمای سطح زمین در بیابان‌های ایران مورد مطالعه قرار گرفت (Forough Beik and Saradjian, 2003). سیستم پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران با استفاده از *NDVI* بدست‌آمده از داده‌های *AVHRR* مورد بررسی قرار گرفته است (Shahabfar & Ramesh, 2006). در این مطالعه از شاخص‌های بدست‌آمده از *AVHRR* برای تحلیل خشکسالی در منطقه کاشان، استفاده شد. بنابراین مقایسه بین شاخص‌های گیاهی و محیطی بدست‌آمده از باندهای طیفی و حرارتی *AVHRR* و شاخص خشکسالی هواشناسی *Z* برای دوره مورد مطالعه و همچنین ارزیابی توانایی سنجنده *AVHRR* در مطالعه و تحلیل خشکسالی منطقه خشک کاشان از اهداف این تحقیق هستند.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در منطقه فراگیر کاشان و قم با وسعتی برابر ۳۱۶۸۰ کیلومتر مربع، جزء مناطق خشک و بیابانی داخل فلات مرکزی ایران است که در محدوده ۳۳ درجه تا ۳۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۱ تا ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه به دلیل شرایط خاص جغرافیایی و اقلیمی و قرارگیری در دامنه سایه باران رشته‌کوه‌های زاگرس از غرب و البرز از شمال و در نتیجه عدم دسترسی به منابع رطوبتی، همجواری با دشت کویر از شرق، صافی هوا و بالا بودن میزان تابش خورشیدی، باعث حاکمیت شرایط حاد اقلیم گرم و خشک شده است. بطور کلی شرایط محیطی متنوع و حساسیت زیاد آن به نواسانهای اقلیمی از ویژگی‌های منطقه است.

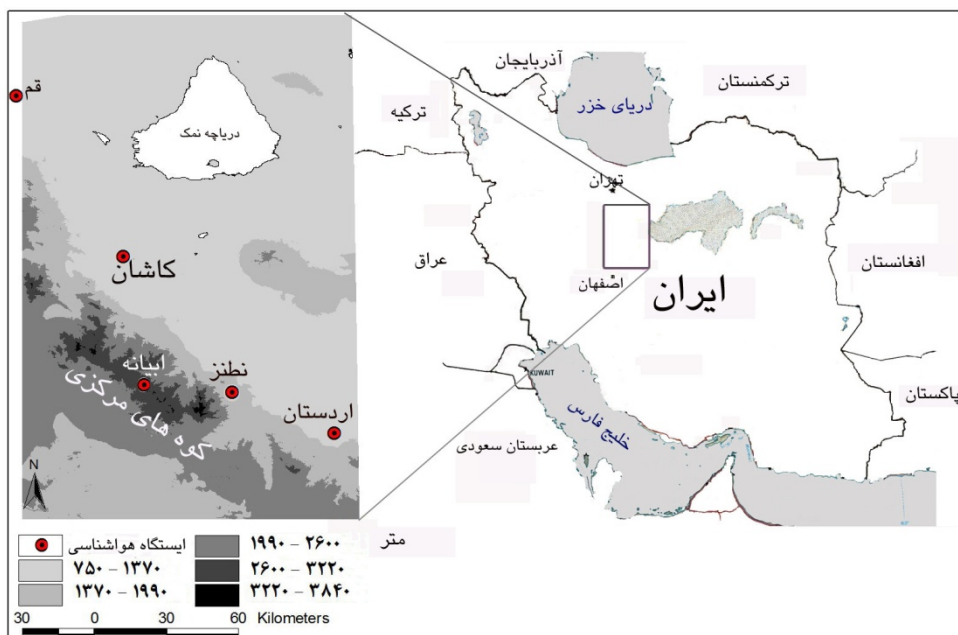
پیشنهاد شده، که (Kogan, 1995) شاخص وضعیت دما^۱ (*TCI*) را با استفاده از باندهای حرارتی سنجنده (*AVHRR*) برای تشخیص تنش گیاهی مرتبط با دما و نیز تنش ناشی از رطوبت مازاد توسعه داد. به طوری که در منطقه آراوالی هند خشکسالی با بکارگیری شاخص‌های گیاهی *NDVI*، *VCI*، *TCI* و *VHI*^۲ از داده‌های اخذ شده ماهواره *NOAA/AVHRR* در مقایسه با شاخص‌های آماری^۳ (*SPI*) و^۴ (*SWI*) حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد مطالعه قرار گرفت (Bhuiyan, 2005). در مطالعه فوق ضریب همبستگی بالایی بین *VCI* و *TCI* با میزان بارندگی ماهانه مشاهده نگردید. (Karnieli et al., 2006) شاخص‌های گیاهی را در ارتباط با خشکسالی در مغولستان مطالعه کردند. در این مطالعه، شاخص سلامتی پوشش گیاهی (*VHI*) در مطالعه خشکسالی و بکارگیری در داده‌های ماهواره‌ای *NOAA/AVHRR* معرفی گردید. در مطالعه‌ای دیگر پایش خشکسالی با استفاده از شاخص *SPI* در مقایسه با شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های سنجنده از دور در ایتالیا مورد مطالعه قرار گرفت (Jurgen et al., 1998). به نحوی که شاخص *NDVI* بدست‌آمده از داده‌های *AVHRR* (به دلیل اینکه *AVHRR* تصاویر با قدرت تفکیک زمانی بالا (روزانه) و پوشش ناحیه وسیع تهیه می‌کند) به طور وسیعی برای ارزیابی و پایش وضعیت سلامتی پوشش گیاهی استفاده می‌شود (Tucker, 1985). سیدان (۱۳۸۲) با استفاده از داده‌های *AVHRR* دما و رطوبت سطح خاک را در ایران مورد ارزیابی قرار داد. در نتیجه با اعمال آزمون‌های همبستگی و تحلیل رگرسیونی مدل‌هایی برای محاسبه رطوبت سطحی ارائه نمود. با استفاده

1-Temperature Condition Index

2-Vegetation Healthy Index

3-Standardized precipitation Index

4-Standardized Water-level Index



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روشها

مکانی ۱/۱ کیلومتر مربع تهیه گردید. سپس تصحیح‌های رادیومتری و هندسی روی تصاویر اعمال شد. مطالعه آماری خشکسالی مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه با شاخص Z نرمال انجام گردید. شاخص خشکسالی اقلیمی برای داده‌های ۳۷ سال (۱۹۶۷-۲۰۰۴) ۱۲ ایستگاه هواشناسی (جدول ۱) بود که در منطقه مورد مطالعه بکار رفت که براساس آن سه متغیر رطوبت نسبی، دما و بارش در مقیاس‌های سالانه و فصلی (فصل بهار) مورد محاسبه قرار گرفتند. شکل ۲ روند نمای روش مطالعه را نشان می‌دهد.

محاسبه و تعیین خشکسالی‌ها در دوره‌های سالانه و فصل بهار (دوره رشد و کلیماکس گیاهی) انجام شد. با تعیین سال‌های شاخص خشکسالی و ترسالی و با توجه به زمان حداکثر کلیماکس گیاهی در نیمه اول ماه مه، داده‌های ماهواره‌ای هفت تا ۱۰ روزه برای ماه‌های آوریل

داده‌های هواشناسی ۱۲ ایستگاه هواشناسی منتخب در منطقه کاشان و قم (جدول ۱) براساس طول دوره آماری و پوشش مناسب منطقه‌ای از سایت سازمان هواشناسی استخراج گردید. اطلاعات ساعتی و روزانه عناصر اقلیمی دو ایستگاه سینوپتیک قم و کاشان در ماه‌های مارس تا آگوست سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴ که دارای داده‌های ماهواره‌ای بودند از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. برای شناسایی ویژگی‌های محیطی منطقه، ۱۹۲ شیت از نقشه‌های پایه ۱:۲۵۰۰۰، دو شیت نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و نقشه‌های خاک‌شناسی و کاربری اراضی منطقه از سازمان‌های مربوطه تهیه گردید. داده‌های سنجنده AVHRR/3 از ماهواره‌های NOAA14 و NOAA16 از سازمان فضایی ایران در طی سه مرحله ۱۲۱ گذر مربوط به سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۴ با قالب *pix* و با قدرت تفکیک

جدول ۱- مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

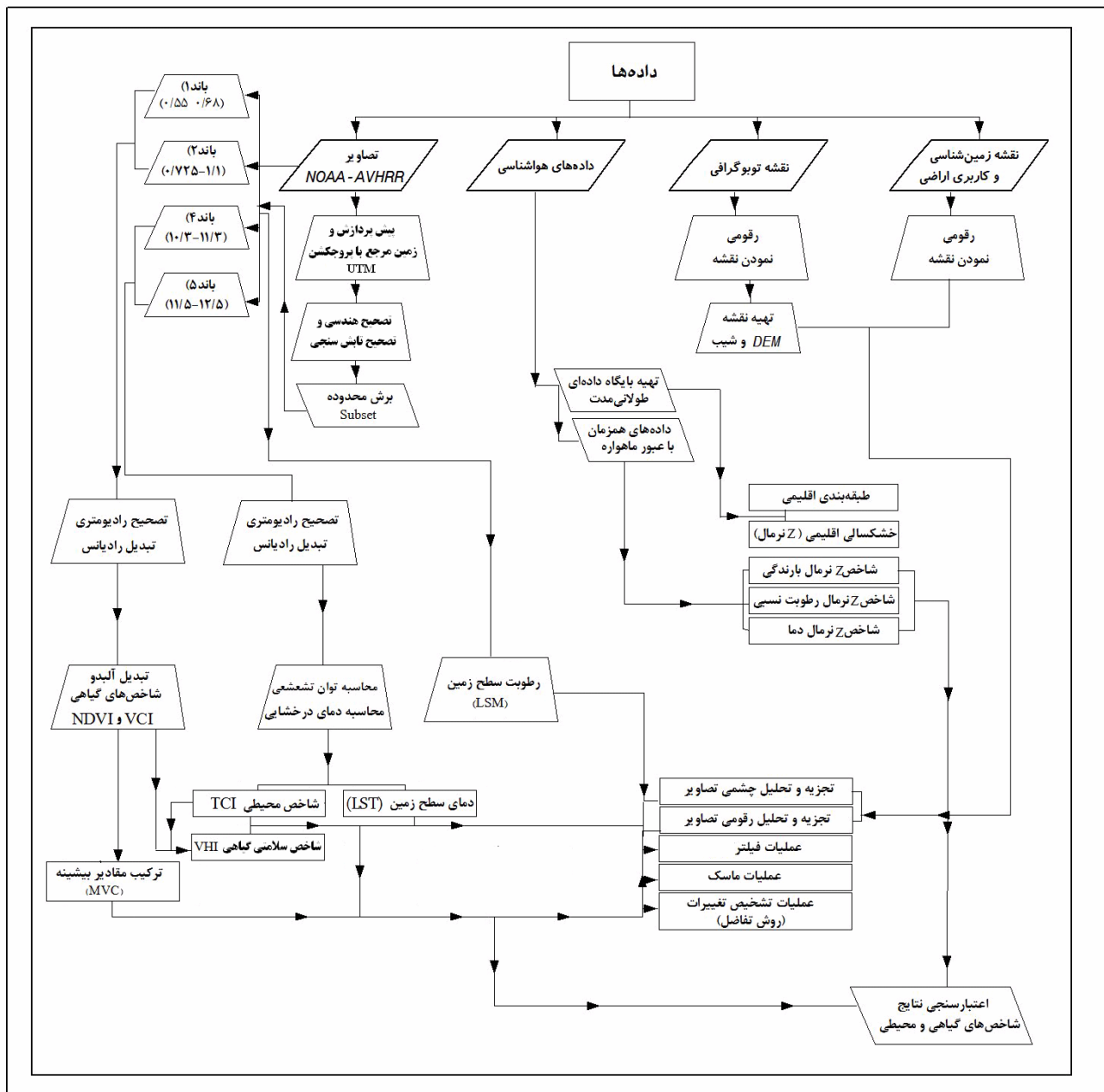
ایستگاه	نوع ایستگاه	دوره آماری	عرض جغرافیایی - طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)
ایبانه	کلیماتولوژی	۱۹۷۸-۲۰۰۳	33°34'N 51°35'E	۲۲۳۴
اردستان	کلیماتولوژی	۱۹۶۴-۲۰۰۰	33°37'N 52°37'E	۱۳۸۱
قم	سینوپتیک	۱۹۶۴-۲۰۰۴	34°42'N 51°50'E	۸۷۷/۴
کاشان	سینوپتیک	۱۹۵۱-۲۰۰۴	33°59'N 51°27'E	۹۸۲/۳
نطنز	سینوپتیک	۱۹۶۴-۲۰۰۳	33°32'N 56°51'E	۱۸۰۰
گرمسار	سینوپتیک	۱۹۸۶-۲۰۰۴	35°12'N 52°16'E	۸۲۵
ورامین	سینوپتیک	۱۹۹۰-۲۰۰۳	35°13'N 51°48'E	۹۰۰
میمه	سینوپتیک	۱۹۹۹-۲۰۰۴	33°26'N 51°10'E	۹۸۰
نائین	سینوپتیک	۱۹۹۲-۲۰۰۴	32°51'N 53°05'E	۵۴۹
خور بیابانک	سینوپتیک	۱۹۸۶-۲۰۰۴	33°47'N 55°45'E	۸۴۵
شرق اصفهان	سینوپتیک	۱۹۷۶-۲۰۰۴	32°40'N 51°42'E	۵۴۳
بلان	کلیماتولوژی	۱۹۹۵-۲۰۰۳	32°54'N 52°54'E	۲۱۲۵

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور

حداکثر ارزش که از تمام پیکسل‌های روی هم قرار گرفته بالاترین ارزش را انتخاب می‌کند، اثرهای جوی و ابرهای موجود را که دارای پایین‌ترین مقادیر می‌باشند از داخل محاسبات حذف نمود. همچنین در این تحقیق برای کاهش اثرهای جوی روش *split window* بر پایه تفاوت دمای روشنایی، باندهای ۴ و ۵ مورد آزمون قرار گرفت. به طوری که دمای درخشایی حاصل از باند ۴ به دلیل جذب کمتر بخار آب در محدوده آن (۱۱/۳ - ۱۰/۳ میکرون) به عنوان دمای پایه و تفاوت دمای درخشایی باندهای ۴ و ۵ برای کاهش اثرهای جوی در این داده‌ها آزمون گردید. در ادامه با استفاده از مشخصات مداری ماهواره و مشخصات طول و عرض خط اسکن نسبت به تصحیح اثر چرخش زمین و کرویت آن در تصاویر اخذ شده اقدام شد. در محیط نرم‌افزار *Erdas8.7* با استفاده از فایل‌های متنی (*Header Files*) همراه تصاویر و با استفاده از طول و

و می ۷ سال (از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴) از سازمان فضایی کشور تهیه گردید. بطور کلی کاربرد داده‌های *AVHRR* به دو صورت عملی است که عبارتند از: الف) استفاده از تصاویر یک زمانه منفرد و مقایسه آنها بعد از طبقه‌بندی، ب) استفاده از تصاویر چند زمانه ترکیبی (علوی‌پناه، ۱۳۸۵). با وجود اینکه تصاویر اخذ شده دارای تصحیحات اولیه هندسی و تابش‌سنجی بودند، جهت اطمینان از نتایج بدست‌آمده و کاهش و حذف اثرهای جوی و ابر از روش حداکثر ارزش^۱ برای اعمال نتایج بدست‌آمده در شاخص‌های گیاهی و خشکسالی استفاده گردید. با توجه به اینکه در شاخص‌های گیاهی بالاترین ارقام مربوط به سطوح پوشیده گیاهیست و پیکسل‌های با ارزش پایین را نواحی آبی و ابر و خاکی تشکیل می‌دهد، در ترکیب دوره ۱۰ تا ۱۴ روزه تصاویر *NDVI* می‌توان با استفاده از روش

1- Maximum value



شکل ۲- روندنمایی روش‌شناسی مطالعه خشکسالی با استفاده از داده‌های NOAA-AVHRR

تصحیح هندسی (Registration) اعمال گردید. سپس قسمتی از تصاویر که منطبق با دو شیت نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه کاشان و آران- بیدگل جهت مطالعه از کل تصاویر برش داده شد. برای اینکه اطلاعات موجود در تصاویر بارز شده یا دیگر اطلاعات پنهان تصاویر منطبق با

عرض جغرافیایی و اندازه پیکسل‌ها با سیستم تصویر طول و عرض جغرافیایی (latlon) و بیضوی WGS84 تصاویر تصحیح هندسی شدند. بنابراین با انتخاب نقاط کنترل زمینی^۱ در تصاویر دارای سیستم مختصات، عملیات

1- Ground Control Point

مزبور که روابط همبستگی بهتری با رطوبت خاک نشان می‌دادند، برای محاسبه استفاده گردید.

(۲)

$$LSM = 25.86 - 7.901 * (BT4 - BT5) + 0.460 * LST - 1.21 * Albedo$$

که LSM ، رطوبت سطحی، $BT4$ و $BT5$ به ترتیب دمای درخشایی باندهای ۴ و ۵ سنجنده $AVHRR$ ، LST دمای سطح زمین و آلدوی سطحی است. در نهایت با استفاده از مدل‌های ارائه شده در زیر شاخص‌های خشکسالی $NDVI$ ، VCI و TCI مورد محاسبه قرار گرفتند.

شاخص‌های خشکسالی

شاخص Z نرمال

در رابطه با اثر تغییرات بارندگی، دما و رطوبت نسبی بر گسترش خشکسالی در این منطقه، شاخص Z نرمال سالانه و فصلی محاسبه و آزمون گردید. شاخص با استفاده از تابع زیر محاسبه می‌شود (Mc Kee et al., 1995).

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{\delta} \quad (3)$$

که X_i بارش یا متغیر سال یا فصل مورد مطالعه در ایستگاه هواشناسی i ، \bar{X} میانگین طولانی مدت فصلی یا سالانه و σ انحراف معیار است. شاخص Z استاندارد از ضرایب آماریست و یکی از شاخص‌های مهم نرمال است که میانگین (X) و انحراف معیار (σ) آن برابر صفر و یک است. مقادیر بدست آمده نقطه‌ای با استفاده از روش درون‌یابی IDW^2 در $Arc GIS 9.3$ پهنه‌بندی گردید.

اهداف مطالعه استخراج شود فرایندهای مختلف پردازش از قبیل: بارزسازی تصویر، نمایش ترکیب رنگی و عملیات حسابی مورد آزمون قرار گرفتند. در مطالعه خشکسالی منطقه کاشان هدف عمده استخراج اطلاعات در ارتباط با تغییرات محیطی در زمان‌های مختلف می‌باشد. بنابراین، برآورد توان تشعشع، محاسبه دمای سطح زمین، رطوبت خاک، شاخص‌های خشکسالی و گیاهی و تحلیل‌های مقایسه‌ای و مدل‌نویسی مورد بررسی قرار گرفتند. بنابراین برای محاسبه توان تشعشع از شاخص گیاهی $NDVI$ و جهت بازیابی دمای سطح زمین از الگوریتم $split$ $window$ استفاده گردید (Price, 1984).

$$T_s = T_4 + A(T_4 - T_5) + B \quad (1)$$

T_s دمای سطح زمین، T_4 ، T_5 دمای درخشایی باندهای ۴ و ۵ سنجنده $AVHRR$ و ضرایب A و B مربوط به اثرات جوی، زاویه دید و توان تشعشع زمین هستند که به ترتیب برابر با $۲/۶۳$ و $۱/۲۷$ می‌باشند (Price, 1984). در ادامه با توجه به اهمیت میزان رطوبت خاک در مطالعه خشکسالی به منظور دستیابی به مدلی که قادر به برآورد مناسب رطوبت موجود در لایه سطحی خاک باشد، شاخص‌های بسیاری مورد بررسی قرار گرفتند. به طوری که جهت ارزیابی رطوبت خاک با لحاظ متغیرهای مؤثر در میزان رطوبت سطحی همچون دما (LST)، آلدو (باندهای ۱) و نیز تفاضل دمای درخشایی باندهای ۴ و ۵ $AVHRR$ ($BT4-BT5$) رطوبت سال‌های مختلف برآورد گردید. بنابراین در این بحث از روش تجربی مبتنی بر متغیرهای

شاخص NDVI

پوشش گیاهی سبز و سالم، تشعشع خورشیدی را در طیف مرئی (باند ۱) در مقایسه با مادون قرمز نزدیک (باند ۲) بسیار کم منعکس می‌کند. بنابراین وقتی پوشش گیاهی دارای تنش است مقادیر باند ۱ ممکن است به‌طور معناداری افزایش و مقادیر باند ۲ کاهش یابد. از این رو شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) به‌صورت زیر بیان می‌شود (Becker, 1993, & Tucker, 1979, Li,)

$$NDVI_{ijk} = \frac{(NIR_{ijk} - R_{ijk})}{NIR_{ijk} + R_{ijk}} \quad (۴)$$

که NIR_{ijk} و R_{ijk} به ترتیب مقادیر بازتاب در طول موج‌های مادون قرمز نزدیک (باند ۲) و قرمز (باند ۱) NOAA- AVHRR، به ترتیب برای پیکسل i در طول ماه j و سال k است.

شاخص VCI

شاخص VCI بوسیله دامنه‌ای از مقادیر NDVI طولانی مدت محاسبه شده و نرمال می‌شود. به نحوی که دامنه مقادیر VCI از ۰ تا ۱۰۰ است و مقادیر کم شرایط تنش گیاهی را نشان می‌دهد و مقادیر میانه شرایط متوسط و مقادیر بالا شرایط بهینه و بالای نرمال را نشان می‌دهد؛ بنابراین طبق رابطه زیر تعریف می‌شود (Kogan, 1990, 1995)

$$VCI = 100 * \frac{NDVI_t - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (۵)$$

که $NDVI_t, NDVI_{max}, NDVI_{min}$ به ترتیب NDVI میانگین کمینه طولانی مدت، میانگین بیشینه طولانی مدت و ماه مورد مطالعه برای هر پیکسل می‌باشد.

شاخص TCI

شاخص TCI بر مبنای باند حرارتی (باند ۴) تبدیل شده به دمای درخشایی (BT) سنجنده AVHRR ارائه شده است. شاخص TCI برای تعیین دمای مرتبط با تنش پوشش گیاهی و همچنین تنش ناشی از رطوبت بیش از حد استفاده می‌شود (Kogan 1995, 1997 and 2000). الگوریتم TCI مشابه به الگوریتم VCI است و به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$TCI = 100 * \frac{BT_{max} - BT}{BT_{max} - BT_{min}} \quad (۶)$$

که BT_{max}, BT_{min}, BT به ترتیب میانگین کمینه دمای درخشایی طولانی مدت، میانگین بیشینه طولانی مدت دوره و ماه مورد مطالعه برای هر پیکسل است و شرایط نسبت به پوشش‌های دمای کمینه و بیشینه برآورد می‌شوند. پیرو شاخص مزبور، (Kogan 1995) شاخص دیگری پیشنهاد کرد که شاخص سلامتی پوشش گیاهی (VHI) و یک ترکیب اضافی از VCI و TCI است. شاخص ابتدایی (VCI) بر اساس ارتباط بین مقدار هفتگی NDVI و مقادیر NDVI که بهترین ($NDVI_{max}$) و بدترین ($NDVI_{min}$) وضعیت رشد محصول در ۷ سال (۱۹۹۸-۲۰۰۴) است. شاخص دوم (TCI) ارتباط بین مقدار دمای هفتگی و دمای بدست آمده در شرایط بهینه (BT_{min}) و دارای تنش ($NDVI_{max}$) محصول در دوره مشابه است.

نتایج

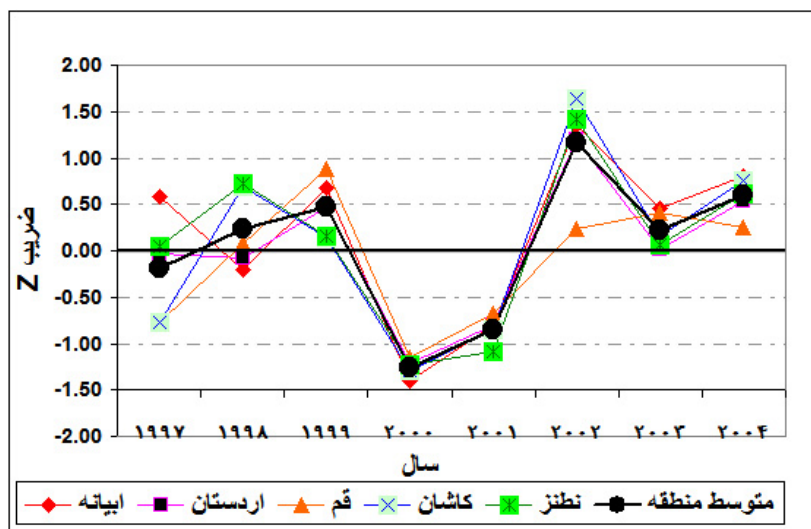
شاخص آماری Z مبتنی بر شکل ۳ گویای وضعیت

اقليمی منطقه مورد مطالعه از لحاظ شدت خشکسالی و ترسالی براساس شاخص Z نرمال است. بنابراین مطابق شکل ۳، سال ۲۰۰۲ مرطوب‌ترین و ۲۰۰۰ خشک‌ترین سال در طول دوره آماری هستند. در سال ۲۰۰۲ شرایط مناسب رطوبتی در کل منطقه و به‌ویژه در ایستگاه کاشان و وضعیت مناسبتر نیمه جنوبی نسبت به نیمه شمالی در کل سال‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۴).

براساس جدول ۲ سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ دارای شرایط نرمال بوده و تا حدی در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۳ تمایل به ترسالی خفیفی مشاهده می‌شود. سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به ترتیب دارای شرایط حاد خشکسالی می‌باشند. ولی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ به‌طور شاخص گویای وضعیت ترسالی می‌باشند.

جدول ۲- ضرایب شاخص خشکسالی Z در بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌های (۱۹۹۷-۲۰۰۴)

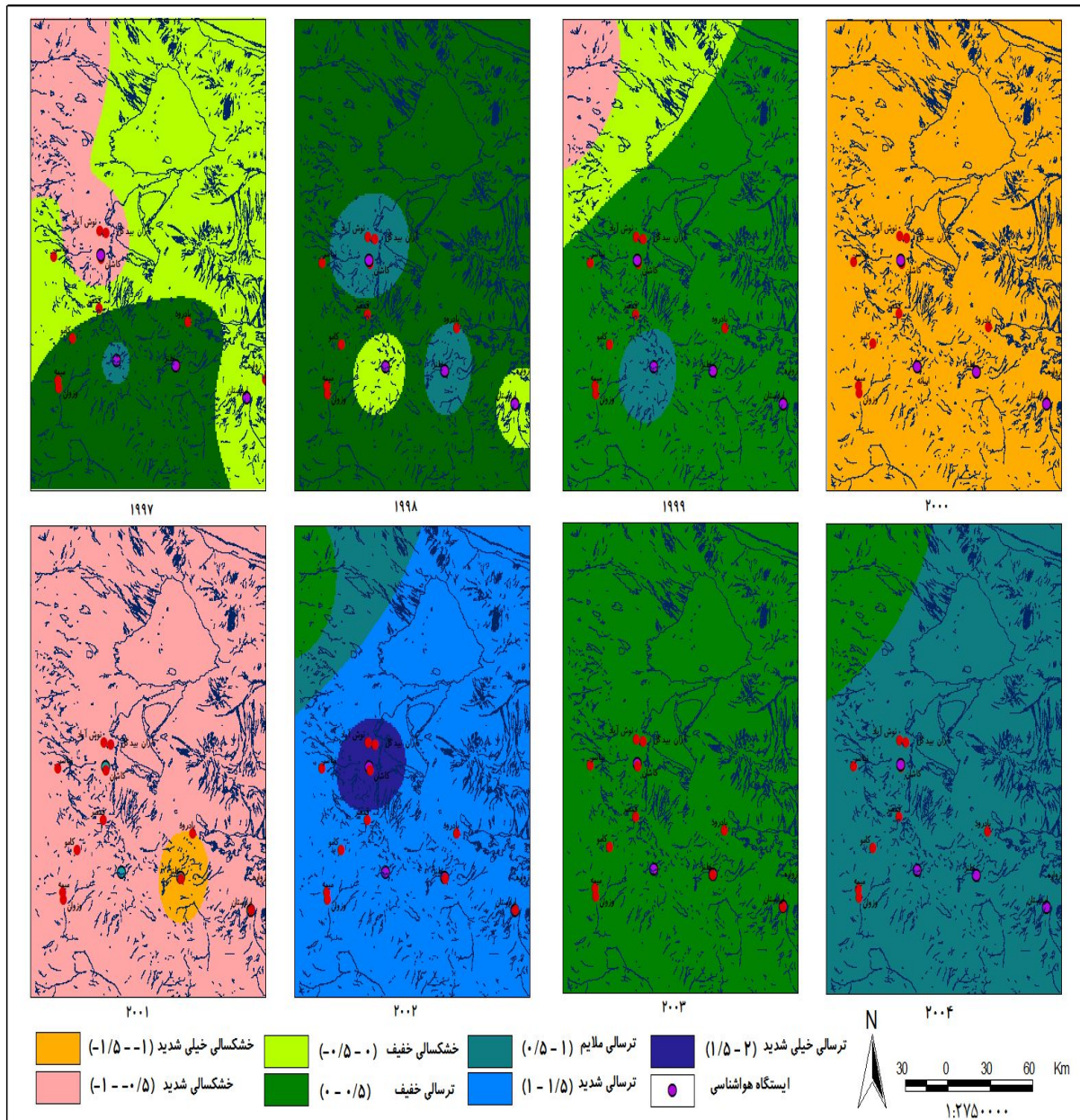
ایستگاه	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴
ایبانه	۰/۵۹	-۰/۲۱	۰/۶۸	-۱/۴	-۰/۸۱	۱/۳۶	۰/۴۵	۰/۸۱
اردستان	-۰/۰۳	-۰/۰۸	۰/۴۸	-۱/۲۲	-۰/۸	۱/۲	۰/۰۲	۰/۵۳
قم	-۰/۷۷	۰/۰۸	-۰/۸۸	-۱/۱۵	-۰/۶۸	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۲۵
کاشان	-۰/۷	۰/۷	۰/۱۴	-۱/۲۹	-۰/۸۵	۱/۶۴	۰/۱۶	۰/۷۶
نطنز	۰/۰۵	۰/۷۳	۰/۱۵	-۱/۲۳	-۱/۰۸	۱/۴۲	۰/۰۶	۰/۶۱



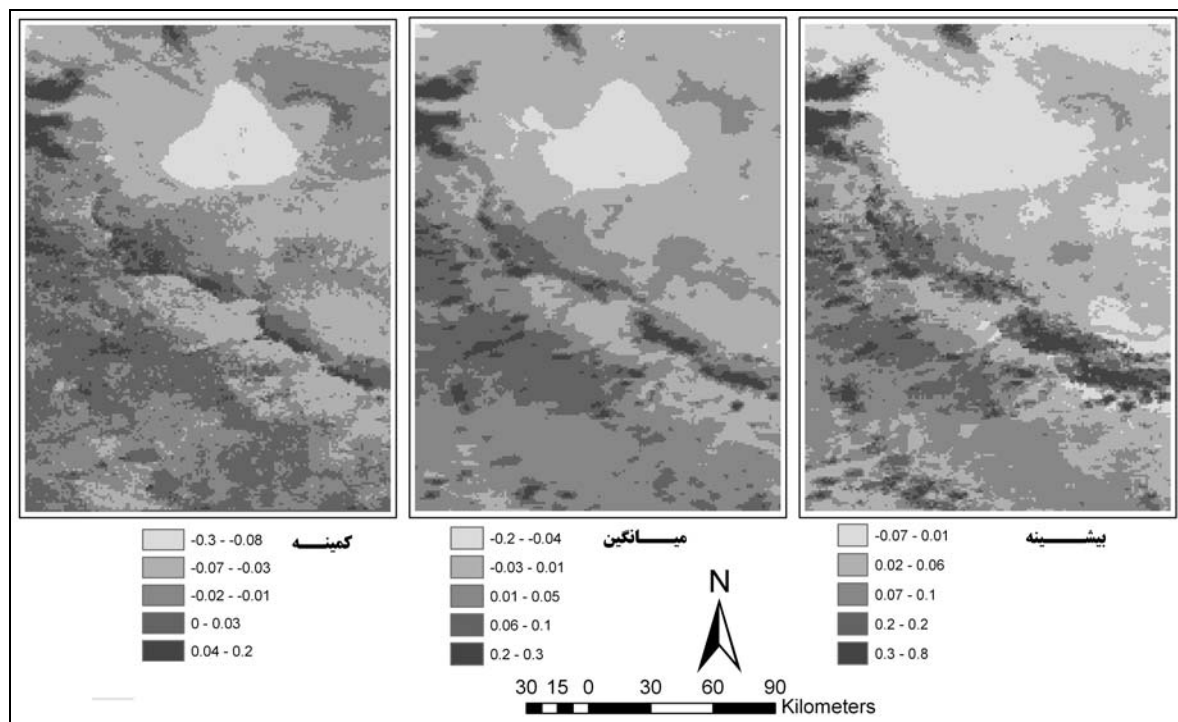
شکل ۳- ضرایب شاخص خشکسالی Z در بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌های (۱۹۹۷-۲۰۰۴)

ایستگاه‌های منطقه از روند متفاوتی به‌ویژه در طول سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ برخوردار است. بنابراین ضرورت توجه به فواصل استاندارد تأسیس ایستگاه‌ها برای مطالعات آماری آب و هوا را نشان می‌دهد.

سال ۱۹۹۸ و همچنین ۱۹۹۷ دارای نوسان‌های زیاد مکانی در ضرایب خشکسالی است، این شرایط می‌تواند ناشی از عملکرد محلی توده‌های هوایی یا مشکل صحت برداشت داده‌های ایستگاهی باشد (شکل ۳ و ۴). بدین ترتیب ایستگاه قم با توجه به فاصله زیاد آن با دیگر



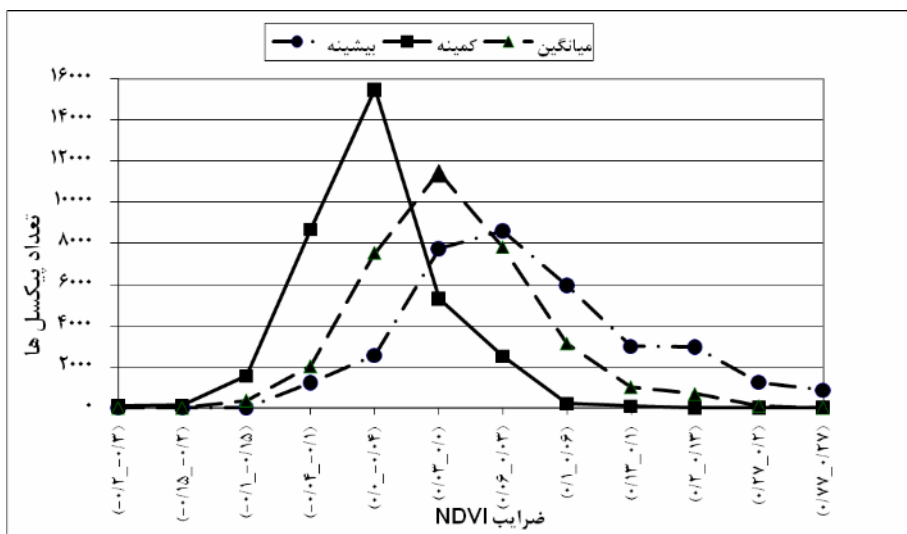
شکل ۴- پهنه‌بندی خشکسالی اقلیمی با شاخص Z نرمال



شکل ۵- میزان بیشینه، میانگین و کمینه کل NDVI دوره (۱۹۹۸-۲۰۰۴) در منطقه کاشان

قابل توجه است. این اراضی و قسمت‌هایی از جنوب غرب منطقه را زمین‌های زراعی و باغی تشکیل می‌دهد که در دامنه‌های ارتفاعات مرکزی منطقه با روند شمال غربی - جنوب شرقی کشیده شده‌اند.

همان‌طور که شکل ۵ گویاست مقادیر NDVI در هر سه حالت (کمینه، بیشینه و میانگین) ارزش‌های پایینی را نمایش می‌دهند. به طوری که وجود نواری متمایز در میانه تصاویر شکل ۵ به صورت قطری با روند شمال غربی - جنوب شرقی



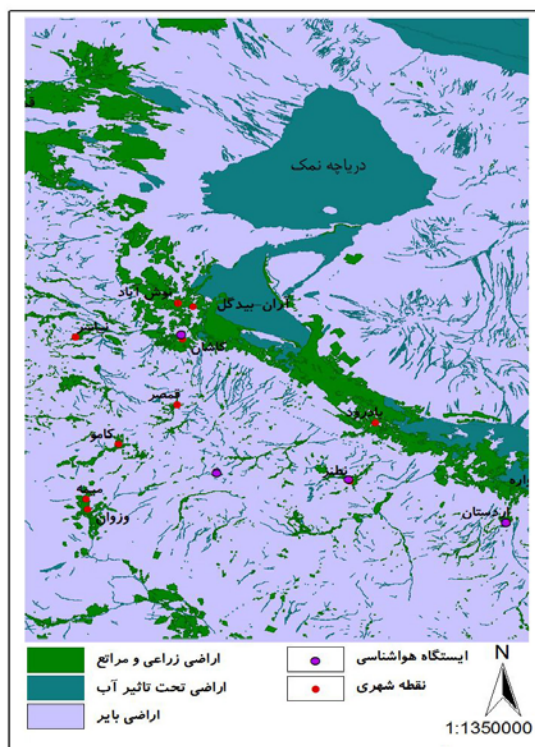
شکل ۶- میزان بیشینه، کمینه و میانگین NDVI دوره هفت ساله (۱۹۹۸-۲۰۰۴) در منطقه کاشان

همچنین وجود دریاچه نمک به صورت شاخصی در نیمه شمالی تصاویر با پایین‌ترین مقادیر NDVI کاملاً مشخص است. به طوری که بقیه مناطق با وجود بخش‌های عاری از پوشش گیاهی یا بسیار تنک شرایط مشابه و نزدیکی در تصاویر ارائه کرده‌اند (شکل ۷). بنابراین کمینه NDVI طول دوره مورد مطالعه منطقه تمرکز بالایی در مقادیر منفی زیر صفر دارد، در صورتی که در میانگین آن تمرکز اصلی در پیرامون صفر و در بیشینه NDVI مقادیر مثبت بالای صفر می‌باشد. از این رو غلبه تعداد پیکسل‌های با NDVI پایین در

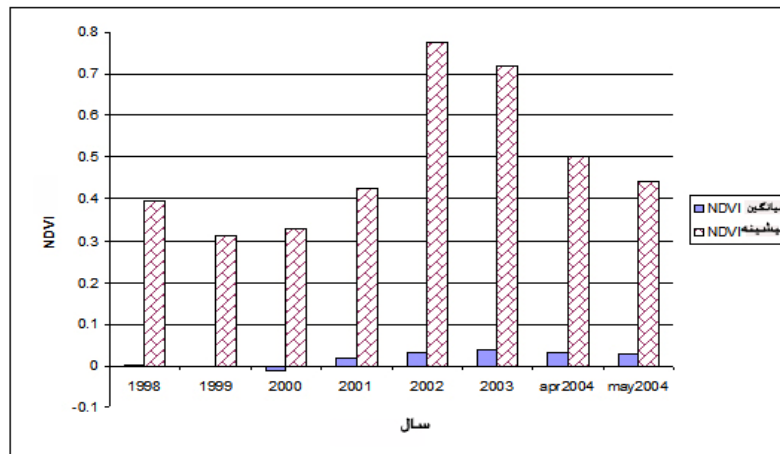
مقابل اراضی با NDVI بالا در موقعیت قرارگیری پیک ارزش پیکسل‌ها در پیرامون صفر مشخص است (شکل ۶) و مقادیر بیشینه و کمینه NDVI سالهای مختلف در جدول ۳ آمده است. بر این اساس دامنه اختلاف مقادیر بیشینه و کمینه در سال ترسالی (۲۰۰۲) خیلی بالاتر از دامنه اختلاف در سالهای خشکسالی است. براساس شکل ۸ بالاترین مقادیر NDVI ماهانه برای منطقه در سال ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ بدست آمد و حداقل NDVI معرف در سالهای ۲۰۰۰ و ۱۹۹۹ مشاهده می‌گردد که در سال ۲۰۰۰ مقدار میانگین NDVI منفی می‌باشد.

جدول ۳- میزان میانگین NDVI در سالهای مختلف

۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	آوریل ۲۰۰۴	می ۲۰۰۴	
۰/۰۳۱۳	۰/۰۰۰۹	-۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۸۶	۰/۰۳۳	۰/۰۳۹	۰/۰۳۴	۰/۰۲۹۱	میانگین
۰/۰۵۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶۳	۰/۰۶۵	۰/۰۵۸	تفاضل از میانگین
-۰/۲۸۴	-۰/۱۲۷	-۰/۰۷۹	-۰/۲۴۷	-۰/۲۸۸	-۰/۱۹۱	-۰/۱۱۸	-۰/۱۰۸	کمینه
۰/۳۹۴	۰/۳۱۰	۰/۳۳۰	۰/۴۲۵	۰/۷۷۵	۰/۷۱۷	۰/۵	۰/۴۴۳	بیشینه



شکل ۷- کاربری اراضی منطقه کاشان



شکل ۸- متوسط و بیشینه NDVI در محدوده مطالعاتی کاشان

برخوردار است. به نحوی که بالاترین ضریب همبستگی بین سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ با ضریب ۰/۹۴ و پایین ترین آن بین سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ با ضریب ۰/۴۲ بدست آمد. در حالی که ماههای آوریل ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ دارای مقادیر ضریب همبستگی پایین NDVI با بقیه سالها هستند. این گویای شرایط متفاوت پوشش گیاهی در ماه آوریل با ماه می است. ولی بقیه سالها از ضریب همبستگی بالای ۰/۸۵ برخوردار هستند.

اختلاف فاحش بین مقادیر بیشینه و میانگین NDVI سالهای مختلف (شکل ۸) گویای شرایط غالب خشکی و عریانی سطح زمین می باشد که به وسیله اراضی محدود زراعی و جنگلهای دست کاشت مشخص می شود.

با توجه به جدول ۴ که وضعیت NDVI پیکسل ها را در زمانهای مختلف نسبت به هم می سنجد از ارزش بالایی در پایش و تحلیل اثرهای خشکسالی در منطقه

جدول ۴- ماتریس ضریب همبستگی بین NDVI سالهای مختلف

می ۲۰۰۴	آوریل ۲۰۰۴	می ۲۰۰۳	می ۲۰۰۲	می ۲۰۰۱	آوریل ۲۰۰۰	می ۱۹۹۹	می ۱۹۹۸	
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	۱/۰۰	می ۱۹۹۸
-----	-----	-----	-----	-----	-----	۱/۰۰	۰/۹۰	می ۱۹۹۹
-----	-----	-----	-----	-----	۱/۰۰	۰/۵۰	۰/۴۳	آوریل ۲۰۰۰
-----	-----	-----	-----	۱/۰۰	۰/۴۳	۰/۸۹	۰/۹۲	می ۲۰۰۱
-----	-----	-----	۱/۰۰	۰/۹۴	۰/۴۲	۰/۸۶	۰/۹۰	می ۲۰۰۲
-----	-----	۱/۰۰	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۵۵	۰/۸۷	۰/۸۵	می ۲۰۰۳
-----	۱/۰۰	۰/۶۴	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۵۲	آوریل ۲۰۰۴
۱/۰۰	۰/۵۴	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۴۴	۰/۸۷	۰/۹۰	می ۲۰۰۴

جدول ۵- تفاضل بین مقادیر NDVI سالانه با میانگین NDVI دوره مورد مطالعه

می ۲۰۰۴	آوریل ۲۰۰۴	۲۰۰۳	۲۰۰۲	۲۰۰۱	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۱۹۹۸	
۲۴۲۳۴	۲۳۵۰۳	۳۰۲۴۸	۲۷۶۹۰	۱۹۴۷۸	۴۶۲۲	۳۱۸۲	۴۲۷۳	بزرگتر
۹۸۴۶	۱۰۵۷۷	۳۸۳۲	۶۳۹۰	۱۴۶۰۲	۲۹۴۵۸	۳۰۸۹۸	۲۹۸۰۷	کوچکتر
۷۱/۱	۶۹	۸۸/۸	۸۱/۲	۵۷/۱	۱۴	۹/۳	۱۲/۶	درصد بیشتر
۲۸/۹	۳۱	۱۱/۲	۱۸/۸	۴۲/۹	۸۶	۹۰/۷	۸۷/۴	درصد کمتر

را کاملاً تحت تأثیر قرار داده است. در بقیه سالها مقادیر میانگین TCI سال ۲۰۰۱ برابر صفر است ولی سالهای با ترسالی اقلیمی ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ دارای مقادیر بالایی هستند. به طوری که سال ۲۰۰۲ از لحاظ مقادیر شاخص TCI وضعیت مناسبی را نشان نمی‌دهد. بدین ترتیب مقادیر انحراف معیار TCI گویای شرایط کاملاً متفاوت دمایی سطحی در سالهای مختلف است (جدول ۷). با توجه به این در تحلیل و ارزیابی داده‌های سنجش از دوری توجه به موقعیت زمانی، جغرافیایی و اقلیمی از اهمیت بالایی برخوردار است. تفاوت شاخص TCI که از باندهای مادون قرمز حرارتی بدست آمده با شاخص VCI حاصل از باندهای انعکاسی در ارزیابی وضعیت نشان داده می‌شود. بنابراین امتیاز باندهای حرارتی در تشخیص تفاوت شرایط محیطی در ماه‌های مختلف نسبت به باندهای انعکاسی که بشدت و ضعف پوشش گیاهی تمرکز دارند به‌ویژه در مناطق خشک مانند کاشان و پیرامون آن کاملاً مشخص است (شکل ۹).

جدول ۵ گویای میزان تغییرات ارزش NDVI در سالهای مختلف به صورت تعداد و درصد افزایش یا کاهش ارزش پیکسل‌ها نسبت به میانگین دوره مورد مطالعه می‌باشد. سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ بالاترین تعداد پیکسل کمتر از میانگین را دارند و در مقابل سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ دارای تعداد پیکسل‌های بالاتر از میانگین هستند.

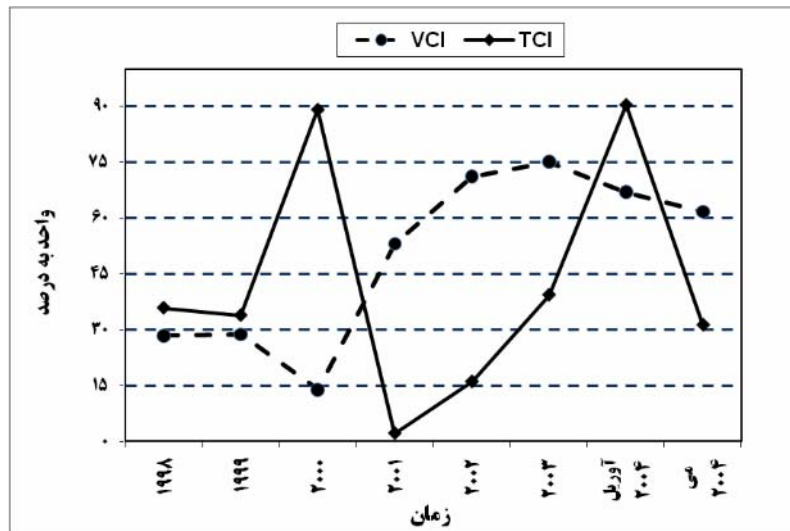
با توجه به نمودار کمینه و بیشینه، میزان VCI در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ به ترتیب ۱۳/۹ و ۷۵/۱ می‌باشد. به نحوی که میزان VCI بعد از سال ۲۰۰۱ روند افزایشی دارد و معیار انحراف معیار که یکی از شاخص‌های پراکندگی است، در سال ۲۰۰۳ در مقایسه با ۲۰۰۰ کمتر می‌باشد (جدول ۶). بنابراین در گراف مربوط به میزان میانگین TCI مقادیر آن بشدت تحت تأثیر زمان سال قرار دارد و ماه آوریل در سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ بالاترین ضرایب را دارد. این گویای دمایی سطحی پایین سطح زمین در ماه آوریل (فروردین) نسبت به ماه می (اردیبهشت) است که نتایج بدست آمده

جدول ۶- میانگین VCI در سالهای مختلف

می ۲۰۰۴	آوریل ۲۰۰۴	۲۰۰۳	۲۰۰۲	۲۰۰۱	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۱۹۹۸	
۶۱/۷	۶۶/۹	۷۵/۱	۷۱/۲	۵۳/۱	۱۳/۹	۲۸/۸	۲۸/۵	میانگین
۲۵/۹	۲۹/۹	۲۴/۳	۲۹/۲	۲۳/۹	۲۷/۱۴	۲۰/۱۶	۲۴/۱	انحراف معیار

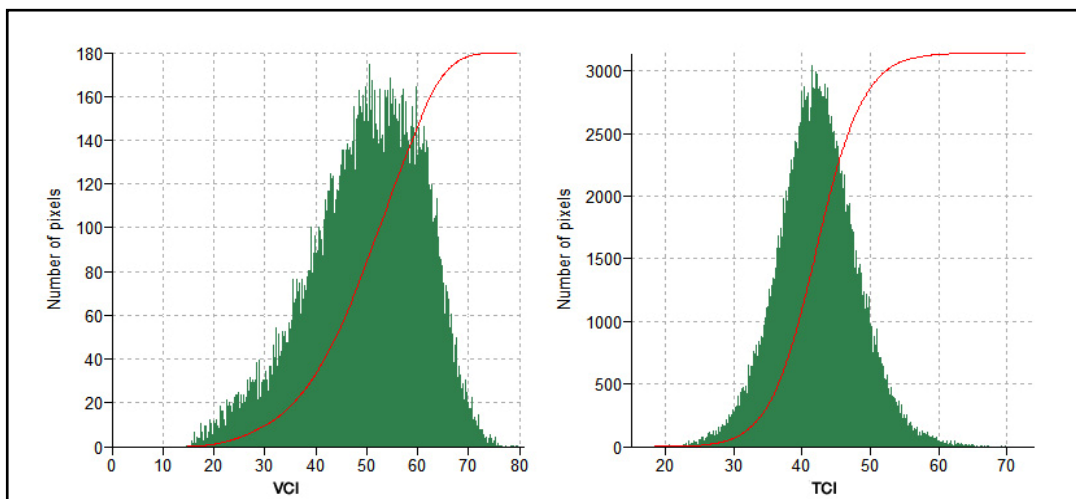
جدول ۷- میانگین *TCI* در سالهای مختلف

۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	آوریل ۲۰۰۴	می ۲۰۰۴	
۳۵/۹	۳۳/۸۶	۸۹/۱	۲/۲	۱۶/۱	۳۹/۴	۹۰/۴	۳۱/۳	میانگین
۱۳/۴	۱۲/۲۷	۱۵/۸۵	۶/۷	۱۵/۰۴	۱۲/۵	۱۲/۹	۱۵/۹	انحراف معیار

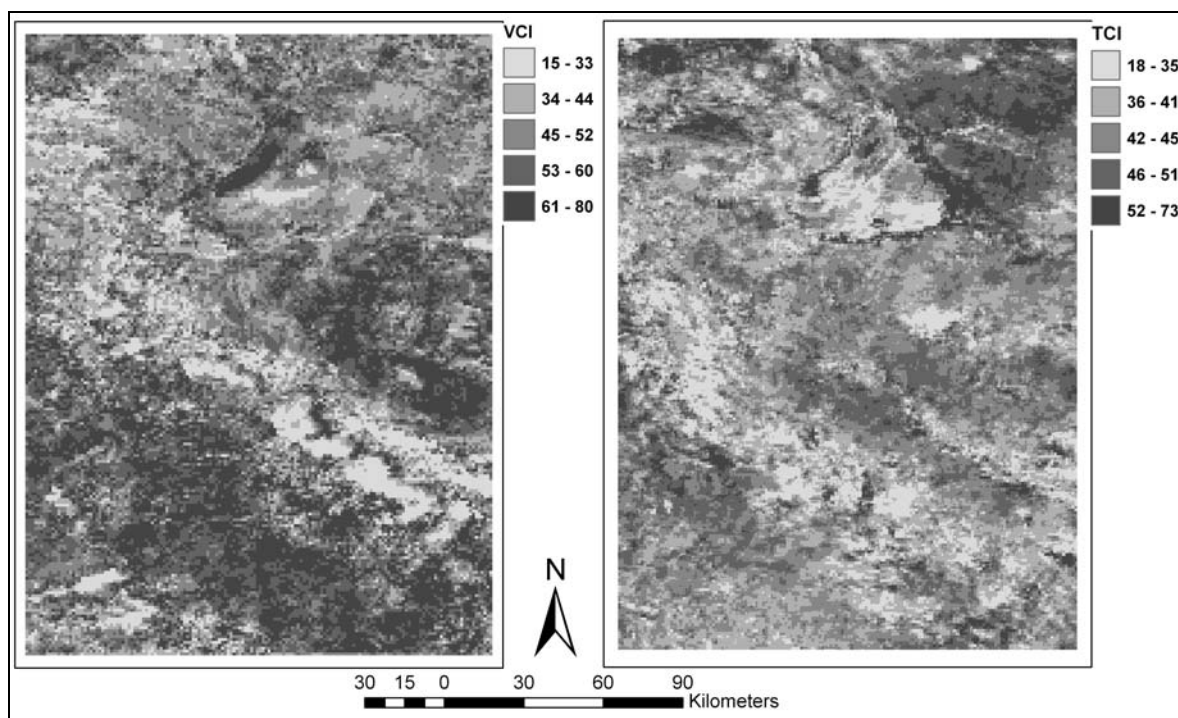
شکل ۹- میزان میانگین مقادیر *VCI* و *TCI* در سالهای مختلف

این شاخص است. این نکته در گراف مقایسه‌ای آنها مشخص است (شکل ۶). بنابراین دامنه تغییرات *VCI* (۱۰-۸۰) بیشتر از *TCI* (۲۰-۷۰) است. شکل ۱۰ دامنه پراکندگی و تغییرات ارزش پیکسل‌ها را بعد از اعمال دو شاخص خشکسالی *VCI* و *TCI* نشان می‌دهد. به نحوی که پیک فراوانی ارزش پیکسل‌ها در تصویر *VCI* در حدود ۵۰ ولی در تصویر *TCI* ۴۰ تا ۴۵ نشان داده شده است.

در شکل ۱۱ نکته قابل توجه مقادیر پایین *VCI* در اراضی مجاور زمین‌های کشاورزی و باغی در نوار جنوب شرقی- شمال غربی مرکز تصویر است که به صورت آشکار کشیده شده است. با توجه به این تصویر زمین‌های بایر و مرتعی تنک غرب رشته‌کوه‌های مرکزی منطقه بالاترین ارزش‌های *VCI* را دارند. به طوری که نقشه میانگین *TCI* منطقه با وجود تأثیر ورود دمای سردتر ماه آوریل با ارائه مقادیر پایین‌تر از ۵۰ درصد گویای شرایط نامساعد بیشتر بخش‌های منطقه براساس



شکل ۱۰- هیستوگرام مقایسه‌ای میانگین *VCI* و *TCI* کل دوره مورد مطالعه در منطقه کاشان



شکل ۱۱- میزان میانگین *VCI* و *TCI* طول دوره هفت سال (۱۹۹۸-۲۰۰۴) در منطقه کاشان

مقادیر پایینی از دمای میانگین و کمینه منطقه ارائه می‌دهد (جدول ۸). همچنین ماه آوریل ۲۰۰۴ با بالاترین میزان انحراف معیار گویای شرایط دمایی با تغییرات مکانی بالا می‌باشد.

براساس نتایج حاصل از دمای سطحی، منطقه مورد مطالعه در سالهای مختلف دارای شرایط تقریباً مشابهی به‌ویژه در بیشینه دمای سطحی بوده‌اند. به‌طوری‌که در نتایج دمای سطحی حاصل از الگوریتم پنجره مجزا که به‌ویژه در خشکی خالی از خطا نیست، در ماه آوریل

جدول ۸- میزان میانگین، کمینه و بیشینه دمای سطحی (*MaxLST*) در سالهای مختلف منطقه کاشان

۲۰۰۴ می	آوریل ۲۰۰۴	۲۰۰۳	۲۰۰۲	۲۰۰۱	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۱۹۹۸	
۷۳	۶۵	۶۱	۶۶	۶۷	۵۵	۶۵	۶۶	بیشینه
۲۶	۱۲	۲۹	۲۹	۳۲	۱۲	۲۷	۲۹	کمینه
۵۱/۶	۴۲	۴۹/۴	۵۲/۶	۵۵/۴	۴۱/۸	۵۰/۳	۵۱/۸	میانگین
۵/۹	۷/۳	۵/۰	۶/۲	۵/۷	۵/۳	۵/۸	۵/۷	انحراف معیار

نسبی که با آزمون چندین مدل مختلف انجام شد، نتایج تقریباً متفاوتی از بقیه شاخص‌ها نشان می‌دهد. بنابر نتایج بدست‌آمده سال ۲۰۰۲ با بالاترین مقادیر میانگین و ۲۰۰۴ با پایین‌ترین مقادیر به ترتیب دارای مطلوبترین و نامساعدترین شرایط رطوبتی بودند.

رطوبت سطحی که از با اهمیت‌ترین متغیرها در مطالعه اثرهای محیطی خشکسالی می‌باشد، در این مطالعه با استفاده از چند مدل خطی تجربی مورد آزمون قرار گرفت. در این مدل‌ها که از هر دوی باندهای انعکاسی و حرارتی (آلبدو، دمای درخشایی و دمای سطحی) استفاده گردید، نتایج دقیقی بدست‌نیامد. حاصل بازیابی رطوبت

جدول ۹- میزان میانگین، کمینه و بیشینه رطوبت سطحی *LSM* در سالهای مختلف منطقه کاشان

۲۰۰۴ می	آوریل ۲۰۰۴	۲۰۰۳	۲۰۰۲	۲۰۰۱	۲۰۰۰	۱۹۹۹	۱۹۹۸	
۳۴	۴۱/۴	۴۱/۵	۴۸/۹	۴۳/۲	۴۳/۴	۴۱/۹	۳۹/۲	بیشینه
۰/۳	۱۴/۸	۵/۳	۲۶/۴	۸/۷	۰/۷	۴/۲	۸/۳	کمینه
۱۶/۶	۲۷	۲۳/۸	۴۱	۳۱/۸	۲۴/۴	۲۸/۶	۲۱/۷	میانگین
۷/۴	۵/۸	۷/۲	۳/۵	۵	۴/۸	۵/۷	۶/۷	انحراف معیار

مواجه هستیم. بنابراین در مناطق با حیات گیاهی و زراعی مناسب مجموع مؤلفه‌های جوی کوچکتر از مؤلفه اکوسیستم است. بنابراین نوسان‌های *NDVI* مرتبط با هوا به آسانی قابل تشخیص نیست. بدین گونه، وقتی *NDVI* برای تحلیل اثرهای جو بر پوشش گیاهی استفاده می‌شود، مؤلفه جوی باید از مؤلفه اکوسیستم جدا شود (Ramesh, 2003). براساس نتایج بدست‌آمده دامنه اختلاف بالای بین بیشینه و کمینه *NDVI* سال‌های ترسالی احتمالاً ناشی از پوشش گیاهی مطلوب از یکسو و افزایش منابع آبی و رطوبت خاک از سوی دیگر می‌باشد. ولی در

بحث

براساس محاسبات انجام شده، نتایج داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه به طور کلی همسو با نتایج حاصل از داده‌های سنجهش از دور هستند. هرچند در این مطالعه به دلیل وسعت بالای منطقه، برداشت میدانی و همزمان با گذر ماهواره از روی منطقه انجام نشد، ولی نتایج شاخص‌های خشکسالی سنجهش از دوری (*NDVI*)، *VCI* و *TCI*) با شاخص خشکسالی آماری (*Z* نرمال) دارای همبستگی مناسبی هستند. در بحث شاخص‌های گیاهی به‌ویژه با دو مؤلفه عناصر جوی و پوشش گیاهی

همکاران (۱۳۸۴) بدست‌آمده با توجه به خصوصیات فیزیکی و حرارتی سطوح مختلف در مواقع میانی روز دارای بهترین شرایط برای مطالعه وضعیت محیطی می‌باشد. بدین ترتیب در تحلیل داده‌های سنجش از دور حرارتی فقدان الگوریتم و توابع مناسب برای بازیابی رطوبت سطحی یک حفره بزرگی می‌باشد که هنوز تنها با داده‌های غیر فعال میکروویو مورد محاسبه دقیق قرار می‌گیرد. بنابراین در بکارگیری ضرایب و شاخص‌های مختلف لحاظ شرایط محیطی، زمانی و آب و هوای منطقه باید مدنظر باشد، تا نتایج تحت تأثیر شرایط مزبور قابل توجیه باشد.

سپاسگزاری

از سازمان فضایی ایران و کارشناسان آن؛ و همچنین از مسئولان سازمان هواشناسی کشور به دلیل همکاری و تأمین داده‌های مورد نیاز این تحقیق قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

- سیدان، ج.، ۱۳۸۲. بررسی امکان برآورد دما و رطوبت لایه سطحی خاک با کمک داده‌های NOAA/AVHRR. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، صص ۲۴-۱۳۶، تهران.
- علوی‌پناه، س.ک.، ۱۳۸۵. سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- علوی‌پناه، س.ک.، شمسی‌پور، ع.ا. و جعفری‌بیلگو، م.، ۱۳۸۴. الگوی رفتاری دمای سطوح مختلف در بیابان لوت. بیابان، جلد ۱۰، شماره ۱، تهران.

- Badeck, F.W., Bondeau, A., Bottcher, K., Doktor, D., Lucht, W., Schaber, J. and Sitch, S., 2004. Responses of Spring Phenology to Climate Change. *New Phytologist*, 162, Pp. 295-309.
- Bhuiyan, C., 2005. Various Drought Indices For Monitoring Drought Condition In Aravalli Terrain Of India, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur, India, Pp. 3-10.

سالهای خشکسالی کاهش همزمان رطوبت خاک و خشکی منابع آبی با تضعیف پوشش گیاهی، دامنه بیشینه و کمینه *NDVI* را کاهش می‌دهد. براساس جدول ۳ و شکل ۸ میانگین بالای *NDVI* سال ۲۰۰۳ با وجود شرایط نرمال اقلیمی (شکل ۴) می‌تواند ناشی از اثر شرایط رطوبتی مناسب سال قبل باشد. همچنان‌که در مطالعه‌ای از (1999) Kassa در رابطه با ارتباط بین بارش سالانه با تأخیر یکساله *NDVI* در سودان رابطه مثبت قوی بدست‌آمد. در نتایج شاخص *TCI* ذکر این مطلب ضروریست که با حذف ماه‌های آوریل ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ جهت‌گیری مناسبی در ضرایب آن مشاهده گردید. همچنین میزان انعطاف‌پذیری بالای شاخص *TCI* در مقابل تغییرات دمای سطحی زمین (*LST*) مشخص گردید. در شاخص‌های *NDVI* و *VCI* تفاوت قابل توجهی بین ماه‌های آوریل و می مشاهده نگردید. در نهایت منطقه به دلیل اینکه اغلب با سطوح خاکی و بایر پوشیده شده است میزان ضرایب شاخص‌های گیاهی در حد پایینی قرار دارد. ولی ضرایب شاخص *TCI* در منطقه علاوه بر اینکه از تغییرات سالانه بالایی برخوردار است، با ضرایب و ارزش‌های بالایی نیز همراه است. نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم دمای سطح خاک (*LST*) نیز با نتایج شاخص *TCI* از وضعیت حرارتی منطقه مشابه می‌باشد. بطوری‌که در هر دو معیار *TCI* و *LST* ماه‌های آوریل سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ ویژگی متفاوتی از ماه‌های می نشان می‌دهند. بنابراین تفاوت بین ماه‌های آوریل و می در شاخص‌های حرارتی تحت تأثیر تفاوت دمای سطحی و هوای مجاور زمین است. نتایج حاصل از بکارگیری مدل رطوبت سطحی متفاوت از بقیه نتایج بدست‌آمده است. به نحوی‌که داده‌های ماهواره‌ای همچنان‌که در مطالعه علوی پناه و

- Kogan, F.N., 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 11, pp. 91–100.
- Kogan, F.N., 1998. A typical pattern of vegetation conditions in southern Africa during ElNino years detected from AVHRR data using three-channel numerical index. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 3689–3695.
- Krishna, P. Rao., Susan, J. Holmes., Ralph, K., Anderson., Jay, S., Winston and Paul, E. Lehr., 1990. *Weather Satellites: Systems, Data, and Environmental Applications*, American Meteorological Society, Boston
- Li, Z.L. and Becker, F., 1993. Feasibility of land surface temperature and emissivity determination from AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 43, 67–85.
- Mc Kee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In: *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*, pp. 233-236. Amer. Meteor. Soc., Boston.
- Price, J.C., 1984. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 advanced very high-resolution radiometer. *Journal of Geophysical Research*, 89: 7231–7237.
- Ramesh P. Singh., Sudipa Roy. And Kogan., F., 2003. "Vegetation and temperature condition indices from NOAA/ AVHRR data for drought monitoring over India", *Int. J. Remote Sensing*, 20 November, 2003, Vol. 24, No. 22, 4393–4402
- Runing, S.W., Loveland, T.R., Pierce, L.L., Nemani, R.R. and Hunt, E.R., 1995. A remote sensing based vegetation classification logic for global land cover analysis. *Remote Sensing of Environment*, 51, pp. 39–48.
- Shahabfar, A. and Ramesh, A., 2006. Construction of Drought Early Detection System in Iran Using NDVI from NOAA/AVHRR Data, *International Conference on Water Observation & Information System for Decision Support (BALWOIS2006)*, 23-26 May 2006, FY Republic of Macedonia.
- Singh, R.P., Roy, S. and Kogan, F.N., 2003. Vegetation and temperature condition indices from NOAA-AVHRR data for drought monitoring over India. *Int. J. Remote Sensing*, 24(22), pp. 4393-4402.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, pp. 127–150.
- Tucker, C.J., Gatlin, J., Schnieder, S.R. and Kuchinos, M.A., 1982. Monitoring large scale vegetation dynamics in the Nile delta and river valley from NOAA/AVHRR data. *Proceedings of the*
- Dabrowska-Zielinska, K., Kogan, F., Ciolkosz, A., Gruszczynska, M. and Kowalik, W., 2002. Modeling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices, *International Journal of Remote Sensing*, 23, 1109–1123.
- Forough Beik. and Saradjian, M.R., 2003. Emissivity Determination for Land Surface Temperature estimation of Iran using AVHRR Thermal Infrared Data, *Map Asia 2003*, 14-15 October, PWTC Kuala Lumpur Pp. 97-116.
- Gutman, G.G., 1991. Vegetation indices from AVHRR data: an update and future prospects. *Remote Sensing of Environment*, 35, 121–136.
- Hielkema, J.U., Prince, S.D. and Astle, W.L., 1986. Rainfall and vegetation monitoring in the Savanna zone of Democratic Republic Sudan using NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1499–1514.
- Jeyaseelan, A.T., 2005. *Droughts & Floods Assessment And Monitoring Using Remote Sensing And GIS*, *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, Pp. 291-313.
- Jurgen, V. Vogat, Alain A. Viau, Isabelle, Beaudin, Stefan Niemeyer, Francesca Somma. 23-27 Nov 1998. "Drought Monitoring From Space Using Empirical Indices and Physical Indicators", *Proceedings International Symposium on Satellite-Based Observation*, Tunis, Tunisia.
- Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Holben, B.N. and Tucker, C.J., 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1271–1318.
- Karnieli. A.M., Bayasgalan., Y. Bayarjargal., N. Agam., S. Khudulmur and Tucker., C.J., 2006. "Comments on the use of the Vegetation Health Index over Mongolia", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 10, pp. 2017–2024.
- Kassa, Alemayehu., 1999. "Drought Risk Monitoring For The Sudan Using NDVI 1982- 1993", submitted to the University College London, In part fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science in Geographic Information Systems.
- Kogan, F.N., 1987a. Vegetation index for aerial analysis of crop conditions. *Proceedings of 18th Conference on Agricultural and Forest Meteorology*, AMS, W. Lafayette, Indiana, on 15–18 September 1987 (Indiana, USA), pp. 103–106.
- Kogan, F.N., 1990. "Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas". *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1405–1419.

- Sahel: 1980– 1984. remote sensing of environment, 17, pp. 233–249.
- Tucker, C.J., Slayback, D.A., Pinzon, J.E., Los, S.O., Myeni, R.B. and Taylor, M.G., 2001. higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. *International Journal of Biometeorology*, 45, pp. 184–190.
 - White, M.A., Thornton, P.E. and Running, S.W., 1997. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Global Biogeochemical Cycles*, 11, 217–234.
 - Conference on Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands, Cairo, Egypt (Ann Arbor: Environmental Research Institute of Michigan), pp. 973–977.
 - Tucker, C.J., Vanpraet, C.L., Boerwinkel, E. and Gaston, A., 1983. Satellite remote sensing of total dry matter production in the Senegalese Sahel: 1980–1984. *Remote Sensing of Environment*, 13, pp. 461–474.
 - Tucker, C.J., Vanpraet, C.L., Sharman, M.J. and Van Ittersum, G., 1985. satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese

Efficiency of vegetation and thermal indices of NOAA-AVHRR satellite in ecological drought analysis of Kashan region

Shamsipour, A.A.,^{1*} AlaviPanah, S.K.² and Mohammadi, H.³

1*- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: akbar_shamsipour@yahoo.com

2- Professor, Department of Cartography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

3- Professor, Department of Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

Received: 03.02.2009

Accepted: 19.05.2010

Abstract

The purpose of this study is to track and analyze the environmental effects of droughts by remote sensing indices in Kashan desert and dry zone. Temporal changes of droughts was evaluated using normal Z index in annual and seasonal (spring) scales. Spectral and thermal data from data series of NOAA-AVHRR satellite between 1998 and 2004 were used to determine the drought indices. Vegetative and thermal drought indices were calculated using NDVI, VCI and TCI values derived from NOAA-AVHRR data. Results from applying mentioned indices showed that this area had low vegetation index values as NDVI index was generally less than 0.2. According to NDVI and VCI maps, years of 2000 and 2001 were characterized as drought condition contrary to 2002 and 2004 as rainy years. However, land surface temperature (LST), TCI and VHI indices showed different temperature conditions specifically in the months of April and May. Using validation of results derived from remote sensing indices, test of significance between them and climatic indices was calculated. According to the calculations, climatic condition of the study area was more compliant with the results of vegetation indices. Also thermal condition of the environment was more accurately indicated by thermal indices. According to the results, applying remote sensing data in environmental studies of arid and desert regions like Kashan is recommended.

Keywords: climatic drought, vegetation indices, land surface temperature, remote sensing, thermal bands and Kashan