

مقایسه عملکرد شاخصهای ماهواره‌ای و هواشناسی در پایش خشکسالی

شیدا جلیلی^۱، سعید مرید*^۲ و پرویز ضیائیان فیروزآبادی^۳
۱، دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار دانشکده کشاورزی
۳، استادیار دانشگاه تربیت معلم
(تاریخ دریافت: ۸۵/۳/۱۵ - تاریخ تصویب: ۸۶/۱۲/۱)

چکیده

اهمیت پایش خشکسالی‌ها به صورت تقریباً زمان واقعی، لزوم استفاده از سیستمهای سنجش از دور را ایجاب می‌کند. در این تحقیق، مقایسه‌ای بین سیستمهای پایش خشکسالی هواشناسی موجود و سیستمهای ماهواره‌ای پایش، با استفاده از شاخصهای هواشناسی SPI^۱ و EDI^۲ با دو مقیاس زمانی یک و سه ماهه و شاخصهای ماهواره‌ای NDVI^۳، VCI^۴ و DEV^۵ برای محدوده مطالعاتی استان تهران، با تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA برای سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰ انجام شده است. بدین منظور، دو نوع مدل رگرسیون خطی و مدل رگرسیون با متغیرهای موهومی ماهیانه، برای برازش مقادیر شاخصها استفاده شدند. برای گزینش متغیرها نیز از دو روش ارزیابی تمام معادلات ممکن و روش گام به گام استفاده گردید. تجزیه و تحلیل نتایج حاکی از وجود بهترین همبستگی بین شاخصهای NDVI با SPI سه ماهه در مدل با متغیرهای موهومی است. همچنین همبستگی شاخصها در مناطق دارای ایستگاه باران‌سنجی، بالاتر بودند.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی، سنجش از دور، شاخصهای گیاهی ماهواره‌ای، شاخصهای

هواشناسی، مدل رگرسیون، استان تهران

مقدمه

اطلاعات بارندگی تکیه می‌کنند، با محدودیت اطلاعاتی مواجه هستند که تامین آنها در وسعت زیاد با مشکلاتی همراه است و از طرفی دستیابی به آنها بطور زمان واقعی سخت و یا غیر ممکن است (۲۱). در این راستا تکنولوژی سنجش از دور با شرایط زمانی مورد اشاره، همراه با ویژگی پیوستگی و داده برداری در محدوده‌های وسیع برای نیل به هدف بالا، بسیار می‌توانند کارا باشد.

شروع استفاده از این فن‌آوری برای پایش خشکسالی به کاربرد آن در استخراج اطلاعات از پوشش گیاهی زمین باز می‌گردد. از اوایل دهه ۱۹۸۰ محققان شروع به استخراج این اطلاعات توسط سنجنده AVHRR بر روی ماهواره‌های

آنچه امروزه در مدیریت خشکسالی به منظور به حداقل رساندن اثرات سوء آن مدنظر است، انتقال مدیریت بحران به مدیریت ریسک به عنوان امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در همین راستا پایش خشکسالی و بخصوص در نزدیک ترین شکل آن به زمان واقعی^۶ از ابزارهای کارآمد تحقق این نوع مدیریت می‌باشد. سیستمهای پایش مرسوم که بر روی

1. Standardized precipitation index
2. Effective drought index
3. Normalized difference vegetation index
4. Vegetation condition index
5. Deviation from its long-term mean
6. near real-time

۱۲، ۱۴، ۲۵) و یا عملکرد آنها با هم مقایسه شده است (۳)، (۵).

مقایسه بالا با شاخصهای مرسوم خشکسالی بویژه شاخصهای هواشناسی نیز مورد توجه زیادی بوده است. در تحقیقی که توسط والش (۱۹۸۷) انجام گردید، همبستگی خوبی بین شاخصهای ماهواره‌ای با شاخص شدت خشکسالی^۱ (DSI)، رطوبت محصول^۲ (CMI) و کمبود هیدرولوژیکی^۳ (HD)، نشان داده شد. رید (۱۹۹۲) نیز در کانزاس آمریکا با مقایسه تفاوت نسبی شاخص NDVI طی سالهای ۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ با مقادیر شاخص رطوبت محصول (CMI)، در عین عدم وجود ارتباط قوی بین این دو شاخص، یک روند افزایش همبستگی در طول دوره های خشکتر را نشان داد. در مطالعه دیگری نیز توسط جی و پیترز (۲۰۰۳)، مقایسه شاخص NDVI با شاخص SPI با مقیاسهای زمانی ۱ تا ۱۲ ماه انجام شد. محققان با تاثیر دادن عملکرد ماه در مدل رگرسیون با استفاده از متغیرهای موهومی^۴ مربوط به ماه، نتایج قابل قبولی بدست آوردند. در این مطالعه همچنین همبستگی خطی شاخصهای VCI، DEV و SVI با شاخص SPI سه ماهه بررسی شد که نتایج مطلوبی ارائه نداد.

با توجه به ضرورت مورد اشاره، این تحقیق تلاشی است برای مقایسه عملکرد شاخصهای ماهواره ای NDVI، VCI و DEV با شاخصهای هواشناسی در استان تهران. علت این انتخاب برای شاخصهای ماهواره ای، سابقه استفاده از آنها در مطالعات خشکسالی و از طرفی سهل الوصول بودن تصاویر ماهواره ای مورد نیاز آنها است و در مورد شاخصهای هواشناسی، تحقیق مرید و همکاران (۱۳۸۴) بوده که برتری شاخصهای هواشناسی SPI و EDI نسبت به دیگر شاخصهای هواشناسی برای استان تهران نشان دادند. این تحقیق نیز ارزیابی دیگری را از عملکرد آنها انجام خواهد داد. شرح کامل این دو شاخص نیز در همین مرجع قابل دسترس است که از ارائه مجدد آنها پرهیز می شود.

قطب گرد NOAA نمودند (۲۳). بدین منظور شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده یا NDVI تعریف و به صورت گسترده برای پایش و ارزیابی پوشش گیاهی روی زمین مورد استفاده قرار گرفت (۸، ۹، ۱۵، ۲۲، ۲۴). این شاخص، توسط تاگر (۱۹۸۹) بر مبنای رفتار گیاه در انعکاس طیف الکترومغناطیس خورشیدی در محدوده مرئی (باند ۱) (Ch_1) (۰/۶۸ تا ۰/۵۸) و مادون قرمز نزدیک (باند ۲) (Ch_2) (۰/۷۲۵ تا ۰) و به عنوان شاخص سلامت و تراکم پوشش گیاهی پیشنهاد و مطابق زیر تعریف شد:

$$NDVI = \frac{(Ch_2 - Ch_1)}{(Ch_2 + Ch_1)} \quad (1)$$

به خاطر ارتباط نزدیک بین وضعیت پوشش گیاهی و رطوبت در دسترس خاک که یکی از معرفهای اصلی پایش خشکسالی می باشد، این شاخص به طور وسیع در مطالعات خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته است (۴، ۷، ۱۳، ۱۷). علاوه بر کاربرد مستقل این شاخص، شاخصهای دیگری نیز بر مبنای آن تعریف شده است. مانند شاخص شرایط گیاهی VCI که می تواند برای تعیین پیشرفت خشکسالی استفاده شود (۱۲):

$$VCI = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه که مقیاس هفتگی یا ماهیانه دارد، $NDVI_{max}$ و $NDVI_{min}$ به ترتیب حداقل و حداکثر NDVI چند ساله در مقیاس زمانی مورد مطالعه هستند. نشان داده شده که VCI توانایی خوبی برای شناسایی اثر خشکسالی، بررسی زمان شروع، شدت، مدت و اثر آن روی پوشش گیاهی در مناطق بزرگ را دارد (۱۲).

شاخص انحراف NDVI از متوسط طولانی مدت که به آن DEV اطلاق می گردد، شاخص دیگری از این نوع است که به طور گسترده در مطالعات خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱):

$$DEV = NDVI_i - NDVI_{mean, m} \quad (3)$$

البته توصیه می گردد که برای پایش خشکسالی همواره از چند شاخص استفاده شود و در مواردی ترکیبی از شاخصهای ماهواره ای نیز بدین منظور بکار گرفته شده (۶)،

1. Drought Severity Index
2. Crop Moisture Index
3. Hydrologic Deficit
4. Dummy variables

مواد و روشها

محدوده مطالعاتی و منابع داده‌ها

استان تهران که با وسعت ۱۹ هزار کیلومترمربع، بین عرض شمالی ۵۲° ۳۴' تا ۳۶° ۲۱' و طول شرقی ۵۰° ۱۰' تا ۵۳° ۱۰' واقع شده است. این استان با ۵۵ منطقه شهری به لحاظ تراکم ایستگاه و غنای آمار و اطلاعات هواشناسی، نسبت به سایر استانها از وضعیت بهتری برخوردار می باشد. آمار بارندگی مورد نیاز برای استخراج شاخصهای هواشناسی در محدوده مطالعاتی از ۴۳ ایستگاه هواشناسی که حداقل طول آماری را دارا بودند، بدست آمد. موقعیت این ایستگاهها در شکل ۱ نشان داده شده است. برای انتخاب تصاویر ماهواره ای مطلوب که حتی الامکان پوشش ابری نداشته باشند، آمار ابرناکی ایستگاههای هواشناسی مهر آباد، فیروز کوه و آبعلی از سازمان هواشناسی تهیه شد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاههای هواشناسی و مناطق منتخب در استان

اطلاعات مربوط به وضعیت پوشش گیاهی این مناطق از سازمان جنگلها و مراتع تهیه گردید. تقسیم بندی آنها نیز بر اساس وضعیت غالب مراتع در حداقل ۵۰٪ سطح مربوط بصورت پرتراکم، نیمه متراکم و کم تراکم تعریف شد، مشابه با روش‌شناسی که جی و پیترز (۲۰۰۳) در تحقیقشان بکار بردند. همچنین از آنجا که تعداد ایستگاهها در یک منطقه، در دقت تعیین وضعیت خشکسالی بر اساس میانمایی شاخصهای هواشناسی موثر است، برای هر نوع وضعیت پوشش مرتع، هم مناطق با ایستگاه و هم بدون ایستگاه انتخاب شدند. با این توضیح، ۵ منطقه انتخاب شد و تحلیل روی آنها انجام گرفت که در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شد. هرچند برای مرتع کم تراکم، منطقه‌ای دارای ایستگاه هواشناسی یافت نشد.

جدول ۱- مشخصات مناطق معرف

شماره منطقه	تعداد ایستگاههای هواشناسی	وضعیت پوشش گیاهی
۱	بدون ایستگاه	مرتع متراکم بیلاقی
۵	۷	مرتع متراکم بیلاقی
۱۹	۲	مرتع نیمه متراکم بیلاقی
۲۱	بدون ایستگاه	مرتع نیمه متراکم بیلاقی
۳۳	بدون ایستگاه	مرتع کم تراکم قشلاقی

برای این تحقیق، تصاویر سنجنده ی AVHRR ماهواره ی NOAA با قدرت تفکیک ۱/۱ کیلومتر برای دوره ی ۷ ساله از سالهای ۷۵ تا ۸۱ به صورت روزانه تهیه شد. علت تهیه این حجم وسیع از تصاویر این بود که بتوان بررسی را با شرایط متفاوت خشکسالی و ترسالی انجام داد و بخصوص اینکه دوره خشکسالی ۱۳۷۸ لغایت ۱۳۸۰ استان را نیز شامل گردد.

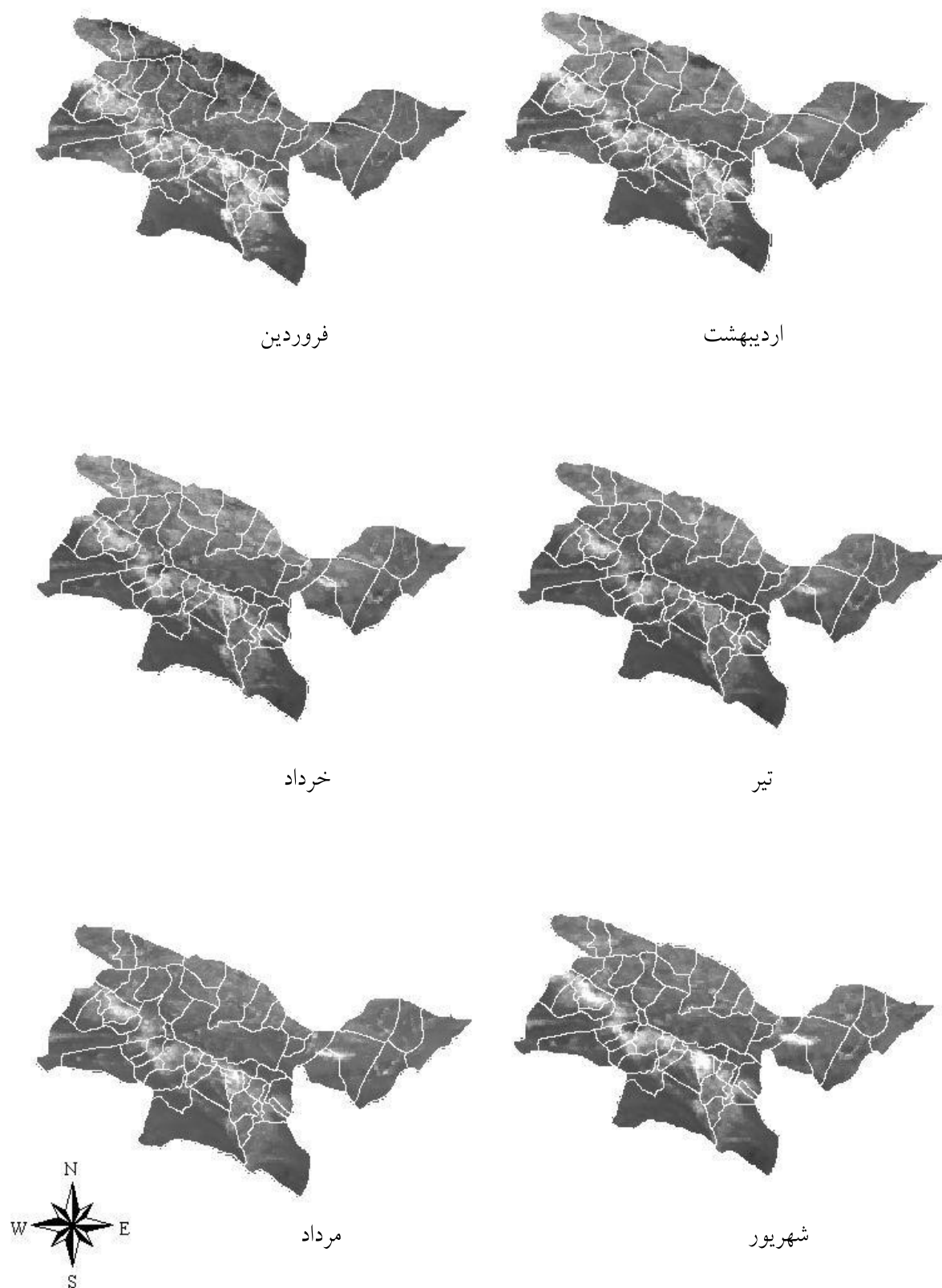
با توجه به دوره ی رویش حداکثر پوشش گیاهی، دوره ۶ ماهه ی از فروردین تا شهریور برای بررسی انتخاب شد. این انتخاب در کاهش حجم عملیات نیز تاثیر بسزایی داشت. بعضی از تصاویر نیز دارای مشکلاتی مانند تعداد باندهای کمتر از ۵ بودند که کنار گذاشته شدند و نهایتاً ۱۰۳ تصویر انتخاب و برای پردازشهای بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه سری زمانی تصاویر شاخصهای ماهواره‌ای

برای پردازش تصاویر، نرم افزار Erdas Imagine انتخاب شد. این نرم افزار، قابلیت‌های مناسبی برای پردازش تصاویر ماهواره ای و استخراج شاخصهای مورد نیاز، دارا می باشد. برای آماده سازی تصاویر به شکل مناسب از دو نرم افزار PCI Geomatica و Ilwis استفاده شد. همچنین تصویر حد و مرز استان برای کاربرد در محیط نرم افزار به صورت فایل شیپ (*.shp) در نرم افزار ArcView تولید شد.

در ادامه با استفاده از اطلاعات ترکیب باندها و رابطه ۱، تصاویر NDVI تهیه گردیدند. برای ماههایی که چند تصویر در آنها موجود بود، تصویر مقدارحداکثر (MVC)^۱ از تلفیق آنها استخراج شد و مقادیر متوسط شاخص در مناطق استان با تقاطع فایل پلی گون استان، در تصویر MVC بدست آمد.

1. Maximum value composition



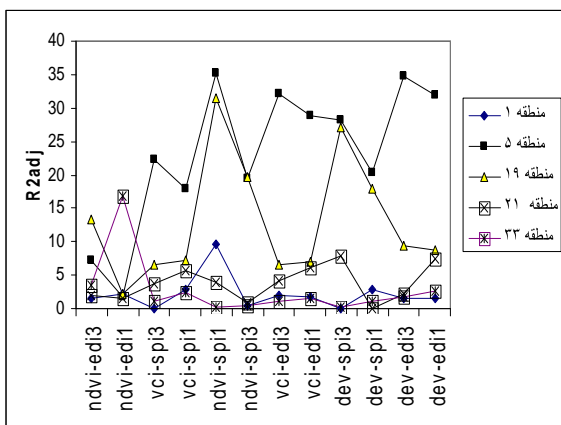
شکل ۲- تصاویر ماهیانه شاخص NDVI در دوره شش ماهه اول سال ۱۳۸۰

نتایج حاصل از رگرسیون خطی ساده

فرم اولیه مدل رگرسیون ساده خطی به عنوان نمونه برای شاخصهای NDVI و SPI به صورت زیر انتخاب شد:

$$NDVI = \beta_0 + \beta_1 SPI \quad (4)$$

این روابط در محیط نرم افزار Minitab، با استفاده از روش حداقل مربعات محاسبه و تحلیل واریانس برای ارزیابی نتایج نیز انجام شد. نتایج این محاسبات در شکل ۳ ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، مدل رگرسیون ساده خطی NDVI با شاخصهای هواشناسی در اغلب موارد نتوانست که همبستگی معنی داری بین شاخصها ارائه نماید.



شکل ۳- مقادیر R^2_{adj} مدل رگرسیون خطی بین شاخصهای هواشناسی و ماهواره ای

همبستگی شاخص VCI و DEV با شاخصهای هواشناسی کم و بیش روند بهتری دارد. بخصوص برای مناطق ۵ و ۱۹ نتایج معنی داری حاصل شده است. قابل توجه است که ویژگی مناطق ۵ و ۱۹ وجود ایستگاههای هواشناسی در آنها بود که باعث می‌شود مقدار شاخصهای هواشناسی برای آنها، از دقت بیشتری نسبت به مناطقی که تنها از طریق تحلیل مکانی مقادیر برآورد می‌گردد، برخوردار باشند. این نیز می‌تواند کنترلی برای بررسی روشهای زمین آماری در تحلیل مکانی متغیرها باشد. نتایج این بخش نشان داد که شاخص NDVI و DEV بالاترین همبستگی را با شاخص EDI سه ماهه و VCI با شاخص SPI سه و یک ماهه دارند (شکل ۳).

شاخص VCI (رابطه ۲) و شاخص DEV (رابطه ۳) نیز با استفاده از تصاویر حداقل ، حداکثر و متوسط مقادیر NDVI برای هر ماه (از فروردین تا شهریور) تهیه شد. نمونه ای از تصاویر ماهیانه NDVI استخراج شده برای سال ۸۰ در شکل (۲) نشان داده شده است.

تهیه سری زمانی تصاویر شاخصهای هواشناسی

استخراج شاخصهای هواشناسی EDI و SPI بر مبنای آمار بارندگی ۳۳ ساله ایستگاههای منطقه و با استفاده از نرم افزار DIP^۱ (۱۶)، صورت گرفته است. این شاخصها در دو مقیاس زمانی یک ماهه و سه ماهه برآورد شدند که تاثیر مقیاس زمانی بر همبستگی بین شاخصهای ماهواره ای و هواشناسی قابل بررسی باشد.

در مدل DIP شاخص SPI بر اساس داده های ماهیانه کار می کند، ولی شاخص EDI بر اساس آمار روزانه بدست می آید و خروجی آن نیز در مقیاس زمانی روزانه است، لذا ابتدا از خروجی ها مقادیر متوسط ماهیانه بدست آمده و سپس نقشه شاخص به صورت یک ماهه استخراج گردید و در ادامه نیز از مقادیر آن، میانگین متحرک ۳ ماهه محاسبه و نقشه های مربوط ترسیم شد. نقشه شاخصها، در محیط نرم افزار IDRISI و با روش WMA^۲ انجام شد که اختری (۱۳۸۳) دقت آن را برای میان یابی مکانی خشکسالی در منطقه مطالعاتی تأیید کرده بود.

نتایج و بحث

تحلیلهای رگرسیون

برای بررسی ارتباط شاخصهای ماهواره‌ای و هواشناسی، رگرسیون خطی ساده و رگرسیون با استفاده از متغیرهای موهومی مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت.

برای این روشها، شاخصهای ماهواره ای VCI، NDVI و DEV به عنوان متغیر وابسته و شاخصهای هواشناسی یک ماهه و سه ماهه SPI و EDI متغیر مستقل تعریف شدند.

1. Drought Index Package
2. Weighted Moving Average

$$NDVI = \beta_0 + \beta_1 SPI + \beta_2 D_1 + \beta_3 D_2 + \beta_4 D_3 + \beta_5 D_4 + \beta_6 D_5 + \beta_7 D_1 SPI + \beta_8 D_2 SPI + \beta_9 D_3 SPI + \beta_{10} D_4 SPI + \beta_{11} D_5 SPI \quad (5)$$

اما رابطه بالا با این فرض اولیه بدست آمد که تمام متغیرهای تعریف شده در مدل اولیه، بر روی متغیر وابسته اثر معنی داری دارند. ولی از آنجا تعداد متغیرهای مستقلی که باید در مدل گنجانده شوند از پیش تعیین شده نیستند، باید بخشی از تجزیه و تحلیل شامل انتخاب این متغیرها در مدل باشد. همچنین ممکن است افزایش تعداد متغیر در حالی که باعث کاهش درجه آزادی مدل می گردد، تاثیر معنی داری در کیفیت مدل (افزایش ضریب تبیین R^2 ، کاهش میانگین مربعات مانده ها، نزدیک شدن مقدار آماره cp مالو^۱ به تعداد متغیرها ی مدل (۱۹)) نداشته، یا حتی تاثیر معکوس در کارایی مدل داشته باشد. از اینرو، در این مطالعه گزینش متغیرها با دو روش ارزیابی تمام معادلات ممکن^۲ و رگرسیون گام به گام^۳ انجام شد.

گزینش متغیرهای مستقل با ارزیابی تمام معادلات ممکن

در این روش، اگر n متغیر مستقل در مدل رگرسیون وجود داشته باشد، برازش با تمام معادلات دارای یک، دو، سه، ... و n متغیر مستقل بررسی می گردد و سپس این معادلات، با معیار مناسب ارزیابی و نهایتاً بهترین مدل رگرسیون گزینش می گردد. به عبارت دیگر 2^n معادله ممکن وجود خواهد داشت که باید بررسی و ارزیابی شوند.

شیوه بالا، برای ۵ منطقه مطالعاتی، در نرم افزار Minitab انجام شد. برای هر مدل در هر منطقه، از 2^{11} معادله ممکن (با توجه به ۱۱ پارامتر در معادله رگرسیون)، ۲۱ معادله با بهترین برازش بر اساس معیارهای آماره cp مالو و مقادیر ضریب همبستگی R^2 و ضریب تصحیح شده R^2_{adj} با توجه به درجه آزادی هر مدل به صورت پیش فرض نرم افزار ارائه گردید. مدل برتر در هر بخش با R^2_{adj} حداکثر بین مدل‌های ارائه شده انتخاب گردید. تغییرات R^2_{adj} در هر منطقه برای مدل‌های معرفی شده، در شکل

رگرسیون با استفاده از متغیرهای موهومی

از آنجائیکه رابطه پوشش گیاهی با بارندگی، تابعی از فصل رویش گیاه می باشد (۱۰)، یعنی در شرایطی که فرض گردد مقدار بارندگی در طول رویش گیاه ثابت باشد، پوشش گیاهی با الگوی تقریباً منظم زمانی در طول این دوره تغییر خواهد کرد، جدا سازی عامل فصلی یا ماهیانه از سری زمانی به منظور تمرکز بیشتر روی سایر اجزا مثل روند تغییرات با عامل بارندگی ضروری است (۱).

یک روش برای این کار، در نظر گرفتن متغیرهای ساختگی با قبول دو مقدار صفر و یک می باشد که صفر بیانگر عدم وجود و یک حاکی از وجود آن صفت است. این متغیرهای ساختگی را تحت عنوان متغیرهای موهومی می نامند (۱۹). با توجه به نکته فوق در این بخش، اثر بارندگی در میزان تغییرات پوشش گیاهی توسط متغیرهای موهومی اثر ماه، در مدل رگرسیون وارد شد. از آنجائیکه تحقیق حاضر برای ۶ ماه (طبقه کیفی) انجام گرفته، تعداد ۵ متغیر موهومی اثر ماه معرفی شدند. مقادیر این متغیرها در طبقات کیفی ماهها در جدول (۲) قابل ملاحظه است.

جدول ۲- مقادیر متغیرهای موهومی در هر ماه

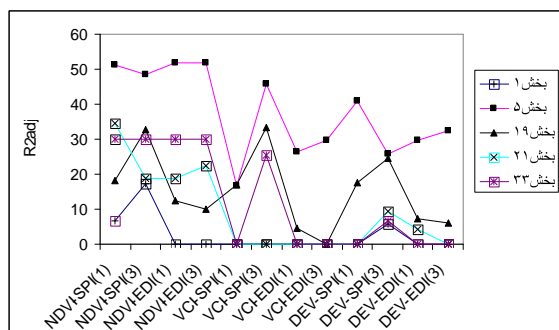
متغیر موهومی	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	ماه
	0	0	0	0	0	فروردین
	0	0	0	0	1	اردیبهشت
	0	0	0	1	0	خرداد
	0	0	1	0	0	تیر
	0	1	0	0	0	مرداد
	1	0	0	0	0	شهریور

در مدل رگرسیون با متغیرهای موهومی نیز شاخصهای خشکسالی هواشناسی به عنوان متغیرهای مستقل و شاخصهای پوشش گیاهی به عنوان متغیر وابسته وارد شدند. به این ترتیب فرم اولیه مدل رگرسیون به عنوان نمونه برای شاخص NDVI و SPI به صورت زیر تعریف شد:

1. Mallows' cp statistic
2. Best subsets
3. Stepwise

برای یک متغیر مستقل، اگر مقدار آماره t آن از مقدار از پیش تعیین شده کمتر شد، آن متغیر از مدل حذف می‌گردد. مزیت این روش نسبت به روش ارزیابی تمام معادلات ممکن این است که تعداد معادلات کمتری را آزمون می‌نماید و زودتر جواب می‌گیرد.

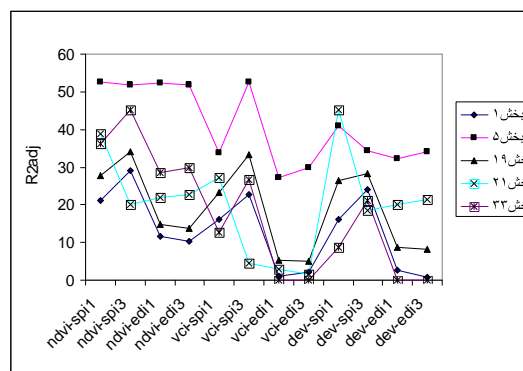
برازش داده‌ها به شیوه بالا نیز، در نرم افزار Minitab انجام شد. برای متغیرهای مستقل حذف نشده از مدل، ضرایب رگرسیون ارائه شدند و معنی دار بودن این ضرایب با آماره t در سطوح مختلف (حداکثر تا $\alpha=15\%$) بررسی و ارزیابی شدند. مقادیر ضریب R^2_{adj} برای مدل با توجه به درجه آزادی مدل بدست آمد. شکل (۵) تغییرات ضرایب R^2_{adj} بدست آمده را برای هر منطقه و به ازای مدل‌های منتخب، نشان می‌دهد.



شکل ۵- مقادیر R^2_{adj} مدل موهومی به روش گام به گام بین شاخصهای هواشناسی و ماهواره‌ای

به طور کلی، نتایج رگرسیون گام به گام مدل با متغیرهای موهومی شاخص NDVI با شاخصهای هواشناسی در همه بخشها از الگوی تغییرات در مدل بدست آمده با ارزیابی تمام معادلات (قسمت قبل) تبعیت می‌کرد. ملاحظه می‌گردد که نتایج مناطق ۵ و ۱۹ برای همبستگی NDVI و شاخصهای هواشناسی بهترین وضعیت را دارد. افت عملکرد نتایج برای VCI و DEV نیز مشهود می‌باشد و تنها SPI سه ماهه با این دو شاخص نتایج نسبتاً خوبی را ارائه داده است. در مجموع باتوجه به شکلهای (۳)، (۴) و (۵) این روش گزینش متغیرها نشان داد که مدل‌های با متغیرهای موهومی برای شاخصهای نرمال

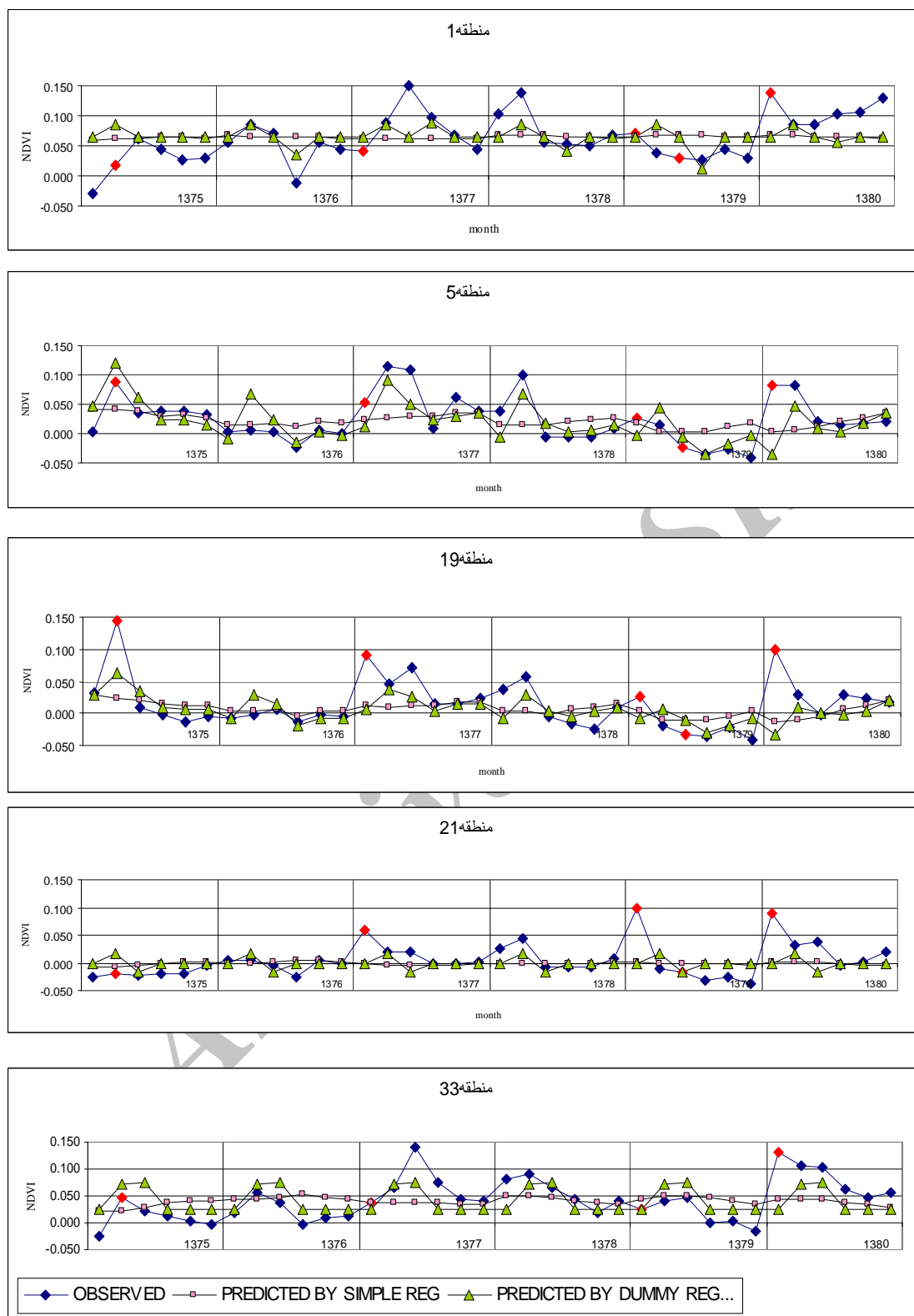
(۴) بر اساس این روش آورده شده است. شکل نشان می‌دهد که در مجموع نتایج نسبت به روش قبل بهبود یافته است. این ارتقا بخصوص برای شاخص NDVI و SPI مشهود می‌باشد. مانند قبل بهترین وضعیت در منطقه ۵ دیده می‌شود که R^2_{adj} به مقادیر بالاتر از 0.50 رسیده است. این روند برای VCI و DEV مانند NDVI نمی‌باشد، ولی مشهود است که همبستگی آنها بخصوص در مناطق ۵ و ۱۹ با شاخص SPI بهبود نسبی یافته است.



شکل ۴- مقادیر R^2_{adj} مدل موهومی با ارزیابی تمام معادلات ممکن بین شاخصهای هواشناسی و ماهواره‌ای

گزینه‌های متغیرهای مستقل با روش رگرسیون گام به گام
این روش با این فرض اولیه است که هیچ متغیر مستقلی در مدل حضور ندارد و فقط عرض از مبدا وجود دارد (۱۹). اولین متغیر مستقلی که برای ورود به معادله انتخاب می‌شود، آن است که با متغیر وابسته بیشترین همبستگی ساده را دارد. به عبارت دیگر، بزرگترین مقدار آماره t را در آزمون معنی دار بودن رگرسیون دارد. این متغیر در صورتی وارد مدل می‌شود که مقدار آماره t آن از مقدار از پیش تعیین شده توسط نرم افزار برای t (ورودی) بیشتر باشد. دومین متغیر مستقل انتخاب شده برای ورود به معادله، آن است که بالاترین همبستگی را با متغیر وابسته، بعد از تعدیل اثر اولین متغیر مستقل وارد شده به مدل بر متغیر وابسته داشته باشد. این همبستگی به نام همبستگی جزئی^۱ معروف است. بعد از ورود هر متغیر، متغیرهای قبلی دوباره با آماره t جز مربوط ارزیابی می‌گردند. در این مورد

1. Partial correlation



شکل ۶ - تغییرات شاخص NDVI مشاهده شده در دوره مطالعاتی، مقادیر برآورد شده NDVI با مدل‌های رگرسیون ساده خطی و مدل رگرسیون با متغیرهای موهومی این شاخص با شاخص SPI سه ماهه

پوشش گیاهی شدیداً افت می‌کند و دوره رویشی سال بعد نیز از این تنش، متاثر شده و پوشش گیاهی تنگی نتیجه می‌شود. بعد از این دوره و با کاهش درجه حرارت، در اواخر فصل رویش، الگوی کاهش پوشش گیاهی در همه مناطق مشابه است.

جمع بندی

تحقیق حاضر تلاشی بود برای بررسی و مقایسه عملکرد شاخصهای ماهواره ای و هواشناسی در محدوده‌ی مناطقی مرتعی از استان تهران که نتایج زیر از آن قابل ارائه است:

- تحلیل رگرسیون ساده خطی بین شاخص NDVI و شاخصهای هواشناسی نشان داد که شاخص NDVI رابطه ساده خطی معنی داری با هیچ یک از شاخصهای هواشناسی در مناطق مورد مطالعه ندارد. علت این امر را می‌توان به تاثیر پذیری این شاخص از دو عامل آب و هوا و اکولوژی دانست و به همین سبب، رابطه شاخص NDVI با عامل آب و هوا که در شاخص هواشناسی نمود پیدا می‌کند، رابطه ای خطی نخواهد بود.

- تحلیل رگرسیون ساده خطی بین شاخص VCI و DEV با شاخصهای هواشناسی، نتایج بهتری نسبت به شاخص NDVI نشان دادند و این به خاطر نرمال شدن NDVI با حداقل و حداکثر منطقه ای در هر ماه، در شاخص VCI و با متوسط منطقه ای در هر ماه برای شاخص DEV می‌باشد که اثرات اکولوژیکی را تعدیل می‌نماید.

- استفاده از مدل رگرسیون با متغیرهای موهومی ماه، تاثیر معنی داری در رابطه همبستگی شاخص NDVI با شاخصهای هواشناسی داشت و نتیجه شد که این روش برای نرمال کردن شاخص مربوط در منطقه مطالعاتی قابل استفاده است.

- مدل رگرسیون با متغیرهای موهومی ماه، در بهبود همبستگی شاخصهای نرمال شده VCI و DEV با شاخصهای هواشناسی تاثیر قابل قبولی نداشت و نتیجه شد که این روش، اثر معنی داری در بهبود عملکرد شاخصهای ماهواره ای که با مقادیر ماهیانه (متوسط، حداقل و حداکثر ماهیانه) نرمال شده اند، ندارد.

شده VCI و DEV کارایی مطلوبی در مقابل مدلهای ساده خطی ندارند و بالعکس برای NDVI نتایج را بطور مشهودی ارتقا داده است.

مقایسه الگوی تغییرات شاخصهای گیاهی با تغییرات پیش بینی شده توسط مدلها

نتایج بخش قبل نشان داد که مدل با متغیرهای موهومی شاخص NDVI با شاخص SPI سه ماهه بهترین همبستگی را ارائه می‌دهد، لذا از آن برای مقایسه الگوی تغییرات مشاهداتی (الگوی تغییرات شاخصها، حاصل از تصاویر ماهواره‌ای موجود) و پیش بینی شده استفاده گردید. در شکل (۶) نمودار تغییرات شاخص NDVI مشاهده شده در دوره مطالعاتی، مقادیر پیش بینی شده NDVI با مدلهای رگرسیون ساده خطی و مدل رگرسیون با متغیرهای موهومی آن با شاخص SPI سه ماهه، برای ۵ منطقه معرف ارائه شده است. با توجه به این شکل، شاخص NDVI پیش بینی شده با مدل موهومی به خوبی با الگوی واقعی مطابقت دارد.

مشاهده می‌گردد، در همه مناطق NDVI یک حداکثر اصلی در ماه دوم تا سوم دارد که مطابق با زمانبست که همزمان با گل دهی گیاه، تاج پوشش گیاهی حداکثر رخ می‌دهد. در مناطق با مرتع بیلاقی (مناطق ۱، ۵، ۱۹، ۲۱) بعد از این دوره، یک دوره بهره برداری از مرتع (چرای دام) انجام می‌شود که افت پوشش گیاهی و متعاقباً کاهش مقدار NDVI را در این دوره توجیه می‌کند. اما در مراتع منطقه ۳۳ که قشلاقی محسوب می‌گردد، به علت اینکه بهره برداری بهاره انجام نمی‌شود، تداوم حداکثر را در بیشتر سالها، تا ماه بعد مشاهده می‌نماییم.

بعد از بهره برداری اولیه مطابق شکل (۶) در شرایط سالهای تر و خشک وضعیت متفاوتی دیده می‌شود، در سالهای تر که گیاه در شرایط تنش رطوبتی به سر نمی‌برد، افزایش مجدد تاج پوشش گیاهی در ماه بعد مشاهده می‌شود. این وضعیت در دوره رویش سال ۱۳۷۷ که سال پر بارانی بوده، در منطقه ۵ به خوبی قابل تشخیص است. در سال ۱۳۷۸ که بارندگی شدیداً کاهش می‌یابد، با وجودی که به خاطر سال پرباری قبل، پوشش گیاهی متراکمی در ابتدای فصل رویش دیده می‌شود، بعد از فصل بهره برداری،

عکس‌العمل تاخیر دار پوشش گیاهی به تغییرات بارندگی به سبب ظرفیت نگهداری آب در خاک توجیه می‌شود.

• همبستگی بالاتر شاخصهای گیاهی با شاخصهای هواشناسی در مناطقی که ایستگاه هواشناسی داشتند، می‌تواند معیاری برای ارزیابی روشهای زمین آمار در میان یابی مکانی باشد.

با توجه به نتایج، تراکم مرتع تاثیر معنی داری روی ارتباط شاخصها با هم نداشت.

تکرار این تحقیق بر اساس تصاویر سنجنده مودیس که از درشتنمایی بالاتری برخوردار است، قابل توصیه می‌باشد.

• در مقایسه بین استفاده از مدل با متغیرهای موهومی ماه و استفاده از روابط شاخصهای VCI و DEV برای نرمال نمودن NDVI، نتایج نشان داد که استفاده از مدل با متغیرهای موهومی، همبستگی به مراتب بهتری با شاخصهای هواشناسی نشان می‌دهند و روش بهتری برای تفکیک اثرات محیطی از تغییرات آب و هوا می‌باشند.

• از بین شاخصهای هواشناسی SPI و EDI، شاخص SPI ضرایب همبستگی بهتری را با شاخصهای ماهواره ای در اغلب موارد داشت. از بین مقیاس زمانی یک و سه ماهه، شاخصهای هواشناسی سه ماهه در بیشتر موارد نتایج همبستگی بهتری را ارائه دادند که این به خاطر

REFERENCES

1. Abrishami, H. 1378. *Econometrics basics*. (by Gajarati). Second edition. Tehran University Publications, 1118 pages.
2. Akhtari, R. 1383. *Geostatistic Methods assessment in spatial analysis of drought indices, case study for Tehran province*, MD dissertation, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University
3. Akkartal, A., O. Türüdüa, & F. S. Erbekb. 2005. *Analysis of changes in vegetation biomass using multitemporal and multisensor satellite data*. Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Geodesy and Photogrammetry Engineering Department, Undergraduate Program, 34469, Maslak, _istanbul, Turkey
4. Allison, E.W., R. J. Brown, H. E. Press, & J. G. Gairns 1989. *Monitoring drought affected vegetation with AVHRR*. Digest – International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4:1965-1967
5. Bayarjargal, Y. & A. Karnieli. 2004. *Derived Drought-detection Indices Using Change Vector Analysis Technique*. The Remote Sensing Laboratory, Blaustein Institute for Desert Research, Ben Gurion University, Israel. 1st International Workshop on Human Dimensions of Climate and Environmental Change in Central Asia, GVSU, Michigan (USA), 2004.
6. El-Kharraz, J., J. Sobrino, J. Jimenez-Munoz, G. Soria, M. Gomez, M. Romaguera, & M. Luis. 2003. *Land Surface Temperature and NDVI Time Series Derived from NOAA-Pathfinder Images and Reanalysis Data over the Mediterranean Basin*. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4: 2765-2767.
7. Groten, S.M.E. 1993. *NDVI – crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso*. International Journal of Remote Sensing, 14: 1495-1515.
8. Gutman, G.G. 1990. *Towards monitoring drought from space*. Journal of Climate, 3: 282–295
9. Henricksen, B.L. & J. W. Durkin. 1986. *Growing period and drought early warning in African using satellite data*. International Journal of Remote Sensing, 11: 1608–1853.
10. Ji, L. & A. J. Peters. 2003. *Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices*. Center for Advanced Land Management Information Technologies, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE 68588-0517, USA.
11. Johnson, G.E., V. R. Achutuni, S. Thiruvengadachari, & F. N. Kogan. 1993. *The role of NOAA satellite data in drought early warning and monitoring selected case studies*. In: Wilhite, D.A. Editor, 1993. *Drought Assessment, Management and Planning Theory and Case Studies* Kluwer Academic, Boston: 31-49.

12. Kogan, F.N. 1993. United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1: 197-199.
13. Lim, C. & M. Kafatos. 2002. Frequency analysis of natural vegetation distribution using NDVI/AVHRR data from 1981 to 2000 for North America: Correlations with SOI. *International Journal of Remote Sensing*, 23: 3347-3383
14. Liu, W.T. & F. N. Kogan. 1995. Monitoring regional drought using the vegetation condition index. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 2761-2782.
15. Mohler, R.R., G. L. Wells, C. R. Hallum, & M. H. Trenchard. 1986. Monitoring vegetation of drought environments, *BioScience* 36: 478-483
16. Morid, S., M. Moghadasi, S. Paimozd, & H. Ghaemi. 1384. design of drought monitoring system of Tehran Province, Research project, Ministry of Energy.
17. Olsson, L., L. Eklundh, & J. Ardo. 2005. A recent greening of the Sahel trends, patterns and potential causes. Centre for Environmental Studies, Lund University, Sweden Department of Physical Geography and Ecosystem Analysis, Lund University, Solvegatan 12.
18. Reed, B.C. 1992. Using remote sensing and Geographic Information System for analyzing of landscape/drought interaction. *International Journal of Remote Sensing*, 14: 3489-3505.
19. Rezaei, A. & A. Soltani. 1377. Introduction to Applied Regression. First edition. Esfahan Technical University Publications. 294 pages.
20. Singh, R.P., S. Roy, & F. N. Kogan. 2003. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *International Journal of Remote Sensing*, 24: 4393-4402.
21. Thenkabail, P.S., M. S. D. N. Gamage, & V. U. Smakhtin. 2004. The Use of Remote Sensing Data for Drought Assessment and Monitoring in Southwest Asia. IWMI Research Report No.85.
22. Tucker, C.J. 1989. Comparing SMMR and AVHRR data for drought monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 10: 1663-1672
23. Tucker, C.J. 1996. History of the use of AVHRR data for land applications. In: G. D'Souza, A.S. Selward and J.-P. Malingreau, Editors, *Advances in the use of NOAA AVHRR data for land applications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 1-19.
24. Tucker, C.J. & B. J. Choudhury. 1987. Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote Sensing of Environment*, 23: 243-251.
25. Unganai, L.S. & F. N. Kogan. 1999. Drought monitoring and corn yield estimation in southern Africa from AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 63: 219-232.
26. Walsh, S. J. 1987. Comparison of NOAA AVHRR data to meteorological drought indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53: 1069-1074.