

تخمین شاخص سطح برگ با استفاده از داده‌های ماهواره ای IRS در منطقه نیشابور

علیرضا فرید حسینی^{۱*} - علیرضا آستارایی^۲ - سید حسین ثنایی نژاد^۳ - پریسا میرحسینی موسوی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۵/۱۰

چکیده

تخمین ویژگی‌های ساختاری پوشش گیاهی نظیر شاخص سطح برگ یک قدم مهم در تعیین مقدار آب مصرفی در گیاهان مختلف است. هدف از این مطالعه بررسی توانایی داده‌های تصاویر ماهواره ای IRS LISS-III به منظور بازیابی شاخص سطح برگ است. جهت بدست آوردن شاخص سطح برگ و هم چنین ارائه یک مدل بر اساس بازتابش و شاخص‌های پوشش گیاهی اطلاعات مورد نیاز از شهرستان نیشابور واقع در استان خراسان رضوی جمع آوری گردید. در این مطالعه تصحیحات اتمسفری جهت محاسبه شاخص NDVI انجام شد. ۵۰ داده مربوط به شاخص سطح برگ از درختان سیب، آلو و گلابی و گیلان با استفاده از دستگاه Sun Scan System - SS1 برداشت شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با تعیین موقعیت نمونه ها بر روی تصویر ماهواره ای در جات روشنایی پیکسل های مربوط به شاخص NDVI استخراج گردیدند و رابطه میان این درجات روشنایی و شاخص سطح برگ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بهترین مدل ارائه شده با استفاده از آنالیزهای آماری و رگرسیون خطی به صورت $LAI = 19.305 \times NDVI + 5.514$ است. نتایج ضریب همبستگی برابر با ۰/۵۳۴ با مقدار خطای باقی مانده ۰/۶۷ را ارائه داد. به طور کلی می توان گفت استفاده از داده های NDVI که بر اساس از تصاویر سنجش از دور بدست می آید به منظور تخمین شاخص سطح برگ تنها عامل موثر در تخمین این شاخص نمی باشد؛ بلکه دانش قبلی و داشتن اطلاعاتی نظیر ساختار گیاهی و اثرات زمینه خاک نیز بسیار مهم هستند. بنابراین برخی از ویژگی های منطقه مورد مطالعه بایستی مورد توجه قرار گیرد، قبل از آن که تصاویر ماهواره ای چند باندی به منظور بررسی متغیر های گیاهی مورد استفاده قرار گیرند.

واژه های کلیدی: سنجش از دور، شاخص تعدیل شده پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، ساختار گیاهی، اثرات خاک زمینه

مقدمه

خصوصیت مهمی برای اندازه گیری تراکم برگ و پایش تغییرات پوشش گیاهی است (۱۲ و ۵). به علاوه این شاخص یک خصوصیت کلیدی در کنترل بسیاری از فرآیندهای فیزیکی و بیولوژیکی است که در ارتباط با خصوصیات مختلف گیاهان مانند فتوسنتز، چرخه کربن و نیتروژن، و موازنه انرژی می باشد (۱۳). طبق تحقیقات انجام شده LAI هم چنین برای مدل سازی جریان آب (۱۴ و ۴) و انرژی و حتی گازهای گلخانه ای (۱۳ و ۱۴) مورد استفاده قرار گرفته است.

به منظور بررسی و مطالعه شاخص سطح برگ سنجنده‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است، مطالعات متعدد تفاوت‌های اساسی در نتایج میان سنجنده هایی که در ابتدا به صورت مشابه مورد توجه قرار می‌گرفتند را نشان داده است. نظیر استفاده و مقایسه داده‌های (AVIRIS)^۱ با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر در یک ناحیه جنگلی (۱۹) برای بررسی حساسیت شاخص NDVI با سنجنده‌های SPOT, TM, NOAA, AVHRR, EOS MODIS,

بر اساس تعریف جهانی FAO شاخص سطح برگ (LAI^۵) حاصل تقسیم سطح برگ های سبز به سطح زمین می باشد. شاخص LAI به طور گسترده ای جهت استخراج مدل های رواناب، نفوذ، تبخیر و تعرق، فرسایش، برگاب و فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۶).

شاخص LAI یکی از متغیرهای مورد توجه بر آورد در فرآیندهای اکوسیستم است (۱). فرآیندهای اکولوژیکی مختلف در یک اکوسیستم جنگلی به شدت توسط این شاخص کنترل می‌شود مانند تبخیر و تعرق (۸)، تولید خالص (۵)، تعرق (۱۱) و تنفس خاک (۶) LAI هم چنین

۱ و ۳- استادیار و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*- نویسنده مسئول: afaridh@yahoo.com mailto)

۲ و ۴- دانشیار و دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

- 6- Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer
- 6- Normalized Difference Vegetation Index
- 6- Simple Ration
- 6- Soil Adjusted Vegetation Index

5- eaf Area Index

به ویژه در مناطق بزرگ، استفاده از روش های سنجش از دور را به دلیل امکان فراهم ساختن دید وسیع و یکپارچه از مناطق تحت مطالعه، صرفه جویی در زمان و دقت بالای اطلاعات حاصله از تصاویر ماهواره ای را بر سایر روش های مطالعاتی ارجحیت داده است. لذا بررسی توانایی داده‌های ماهواره ای در تخمین شاخص سطح برگ، می‌تواند ما را در تخمین بهتر و دقیق تر بیان آب مصرفی گیاه در مناطق خشک و نیمه خشک یاری دهد. بنابراین سنجش از دور به عنوان یکی از منابع اولیه داده و به عنوان یک ابزار اساسی برای تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی و پایش محیط زیست و فرآیندهای اکولوژیکی در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است (۱۸، ۱۳).

در این مطالعه از داده‌های تصاویر ماهواره ای IRS LISS-III برای تخمین شاخص سطح برگ در منطقه نیشابور استفاده و رابطه تجربی بین شاخص پوشش گیاهی NDVI که از داده‌های ماهواره ای قابل استخراج است؛ با شاخص LAI که از طریق اندازه‌گیری‌های صحرایی و میدانی اندازه گیری می شود؛ با بهره گیری از آنالیزهای آماری، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و بخشی از منطقه نیشابور، در جنوب غربی شهرستان نیشابور به مرکزیت طول جغرافیایی ۵۸/۸ E و عرض جغرافیایی ۳۶/۲ N (شکل ۱) بود. پس از تعیین محدوده مورد مطالعه با توجه به فراوانی پوشش گیاهی و وجود باغات کشاورزی در این محدوده که شامل درختان آلو، سیب و گیلاس بود منطقه به طور قراردادی به دو ناحیه تقسیم گردید و در هر یک از این نواحی یک شبکه منظم به منظور تعیین نقاط نمونه برداری تعریف شد سپس مجموعاً تعداد ۵۰ نقطه به صورت نمونه برداری تصادفی در هر دو منطقه مشخص شدند. این نقاط به عنوان نقاط اصلی نمونه برداری در محل با استفاده از GPS شناسایی شده و تعیین گردید. سپس در محل هر نقطه مشخص نمونه برداری و یا به عبارتی محل درختان مورد نظر شاخص سطح برگ نیز با استفاده از دستگاه Sun Scan System – SS1 ثبت شد، به این صورت که علاوه بر نقطه مورد نظر اصلی از چند نقطه فرعی دیگر با زوایای مشخص چند نمونه فرعی دیگر تعیین و شاخص سطح برگ در جهات مختلف ثبت گردید (تهیه نمونه به شیوه گسترده) و سپس میانگین این نقاط به عنوان عدد نهایی به عنوان شاخص سطح برگ در نقطه اصلی مورد نظر در نظر گرفته شد.

در این تحقیق از تصاویر ماهواره ای سنجنده IRS LISS-III مربوط به بهار سال ۲۰۰۸ برای چهار باند انعکاسی استفاده شده است. علاوه، از نقشه‌های توپوگرافی، راه‌های دسترسی و مناطق روستایی

MERIS و ENVISAT نتایج این مطالعه نشان داده که حتی این شاخص به طور معنی داری به وسیله تفاوت هایی که در پهنای باندهای طیفی سنجنده‌های مختلف به ویژه در ناحیه قرمز وجود دارد تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

در مطالعه کامل سودانی و همکاران (۱۸) پتانسیل سنجنده‌های SPOT, ETM, IKONOS برای تخمین شاخص سطح برگ در نواحی جنگلی مورد استفاده قرار گرفت، این محققین پنج شاخص پوشش گیاهی را $NDVI^2$, SR^3 , $SAVI^4$ را با چهار روش مختلف مورد بررسی قرار دادند.

در مطالعه گونگ و همکاران (۱۰) در آرژانتین از داده‌های اسپکتروفوتومتر و داده‌های زمینی شاخص سطح برگ هم زمان با تاریخ ثبت تصاویر ماهواره ای بهره گیری شد. آنها به تصحیحات اتمسفری اشاره داشته و از الگوریتم‌های مورد نیاز برای این تصحیحات استفاده کردند. این محققین هم چنین علاوه بر باندهای تصاویر ماهواره ای از دوازده شاخص پوشش گیاهی برای تخمین LAI در مناطق جنگلی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بهترین ضریب تبیین مربوط به ناحیه SWIR و برخی در ناحیه NIR بوده است. هم چنین قابل ذکر است که شاخص‌های پوشش گیاهی که از محدوده قرمز و ناحیه مادون قرمز مرئی استفاده می‌کنند، همبستگی بالاتری را نسبت به شاخص‌هایی که از محدوده‌های NIR و SWIR استفاده می‌کنند، نشان داده است.

برای استفاده موثر از این شاخص در مدل‌هایی با مقیاس بزرگ این پارامتر بایستی بیش از یک دوره زمانی طولانی و با انواع مختلف تیپ‌های پوشش زمینی در نواحی بزرگ تحت کنترل قرار گیرد، بنابراین تکنولوژی سنجش از دور تنها وسیله قابل دسترس برای دستیابی به این هدف است و از آنجایی که ارزش این شاخص تحت تاثیر نواحی مختلف طول موج طیف الکترو مغناطیس در سنجش از دور قرار می‌گیرد. لذا نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی جهانی و ناحیه ای می‌تواند از تصاویر سنجش از دور چند طیفی استخراج گردد (۱۳).

LAI یک خصوصیت مهم برای اندازه گیری میزان آب مصرفی در یک پوشش گیاهی است، لذا در مناطق خشک نظیر استان خراسان تخمین دقیق میزان آب مصرفی توسط گیاهان یک مساله بسیار مهم برای مدیریت بهتر پارامترهای اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی به شمار می‌رود، معمولاً به کارگیری رابطه تجربی میان اندازه گیری‌های میدانی یا صحرایی شاخص سطح برگ و سایر شاخص‌های پوشش گیاهی که از داده‌های ماهواره ای قابل استخراج است، برای نواحی بزرگ امکان پذیر نبوده بوده رابطه میان شاخص سطح برگ و سایر شاخص‌های پوشش گیاهی تحت شرایط مختلف زمان و مکان از فضا متفاوت و حتی برای انواع مختلف تیپ‌های پوشش گیاهی یکسان نمی باشد. بنابراین، امکانات محدود در استفاده از روش های زمینی،

همان طور که در شکل ۲ مشا هده می شود دو فرض اساسی رگرسیون یعنی نرمال بودن باقیمانده ها و ثابت بودن واریانس تأیید شده است که بیانگر صحت مدل است.

در مطالعه ای در چین که توسط جیانگ و همکاران (۱۱) انجام شده است نیز رابطه میان شاخص سطح برگ و سایر شاخص‌های پوشش گیاهی نظیر SR^2 , MSR^2 و $NDVI^3$ با ۵۳ نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. این محققین رابطه قوی را بین باندهای ۳، ۴، ۵ و ۷ این سنجنده بدست آوردند.

نتایج حاصل از این تحقیق رابطه خطی خوبی را بین شاخص NDVI و شاخص سطح برگ (LAI) نشان می‌دهد. بهترین مدل ارایه شده با استفاده از شاخص NDVI برای LAI به صورت $LAI=19.305X+5.514$ بوده که $R^2=0.53$ با میانگین صحت ۸۶ درصد به دست آمده است.

در جنگل‌های Boreal کانادا نیز نتایج تحقیقات به منظور بررسی رابطه بین شاخص سطح برگ و شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره ای ضریب تبیین بین ۰/۳۸ و ۰/۶۸ گزارش شده است (۱۷). بهترین مدل ارائه شده با شاخص MSR و به صورت

$$LAI = 1/2097 * MSR + 0/4741 \text{ و } R^2 = 0/5157$$

با میانگین صحت ۸۵/۷۵٪ گزارش گردیده است. در این مطالعه گیاهان غالب در منطقه چای، بامبو و گوجه سبز ذکر شده است.

در شکل ۳ نیز مقادیر شاخص سطح برگ که در عملیات میدانی اندازه گیری شده است با مقادیری که توسط مدل پیش بینی شده است ملاحظه می شود؛ بر اساس این نمودار می توان بیان کرد که مدل بدست آمده در بعضی نقاط قادر به پیش بینی دقیق مقدار شاخص سطح برگ است در صورتی که در برخی از شرایط این مدل مقادیر شاخص سطح برگ را کمتر و یا بیشتر از مقدار واقعی آن پیش‌بینی می کند. مقدار خطای باقی مانده در این مدل که با توجه به فرمول ۱ محاسبه شده است برابر با ۰/۶۵ و هم چنین درصد خطای باقی مانده با توجه به فرمول ۲، ۲۵/۳٪ محاسبه شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{فرمول (۱)}$$

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{O} \quad \text{فرمول (۲)}$$

نیز به منظور شناسایی منطقه استفاده شد. این تصاویر به لحاظ هندسی و رادیومتری مورد بررسی کیفی قرار گرفته و سپس به منظور افزایش قابلیت داده‌های ماهواره‌ای در شناسایی و طبقه‌بندی پوشش گیاهی، فنون مختلف بازسازی تصویر، نظیر افزایش کنتراست، و روش باندهای ترکیبی روی تصاویر مورد استفاده قرار گرفت. سپس با استفاده از نرم‌افزار ERDAS Imagine 9.2 شاخص پوشش گیاهی $NDVI^1$ محاسبه گردید. با انتقال مختصات کلیه نقاط برداشت شده در صحرا توسط دستگاه GPS روی تصاویر ماهواره‌ای، ارزش رقومی تمامی این نقاط در تصویر شاخص پوشش گیاهی NDVI با استفاده از نرم افزار ERDAS Imagine 9.2 استخراج گردید. آنالیزهای آماری میان ارزش رقومی نقاط استخراج شده به عنوان متغیر مستقل و شاخص سطح برگ به عنوان متغیر وابسته توسط نرم افزار SPSS۱۳ انجام شده و در نتیجه مدل رگرسیون خطی مورد نظر استخراج گردید.

نتایج و بحث

بررسی اولیه نمودارهای پراکنش مقادیر رقومی تصاویر ماهواره ای برای شاخص NDVI در مقابل شاخص سطح برگ اندازه گیری شده (LAI)، وجود رابطه خطی بین این متغیرها را تأیید کرد. تجزیه و تحلیل برازش نمونه های شاخص سطح برگ (LAI) در مقابل ارزش طیفی شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، دارای ضریب همبستگی ۰/۵ بوده که رابطه خطی مثبت و معنی‌داری را بین این دو متغیر نشان می‌دهد.

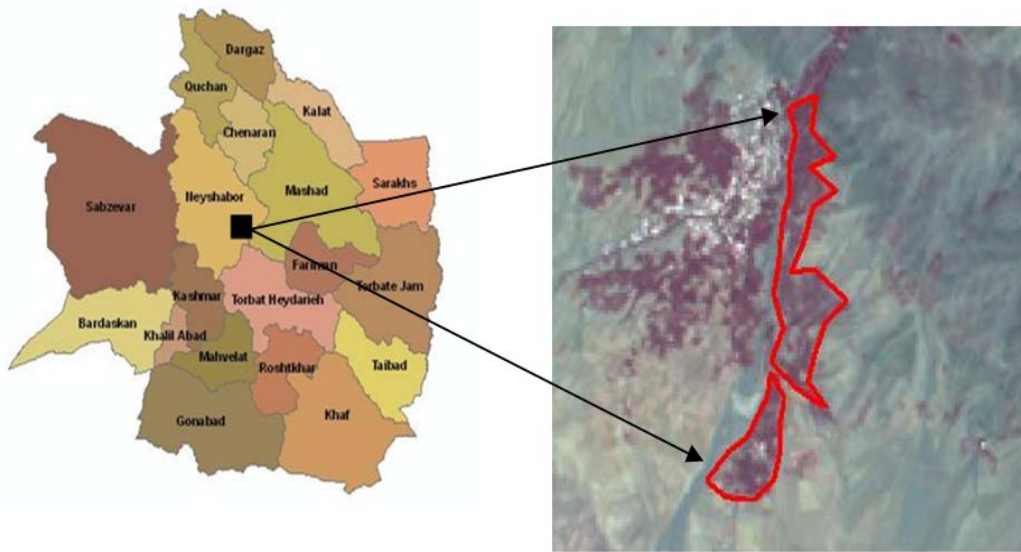
در مطالعه اسرار و همکاران (۲) شاخص سطح برگ برای گندم با استفاده از رابطه میان این شاخص و شاخص NDVI با استفاده از داده‌های ماهواره ای ETM مورد بررسی قرار گرفت، نتایج او رابطه خطی معنی داری را بین شاخص LAI که توسط اندازه گیری‌های زمینی بدست می‌آید با شاخص NDVI نشان داد.

در تحقیق فان و گائو (۸) برای بررسی ارتباط میان شاخص LAI و NDVI در نواحی نیمه خشک اراضی مرتعی در چین، پس از آزمایشات میدانی برای روابط خطی و نمایی میان این دو شاخص به ترتیب ضرایب تبیین ۰/۷۷ و ۰/۷۹ بدست آمد.

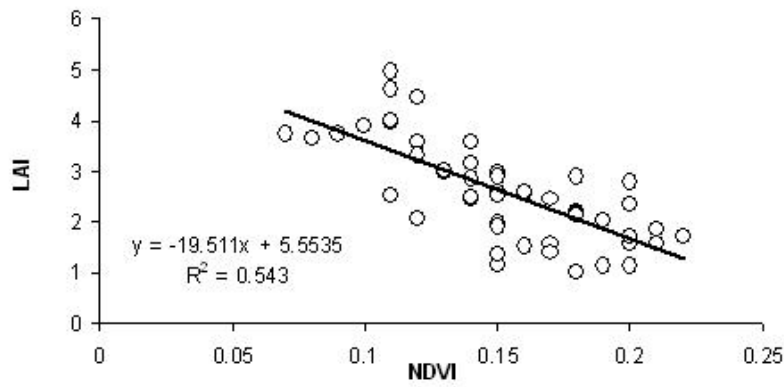
پس از تأیید وجود رابطه خطی و تجزیه و تحلیل برازش خطی نمونه ها نمایانگر آن است که همبستگی شاخص سطح برگ و شاخص پوشش گیاهی در سطح احتمال ۵٪ معنی دار است (شکل ۱). ضریب تبیین مدل ($R^2=0.53$) بیان می‌کند که ۵۳ درصد از تغییرات در شاخص سطح برگ توسط تغییر در شاخص پوشش گیاهی توجیه می‌شود و بقیه آن تحت تأثیر متغیرهای دیگر است. معادله خطی رگرسیون به صورت $LAI=19.305NDVI+5.514$ است.

- 2- Simple Ratio
- 2- Modified Simple Ratio Index
- 2- Normalized differences Vegetation Index

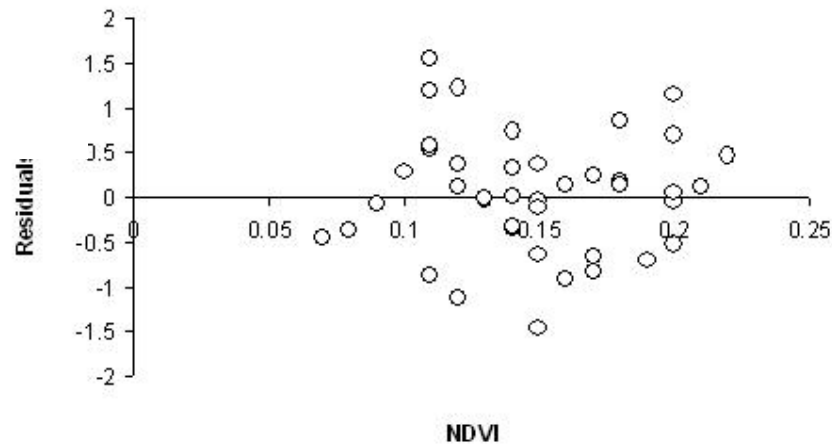
- 1- (NIR-RED)/(NIR+RED)



شکل ۱- منطقه جغرافیایی مورد مطالعه

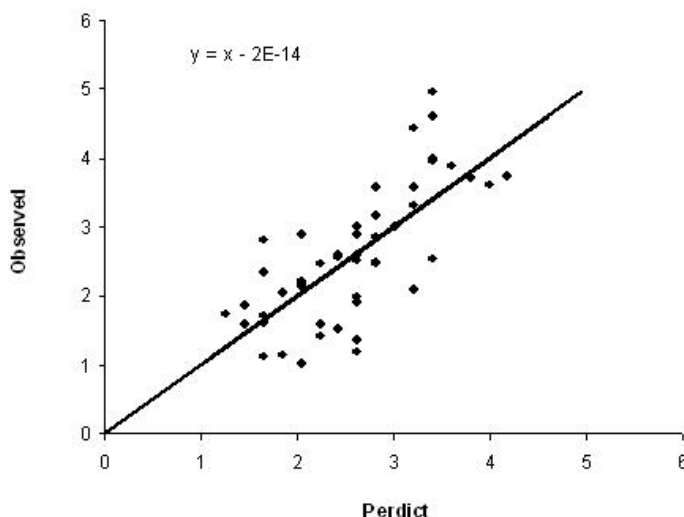


شکل ۱- رابطه خطی بین NDVI و LAI



مقدار باقی مانده

شکل ۲- رابطه بین NDVI و مقدار خطای باقی مانده



شکل ۳- رابطه بین مقادیر پیش بینی شده شاخص سطح برگ و مقادیر مشاهده شده

اشکالاتی می‌گردد که لازم است این شاخص‌ها تغییر کنند و یا روش‌های جدید تری مورد آزمون قرار گیرند. بنابراین مناسب بودن یک شاخص دلیلی بر قابلیت آشکارسازی پوشش گیاهی در تمامی شرایط نبوده و حتی ممکن است سایر شاخص‌هایی که در این مطالعه برای تشخیص پوشش گیاهی به کار گرفته نشده‌اند در شرایط محیطی دیگر کاملاً مناسب باشند.

در نتیجه می‌توان بیان کرد که با وجود رابطه خطی نسبتاً خوب میان شاخص NDVI و شاخص LAI بایستی سایر عوامل موثر بر میزان انعکاس از سطح پوشش گیاهی به منظور ارائه مدلی با دقت بالاتر مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

امروزه کسب آگاهی و دانش در رابطه با پوشش گیاهی و سلامت آن نقش مهمی در مدیریت خاک‌ها ایفا می‌کند. به منظور بررسی و پایش پوشش گیاهی در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای، دسترسی به هنگام به داده‌های میدانی یا صحرایی معمولاً دشوار و محدود می‌باشد. همچنین برآورد پوشش گیاهی به روش معمول که شامل برآورد کلی از پوشش گیاهی است هم‌زمان بر است و هم اطلاعات چندان دقیقی را به دست نمی‌دهد. از این رو سنجش از دور فن‌آوری بسیار مفیدی است که با داشتن خصوصیات نظیر فراهم ساختن یک دید وسیع و یکپارچه از یک منطقه، قابلیت تکرار پذیری، سهولت الوصول بودن اطلاعات و دقت بالای اطلاعات حاصله، صرفه جویی در زمان، بر سایر روش‌ها ارجحیت داده می‌شود. ترکیب نتایج حاصل از مشاهدات و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای با داده‌های سنجش از دور

که بنابراین مقدار خطای باقی مانده حاصل قابل قبول می‌باشد. از طرفی نیز بایستی اشاره کرد که هر چند ضریب تبیین بدست آمده در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بوده و مقدار آن معادل ۰/۵ است، اما بنظر می‌رسد که عوامل دیگری نظیر اثرات خاک زمین و ساختار و فیزیولوژی گیاهی نیز روی میزان شاخص سطح برگ تاثیرگذار باشد (۱۵).

رابطه بین NDVI و پوشش گیاهی می‌تواند بر اساس پراکنش پوشش گیاهی که به صورت ضعیف و پراکنده یا به صورت مترکم باشد بنا شود به این معنی که در نواحی که پوشش گیاهی پراکنده است و شاخص LAI کمتر از ۳ باشد، NDVI به شدت تحت تاثیر انعکاس خاک قرار می‌گیرد، بنابراین در نواحی که پوشش گیاهی پراکنده است شاخص تعدیل شده یا اصلاح شده پوشش گیاهی (SAVI) به جای NDVI پیشنهاد شده است و این شاخص به یک کالیبراسیون محلی نیازمند است زیرا پیش‌بینی اثرات خاک درون نواحی با مقیاس‌های بزرگ که مجموعه‌ای از خاک‌ها و پوشش‌های گیاهی متفاوتی را دارد بسیار مشکل است (۱۵ و ۲۰).

با بررسی این شاخص با تصویر ماهواره‌ای و با ترکیب رنگی کاذب (۲ و ۳ و ۴) مشخص شد که کارایی این شاخص در تعیین مناطق دارای پوشش گیاهی نسبتاً خوب است و نتایج آماری موجود نیز این مساله را تصدیق می‌کند. علت این مساله مربوط به وجود باند مادون قرمز نزدیک به کار گرفته شده در این شاخص است؛ زیرا گیاهان سبز بیشترین میزان انعکاس را در این باند داشته و بنابراین در مطالعات پوشش گیاهی نقش مهمی دارند (۲، ۳ و ۷).

این شاخص در شرایط ویژه‌ای تنها می‌تواند به خوبی پوشش گیاهی را آشکار سازند زیرا همیشه شرایط محلی موجب بروز

می‌تواند نقشه‌های به هنگام خصوصیات محصولات را ارایه نماید که این امر در تعریف واحدهای مدیریت دقیق ارزشمند است.

منابع

- 1- Asner, G. P., J. M. Scurlock, and J. A. Hicke, 2003. Global synthesis of leaf area index observations: Implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology and Biogeography* 12: 91–205.
- 2-Asrar, G. M., Fuchs, E.T., Kanemas.1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal* 76: 300-306.
- 3-Band, L.E., D.L., Peterson, S.W., Running, J., Dungan, R., Lathrop, J., Coughlan, L. Lammers, and L.L. Pierce, 1991. Forest ecosystem processes at the watershed scale: Basis for Distributed Simulation. *Ecological Modeling* 56: 171–196.
- 4-Cayrol, P., A., Chehbouni, L., Kergoat, G., Dedieu, P. Mordélet, and Y. Nouvellon, 2000. Grassland modeling and monitoring with Spot vegetation instrument during the 1999 SALSA Experiment. *Agricultural and Forest Meteorology* 105(1-3): 91–15.
- 5-Coyea, M.R and H.A. Margolis, 1994. The historical reconstruction of growth efficiency and its relationship to tree mortality in balsam fir ecosystems affected by spruce bud worm. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 2208–2221.
- 6-Davidson, E.A., K., Savage, P., Bolstad, D.A., Clark, P.S Curtis, and D.S. Ellsworth. 2002. Below ground carbon allocation in forests estimated from litter fall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 113:39–54.
- 7-Dijk, V.A and L.A. Bruijnzeel. 2000. Modeling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model: Part 1: Model Description. *Journal of Hydrology*. 247: 230–238.
- 8-Fan, L., Y., Gao, H. Brocks, and C. Bernhofer, 2009. Investigating the relationship between NDVI and LAI in semi arid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements. *Theoretical Applied Climatology* 95: 151–156
- 9-Gong, P., P.U., Ruiliang, S.G. Biging, and M.R. Larrieu. 2003. Estimation of forest leaf area index using vegetation indices derived from hyper ion hyper spectral data. *I.E.E.E Transactions on Geosciences and Remote Sensing* 41(6):350- 367.
- 10-Granier, A., E., Ceshia, C., Damesin, E., Dufrêne, D. Epron, and P. Gross. 2000. The carbon balance of a young Beech forest. *Functional Ecology*14: 312–325.
- 11-Jianjun, J., C., Suozhong, C.A.O., Shunxian, W.U., Hongan, Z. Li, and Z. Hailong. 2005. Leaf area index retrieval based on canopy reflectance and vegetation index in eastern China. *Journal of Geographical Sciences* 15(2): 247-254.
- 12-Liu, R., J.M., Chen, F., Liua, R. Deng, and D. Sunk. 2007. Application of a new leaf area index algorithm to China's land mass using MODIS data for carbon cycle research. *Journal of Environmental Management* 85: 649–658.
- 13-Nouvellon, Y., S., Rambal, D., Lo Seen, M.S., Moran, J.P., Lomme, A., Bégué, A.G. Chehbouni, and Y. Kerr, 2000. Modeling of daily fluxes of water and carbon from short grass steppes. *Agricultural and Forest Meteorology* 100(2-3): 137–153.
- 14-Plummer, S., A., Olivier, F., Fierens, J.M., Chen, G., Dedieu, S., Muriel, W., Cramer, C., Hilippe, S., Quegan, S. Schultz, and J. Holzemann. 2004. The Glob Carbon Initiative: Multi-sensor estimation of global biophysical products for global terrestrial carbon studies. In: *ENVISAT-ERS Symposium Proceedings*, Salzburg, Austria, 6–10.
- 15-Pettorelli, N., J.O., Vik. A., Mysterud, J.M., Gaillard, C.J. Tucker. and N.C. Stenseth, 2005. Using the satellite – derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *J.Trends in ecology and evolution*. Vol.20 No.9.
- 16-Sellers, P.J., D.A., Randall, G.J., Collatz, J.A., Berry, C.B., Field, D.A., Dazlich, C., Zhang, G.D Collelo, and L. Bounoua, 1996. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs, Part I: Model Formulation. *Journal of Climate*. 9: 676–705.
- 17- Rosema, A. W., W. Verhoef, and H. Noorbergen. 1992. A new forest light interaction model in support of forest monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 42: 23-41.
- 18-Soudani, K., C., François, G., Le Maire, Le Dantec, E. Vand Dufrêne, 2006. Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands. *Remote Sensing of Environment* 102: 161–175
- 19-Su, Z. 2000. Remote sensing of land use and vegetation for meso-scale hydrological studies. *International Journal of Remote Sensing*. 21(2): 213–233.
- 20-Teillet, P. M., K. Staenz, and D.J.Williams. 1997. Effects of spectral spatial and radiometric characteristics of remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment*. 61: 139–149.