

## بررسی توانایی مدل‌های سنجش از دور آماری در تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی مناطق بیابانی

• بهزاد رایگانی

استادیار بیابان‌داری دانشگاه محیط زیست (نویسنده مسئول)

• سوسن براتی قهفرخی

دانشجوی دکتری علوم مرتع دانشگاه صنعتی اصفهان

• مهدی ساعتی

مدیر گروه نقشه‌برداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان و دانشجوی دکتری نقشه‌برداری - سنجش از دور دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: شهریور ماه ۱۳۹۲

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۳۰۴۴۰۸۶

Email: rayegani@ut.ac.ir

### چکیده

اندازه‌گیری و پایش درصد پوشش گیاهی در بسیاری از مطالعات زیست‌محیطی از اهمیت خاصی برخوردار است. با آنکه تکنیک‌های سنجش از دوری در اندازه‌گیری این پارامتر موفق نشان داده‌اند، ولی هنوز هم سنجش از راه دور این پارامتر در نواحی بیابانی با مشکلات خاصی روبرو می‌باشد. در این تحقیق سعی شده است، با اندازه‌گیری‌های میدانی درصد پوشش گیاهی در یک ناحیه بیابانی، رابطه بازتاب در باندهای مختلف سنجنده LISSIII, TM و درصد پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گیرد. مطابق با یافته‌های این تحقیق در صورت خطی در نظر گرفتن این رابطه، درصد پوشش گیاهی تنها با باند مادون قرمز نزدیک آنهم در سطح ۵ درصد دو طرفه رابطه معنی‌داری نشان می‌دهد. در حالیکه در صورت غیرخطی فرض کردن این رابطه، تمامی باندها با درصد پوشش گیاهی رابطه معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان خواهد داد. همچنین با توجه به نتایج حاصله مشخص گردید در صورت استفاده از یک معادله رگرسیونی چند متغیره خطی، می‌توان این رابطه را در تمامی سطوح معنی‌دار نمود و تا اندازه‌ی زیادی دقت مدل پیش‌بینی را بهبود بخشید. حتی مشاهده گردید با تغییر در نوع مدل رگرسیونی مورد استفاده و تبدیل آن به یک مدل رگرسیونی چند متغیره غیر خطی، می‌توان ضریب تعیین و ضریب همبستگی میان برآوردهای حاصله و اندازه‌گیری‌های میدانی درصد پوشش گیاهی را به طور محسوس‌تری افزایش داد. به گونه‌ای که در این تحقیق در بهترین حالت ضریب همبستگی ۰/۹۱۷ و ضریب تعیین ۰/۸۴۱ میان برآوردهای پوشش گیاهی و مقادیر اندازه‌گیری شده آن بدست آمد. بر اساس نتایج حاصله در این تحقیق برای افزایش دقت مدل‌سازی و غیر خطی نمودن رابطه درصد پوشش گیاهی و بازتاب در باندهای ماهواره‌ای بهترین روش استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. در این تحقیق با ورود داده‌ها در ساختار شبکه عصبی در دقت مدل‌سازی بهبود قابل ملاحظه‌ای ایجاد شد به گونه‌ای که ضریب تعیین در بهترین حالت حتی از ۰/۹ هم عبور کرد. همچنین بر اساس یکصد تکرار مدل‌سازی شبکه عصبی در این پژوهش می‌توانیم اشاره نماییم مدل شبکه عصبی با تابع شعاعی محور توان بهتری از شبکه عصبی با حسگر چند لایه‌ای در تعیین درصد پوشش گیاهی مناطق خشک به کمک تصاویر ماهواره‌ای دارد.

کلمات کلیدی: درصد پوشش گیاهی، سنجش از دور، رگرسیون چند متغیره، LISSIII، TM، شبکه عصبی مصنوعی.

Watershed Management Research (Pajouhesh &amp; Sazandegi) No 104 pp: 142-163

**Assaying of ability of statistical models for remote sensed vegetation cover mapping of desert areas**

By: B. Rayegani: Assistant Professor of Combat Desertification, University of Environment, Karaj, Iran (Corresponding Author; Tel:+989133044086). S. Barati Ghahfarokhi: Range Sciences PhD Student, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. M. Saati: Director of Surveying Department of Islamic Azad University, Ardestan Branch and Remote Sensing PhD Student of University of Tehran.

Measurement and monitoring of vegetation cover fraction is very important in many environmental studies. Although remote sensing techniques have shown successful to estimate the parameter, but still remote sensed measurements of it encounter to special problems in desert areas. In this research has tried, the relationship between reflections in the different bands of LISSIII and TM sensors and percentage of vegetation cover be investigated using field measurements of vegetation cover fraction in a desert area. Accordance with the findings of this research, if we consider the relationship linear, only correlation between the percentage of vegetation and the near-infrared band has shown significant at the 0.05 level (2-tailed). While if we consider it nonlinear, correlation between reflections of all bands and the percentage of vegetation cover have shown significant at the 0.01 level (2-tailed). Also according to the results was determined using a linear multivariate regression equation and using all the bands, it is possible to make the relationship significant at all levels and to improve accuracy of estimations of the model. Even was observed with the change in the type of used regression model and covert it to a non-linear multivariate regression model, it is possible to improve the correlation coefficient and the coefficient of determination between the observed and estimated vegetation cover percentage significantly, In a way that correlation coefficient and the coefficient of determination between the observed and estimated vegetation cover percentage at best condition is calculated 0.917 and 0.841 respectively. Based on the results obtained in this study to increase the accuracy of modeling the nonlinear relationship between percent vegetation cover and the band satellite reflections using artificial neural network is the best way. In this research using artificial neural networks increase the accuracy of modeling significantly, so that the the coefficient of determination was passed 0.9 at best. Also based on neural network modeling hundred repetitions of this research can be refer to a neural network with radial function has better accuracy of modeling than multi-layered neural network to determine the percentage of vegetation using satellite data in drylands.

Keywords: Vegetation cover percentage, Remote Sensing, Multivariate regression, LISSIII, TM, Artificial Neural

پوشش گیاهی به کمک داده‌های ماهواره‌ای مختلف صورت پذیرفته است (Shoshany, 1996; Frank & Tweddale, 2006; Kallel et al, 2007; Guerschman et al, 2009; Carlson, 2009; Riziley, 1997; Okin, 2007; Julien & Sobrino, 2007; Zhen-qi et al, 2009).

با این وجود در مناطق بیابانی که پوشش گیاهی بسیار پراکنده و ناچیز می‌باشد، ادغام بازتاب‌های ناشی از خاک، سنگ و لاشه‌برگ با بازتاب ناشی از پوشش گیاهی، استخراج جزء مربوط به پوشش گیاهی از درون پیکسل‌های داده‌ی ماهواره‌ای را مشکل می‌سازد (Karnieli, et al, 2001; Gilabert et al, 2002; Shupe & Marsh, 2004; Frank & Tweddale, 2006).

مطابق با نظر Wellens (1993)، از آنجا که پوشش گیاهی در مناطق خشک و بیابانی ضعیف است، خاک زمینه اثر بازتاب مادون قرمز از گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و به آن چیره شود. Tueller (1989)، اشاره می‌کند که در مورد پوشش گیاهی زنده هر چه از بخش مرئی به سمت بخش مادون قرمز میانی پیش برویم، تفاوت

**مقدمه**

برآورد خصوصیات پوشش گیاهی در بسیاری از مطالعات منجمله اکولوژی، هواشناسی، هیدرولوژی، درک تغییرات جهانی، مدیریت منابع طبیعی و ... از اهمیت خاصی برخوردار است، بنابراین اندازه‌گیری و پایش پوشش گیاهی مقدمه‌ایست برای رسیدن به اهداف این قبیل مطالعات (Kallel et al, 2007; Guerschman et al, 2009; Okin, 2007; Jingfeng Xiao & Moody, 2005).

معمولاً پارامتر فیزیکی مورد استفاده در این مطالعات، درصد یا نسبت پوشش گیاهی می‌باشد، ولی بررسی و پایش این پارامتر در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای، به وسیله انجام مطالعات میدانی معمولاً کاری است دشوار و چالش‌برانگیز (Pettorelli et al, 2005).

برخلاف روش‌های میدانی، سیستمها و تکنیکهای سنجش از دوری در تشخیص این پارامتر و تغییرات ایجاد شده در آن کارآمد نشان داده‌اند (Shoshany, 1996; Guerschman et al, 2009; Adamchuk et al, 2004; Huete, 2004; Jiang, 2004; et al, 2008) و تاکنون مطالعات زیادی به منظور برآورد درصد

مدلسازی‌های آماری رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی، رابطه میان درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده در یک ناحیه بیابانی با پوشش گیاهی پراکنده، و باندهای مختلف سنجنده TM از ماهواره LANDSAT 5 و سنجنده LISSIII از ماهواره 1D/1C IRS مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. هدف اصلی این مطالعه سنجش دقت برآوردهای سنجش از دوری درصد پوشش گیاهی در یک ناحیه بیابانی و بررسی روش‌های افزایش دقت چنین برآوردهایی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲۲۱۱۸ هکتار بین طولهای شرقی "۲۷' ۱۵' ۵۰" تا "۲۸' ۲۹' ۵۲" و عرض‌های شمالی "۴۹' ۱۵' ۳۳" تا "۲۵' ۲۳' ۳۳" در جنوب شهر اردستان در استان اصفهان قرار گرفته است (شکل ۱).

بر اساس تقسیم‌بندی گوسن، منطقه در طبقه اقلیمی بیابانی قرار می‌گیرد و بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه، اقلیم منطقه مورد مطالعه در طبقه خشک سرد قرار می‌گیرد. متوسط دمای ماهیانه در تیر ماه بیشترین مقدار و برابر ۴۶ درجه سانتی‌گراد و همچنین دمای ماهیانه در دی ماه کمترین مقدار و برابر ۱۳- و متوسط دمای سالیانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد است (Bolandnazar, 1388).

قسمت عمده منطقه مورد مطالعه را مراتع تشکیل داده‌اند و در برخی از نقاط، به صورت پراکنده و نزدیک به رودخانه‌های فصلی و مسیل‌ها، زمین‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند. در مراتع منطقه مورد مطالعه، درمنه دشتی (*Artemisia herba-alba*) گونه‌ی غالب به حساب می‌آید که در بسیاری از نقاط به عنوان تنها گونه موجود به شمار می‌رود و در برخی از نقاط همراه با این گونه به صورت پراکنده و لکه‌ای گونه‌های دیگری مانند درمنه کوهی (*Artemisia aucheri*)، جاز (*scariola orientalis*)، اسفند (*Peganum harmala*)، پرنده (*Pteroyrum aucheri*)، گز (*Tamarix spp.*)، چوبک (*Acanthophyllum*)، بادغلطان (*Lounaea spinosa*) نیز مشاهده می‌شوند.

معنی‌داری در انعکاس و جذب طیف‌ها رخ می‌دهد. این تفاوت‌ها این امکان را برای ما فراهم می‌نماید که بتوانیم شاخص‌های مختلفی را از نسبت باندهای مختلف بدست آوریم که این شاخصها در کمی و کیفی کردن پوشش زنده و کهنسال به ما کمک خواهد نمود (Tucller, 1989). امروزه شاخصهای گیاهی سنجش از دوری به منظور برآورد خصوصیات پوشش گیاهی بسیار رایج گردیده است (Kallel et al, 2007). شاخصهای پوشش گیاهی که از داده‌های ماهواره‌ای بدست می‌آیند یکی از منابع اطلاعاتی برای پایش موثر پوشش گیاهی به شمار می‌روند (Jiang et al, 2008). این شاخصهای پوشش گیاهی در اصل اندازه‌گیری‌های رادیومتری الگوهای زمانی و مکانی فعالیت‌های فوتوسنتزی مرتبط با متغیرهای بیوفیزیکی تاج پوشش از قبیل شاخص سطح برگ، درصد پوشش گیاهی، زی‌توده و ... می‌باشند (Gilabert et al, 2002). شاخصهای پوشش گیاهی طیفی به منظور ارزیابی فعالیت‌های فوتوسنتزی، سطح برگ، زی‌توده و فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان واقع در سطح زمین طراحی شده‌اند و در عین حال این شاخصها اثرات فاکتورهای خارجی و نامربوط مانند لایه بستر، اثرات جوی و روشنائی را کاهش می‌دهند و مقایسات چندزمانه را ممکن می‌سازند (Rondeaux et al, 1996; Verrelst et al, 2008). اما یکی از بزرگترین مشکلات سنجش از راه دور گیاهان در مناطق کم پوشش و بیابانی آنست که بازتاب ناشی از خاک و سنگ اغلب بسیار بیشتر از بازتاب پوشش گیاهی پراکنده این نواحی می‌باشد و این امر جداسازی سیگنالهای گیاهی را مشکل می‌سازد. بنابراین استفاده از شاخصهای پوشش گیاهی که بر جزء گیاهی تمرکز نموده‌اند کمتر در مناطق خشک و نیمه خشک موفق نشان داده‌اند (Karnieli, et al, 2001; Gilabert et al, 2002; Shupe & Marsh, 2004; Tucller, 1989).

بنابراین با توجه به ناچیز بودن پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک، نمی‌توان بر مدل‌های مرسوم یا شاخصهای گیاهی مرسوم سنجش از دوری تمرکز نمود و سایر آنالیزهای آماری را نادیده انگاشت. بدین خاطر در این تحقیق سعی شده است، به کمک



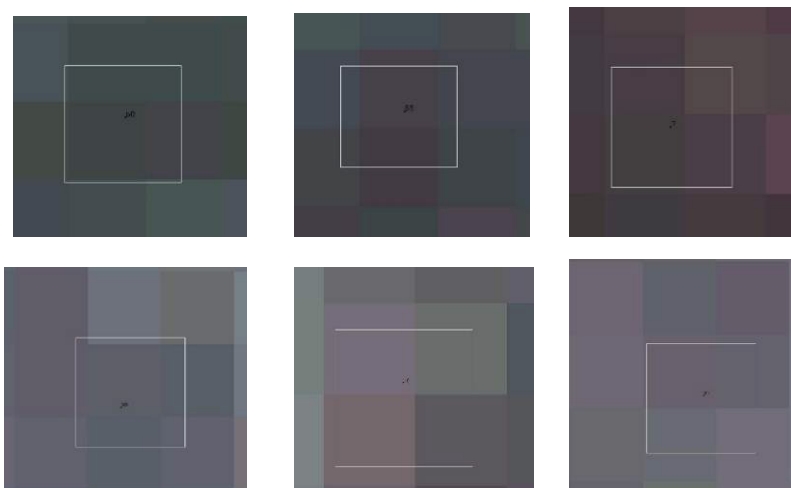
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اصفهان

با دقت مکانی ۳۰ متر بود. با توجه به این نکته که در هنگام بازدید صحرائی یعنی قبل از تصحیح هندسی بوسیله‌ی نمونه‌برداری‌های صحرائی، مکان دقیق سایت نمونه‌برداری در پیکسل‌های مورد استفاده مشخص نبود، برای آنکه با احتمال بیشتری کل یک پیکسل ۲۴ یا ۳۰ متری بررسی گردد، طول و عرض سایت نمونه‌برداری بیش از ۳۰ متر در نظر گرفته شد تا بیشتر یک واحد داده‌ی ماهواره‌ای تحت پوشش قرار گیرد. با توجه به توپوگرافی منطقه و اثر آن در دقت اندازه‌گیری و با توجه به محدودیتهای اندازه‌گیری، در این مطالعه اندازه سایت نمونه برداری ۳۶\*۳۶ متر در نظر گرفته شد (معادل یک و نیم پیکسل داده LISSIII). برخی از حالت‌های قرارگیری این سایت نمونه‌برداری ۳۶ متری (مربع سفید رنگ) در پیکسل‌های ماهواره‌ای داده LISSIII در شکل (۲) قابل مشاهده می‌باشد.

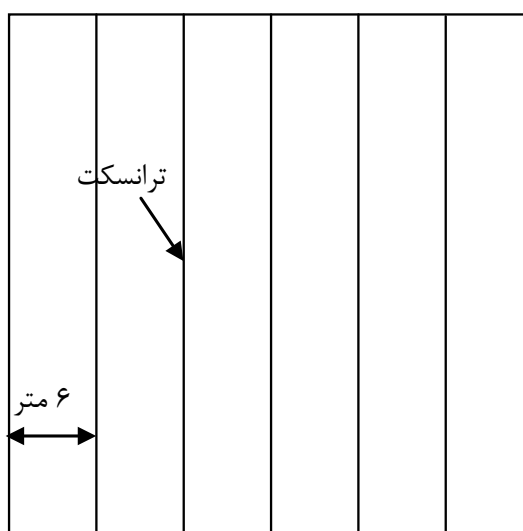
**روش مطالعه:** به طور کلی این تحقیق را می‌توان به سه بخش کل تقسیم نمود:

۱- مطالعات صحرائی به منظور برآورد درصد پوشش گیاهی در برخی از نقاط منطقه و برداشت نقاط مشخص برای تصحیح هندسی داده‌ی ماهواره‌ای ۲- تهیه و آماده‌سازی داده‌ی ماهواره‌ای ۳- برآورد درصد پوشش گیاهی واقعی در هر پیکسل و ارتباط‌دهی اعداد رقومی و همچنین بازتاب باندهای مختلف با پوشش گیاهی برداشت شده.

**مطالعات صحرائی:** اولین گام در مطالعات صحرائی در این تحقیق، مشخص نمودن سطح و مساحت هر واحد میدانی برآورد درصد تاج پوشش گیاهی بود (که در این پژوهش به آن سایت نمونه‌برداری گفته می‌شود). واحد داده‌ی ماهواره‌ای در این تحقیق، پیکسل سنجنده LISSIII با قدرت تفکیک زمینی ۲۴ متر و پیکسل سنجنده TM



شکل ۲- مکان قرارگیری برخی سایت‌های نمونه‌برداری ۳۶ متری در پیکسل‌های ماهواره‌ای سنجنده LISSIII



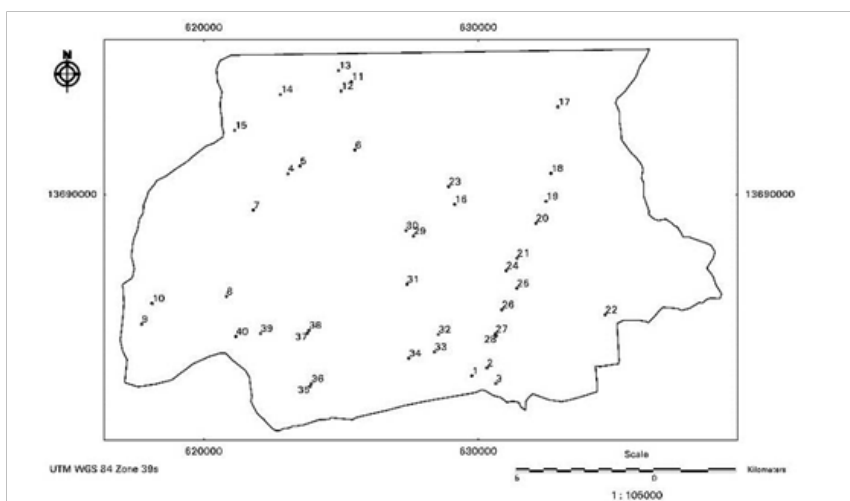
شکل ۳- سایت نمونه‌برداری و ترانسکت‌ها

مشاهده می‌شوند. با توجه به آنکه تیپ Ar.s1 یا تیپ درمنه دشتی تنها تیپ پوشش گیاهی منطقه به شمار می‌آید، به منظور تعیین مکان سایتهای نمونه‌برداری از روش تصادفی - سیستماتیک استفاده شد. بدین ترتیب که سعی شد حتماً مناطقی با درصد پوشش گیاهی مختلف در این سایتهای وجود داشته باشد و همچنین در صورت افزایش محسوس درصد پوشش گونه‌های گیاهی همراه و فرعی در ناحیه‌ای، آن ناحیه نیز در این سایتهای قرار بگیرد (سیستماتیک) و مکان این سایتهای در هر کدام از این مناطق و نواحی به صورت تصادفی انتخاب می‌گردید. بدین صورت ۴۰ سایت نمونه‌برداری مورد بررسی و تعیین درصد پوشش گیاهی قرار گرفتند (شکل ۵).

عملیات صحرائی از تاریخ ۳۱ خردادماه ۱۳۸۹ آغاز گردید. در فاز ابتدائی عملیات صحرائی کل منطقه به طور کلی مورد بازدید قرار گرفت تا تیپ‌های پوشش گیاهی مشخص شوند. در این بازدید صحرائی مشخص گردید گونه گیاهی غالب منطقه درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) است که در بسیاری از نقاط به عنوان تنها گونه موجود است و در برخی از نقاط همراه با این گونه به صورت پراکنده و لکه‌ای گونه‌های دیگری مانند درمنه کوهی (*Artemisia aucheri*)، جاز (*scariola orientalis*)، اسفند (*Peganum harmala*)، پرنده (*Pteroyrum aucheri*)، گز (*Tamarix spp*)، چوبک (*Acanthophyllum*)، بادغلتن (*Lounaea spinosa*) نیز



شکل ۴- تصاویری از پوشش گیاهی منطقه و شیوه یادداشت برداری برخوردها با پوشش تاجی در طول ترانسکت



شکل ۵- موقعیت جغرافیایی سایتهای نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

$$\rho = \frac{\pi L d^2}{E_s \cos \theta} \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $L\lambda$  تابندگی،  $d$  فاصله نسبی زمین-خورشید در واحد نجومی،  $ESUN\lambda$  متوسط درخشندگی طیفی خارج از اتمسفر (خورشیدی) و  $\theta$  زاویه زنیت خورشیدی در لحظه برداشت تصویر می‌باشد.

### برآورد درصد پوشش گیاهی و ارتباطدهی اعداد بازتاب باندهای مختلف با درصد پوشش گیاهی

برآورد درصد پوشش گیاهی در هر پیکسل: پس از برآورد میزان برخورد پوشش گیاهی در هر ترانسکت در هر یک از سایتها، نیاز بود با توجه به نحوه قرارگیری آن سایت نمونه‌برداری در داخل پیکسلهای داده ماهواره‌ای تصحیح هندسی شده (شکل ۲)، آن سری از ترانسکتها که در درون یک پیکسل خاص قرار می‌گرفتند، انتخاب شوند و میانگین درصد برخورد پوشش گیاهی در آنها محاسبه شود که این میانگین به عنوان درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده برای آن پیکسل خاص به حساب می‌آید. همچنین با توجه به تغییرات تدریجی و نامحسوس پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، در محاسبه‌ای جداگانه میانگین کل پنج ترانسکت واقع در هر سایت نیز بدست آمد تا به عنوان درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده برای پیکسلی که بیشترین مساحت را در داخل آن سایت نمونه‌برداری می‌پوشاند، در محاسبات وارد شود. بنابراین به طور خلاصه به منظور برآورد درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده برای انجام محاسبات نهایی از دو روش استفاده شد: ۱- در روش اول تنها میانگین درصد پوشش گیاهی ترانسکت‌هایی که مربوط به یک پیکسل خاص بودند، محاسبه می‌شد و به عنوان درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده برای آن پیکسل خاص به حساب می‌آمد. ۲- در روش دوم میانگین کل درصد پوشش گیاهی هر پنج ترانسکت بدست می‌آمد و برای پیکسلی که بیشترین سطح را در آن سایت می‌پوشاند، یادداشت می‌شد.

هرچند ممکن است در ابتدا روش دوم نادرست به نظر برسد، ولی با فرض خطا در تصحیح هندسی، نسبی بودن دقت دستگاه جی-پی‌اس و همچنین تغییرات تدریجی درصد پوشش گیاهی، به نظر می‌رسید شاید داشتن میانگینی از یک محدوده‌ی بزرگتر از سطح سایت، بتواند خطاهای احتمالی در تصحیح هندسی را به حداقل رساند و استفاده از ۵ عدد مربوط به ۵ ترانسکت نیز شاید بتواند به کاهش خطای ناشی از اندازه‌گیری و یادداشت برداری‌ها کمک نماید. بنابراین هر دو اندازه‌گیری به صورت جداگانه در محاسبات وارد شدند.

استخراج اعداد رقومی پیکسل‌های متناظر با درصد پوشش گیاهی محاسبه شده: همانگونه که اشاره شد، دو روش برای برآورد درصد پوشش گیاهی بکار گرفته شده است، بنابراین اعداد مربوط به پیکسل‌های متناظر نیز به دو طریق بدست آمدند. در روش اول، هر پیکسلی که ترانسکتها در آن قرار می‌گرفتند به عنوان پیکسل متناظر در نظر گرفته می‌شد. بنابراین برخی از سایتها که در آنها تقریباً سایت

به منظور تعیین درصد پوشش گیاهی در هر سایت نمونه‌برداری از ترانسکت‌های برخوردی استفاده شد (Brown; 2005, McCoy), بدین ترتیب که ابتدا چهارچوب سایت نمونه‌برداری به کمک یک عدد GPS گارمین مدل eTrex Vista HCx با دقت نسبی ۳ متر و دو عدد نوار اندازه‌گیری ۵۰ متری، با میخ‌های فولادی بر روی عرصه مشخص می‌گردید، سپس طولهای شمالی و جنوبی مطابق با شکل (۳) بوسیله نوار اندازه‌گیری هر شش متر به شش متر جدا شده و مکان آنها بوسیله میخ‌های فولادی علامتگذاری می‌شد. به منظور به حداقل رساندن خطا، هر دو طول شمالی و جنوبی از طرف شرق علامتگذاری می‌شدند تا اثر خطای ناشی از مترکشی و دقت دستگاه GPS، به حداقل برسد (شکل ۴).

در مرحله مطالعات صحرایی با استفاده از دستگاه GPS گارمین مدل eTrex Vista HCx برخی از نقاط مشخص به منظور تصحیح هندسی تعیین موقعیت شدند.

### آماده‌سازی داده‌های ماهواره‌ای

در ابتدا با بررسی تصاویر موجود لندست مشخص گردید که نزدیکترین تصویر فاقد ابر و فاقد مشکلات رادیومتری به تاریخ اندازه‌گیری میدانی تصویر TM مورخ ۲۰۱۰/۰۵/۲۸ (۷ خرداد ۱۳۸۹) می‌باشد. بنابراین این تصویر سفارش داده شد. همچنین از آرشیو تصاویر LISSIII موجود در ایران، تصویر ژوئن ۲۰۰۸ که جدیدترین تصویر موجود در ایران در تیرماه بود، به منظور انجام مقایسات نتایج نهایی انتخاب، و تهیه گردید.

تصویر TM که جدیدترین تصویر منطقه به شمار می‌رفت به کمک نقاط برداشت شده در مرحله عملیات میدانی تصحیح هندسی گردید و سپس تصویر LISSIII به آن ثبت داده شد (Lillesand, 2002). به منظور بالابردن دقت عملیات تصحیح هندسی از ۵۰ نقطه نمونه‌برداری شده توسط GPS گارمین مدل eTrex Vista HCx در مرحله عملیات صحرایی استفاده گردید و داده‌ی سنجنده TM با RMS Error کل ۰/۲۴۸ تصحیح هندسی شد.

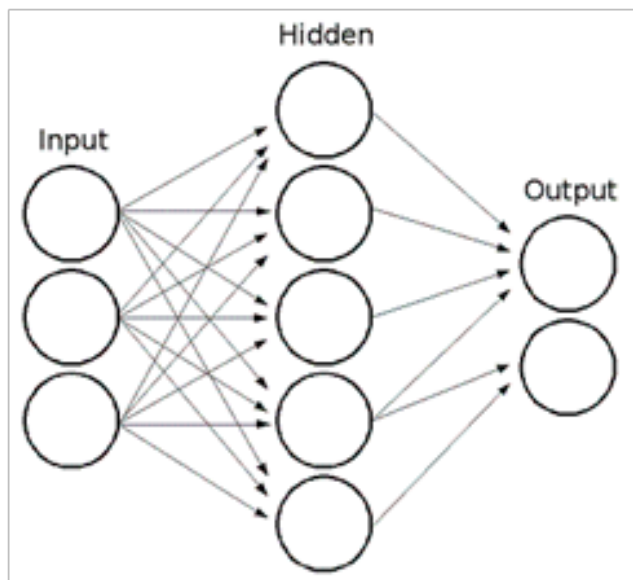
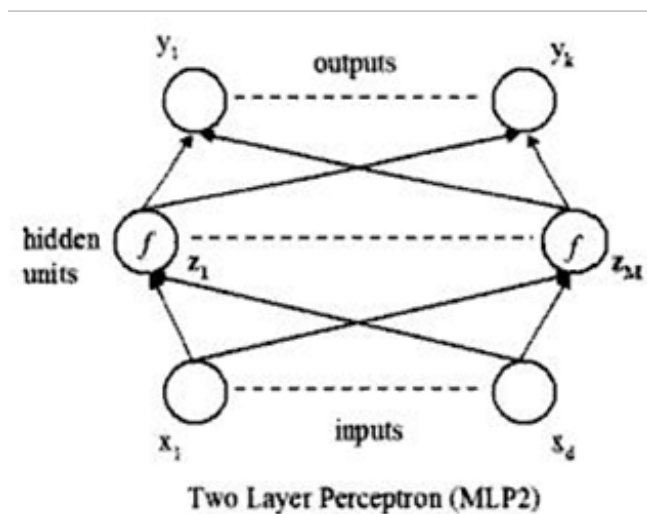
هر دو تصویر بوسیله اجسام تاریک (بازتاب سایه و آب) تصحیح اتمسفری گردید (Lillesand, 2002). با توجه به در اختیار نبودن متادیتا داده LISSIII امکان استخراج بازتابندگی برای این داده وجود نداشت، ولی به منظور مدلسازی بر اساس اعداد استاندارد شده‌ی بازتابندگی و مقایسه تفاوت دقت مدلسازی اعداد رقومی و داده‌های مربوط به بازتابندگی، بر اساس آخرین ضرایب کالیبراسیون لندست 5 (Chander et al, 2007) و جداول USGS و معادلات مربوط به تبدیل تابندگی به بازتابندگی (Mather, 2004; Mather & Koch, 2011)، بازتابندگی داده‌های مربوط به تصاویر TM بدست آمد (رابطه ۱). با توجه به کوهستانی نبودن منطقه از تصحیح توپوگرافیک خودداری شد. با توجه به عدم وجود نوارهای باندینگ و سایر ناهمگنی‌های رادیومتریک مانند نوارهای بدون داده (Mather, 2004; Mather & Koch, 2011) از اعمال تصحیحات دیگر رادیومتریک خودداری شد. در تمامی مراحل تصحیح از نرم‌افزار 2011 ERDAS IMAGINE استفاده گردید. بدین ترتیب داده‌های ماهواره‌ای آماده‌ی آنالیزهای بعدی شدند.

بررسی رابطه میان اعداد رقومی و بازتابندگی در باندهای مختلف و درصد پوشش گیاهی: به منظور استخراج مدل مناسب جهت برآورد درصد پوشش گیاهی دو مدل آماری رگرسیون چندمتغیره خطی و شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در مدل شبکه عصبی هر دو مدل اصلی چند نورونی یعنی شبکه‌های عصبی مصنوعی با حسگرهای چند لایه‌ای و شبکه‌های عصبی مصنوعی با تابع شعاعی محور مورد آزمون قرار گرفتند. در ابتدا قبل از ورود به پروسه مدلسازی، به کمک اعداد رقومی پیکسل متناظر با درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده و چهار پیکسل دربرگیرنده آن ( $\square$ )، صحیح بودن تصحیح هندسی و درست انتخاب شدن پیکسل‌های متناظر مورد آزمون قرار گرفت. بدین منظور همبستگی میان اعداد رقومی ناشی از تک تک باندهای مختلف سنجنده و درصد پوشش گیاهی برآورد شده در هر دو روش مورد بررسی قرار گرفت، سپس این همبستگی برای چهار پیکسل چسبیده به پیکسل اصلی نیز در هر دو روش مورد بررسی قرار گرفت و بدین شکل با توجه به بالاتر بودن ضریب‌های همبستگی و ضریب‌های تعیین این مدل‌های رگرسیونی برای پیکسل مرکزی متناظر از پیکسل‌های دربرگیرنده صحیح بودن تصحیح هندسی مورد تایید قرار گرفت. بنابراین در مرحله مدلسازی مطابق با فرض مورد تایید قرار گرفته صحیح بودن تصحیح هندسی، تنها اعداد رقومی و بازتابندگی پیکسل‌های متناظر مرکزی (نه پیکسل‌های دربرگیرنده) مورد آزمون قرار گرفتند. لازم به ذکر است که حتی پیش بررسی‌های آماری مدل‌ها نیز در مورد تمامی مدل‌های بکار گرفته شده، از صحیح بودن تصحیح هندسی و درست انتخاب شدن پیکسل متناظر حکایت داشتند و در تمامی موارد ضریب تعیین مدلهایی که از پیکسل متناظر مرکزی استفاده کرده بودند از ضرایب تعیین پیکسل‌های دربرگیرنده پیکسل مرکزی بیشتر بود.

اندازه‌گیری بین دو پیکسل قرار می‌گرفت، دارای دو پیکسل متناظر بودند که یکی از این پیکسل‌ها از سه ترانسکت و دیگری از دو ترانسکت برخوردار بود. در این تحقیق پیکسلی که تعداد ترانسکت بیشتری را در خود داشت در محاسبات وارد می‌شد و پیکسل دیگری به منظور سنجش عملکرد نهائی برآورد دقت کنار گذاشته می‌شد. بدین ترتیب اعداد رقومی مربوط به هر یک از باندهای سنجنده‌های مورد استفاده در این پیکسل‌های متناظر به منظور انجام محاسبات بعدی استخراج شدند و برای سنجنده TM این اعداد رقومی بر اساس آخرین ضرایب کالیبراسیون ابتدا به تابندگی (Chander et al, 2007) و سپس بازتابندگی تبدیل شدند (Mather & Koch; 2004, Mather, 2011). سپس در مقابل هر یک از این اعداد رقومی و بازتابندگی، میانگین درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده بوسیله هر یک از دو روش مورد اشاره یادداشت گردید.

در روش دوم با توجه به اندازه سایت که بیش از طول یک پیکسل بود، در هر سایت پیکسلی که بیشترین مساحت را در سایت داشت، انتخاب می‌شد (شکل ۲) و اعداد رقومی مربوط به هر یک از باندهای مختلف در آن استخراج می‌گردید و در مقابل آن، این بار میانگین درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده برای کل آن سایت یادداشت می‌شد.

با فرض خطای تصحیح هندسی، نسبی بودن دقت دستگاه جی پی اس و به منظور اطمینان یافتن از صحت اعداد بکار گرفته شده، در هر دو روش اعداد رقومی چهار پیکسلی که اطراف آن پیکسل متناظر انتخاب شده قرار داشتند (یعنی این چهار پیکسل  $\square$ ) در مورد باندهای مختلف نیز، در مقابل میانگین درصد پوشش گیاهی برآورد شده یادداشت می‌شد تا با برآورد رابطه آنها با پوشش گیاهی و مقایسه آنها با رابطه اصلی، دقت و صحت تصحیح هندسی بکار گرفته شده، تأیید گردد.



شکل ۶ - دو شکل عمودی و افقی از شبکه عصبی حسگر دولایه‌ای

$$z_j = f(a_j) \quad (3)$$

طبیعت این تابع فعال نقش مهمی در تعیین رفتار و غیرخطی شدن شبکه عصبی دارد. معمولترین توابع در شبکه‌های عصبی، تانژانت هایپربولیک و تابع S شکل هستند (Hill & Lewicki, 2006).

مطابق با شکل (۲) مشخص است که چندین خروجی نوروونی به یک خروجی در لایه خروجی‌ها (outputs) تبدیل می‌شود. بنابراین باید برای داشتن یک عدد در هر گرهی واقع در لایه خروجی‌ها یک تابع دیگر بکار گرفته شود. در واقع خروجی‌هایی که بوسیله تابع فعال هر نوروون شکل گرفته‌اند، وزن‌دهی شده و با هم جمع می‌شود تا عدد یک گره در لایه خروجی‌ها را بسازند (خروجی در لایه خروجی‌ها در شکل ۲). به بیان ساده‌تر ابتدا هر خروجی بدست آمده از هر تابع نوروونی، یک وزن خواهد گرفت و سپس جمع این اعداد وزن‌دهی شده تبدیل به یک واحد خروجی در لایه خروجی‌ها خواهد شد (رابطه ۴).

$$a_k = \sum_{i=1}^m w_{ij} \times z_j \quad (4)$$

در رابطه (۴)،  $w_{ij}$  وزن رابطه بین واحد مخفی  $j$  و خروجی  $k$  می‌باشد. همانگونه که در شکل (۲) هم مشاهده می‌شود، باز مجموعه‌ای از گره‌ها در لایه خروجی‌ها وجود دارد که بوسیله یک تابع تبدیل به خروجی نهایی یا پاسخ شبکه عصبی خواهد شد. به عبارت دیگر در نهایت خروجی نهایی یا پاسخ شبکه با استفاده از یک تابع فعال خروجی بدست می‌آید (یک خروجی نهایی برای هر گره در لایه خروجی) (رابطه ۵).

$$Output_k = f(a_k) \quad (5)$$

معمولاً در شبکه‌های عصبی با حسگر چند لایه‌ای، تابع  $f(ak)$  خروجی، خطی در نظر گرفته می‌شود، حتی گاهی مواقعی خروجی دارای تابع یکسان است، یعنی همان عدد گره به عنوان خروجی نهایی شناخته می‌شود ( $f(x)=x$ ).

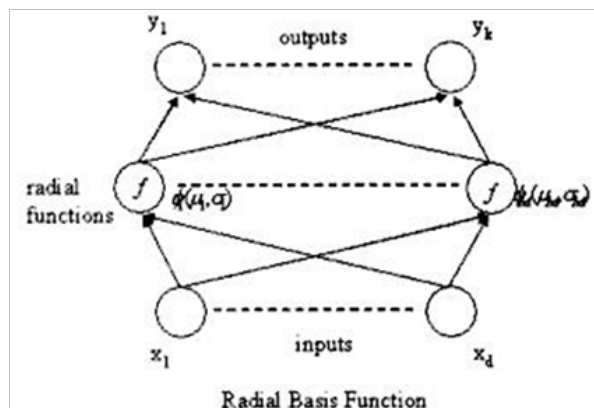
مدلهای آماری بکار گرفته شده در این تحقیق را می‌توان به دو دسته رگرسیونی و شبکه عصبی تقسیم نمود. در اینجا با توجه مشخص بودن مدل‌های رگرسیونی، تنها به طور مختصر در مورد مدل‌های شبکه عصبی چندنورونی مطالبی ارائه می‌شود (Hill & Lewicki, 2006).

**الف- شبکه‌های عصبی مصنوعی با حسگرهای چند لایه‌ای:**  
حسگرهای چندلایه‌ای نوعی شبکه‌های عصبی توان‌بخشانه با لایه‌های متناوبی از نوروونها و وزن‌ها هستند که یکی از معمولترین انواع شبکه‌های عصبی در کاربردهای مختلف به شمار می‌روند. این شبکه‌ها برای نمایش روابط غیرخطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها، چارچوب کلی فراهم می‌نمایند. یک شبکه عصبی با حسگر چندلایه‌ای تشکیل شده است از یک مجموعه از گره‌ها که لایه‌ی ورودی را شکل می‌دهند، یک یا تعداد بیشتری لایه مخفی از حسگرهای محاسباتی (نوروونها) و در نهایت مجموعه‌ای از گره‌های خروجی (شکل ۶).

شکل (۶) طرح کلی یک شبکه عصبی با حسگر چندلایه‌ای را نشان می‌دهد که یک لایه مخفی و در مجموع سه لایه دارد. به این شبکه حسگر دولایه‌ای (MLP2) گفته می‌شود. سیگنال‌های ورودی که از ورودی‌ها به لایه مخفی می‌رسند (لایه وسط شکل ۶)، بوسیله وزن‌دهی خطی به ورودی‌ها ایجاد می‌شوند (رابطه ۲).

$$a_j = \sum w_{ij} \times x_i \quad (2)$$

مطابق شکل (۶)، ورودی‌ها ( $x$ ) ابتدا وزن‌دهی می‌شود، سپس مطابق رابطه (۲) مجموع این وزن‌ها به لایه مخفی وارد می‌شود. در رابطه (۲)  $w_{ij}$  وزن‌هایی است که در رابطه بین ورودی  $i$  و نوروون  $j$  اعمال می‌شوند. بنابراین فقط یک عدد که حاصل جمع ورودی‌های وزن‌دهی شده است به یک نوروون خاص وارد می‌شود. حال نوروون یک تابع ریاضی (تابع فعال) بر روی این عدد ورودی اعمال می‌کند تا سیگنال یا پیام خروجی نوروونی شکل گیرد (رابطه ۳).



شکل ۷- شبکه عصبی شعاعی محور



شناخته می‌شوند. هر مرکز در اصل نورونی است که تابع فعال آن یک تابع شعاعی است. در شبکه‌های RBF، هیچ وزنی به واحد ورودی داده نمی‌شود. با این وجود، قدرت واکنش یک نورون به یک سیگنال ورودی، براساس فاصله مستقیم ورودی‌ها به مرکز تابع شعاعی محور تعیین می‌شود (رابطه ۶). پاسخ یک نورون به ورودی X بوسیله رابطه (۶) تعیین می‌شود:

$$\varphi_j = f(|x - \mu_j|) \quad (6)$$

معمولاً تابع فعال  $\varphi_j$  به صورت گوسین انتخاب می‌شود بنابراین رابطه به صورت معادله (۷) در خواهد آمد:

$$\varphi_j(x) = \exp\left[-\frac{|x - \mu_j|^2}{2\sigma_j^2}\right] \quad (7)$$

در رابطه (۷)،  $\mu_j$  موقعیت مکانی مرکز  $j$ امین نورون و  $\sigma_j$  گسترش شعاعی آن است. پس از پردازش سیگنال‌های ورودی، هر نورون پاسخ خود را به لایه خروجی ارسال می‌کند. در لایه خروجی این سیگنال‌ها به صورت خطی با هم ترکیب می‌شوند تا خروجی نهایی شبکه RBF ایجاد شود (۸).

$$output_k = \sum_{j=1}^m w_{jk} \times \varphi_j(x) \quad (8)$$

یک نورون به خودی خودش خیلی سودمند نیست زیرا سطح عمل ناچیزی دارد، ولی وقتی نورونها با هم ترکیب می‌شوند، حسگرها یا نورونها می‌توانند بلوکهای ساختمانی یک سازه بزرگتر و معنی‌دارتر را بسازند.

در پایان باید متذکر شویم روابط (۲) و (۴) در حقیقت توابع چند جمله‌ای هستند که ممکن است در برخی نرم‌افزارها برای بالا رفتن دقت مدل، عدد ثابت یا عدد انحراف نیز برای آنها محاسبه شود که باید به مجموع این روابط، عدد مذکور را اضافه نمود.

ب- شبکه‌های عصبی مصنوعی با تابع شعاعی محور: نوع اصلی دیگری از شبکه‌های مصنوعی که دارای فقط یک لایه مخفی است و توابع فعال نورونی در آن بوسیله فاصله مستقیم بین ورودی‌ها و مکان توابع فعال آنها تعیین می‌شود، شبکه‌های عصبی مصنوعی با تابع شعاعی محور (RBF) می‌باشند (شکل ۷). این شبکه‌ها پس از MLPها معمول‌ترین نوع شبکه‌های عصبی به شمار می‌روند. مطابق با نامشان این شبکه‌ها از توابع شعاعی استفاده می‌کنند.

یک RBF یک شبکه متشکل از سه لایه است: یک لایه برای ورودی‌ها، یکی برای خروجی‌ها و یک لایه مخفی که بین این دو لایه قرار گرفته است. نورونها در یک شبکه RBF، به عنوان مرکز شعاعی

جدول ۲- میزان سطح تغییرات کاربری اراضی سناریوها در مقایسه با وضعیت موجود کاربری اراضی در حوزه دینور

شماره سایت	مختصات مرکز سایت		شماره سایت	درصد پوشش برآورد شده		شماره سایت	مختصات مرکز سایت	
	X	Y		روش اول	روش دوم		X	Y
۱	۶۲۹۷۶۷	۳۶۸۳۴۶۲	۲۱	۰۸۴۸۷۷/۱۵	۴۹۱۱۹۷/۱۶	۱	۶۲۹۷۶۷	۳۶۸۳۴۶۲
۲	۶۳۰۳۱۹	۳۶۸۳۷۵۶	۲۲	۰۷۹۴۵۹/۱۵	۴۴۷۰۹۸/۱۵	۲	۶۳۰۳۱۹	۳۶۸۳۷۵۶
۳	۶۳۰۶۴۳	۳۶۸۳۱۸۷	۲۳	۹۲۷۹/۱۶	۱۴۵۲۴۷/۱۸	۳	۶۳۰۶۴۳	۳۶۸۳۱۸۷
۴	۶۲۳۰۷۳	۳۶۹۰۷۶۷	۲۴	۹۵۴۷۴۶/۱۵	۸۹۶۰۹۶۸/۱۵	۴	۶۲۳۰۷۳	۳۶۹۰۷۶۷
۵	۶۲۳۵۱۴	۳۶۹۱۰۴۸	۲۵	۷۰۳۳۵۶/۴۰	۲۷۰۴۳۲/۴۲	۵	۶۲۳۵۱۴	۳۶۹۱۰۴۸
۶	۶۲۵۵۱۲	۳۶۹۱۶۲۲	۲۶	۶۶۱۳۲۱/۱۳	۸۲۶۲۷۶/۱۵	۶	۶۲۵۵۱۲	۳۶۹۱۶۲۲
۷	۶۲۱۸۱۰	۳۶۸۹۴۵۲	۲۷	۳۷۹۶۸۹/۱۳	۳۷۸۵۷۵/۱۴	۷	۶۲۱۸۱۰	۳۶۸۹۴۵۲
۸	۶۲۰۸۲۸	۳۶۸۶۳۳۸	۲۸	۳۹۲۱۸۹/۱۵	۴۱۳۳۰۹/۱۵	۸	۶۲۰۸۲۸	۳۶۸۶۳۳۸
۹	۶۱۷۷۴۰	۳۶۸۵۳۳۴	۲۹	۱۱۷۶۶۴/۱۵	۰۲۸۲۵۳/۱۳	۹	۶۱۷۷۴۰	۳۶۸۵۳۳۴
۱۰	۶۱۸۱۱۹	۳۶۸۶۰۸۲	۳۰	۷۰۴۱۵۴۶/۶	۵۱۸۸۲۳۹/۶	۱۰	۶۱۸۱۱۹	۳۶۸۶۰۸۲
۱۱	۶۲۵۳۷۸	۳۶۹۴۰۹۰	۳۱	۰۸۴۹۱۰/۷/۶	۲۶۰۳۹۲/۱۶	۱۱	۶۲۵۳۷۸	۳۶۹۴۰۹۰
۱۲	۶۲۵۰۰۳	۳۶۹۳۷۵۵	۳۲	۱۴۹۰۰۹۴/۹	۴۹۳۹۵۸۶/۷	۱۲	۶۲۵۰۰۳	۳۶۹۳۷۵۵
۱۳	۶۲۴۹۱۲	۳۶۹۴۴۹۳	۳۳	۸۵۵۸۱۵/۱۵	۳۲۱۴۸۸/۱۸	۱۳	۶۲۴۹۱۲	۳۶۹۴۴۹۳
۱۴	۶۲۲۷۹۵	۳۶۹۳۶۲۴	۳۴	۳۵۱۵۴۲۹/۶	۸۵۴۱۷۷۸/۵	۱۴	۶۲۲۷۹۵	۳۶۹۳۶۲۴
۱۵	۶۲۱۱۲۶	۳۶۹۲۳۳۳	۳۵	۲۹۵۲۶۶/۱۱	۲۷۰۹۵۲۹/۹	۱۵	۶۲۱۱۲۶	۳۶۹۲۳۳۳
۱۶	۶۲۹۱۴۴	۳۶۸۹۶۶۰	۳۶	۰۸۴۵۶۸۹/۶	۰۷۵۷۱۴۶/۵	۱۶	۶۲۹۱۴۴	۳۶۸۹۶۶۰
۱۷	۶۳۲۹۰۴	۳۶۹۳۱۸۱	۳۷	۲۲۴۹۶۷۲/۴	۱۶۲۷۲۹۸/۵	۱۷	۶۳۲۹۰۴	۳۶۹۳۱۸۱
۱۸	۶۲۳۶۴۶	۳۶۹۰۷۷۷	۳۸	۳۶۲۱۷۶/۱۱	۴۶۹۰۴۴/۱۰	۱۸	۶۲۳۶۴۶	۳۶۹۰۷۷۷
۱۹	۶۳۳۴۷۰	۳۶۸۹۷۷۰	۳۹	۴۵۳۸/۱۰	۶۸۸۱۸۷/۱۰	۱۹	۶۳۳۴۷۰	۳۶۸۹۷۷۰
۲۰	۶۳۲۱۰۹	۳۶۸۸۹۸۱	۴۰	۲۹۹۹۸۳/۱۲	۳۱۹۲۳۴/۱۲	۲۰	۶۳۲۱۰۹	۳۶۸۸۹۸۱

میانگین درصد پوشش گیاهی در روش اول ۱۴۷۱۰۴/۱۳ و روش دوم ۸۴۴۰۴۵/۱۲ برآورد شده است

که مشاهده می‌گردد، اعداد پوشش هر دو روش به هم شبیه‌اند. اعداد رقومی و بازتابندگی پیکسل‌های متناظر با درصد پوشش گیاهی محاسبه شده در دو روش: پیکسلی که بیشترین سطح را در یک سایت اشغال نموده باشد (روش دوم)، قاعدتا بیشترین تعداد ترانسکت را نیز تحت پوشش قرار داده است (روش اول). بنابراین به غیر از پیکسل‌های شاهد در روش اول (پیکسل‌هایی که تعداد کمتری ترانسکت در آنها قرار گرفته است)، بازتاب‌ها یا اعداد رقومی در باندهای مختلف در هر دو روش در یک پیکسل مشابه بررسی خواهد شد. در اینجا مطابق با جدول (۱) تنها درصد پوشش گیاهی در دو روش تغییر خواهد نمود. در مورد پیکسل‌های شاهد، به غیر از متفاوت بودن درصد پوشش گیاهی، اعداد رقومی یا بازتابندگی در دوروش نیز متفاوت لحاظ شدند.

جدول (۲) ب- نتایج مدل‌سازی سنجنده LISSIII در روش دوم

Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
۶/۶۱۲۰۲۳۳۹۶	۱/۰۸۶	۱/۱۰	/۳۳۱a	۱
۳/۹۸۰۲۲۸۵۱۷	۱/۶۶۹	۱/۶۸۶	/۸۲۸b	۲
۴/۲۹۳۰۸۴۸۹۱	۱/۶۹۳	۱/۷۱۷	/۸۴۷c	۳

(a) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۳)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (b) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۳) و (۱) و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (c) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۳)، (۱) و (۲)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.

جدول (۳) ب- نتایج مدل‌سازی سنجنده TM در روش دوم

Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
۶/۶۹۸۵۱۲۱۱۷	۱/۰۶۲	۱/۰۸۶	/۲۹۴a	۱
۳/۸۵۵۲۰۳۱۶۳	۱/۶۸۹	۱/۷۰۵	/۸۴۰b	۲
۳/۴۵۰۱۰۰۹۲۴	۱/۷۵۱	۱/۷۷۰	/۸۷۸c	۳

(a) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۴)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (b) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۴) و (۳)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (c) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۴)، (۳) و (۱)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.

در معادله (۸) نیز  $W_{jk}$  وزنی است که در رابطه بین آمین مرکز شعاعی و  $k$  آمین وارد خواهد شد. توجه نمایید که خروجی یک RBF خطی است، بنابراین تنها منبع غیر خطی‌کننده در شبکه‌ها، از مرکز شعاعی ناشی می‌شود.

### نتایج

درصد پوشش گیاهی در هر دو روش: در جدول (۱) اعداد مربوط به پوشش گیاهی که توسط هر دو روش مورد بررسی بدست آمده‌اند، در هر یک از سایت‌ها مشاهده می‌شود. درصد پوشش گیاهی در روش اول با انتخاب ترانسکت‌هایی که در یک پیکسل خاص قرار می‌گرفته‌اند، بدست آمده است و در روش دوم، اعداد مربوط به هر پنج ترانسکت به منظور برآورد درصد پوشش گیاهی به کار گرفته شده است. همانگونه

جدول (۲) الف- نتایج مدل‌سازی سنجنده LISSIII در روش اول

Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
۷/۰۱۳۹۰۶۹۸۳	۱/۰۹۱	۱/۱۱۵	/۳۳۹a	۱
۴/۵۲۰۳۴۲۳۷۹	۱/۶۲۳	۱/۶۴۲	/۸۰۱b	۲
۴/۲۹۳۰۸۴۸۹۱	۱/۶۶۰	۱/۶۸۶	/۸۲۸c	۳

(a) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۳)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (b) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۳) و (۱)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (c) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۳)، (۱) و (۲)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.

جدول (۳) الف- نتایج مدل‌سازی سنجنده TM در روش اول

Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
۷/۱۲۰۲۲۰۲۸۴	۱/۰۶۴	۱/۰۸۸	/۲۹۶a	۱
۴/۲۳۸۳۶۵۴۴۸	۱/۶۶۸	۱/۶۸۵	/۸۲۸b	۲
۳/۸۴۷۶۷۱۷۹۵	۱/۷۲۷	۱/۷۴۸	/۸۶۵c	۳

(a) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۴)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (b) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۴) و (۳)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (c) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد رقومی باند شماره (۴)، (۳) و (۱)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.

جدول (۴) ب- نتایج مدل‌سازی بازتابندگی سنجنده TM در روش دوم

Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
۶/۶۹۸۵۱۵۹۴۴	/۰۶۲	/۰۸۶	/۲۹۴a	۱
۳/۸۵۵۱۸۲۱۲۴	/۶۸۹	/۷۰۵	/۸۴۰b	۲
۳/۴۵۰۱۴۴۵۱۸	/۷۵۱	/۷۷۰	/۸۷۸c	۳

(a) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد بازتابندگی باند شماره (۴)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (b) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد بازتابندگی باند شماره (۴) و (۳)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (c) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد بازتابندگی باند شماره (۴)، (۳) و (۱)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.

غیرخطی میان درصد پوشش گیاهی و اعداد رقومی در باندهای مختلف سنجنده LISSIII مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است به دلیل تعدد باندها در سنجنده TM نسبت به LISSIII (۶ باند نسبت به ۴ باند) و بنابراین بسیار پیچیده تر شدن رگرسیون غیرخطی آن، در این مرحله برای ارزیابی، به رابطه رگرسیون غیرخطی در سنجنده LISSIII اکتفا شده است. در جدول (۵) و (۶) خلاصه آمار منحنی‌هایی که در سطح ۱ درصد منحنی‌دار نشان داده‌اند، آورده شده است. مطابق با نتایج حاصله در هر دو روش، منحنی‌های درجه دوم (Quadratic) و درجه سوم (Cubic) در مورد تمامی باندها با درصد پوشش گیاهی رابطه معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داده‌اند (جدول ۵ و ۶). در کل روش دوم ضریب تعیین ( $R^2$  یا Rsq) بیشتری از روش اول نشان داده است و در هر دو روش بیشترین  $R^2$  متعلق به باند مادون قرمز نزدیک و پس از آن باند قرمز می‌باشد. در تمامی باندها در هر دو روش، منحنی‌های درجه دوم و سوم U شکل نشان داده‌اند و راس سهمی در تمامی موارد در پوشش کمتر از ۱۰ درصد قرار گرفته است. شکل (۸) تمامی منحنی‌های پیش‌بینی درصد پوشش گیاهی در روش دوم و برای باند شماره ۳ (مادون قرمز نزدیک) که بیشترین Rsq را داشته است، نشان می‌دهد.

جدول (۴) الف- نتایج مدل‌سازی بازتابندگی سنجنده TM در روش اول

Std. Error of the Estimate	Adjusted R Square	R Square	R	Model
۷/۱۲۰۲۲۳۴۲۰	/۰۶۴	/۰۸۸	/۲۹۶a	۱
۴/۲۳۸۳۷۲۰۲۱	/۶۶۸	/۶۸۵	/۸۲۸b	۲
۳/۸۴۷۷۳۷۱۶۸	/۷۲۷	/۷۴۸	/۸۶۵c	۳

(a) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد بازتابندگی باند شماره (۴)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (b) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد بازتابندگی باند شماره (۴) و (۳)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.  
 (c) در این مدل، پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل: ثابت، اعداد بازتابندگی باند شماره (۴)، (۳) و (۱)؛ و متغیر وابسته درصد پوشش گیاهی می‌باشد.

### رابطه میان اعداد رقومی و بازتابندگی در باندهای مختلف و درصد پوشش گیاهی

الف) رگرسیون چندمتغیره خطی: در این روش مدل‌سازی از عملگر جلوبرده هوشمندانه در نرم‌افزار SPSS 21 استفاده شد تا ضمن بررسی دقت هر مدل اولیه، بهترین مدل آماری نیز مشخص گردد. در جدول (۲)، (۳) و (۴) به ترتیب نتایج این مدل‌سازی برای داده‌های مربوط به اعداد رقومی سنجنده LISSIII و اعداد رقومی سنجنده TM و همچنین بازتابندگی سنجنده TM در دو روش مورد بررسی، مشاهده می‌گردد.

همانگونه که در جدول (۳) و (۴) مشاهده می‌شود نتایج مدل‌سازی ناشی از داده‌های رقومی و داده‌های مربوط به بازتابندگی کاملاً به یکدیگر شبیه است و تنها خطای استاندارد برآوردهای این دو مدل‌سازی آنهم به مقدار بسیار ناچیز با یکدیگر متفاوت می‌باشد.

ب) رگرسیون چندمتغیره غیرخطی: با توجه به معنی‌دار نشدن رابطه خطی بازتابهای باندهای قرمز و مادون قرمز با پوشش گیاهی، رابطه غیر خطی میان آنها نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از دستور تخمین منحنی در نرم‌افزار SPSS تمامی روابط

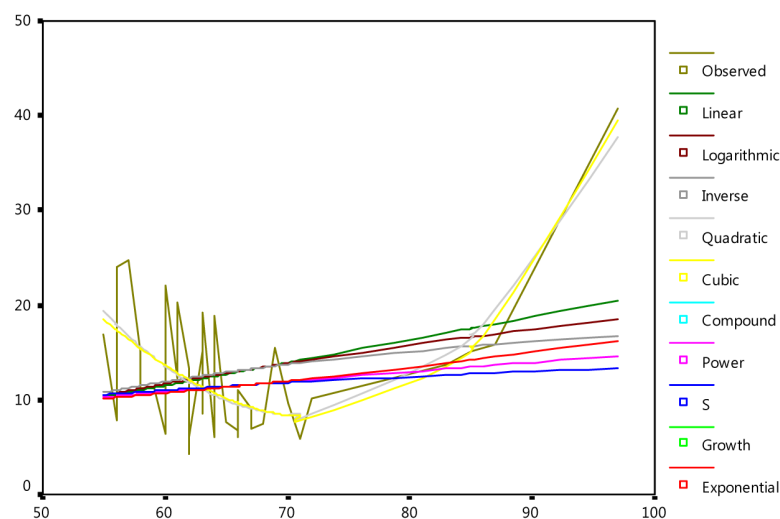
جدول ۵- رابطه غیر خطی درصد پوشش گیاهی و اعداد رقومی باندهای مختلف LISSIII در روش اول

شماره باند	نوع منحنی	Rsqr	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
۱	Quadratic	۰/۴۱۸	۳۷	۱۳/۲۸	۰/۰۰۰	۶۳۹/۲۴۲	-۱۳/۹۶۳	۰/۷۷۴	
	Cubic	۰/۴۱۸	۳۷	۱۳/۳	۰/۰۰۰	۴۳۴/۷۵	-۷/۰۵۴۲		۰/۰۰۰۳
۲	Quadratic	۰/۴۱۲	۳۷	۱۲/۹۸	۰/۰۰۰	۳۷۷/۱۳۷	-۸/۴۴۲۴	۰/۴۸۴	
	Cubic	۰/۴۲۳	۳۷	۱۳/۵۷	۰/۰۰۰	۱۳۹/۱۴		-۰/۰۵۰۵	۰/۰۰۰۴
۳	Quadratic	۰/۵۲۱	۳۷	۲۰/۱۴	۰/۰۰۰	۲۲۸/۱۰۸	-۶/۲۰۸۴	۰/۴۳۹	
	Cubic	۰/۵۳۳	۳۷	۲۱/۱۶	۰/۰۰۰	۸۰/۹۱۱۶		۰/۰۴۲	۰/۰۰۰۴
۴	Quadratic	۰/۳	۳۷	۷/۹۲	۰/۰۰۰۱	۳۰۴/۹۲۵	-۱۲/۵۵۵	۰/۱۳۳۵	
	Cubic	۰/۲۹۴	۳۷	۷/۷	۰/۰۰۰۲	۲۰۴/۶۱۵	-۶/۱۸۸۹		۰/۰۰۰۹

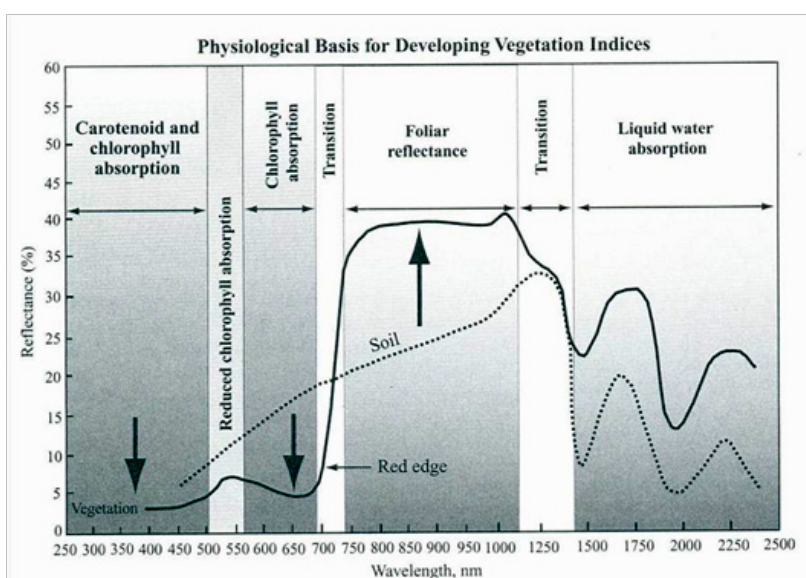
جدول ۵- رابطه غیر خطی درصد پوشش گیاهی و اعداد رقومی باندهای مختلف LISSIII در روش دوم

شماره باند	نوع منحنی	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
۱	Quadratic	۰/۴۱۸	۳۷	۱۳/۳	۰/۰۰۰	۶۰۳/۷۹۳	-۱۳/۱۵	۰/۰۷۲۷	
	Cubic	۰/۴۱۸	۳۷	۱۳/۲۶	۰/۰۰۰	۴۱۱/۱۳۹	-۶/۶۵۰۴	۰/۰۰۰۳	
۲	Quadratic	۰/۴۴۲	۳۷	۱۴/۶۸	۰/۰۰۰	۳۷۰/۱۲۶	-۸/۲۶۸۳	۰/۰۴۷۳	
	Cubic	۰/۴۵۴	۳۷	۱۵/۳۸	۰/۰۰۰	۱۳۷/۰۱۴	-۰/۰۴۹۵	۰/۰۰۰۴	
۳	Quadratic	۰/۵۴۹	۳۷	۲۲/۴۹	۰/۰۰۰	۲۲۴/۹۱۹	۰۶/۱۰۵۶	۰/۰۴۳	
	Cubic	۰/۵۶۱	۳۷	۲۳/۶۲	۰/۰۰۰	۸۰/۰۳۱۶	-۰/۰۴۱۴	۰/۰۰۰۴	
۴	Quadratic	۰/۳۲۶	۳۷	۸/۹۴	۰/۰۰۱	۳۰۰/۷۴۲	-۱۲/۳۷۱	۰/۱۳۱۳	
	Cubic	۰/۳۲	۳۷	۸/۷	۰/۰۰۱	۲۰۲/۱۷۷	-۶/۱۱۱۶	۰/۰۰۰۹	

COVER\_M2



شکل ۸- منحنی‌های مختلف پیش‌بینی درصد پوشش گیاهی بوسیله باند ۳ در روش دوم



شکل ۹- منحنی‌های بازتاب خاک و پوشش گیاهی در طیفهای مختلف (Jensen, 2007)

بر می‌گردد. تغییرات در بستر باعث شده در پوشش گیاهی ۰ تا ۲۰ درصد دو بازتاب متفاوت دیده شود، به عبارت بهتر در برخی موارد وابسته به شرایط بستر، بازتاب خاک بر بازتاب پوشش گیاهی چیرگی داشته باشد (Wellens, 1993) و در برخی موارد عکس این امر اتفاق بیافتد. بنابراین در پوشش‌های کمتر از ۲۰ درصد خیلی نمی‌توان انتظار داشت که منحنی بازتاب خاک و پوشش گیاهی در طیف‌های مختلف روند طبیعی خود را طی کنند (شکل ۹).

همانگونه که ملاحظه می‌شود منحنی‌های درجه دوم و سوم حالت U شکل نشان داده‌اند و راس سهمی در پوشش کمتر از ۱۰ درصد قرار گرفته است. بیشترین نوسانات و تغییرات در درصد پوشش گیاهی مشاهده شده (Observed) متعلق به بازه ۲۰-۰ درصد است، یعنی دقیقاً میزان پوششی که در اغلب مناطق بیابانی دیده می‌شود. بخش عمده این نوسانات قطعاً به شرایط بستر پوشش گیاهی (موارد مانند نوع خاک، بافت خاک، درصد سنگریزه، میزان رطوبت و ...)

جدول ۷- ضرایب مدل رگرسیونی غیر خطی برآورد درصد پوشش گیاهی در تکرارهای مختلف

Iteration	Residual SS	a	b	c	d	e	f	g	h	i
۱/۰	۶۱۶۲۶۶۰۰/۱۶	۰/۰۷	-۱۳/۱۵	۰/۰۵	-۸/۲۷	۰/۰۴	-۶/۱۱	۰/۱۳	-۱۲/۳۷	۲۲/۰۰
۱/۱	۲۹۶/۲۳	۰/۰۷	-۱۲/۸۸	-۰/۰۷	۱۰/۳۴	۰/۰۳	-۲/۱۰	۰/۰۹	-۷/۵۱	۴۱۳/۵۹
۲/۰	۲۹۶/۲۳	۰/۰۷	-۱۲/۸۸	-۰/۰۷	۱۰/۳۴	۰/۰۳	-۲/۱۰	۰/۰۹	-۷/۵۱	۴۱۳/۵۹
۲/۱	۲۹۶/۲۳	۰/۰۷	-۱۲/۸۸	-۰/۰۷	۱۰/۳۴	۰/۰۳	-۲/۱۰	۰/۰۹	-۷/۵۱	۴۱۳/۵۹

جدول ۸- خلاصه آمار مدل رگرسیونی غیر خطی در تکرار نهایی

Mean Square	Sum of Squares	DF	Source
۹۰۷/۶۵۱۸	۸۱۶۸/۸۶۶	۹	Regression
۹/۵۵۵۷۲	۲۹۶/۲۲۷۳	۳۱	Residual
	۸۴۶۵/۰۹۳	۴۰	Uncorrected Total
	۱۸۶۶/۳۱۴	۳۹	(Corrected Total)

$$R_{squared} = 1 - \text{Residual SS} / \text{CorrectedSS} = 0.84128$$

است تا ضمن پرهیز از آنالیزهای اضافی بتوان از مدل حاصله برای برآوردهای پوشش گیاهی در سالهای متفاوت با سال مورد بررسی نیز بهره برد. شبکه عصبی برخلاف روش رگرسیونی، یک روش غیرخطی به حساب می‌آید و با توجه به ماهیت آنالیزی خود می‌تواند تعداد زیادی تابع بهینه محلی داشته باشد. معمولاً یافتن تابع بهینه کلی در این مدل‌سازی بوسیله تکرار بوسیله داده‌هایی اولیه متفاوت برای تخمین مدل و از طریق خوارزمیکهای بهینه‌سازی صورت می‌پذیرد (Merikh Baiat, 2010). بنابراین در این پژوهش قبل از انتخاب تابع مدل نهایی، سعی شد مدل‌سازی با حدود ۱۰۰ عدد تصادفی که توسط تولیدکننده تصادفی عدد در نرم‌افزار SPSS 21 ایجاد می‌شد، صورت گیرد و در نهایت بهترین مدل در میان این ۱۰۰ تکرار به عنوان تابع بهینه کل (سرتاسری) در نظر گرفته شود. این قاعده برای هر دو مدل شبکه عصبی مصنوعی رعایت شد.

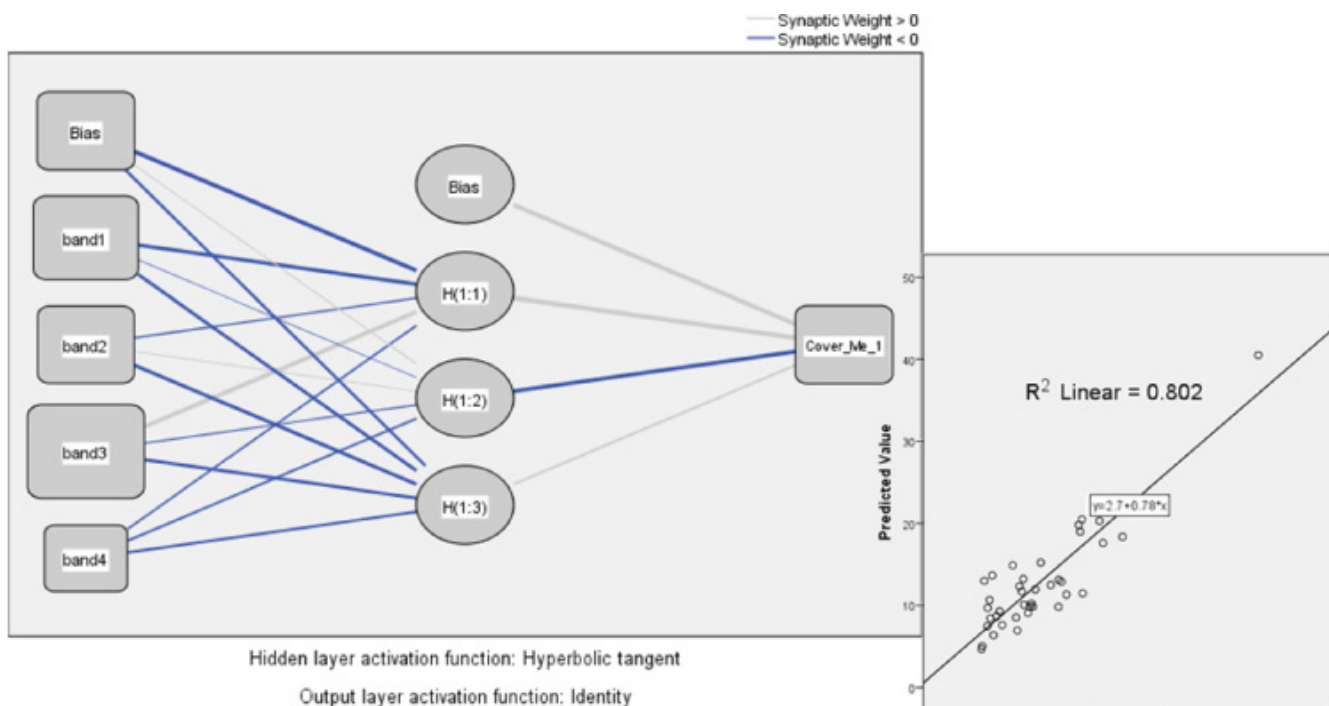
ج- ۱) شبکه عصبی مصنوعی با حسگر چندلابه‌ای: مدل حسگر چندلابه معروفترین و پرکاربردترین مدل شبکه عصبی به حساب می‌آید، بنابراین در این مطالعه، ابتدا این مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار گرفت.

در نهایت به منظور افزایش دقت در پیش‌بینی درصد پوشش گیاهی با توجه به نتایج ارائه شده در جداول (۵) و (۶) از یک مدل رگرسیونی غیرخطی چند متغیره برای پیش‌بینی درصد پوشش گیاهی در روش دوم استفاده شد (به دلیل دقت بیشتر روش دوم). رابطه (۹) فرمول خام و ابتدایی مدل رگرسیونی غیر خطی بکار گرفته شده و جدول (۷) و (۸) نتایج نهایی این مدل رگرسیونی را نشان می‌دهند.

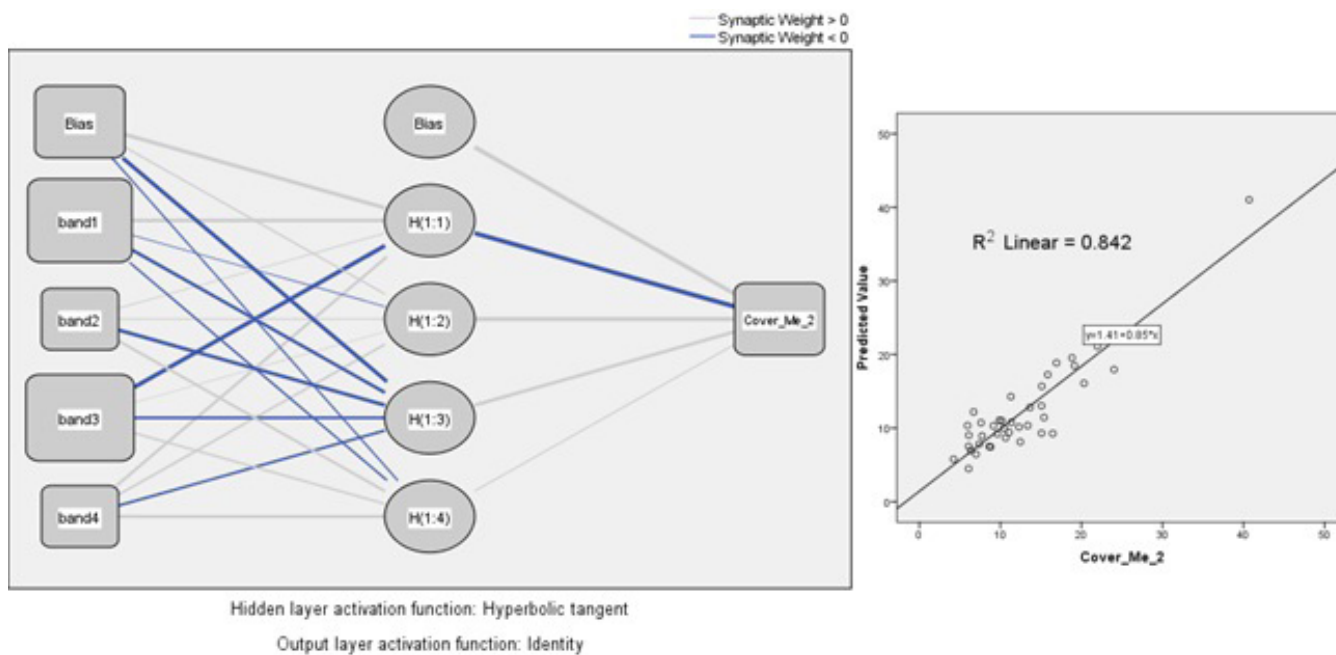
$$Cover = aGREEN^2 + bGREEN + cRED^2 + dRED \quad (9)$$

در مورد روش اول نیز مدل رگرسیونی غیر خطی مورد استفاده قرار گرفت و ضریب تعیین آن ۰/۸۰۹۱ بدست آمد. همانگونه که مشاهده می‌شود (جدول ۸)، با استفاده از مدل رگرسیونی غیر خطی تغییر قابل ملاحظه‌ای در ضریب تعیین هر دو روش دیده می‌شود به گونه‌ای که ضریب تعیین در روش از ۰/۶۸۶ به ۰/۸۰۹ و در روش دوم از ۰/۷۱۷ به ۰/۸۴۱ افزایش یافته است.

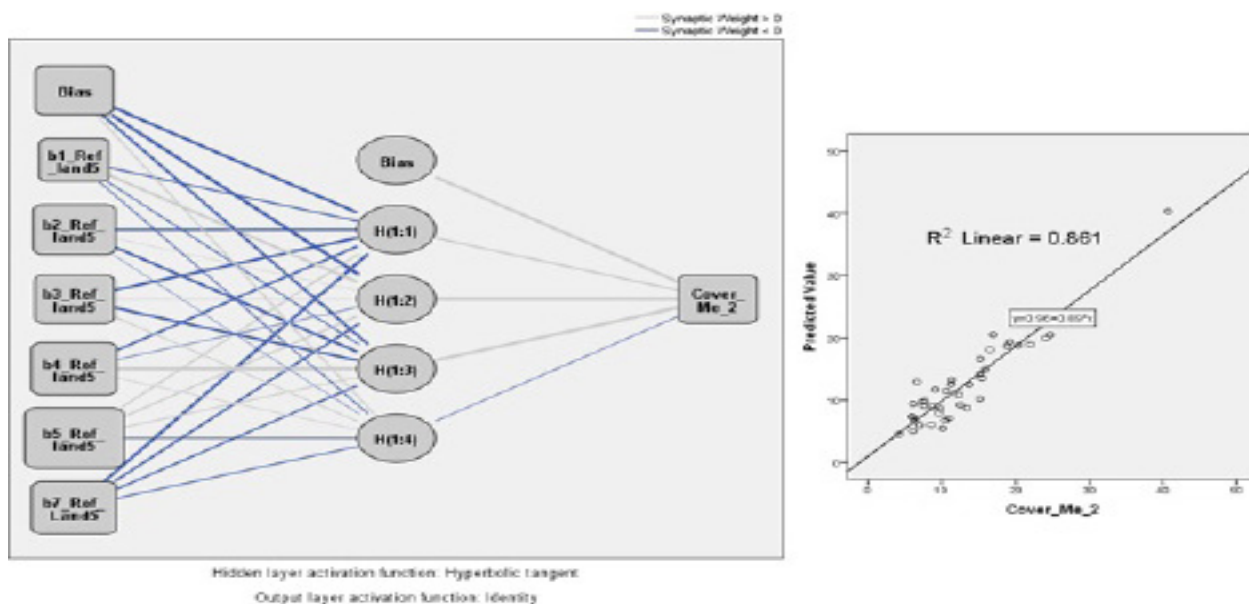
ج) شبکه عصبی مصنوعی: با توجه به نتایج رگرسیون خطی و مشابه بودن نتایج ناشی از داده‌های رقومی و بازتابندگی، در مدل‌سازی شبکه عصبی تنها از داده‌های بازتابندگی سنجنده TM استفاده شده



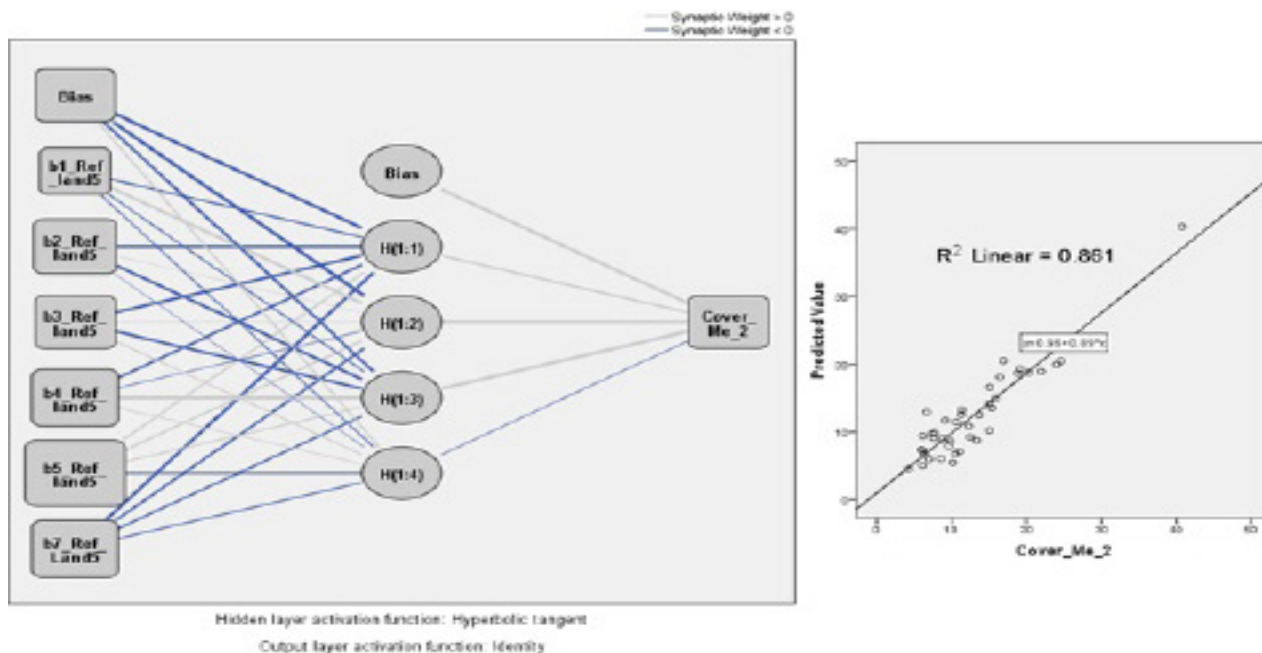
شکل ۱۰- خلاصه نتیجه مدل‌سازی درصد پوشش گیاهی در روش اول بوسیله داده‌های سنجنده LISSIII به کمک شبکه عصبی مصنوعی با حسگر چندلایه‌ای



شکل ۱۱- خلاصه نتیجه مدل‌سازی روش دوم بوسیله سنجنده LISSIII به کمک شبکه عصبی مصنوعی با حسگر چندلایه‌ای



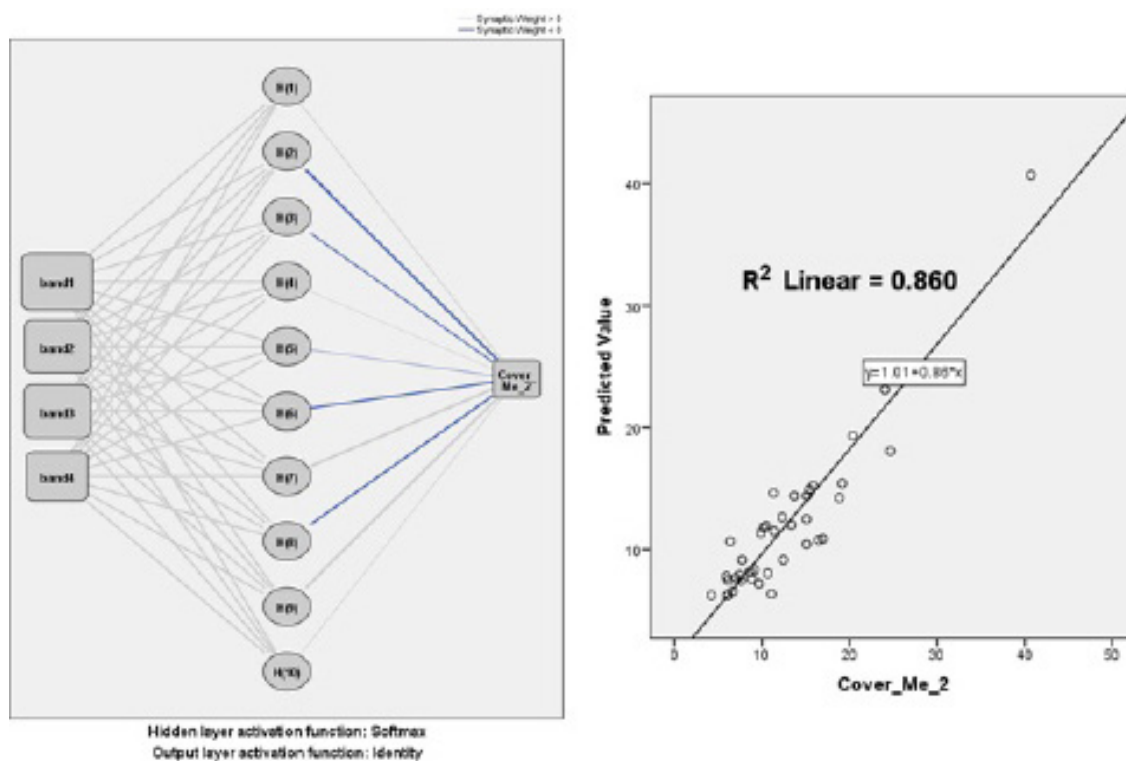
شکل ۱۲- خلاصه نتیجه مدل‌سازی درصد پوشش گیاهی در روش اول بوسیله بازتابندگی‌های سنجنده TM به کمک شبکه عصبی مصنوعی با حسگر چندلایه‌ای (عدد همراه با **b**، شماره باند را نشان می‌دهد)



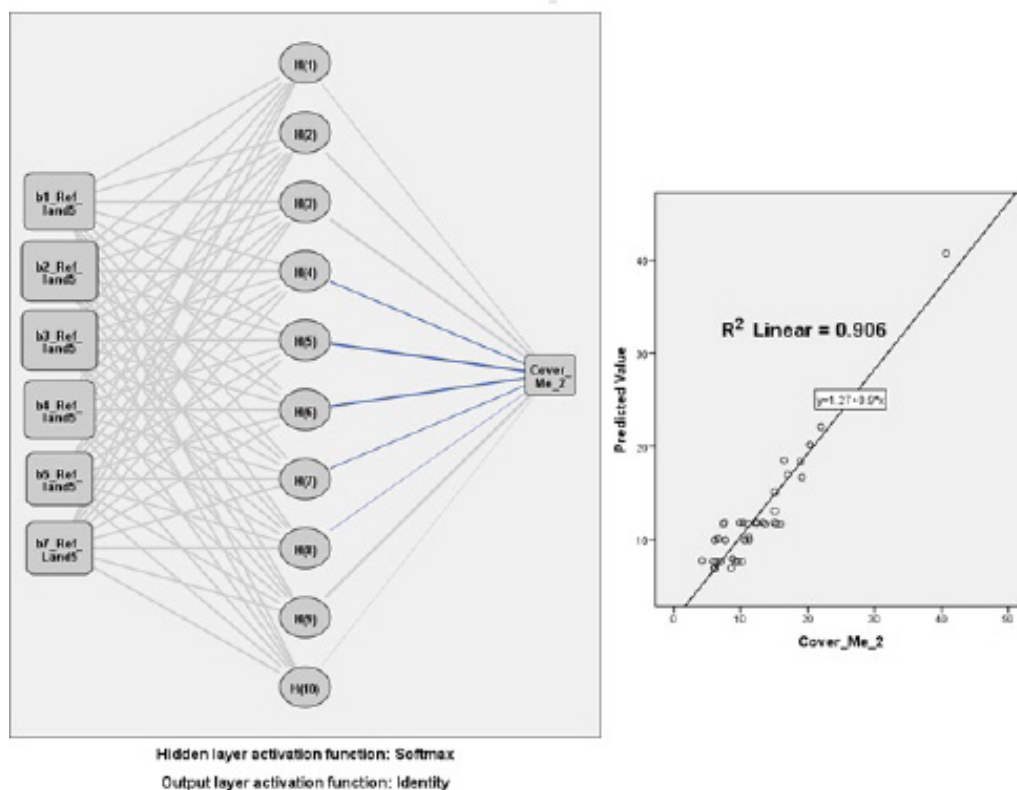
شکل ۱۳- خلاصه نتیجه مدل‌سازی درصد پوشش گیاهی در روش دوم بوسیله بازتابندگی‌های سنجنده TM به کمک شبکه عصبی مصنوعی با حسگر چندلایه‌ای (عدد همراه با **b**، شماره باند را نشان می‌دهد)

با حسگر چندلایه به طور محسوسی از روش رگرسیون چندمتغیره بهتر است به گونه‌ای که ضریب تعیین هر دو روش به بیش از ۰/۸ افزایش یافته است. در شکل (۱۲) و (۱۳) خلاصه مدل‌سازی درصد پوشش گیاهی در دو روش بوسیله داده‌های بازتابندگی سنجنده TM به کمک روش شبکه عصبی مصنوعی با حسگر چند لایه‌ای مشاهده می‌شود. در اینجا نیز ضریب تعیین مدل‌سازی به طور چشمگیری افزایش یافته است.

شکل (۱۰) خلاصه شبکه عصبی با حسگر چندلایه‌ای را در مورد داده‌های سنجنده LISSIII و روش اول تخمین درصد پوشش گیاهی نشان می‌دهد. در شکل (۱۱)، همین مدل‌سازی در مورد روش دوم تخمین پوشش گیاهی نشان داده شده است. در هر دو تعداد لایه‌های یک عدد در نظر گرفته شده است و تابع فعال نورونها تانژانت هایپربولیک انتخاب شده است. همانگونه که در شکل ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود در هر دو روش، ضریب تعیین مدل شبکه عصبی



شکل ۱۴- خلاصه نتیجه مدل‌سازی درصد پوشش گیاهی در روش دوم بوسیله داده‌های سنجنده LISSIII به کمک شبکه عصبی مصنوعی شعاعی محور



شکل ۱۵- خلاصه نتیجه مدل‌سازی درصد پوشش گیاهی در روش دوم بوسیله داده‌های بازتابندگی سنجنده TM به کمک شبکه عصبی مصنوعی شعاعی محور



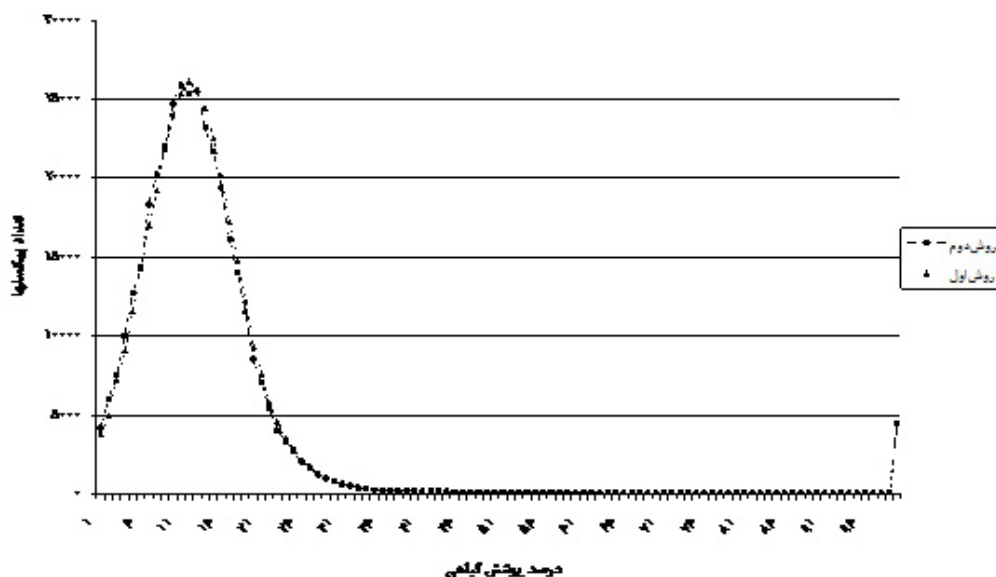
مقایسه برآورد درصد پوشش گیاهی کل منطقه در دو روش: هر چند در تمامی روش‌های مدل‌سازی این مطالعه روش دوم تخمین پوشش گیاهی برای یک پیکسل دقت مدل‌سازی بهتری از روش اول نشان داد ولی این اختلاف فاحش نبود. بنابراین به منظور مقایسه نسبی عملکرد کلی دو روش در سطح کل منطقه با استفاده از ضرایب مدل رگرسیونی برای پیکسل مرکزی (TM)، تصاویر درصد پوشش گیاهی برآورد شده برای کل منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. لازم به ذکر است با توجه به عدم وجود پوشش گیاهی منفی و همچنین پوشش گیاهی بیش از ۱۰۰ درصد در مدل اعمال شده بر روی داده ماهواره‌ای، شرطی قرار داده شد که توسط آن درصد پوشش گیاهی منفی (مثلاً در مناطق مرطوب یا رودخانه‌ها) تبدیل به ۰ درصد می‌گردید و پوشش بیش از ۱۰۰ درصد (مزارع کشاورزی) نیز به پوشش ۱۰۰ درصد تبدیل می‌شد. جدول (۹) آمار مربوط به تصاویر حاصل از هر دو روش را نشان می‌دهد.

ب-۲) شبکه عصبی مصنوعی شعاعی محور: در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) نتایج مدل‌سازی درصد پوشش گیاهی در روش دوم بوسیله داده‌های سنجنده LISSIII و TM (بازتابندگی) مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است مانند دو مدل‌سازی قبل (رگرسیون خطی، شبکه عصبی با حسگر چندلایه ای)، در اینجا نیز، مدل‌سازی روش اول درصد پوشش گیاهی، ضریب تعیین کمتری از مدل‌سازی روش دوم نشان می‌داد، بنابراین از ارائه آن خودداری شده است (ضریب تعیین روش اول در مورد LISSIII ۰/۸۲ و در مورد TM معادل ۰/۸۹۴ بدست آمده است).

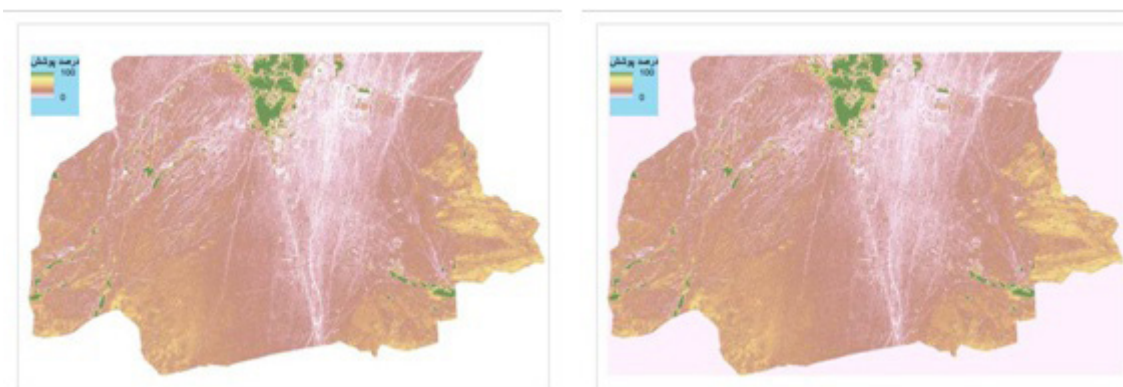
همانگونه که در شکل (۱۴) و (۱۵) مشاهده می‌شود، مدل‌سازی به روش شعاعی محور در مورد هر دو سنجنده دقت بهتری نشان می‌دهد. حتی در مقایسات ۱۰۰ تکرار دو روش نیز به وضوح روش شعاعی محور دقت مدل‌سازی بهتری نسبت به تکرارهای روش حسگر چندلایه نشان می‌داد.

جدول ۹- مقایسه آمار درصد پوشش گیاهی برآورد شده برای کل منطقه در دو روش (بوسیله رگرسیون خطی و داده‌های TM)

روش	حالت	درصد پوشش کمینه	درصد پوشش بیشینه	متوسط درصد پوشش	میانه	نما	انحراف معیار
اول	با در نظر گرفتن صفر درصد	۰	۱۰۰	۱۴/۵۶۴	۱۳	۱۲	۱۲/۷۱۶
	بدون در نظر گرفتن صفر درصد	۱	۱۰۰	۱۴/۱۶۸	۱۲	۱۲	۱۲/۶۰۳
دوم	با در نظر گرفتن صفر درصد	۰	۱۰۰	۱۴/۲۷۹	۱۲	۱۱	۱۲/۶۹۹
	بدون در نظر گرفتن صفر درصد	۱	۱۰۰	۱۳/۸۳	۱۲	۱۱	۱۲/۷۴۴



شکل ۱۶- نمودار هیستوگرام تصاویر بدست آمده از دو روش مورد مطالعه



شکل ۱۷- تصاویر حاصل از مدلسازی پوشش گیاهی در دو روش مورد مطالعه (روش اول: شکل راست؛ روش دوم: شکل چپ)

در هر سایت وضع کنیم، مثلاً جهت ترانسکت و فاصله ترانسکت‌ها از یکدیگر و فاصله ترانسکت اول از نقطه مبنا، پس از آن به سرعت می‌توان هر ترانسکت را در سایت پیاده نمود.

**ب) اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی در کل طول یا عرض یک سایت:** با توجه به نیاز به بزرگ بودن اغلب سایت‌ها مورد استفاده برای بیشتر داده‌های ماهواره‌ای در دسترس در ایران، طول و عرض این سایتها آنقدر زیاد است که عملاً اندازه‌گیری کل آن سایت مقدور نیست. شاید استفاده از ترانسکت، مساحت زیادی را تحت پوشش قرار ندهد ولی می‌توان به اندازه طول یا عرض سایت، یک نمونه‌گیری کامل انجام داد که مثلاً با افزایش طول ترانسکت بخش بزرگتری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و اغلب تغییرات تحت پوشش قرار خواهند گرفت و میانگین حاصله به واقعیت نزدیکتر می‌باشد.

**ج) سرعت در اندازه‌گیری:** در صورت استفاده از متر به جای طول ترانسکت می‌توان به سرعت طول برخوردها با پوشش گیاهی را یادداشت نمود و حتی این امکان وجود دارد که جایگاه هر برخورد نیز از ابتدای ترانسکت یادداشت شود تا در صورت نیاز در محاسبات بعدی بتوان از آن استفاده نمود.

**د) دقت در اندازه‌گیری در هر ترانسکت:** به دلیل آنکه مجموع طول برخوردها نسبت به طول کل ترانسکت، معیار درصد پوشش گیاهی است در این روش طول هر برخورد اندازه‌گیری می‌شود بنابراین در هر ترانسکت (بدون توجه به دقت نهایی) دقت اندازه‌گیری طولها بالاست. ولی در روشهایی مانند پلات، اندازه‌گیری در درون آن، مسأله دیگری به حساب می‌آید و این اندازه‌گیری به ابزار یا فرضیات خاصی نیاز دارد و در برخی موارد تخمینی از اندازه‌گیری لحاظ می‌شود که می‌تواند دقت را متاثر سازد.

**ه) تقسیم یا تفکیک ترانسکتها برای پیکسلهای مختلف:** چون اندازه‌گیری در هر ترانسکت در امتداد یک طول انجام می‌پذیرد و مکان هر برخورد و شروع و اتمام ترانسکت مشخص است، بنابراین می‌توان در صورت نیاز یک ترانسکت را به چند ترانسکت مجزا تفکیک نمود و اعداد آنها را برای داده‌های رقمی خاص (پیکسلهای ماهواره‌ای مختلف)، بکار برد. همچنین چون ترانسکتها خطی هستند، پس اگر در بین دو پیکسل قرار گرفته باشند می‌توان با توجه به جایگاه ترانسکت،

آمار درصد پوشش گیاهی مطابق با جدول (۹) در دو حالت یعنی با در نظر گرفتن پوشش صفر درصد و بدون در نظر گرفتن پوشش صفر درصد ارائه گردیده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، متوسط درصد پوشش در هر دو روش اختلاف ناچیزی با یکدیگر دارند (کمتر از ۰/۵ درصد) و اساساً با در نظر گرفتن اعداد جدول، تمیز دادن عملکرد این دو روش از یکدیگر کار مشکلی است. در صورتی که به هیس‌توگرام هر یک از این دو تصویر نگاهی داشته باشیم (شکل ۱۶)، تقریباً در کل، ارزش‌های درصد پوشش گیاهی برآورد شده بوسیله دو روش مورد استفاده، با یک آهنگ و دارای عملکرد مشابه است. شاید تنها اختلاف موجود در پوشش گیاهی ۱۲ درصد باشد (قله نمودار در شکل ۱۶) که در روش اول (نمودار مثلث‌دار) قله نمودار را تشکیل می‌دهد، ولی در روش دوم اینگونه نیست. مقایسه تعداد پیکسلها نشان می‌دهد در روش اول تعداد پیکسلهای دارای پوشش گیاهی ۱۲ درصد، ۲۶۱۲۶ عدد و در روش دوم ۲۵۳۱۳ عدد است (شکل ۱۷) و اختلاف برآوردی این دو روش ۸۱۳ عدد پیکسل یا حدود ۴۷ هکتار می‌باشد. این اختلاف ۴۷ هکتاری نسبت به مساحت ۲۲۱۱۸ هکتاری کل منطقه رقم ناچیزی (۰/۲ درصد) محسوب می‌گردد.

### بحث و نتیجه‌گیری

**درصد پوشش گیاهی برآورد شده:** مسأله اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی در درون سایت یا سایت‌های انتخابی یکی از چالشهای این قبیل مطالعات به شمار می‌رود. طبیعی است هر چه این اندازه‌گیری دقیق‌تر صورت گیرد، داده‌های مقایسه‌ای یا داده‌های میدانی دقیق‌تری بدست خواهد آمد که مدلسازی و ارزیابی نهایی را بهتر می‌سازد. در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری متوسط درصد پوشش گیاهی در درون سایت یا سایت‌های انتخابی از ترانسکت استفاده شد. هر چند هنوز هم بهترین روش اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی بین محققین مختلف مورد بحث است (Moghadam, 2001; Mesdaghi, 2004), ولی با توجه به تجربه حاصل از این تحقیق به طور خلاصه می‌توانیم به چند برتری ترانسکت نسبت به سایر روشها اشاره کنیم:

**الف) پیاده‌سازی سریع و مشخص بودن ابتدا و انتها و جایگاه:** کافی است در ابتدای اندازه‌گیری‌ها، قراردادی برای نحوه آرایش ترانسکت‌ها

دو روش شبکه عصبی هم می‌توان دید (شکل‌های ۱۰ تا ۱۵). به بیان بهتر رابطه میان تغییر پوشش گیاهی و تغییر در بازتاب‌های باندهای مختلف ماهواره‌ای در مناطق بیابانی و مناطق دارای پوشش تنک بیشتر از آنکه خطی باشد، غیر خطی است و با غیر خطی نمودن مدلسازی پوشش گیاهی، می‌توان در این مناطق با دقت بسیار بهتری به تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی مورد نظر پرداخت.

در کل وقتی دو روش را با یکدیگر مقایسه نمائیم، به نظر می‌رسد روش دوم عملکرد بهتری از روش اول نشان داده است. هر چند مطابق با شکل (۱۶) برآوردهای هر دو روش برای کل منطقه بسیار نزدیک به هم نشان داده است، اما در صورتی که خطاهای ناشی از انتخاب ترانسکتها و تصحیح هندسی را در نظر بگیریم و به تغییرات جزئی پوشش گیاهی در مناطق خشک توجه کنیم و تعدیل خطاهای ناشی از اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی را در روش دوم ببینیم و رابطه همبستگی و  $R^2$  ناشی از تمامی باندها را در تمامی پیکسلها در ذهن داشته باشیم، به نظر می‌رسد روش دوم می‌تواند روش مناسبتری برای این پژوهش باشد. هر چند قضاوت در این زمینه به بررسی‌های بیشتری نیاز دارد.

نکته جالب توجه در این پژوهش نزدیک بودن توان مدلسازی سنجنده LISSIII به سنجنده TM علی‌رغم اختلاف زمانی آن با تاریخ مطالعه و داشتن دو باند کمتر است. باید متذکر شویم در مناطق بیابانی بازتاب‌های ثبت شده در پیکسلها بیشتر از ناحیه خاک و سنگ بستر است تا پوشش گیاهی و همچنین درصد پوشش گیاهی دائمی در این مناطق به ندرت دچار تغییرات شدید می‌شود، بنابراین نباید از این شباهت بین دقت دو سنجنده با توجه به وقفه زمانی میان دو تصویر زیاد تعجب نمود. با این وجود در تمامی موارد دقت مدلسازی سنجنده TM از LISSIII بهتر نشان داده شده و حتی در روش رگرسیونی با وجود آنکه در بهترین مدل در هر دو سنجنده فقط سه باند انتخاب شده‌اند، باز هم دقت مدلسازی TM بهتر است بنابراین استفاده از آن در مطالعات مشابه توصیه می‌شود.

لازم به ذکر است مطابق با نتایج این تحقیق در مورد تصاویر تک زمانه، با توجه به پیچیده بودن مراحل محاسبه تابندگی و بازتابندگی، فقط در زمانیکه مدل حاصله قرار است در سالیان قبل و یا بعدی نیز مورد استفاده قرار گیرد، محاسبه بازتابندگی ضرورت پیدا خواهد نمود (Mather & Koch; 2004, Mather & Koch; 2011). در مواردی که قرار است مدلسازی فقط در همان مطالعه مورد استفاده قرار گیرد، لزومی به محاسبه بازتابندگی نخواهد بود (مطابق جدول (۳) و (۴) تفاوتی در دقت مدلسازی خطی دیده نمی‌شود) در مدل‌های غیر خطی مانند شبکه عصبی با توجه به تغییر شدید دامنه اعداد و بالتبع جابجا شدن تابعهای بهینه محلی، امکان ثابت کردن تاثیر نداشتن تبدیل اعداد رقومی به تابندگی و بازتابندگی وجود ندارد. ولی با بررسی‌ای که در این تحقیق صورت گرفت می‌توان اشاره کرد که تاثیر چنین تغییری مانند تاثیر در روش رگرسیونی، ناچیز است (ما موفق به کسب دقت ۰/۸۵۹ در ضریب تعیین مدلسازی پوشش گیاهی در روش دوم و اعداد رقومی باندهای سنجنده TM شدیم که به عدد ۰/۸۶۱ مربوط به بازتابندگی بسیار نزدیک است).

آنها به دو ترانسکت مجزا، برای آن دو پیکسل تقسیم نمود. در حالی که این امکان برای پلاتی که بین دو پیکسل واقع شده باشد وجود ندارد، چون جایگاه‌های برخورد یا پوشش گیاهی در پلات معمولاً مشخص نمی‌شود یا به بیان دیگر ثبت نمی‌گردد. (البته به غیر از روشهایی مانند عکاسی که تفکیک هم به دلیل تغییر در حاشیه‌های عکس کار بسیار مشکلی است).

**اعداد رقومی پیکسل‌های متناظر با درصد پوشش گیاهی:** با توجه به بزرگتر بودن سایت‌های نمونه‌برداری نسبت به ابعاد پیکسل‌های داده‌های ماهواره‌ای، مسلماً چند پیکسل در درون یک سایت قرار خواهد گرفت (شکل ۲). بنابراین از میان این پیکسلها، پیکسلی که بیشترین مساحت را اشغال می‌نمود به عنوان پیکسل مرکزی در نظر گرفته شد و اعداد رقومی در باندهای مختلف آن در برابر درصد پوشش گیاهی برآورد شده از دو روش مورد استفاده قرار گرفت. چهار پیکسل چسبیده به پیکسل مرکزی نیز در محاسبات استفاده شدند تا از دقت تصحیح هندسی اطمینان حاصل شود.

**رابطه میان بازتاب در باندهای مختلف و درصد پوشش گیاهی:** بررسی همبستگی میان تک‌تک باندهای ماهواره‌ای هر دو سنجنده و داده‌های تخمین پوشش گیاهی در هر دو روش نشان داد که رابطه میان درصد پوشش گیاهی و اعداد رقومی پیکسلها تنها برای بازتاب مادون قرمز نزدیک در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشان داده است و در سایر باندها این رابطه معنی‌دار نبوده است. گیاهان به دلیل ساختار سلولی باند مادون قرمز نزدیک را بازتاب می‌کنند (Jensen, 2007)، بنابراین معنی‌دار بودن رابطه درصد پوشش گیاهی و باند مادون قرمز نزدیک دور از ذهن نمی‌باشد. اساساً به همین دلیل در بسیاری از شاخصهای پوشش گیاهی از این باند استفاده می‌شود (Jordan, 1969, Rouse et al, 1974, Huete, 1988, Crippen, 1990, Rondeaux, 1996, Chen, 1995, Rougean & Breon, 1994, Qi et al, 1996, Goel and Quin, 1994, Broge and Leblanc, 2000, Haboudan et al, 2004, Lymburner et al, 2000). اما دو باند قرمز و سبز که در شاخصهای پوشش گیاهی مرسومند در اینجا معنی‌دار نشده‌اند. علت این امر تقریباً مشخص است، گیاهان به دلیل داشتن کلروفیل طیف قرمز را جذب می‌نمایند (Haboudan et al, 2004)، بنابراین با توجه به مکانیزمهای مقاومت به خشکی گیاهان و خشک شدن یا بخواب رفتن، بخش عمده‌ای از گیاهان در مناطق خشک و بنابراین کاهش عمده کلروفیل در فصل خشک، معنی‌دار نبودن رابطه باند قرمز و درصد پوشش گیاهی در یک منطقه خشک در تیرماه، خیلی تعجب برانگیز نمی‌باشد. دقیقاً به همین دلیل و با توجه به رابطه مثبت میان رنگ سبز گیاهان و میزان کلروفیل، معنی‌دار نشدن بازتاب باند سبز و درصد پوشش گیاهی در این ناحیه و این تاریخ توجیه می‌شود. غیر خطی نمودن رابطه برآورد پوشش بوسیله داده‌های سنجش از دور به وضوح عملکرد مدلسازی را افزایش داده است. این افزایش دقت مدل در صورت غیر خطی شدن رابطه را به وضوح در مورد هر

communities. *Journal of Arid Environments*, Vol, 67, pp: 99–88.

10. Gilabert, M.A. Gonzalez-Piqueras, J. Garcia-Haro, F.J. and Melia, J. (2002). A generalized soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 82, pp: 310-303.

11. Goel, N.S. and Quin, W. (1994). Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indexes and LAI and FPAR: a computer simulation. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 10, pp: 347–309.

12. Guerschman, J.P. Hill, M.J. Renzullo, L.J. Barrett, D.J. Marks, A.S. and Botha, E. (2009). Estimating fractional cover of photosynthetic vegetation, non-photosynthetic vegetation and bare soil in the Australian tropical savanna region upscaling the EO1- Hyperion and MODIS sensors. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 113, pp: 945–928.

13. Haboudane, D. Miller, J.R., Pattey, E. Zarco-Tejada, P.J. and Strachan, I.B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, Vol: 90, pp: 352–337.

14. Haboudane, D. Millera, J.R. Pattey, E. Zarco-Tejadad, P.J. and Strachan, I.B. (2004). Strachan Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 90, pp: 352–337.

15. Hill T. And Lewicki, P. (2006). *Statistics: Methods and Applications*. StatSoft. USA. 800p.

16. Huete, A. (2004). *Remote Sensing for Natural Resources Management and Environmental Monitoring: Manual of remote sensing*, Vol. 4, University of Arizona.

17. Huete, A.R. (1988). A soil adjusted vegetation index SAVI. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 25, pp:309–295.

18. Jensen, J.R. (2007). *Remote Sensing of the environment*, Pearson Prentice Hall, USA.

19. Jiang, Z. Huete, A.R., Didan, K. and Miura,

با توجه به نتایج حاصله، در کل به نظر می‌رسد می‌توان با اندازه‌گیری‌های دقیق درصد پوشش گیاهی در عرصه مناطق بیابانی، به مدل برآورد پوشش مناسبی دست یافت، به گونه‌ای که در این مطالعه در بهترین شرایط، ضریب تعیین ۰/۸۶۰ برای روش اول و ۰/۹۰۶ برای روش دوم بدست آمده است که با توجه به میانگین کمتر از ۱۵ درصد پوشش گیاهی در منطقه، می‌تواند نتیجه بسیار مناسبی ارزیابی شود.

#### منابع مورد استفاده

1. Adamchuk, V., Perk, R. and Schepers, J. (2004). Application of remote sensing in site- specific management Institute of agriculture and natural resources. University of Nebraska Cooperative Extension Precision Agriculture EC 702-04 .

2. Bolandnazar, S. (1388). Study on effects of landuse changes to soil features in Zavareh of Aredestan. Master Degree Thesis, Azad University of Tehran.

3. Broge, N.H. and Leblanc, E. (2000). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 76. pp: 172-156.

4. Brown, D. (1963). *Methods of Surveying and Measuring Vegetation*. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops.

5. Carlson, T.N. and Riziley, D.A. (1997). On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 62, pp: 252-241.

6. Chander, G. Markham, B.L. And Barsi, J.A. (2007). Revised Landsat5- Thematic Mapper Radiometric Calibration. *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*, Vol, 4, No, 3, pp: 494-490.

7. Chen, J. (1996). Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol, 22, pp:242–229.

8. Crippen, R.E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 34, pp: 73–71.

9. Frank, T.D. and Tweddale, S.A. (2006). The effect of spatial resolution on measurement of vegetation cover in three Mojave Desert shrub

- Algoritms (Inspiration from Nature), Nas Press, p 216.
31. Mesdaghi, M. (2004). Range Management In IRAN, Emam Reza University, Mashhad.
  32. Moghadam, M. (2001). Range and Range Management, Tehran University Publications, Tehran.
  33. Okin, G.S. (2007). Relative spectral mixture analysis— A multitemporal index of total vegetation cover. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 106, pp: 479–467.
  34. Pettorelli, N. Vik, J.O. Mysterud, A. Gaillard, J.M. Tucker, C.J. and Stenseth, N.C. (2005). Using the satellite –derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology and evolution*, Vol, 20, pp: 510-503.
  35. Qi, J. Chehbouni, A.L. Huete, A.R. Kerr, Y.H. and Sorooshian, S. (1994) A modified soil adjusted vegetation index (MSAVI). *Remote Sensing of Environment*, Vol, 48, pp: 126-119.
  36. Rondeaux, G. Steven, M. and Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 55, pp: -95 107.
  37. Rougean, J.L. and Breon, F.M. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 51, pp: 384 –375.
  38. Rouse, J.W. Haas R.H. Schell, J.A. and Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS', Third ERTS Symposium, NASA SP351- I, pp: 317-309.
  39. Shoshany, M. Kutiel, P. and Lavee, H. (1996). Monitoring temporal vegetation cover changes in Mediterranean and arid ecosystems using a remote sensing technique: case study of the Judean Mountain and the Judean Desert. *Journal of Arid Environments*, Vol, 33, pp: 21–9.
  40. Shupe, S.M. and Marsh, S.E. (2004). Cover- and density-based vegetation classifications of the Sonoran Desert. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 93, pp: 149–131.
  41. Tueller, P.T. (1989). Remote sensing technology for rangeland management application. *Journal of Range Management*, Vol, 42, pp: 453-442.
  - T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 112, pp: 3845–3833.
  20. Jingfeng Xiao, A. and Moody, A. (2005). A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 98 , pp: 237 250.
  21. Jordan, C.F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, Vol, 50, pp: 666 –663.
  22. Julien, Y. and Sobrino, J.A. (2009). The Yearly Land Cover Dynamics (YLCD) method: An analysis of global vegetation from NDVI and LST parameters. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 113, pp: 334–329.
  23. Kallel, A. Le Hégarat-Masclé, S. Ottlé, C. and Hubert-Moy, L. (2007). Determination of vegetation cover fraction by inversion of a four-parameter model based on isoline parametrization. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 111, pp: 566–553.
  24. Karnieli, A. Kaufman, Y.J. Remer, L. and Wald, A. (2001). AFRI — aerosol free vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, Vol, 77, pp: 21 –10.
  25. Lillesand, T.M. (2002). *Remote Sensing and image Interpretation*, John Wiley & Sons, Dehli, India, pp: 575-572
  26. Lymburner, L. Beggs, P.J. and Jacobson, C.R. (2000). Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol, 66, pp: 191–183.
  27. Mather, P.M. (2004). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. Third Edition, John Wiley & Sons, English, 324p.
  28. Mather, PM. and Koch, M. (2011). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. Fourth Edition, John Wiley & Sons, English. 460p.
  29. McCoy, R.M. (2005). *Field Methods in Remote Sensing*, The Guilford Press, New York.
  30. Merikh Baiat, F. (2011). Optimazation

L. Shi-lu, T. Lin-lin, W. and Xiao-jing, L. (2007). Estimation of Fractional Vegetation Cover Based on Digital Camera Survey Data and a Remote Sensing Model. J China Univ Mining & Technol, Vol: 17, pp: 0120-0116.

42. Wellens, J. (1993). Monitoring and modeling rangeland vegetation in Tunisia using satellite and meteorological data, PhD Thesis, University of Reading.

43. Zhen-qi, H. Fen-qin, H. Jian-zhong, Y. Xia,

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □