

تخمین بیوماس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: حوزه مرک، بیرجند)

- ❖ سحر صباغ زاده؛ کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- ❖ محمد زارع؛ استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- ❖ محمدحسین مختاری؛ گروه علوم خاک، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

چکیده

پوشش گیاهی به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای هر اکوسیستم به‌شمار می‌رود. تعیین بیوماس هر گیاه به‌منظور تأثیر آن بر اقلیم، فرسایش خاک و مدیریت منابع طبیعی بسیار ضروری است. هدف از این تحقیق، برآورد بیوماس با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش از دور است. در این تحقیق از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸، مربوط به اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ و مطالعات میدانی همزمان با تاریخ تصویربرداری در حوزه مرک (خراسان جنوبی) استفاده گردید. میزان بیوماس گیاه تاغ در ۳۰ پلات تصادفی اندازه‌گیری و از ۱۱ شاخص پوشش گیاهی شامل Tasselcap و DVI, IPVI, NDVI, PVI, RVI, SAVI, TSAVI, WDVI، به‌منظور برآورد بیوماس گیاه تاغ (زرد تاغ) استفاده شد. سپس با استفاده از آنالیز خوشه‌ای شاخص‌های گیاهی به سه گروه تقسیم شدند که از بین این سه گروه، شاخص SAVI و شاخص IPVI و RVI انتخاب شدند. نتایج نشان داد شاخص‌هایی که ضرایب خاک را در نظر می‌گیرند نسبت به سایر شاخص‌ها از دقت بالاتری برخوردارند. در این تحقیق با استفاده از شاخص SAVI نقشه بیوماس تهیه شد.

واژگان کلیدی: مناطق خشک، بیوماس، سنجش از دور، لندست ۸، شاخص گیاهی، آنالیز خوشه‌ای.

۱. مقدمه

ایران در کمربند بیابان‌های جهان واقع شده و بیش از دو سوم مساحت آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌پوشاند. کمبود بارش در این مناطق از تنوع اکولوژیکی آن کاسته و پوشش گیاهی با تراکم کم بر روی آن استقرار یافته‌است. انتخاب گونه‌های سازگار و مقاوم با شرایط بیابانی در راستای احیاء و ایجاد پوشش گیاهی امری ضروری است. گونهٔ تاغ یکی از گیاهان سازگار و مقاوم با شرایط بیابانی است. گونه‌های جنس تاغ (*Haloxylon spp*) در مناطق خشک و بیابانی می‌رویند و در فلات مرکزی ایران برای تثبیت ماسه‌های روان در اطراف شهرها و روستاها کاشت می‌شوند. در این مناطق، جنگل‌های طبیعی تاغ به صورت کم و بیش انبوه، پراکنده و همچنین تخریب یافته به چشم می‌خورد. کشت گونه‌های تاغ از حدود ۴۰ سال قبل شروع و در ابتدا جهت تثبیت ماسه‌های روان [۲۰] و در ادامه جهت اصلاح بسیاری از مراتع خشک و فراخشک و عرصه‌های نیمه‌خشک استفاده شد [۲۴]. بنابراین، به‌دست آوردن اطلاعات دربارهٔ وضعیت پوشش گیاهی این گونه از قبیل میزان و پراکنش و بیوماس آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. روش‌های تخمین بیوماس، به‌طور کلی، به دو دسته روش‌های اندازه‌گیری زمینی و روش‌های مبتنی بر سنجش از دور تقسیم می‌شود [۲۲]. تخمین بیوماس از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی مستلزم نمونه‌برداری مخرب است. در این روش به قطع درختان و سپس خشک کردن آن‌ها و اندازه‌گیری بیوماس نیاز است. این اندازه‌گیری‌ها می‌تواند برای مناطق کوچک به صورت نمونه برداری به کار رود و با استفاده از معادلات آلومتریک به مناطق وسیع‌تر تعمیم داده شود. با این‌که روش مذکور برای مناطق کوچک بسیار دقیق است، ولی در سطح وسیع و ملی بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر است، به گونه‌ای که می‌توان گفت انجام آن ناممکن است [۱]. دستیابی به داده‌های پایه و به روز از مراتع نیازمند

اندازه‌گیری متوالی آنان در یک دوره چندین ساله است که برای برنامه‌ریزان در سطح ملی و نیز بهره‌برداران از مراتع ارزشمند است [۲]. بنابراین، شناخت روش‌های سریع و دقیق با کمترین هزینه برای کسب این داده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سنجش از دور از جمله روش‌هایی است که توانایی ارزیابی و پایش مراتع را داشته و استخراج داده‌هایی مانند میزان تاج پوشش، نوع آن و میزان بیوماس را امکان‌پذیر می‌کند [۱۷]. به منظور کاهش اثر بازتابی سایر پدیده‌های سطح زمین و افزایش اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی، از شاخص‌های گیاهی^۱ استفاده می‌شود. شاخص‌های گیاهی براساس روابط بین باندها بنا شده‌اند. هدف از به‌کارگیری شاخص‌ها، پی بردن به ارتباط بین این داده‌ها و پدیده‌های زمینی است. ارتباط باندهای مختلف تصاویر (شاخص‌های گیاهی) اطلاعات مناسبی را از پوشش گیاهی ارائه می‌کند [۱۵].

نتایج تحقیق در زمینه استفاده از داده‌های سنجش از دور برای تخمین بیوماس در پارک ملی مدهاو در هندوستان نشان داد که رابطه معنی‌داری بین پاسخ‌های طیفی اندازه‌گیری شده به وسیله سنجش از دور و بیوماس وجود دارد. مدل‌های بیوماس طیفی توسعه یافته با استفاده از باند مادون قرمز میانی نسبت به باندهای مرئی قابل اعتمادتر است. نتایج کلی نشان داد که با توجه به پایین بودن درصد خطا بین بیوماس مشاهده شده و پیش‌بینی شده (۱۰ درصد) سنجش از دور قابلیت توانایی تخمین بیوماس را دارد [۲۸]. در تحقیقی با استفاده از داده‌های سنجش از دور تاثیر زیست‌محیطی توسعه در منطقه رباط کریم در استان تهران مورد بررسی قرار گرفت [۲۶]. در تحقیق مذکور، اثر توسعه‌ی منطقه بر پوشش گیاهی از نظر سطح پوشش گیاهی و میزان بیوماس بررسی شد. اطلاعات و داده‌های پوشش گیاهی و کاربری اراضی در سال‌های مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه گردید. میزان بیوماس با استفاده از

¹ Vegetation Indices

انتخاب مناسب‌ترین شاخص برای منطقه مورد مطالعه است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی، شهرستان بیرجند در فاصله ۱۰ کیلومتری شمال شرق شهر بیرجند واقع است. این محدوده در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۹ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۲۲ دقیقه و ۳۶ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه و ۵۷ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۵۹ دقیقه و ۵۶ ثانیه شمالی واقع شده است. مساحت این حوزه ۱۱۱۴ هکتار می‌باشد. حداقل ارتفاع حوزه مرک ۱۶۱۰ و حداکثر ارتفاع آن ۱۸۱۰ می‌باشد. غالب پوشش منطقه درمنه^۱، لاکتوکا^۲ و گونه‌های یکساله می‌باشد. میزان بارندگی سالیانه در این حوزه ۱۵۴ میلی‌متر و متوسط حداکثر دما °C ۲۴/۶ و متوسط حداقل دما در این حوزه °C ۸/۶ می‌باشد.

۲.۲. داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق جهت تهیه نقشه‌های بیوماس در زمانی مشخص از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸، تصویر سنجنده OIL-TIRS استفاده شد.

داده‌های لندست ۸ شامل ۱۱ باند می‌باشد. این ماهواره هر ۹۹ دقیقه در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتر (۴۳۸ مایل) در یک مدار قطبی به دور زمین می‌چرخد. تصویر مورد نظر در تاریخ ۲۵ آوریل سال ۲۰۱۴ زمانی که بیوماس تاغ در منطقه مطالعاتی در حداکثر رشد رویشی خود قرار داشت تهیه گردید. داده‌های تهیه شده شامل قسمتی از فریم شماره ۱۵۹-۰۳۷ می‌باشد.

شاخص‌های NDVI و SAVI اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دهنده قابلیت داده‌های سنجنش از دور در آشکار سازی تغییرات ناشی از توسعه در آن منطقه است.

برای تخمین بیوماس تالابی در جنوب چین با از بهره‌گیری از داده‌های راداری Radarsat و تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست، از مدل‌های تحلیلی و رگرسیون برای استخراج ارتباط بین داده‌های سنجنش از دور و بیوماس استفاده شد [۱۸]. نتایج نشان داد که مدل‌های استفاده شده در تصاویر Radarsat نقش مهمی در بهبود خطای ریشه دوم میانگین مربعات (RMSE) و در نتیجه افزایش دقت دارند، در حالی که استفاده از شاخص گیاهی NDVI به تنهایی ممکن است به خطاهای جدی در تخمین بیوماس بینجامد.

در پژوهشی حساسیت شاخص‌های طیفی نسبت به مشخصه حجم سرپا، جهت انتخاب بهترین شاخص طیفی گیاهی برای تهیه مدل حجم سرپا خود مورد ارزیابی قرار گرفت [۲۱]. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان داد که مجموعه شاخص‌های NDWI و Greenness به ترتیب، دارای حساسیت بیشتری در مقایسه با شاخص‌های DVI و RAI و GEMI نسبت به حجم سرپا در منطقه مورد مطالعه هستند.

شاخص‌های گیاهی به طور گسترده برای ارزیابی و پایش تغییرات بوم‌شناختی (اکولوژیکی) مانند پوشش گیاهی، بیوماس، پوشش سطح خاک و شاخص سطح برگ استفاده می‌شود [۳]. از آن جهت که تراکم پوشش گیاهی در مناطق خشک پایین است از شاخص خط خاک استفاده می‌شود. در این حالت بازتاب خاک بر تعیین میزان شاخص پوشش گیاهی اثر می‌گذارد. این شاخص‌ها واریانس طیفی ناشی از تغییرات خاک زمینه را به حداقل می‌رساند. متغیر تنظیم خاک برای تغییرات خاک زمینه در نظر گرفته می‌شود [۲۷].

هدف از این تحقیق، بررسی کارایی داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ در برآورد بیوماس تاغ‌زارهای منطقه خشک و بیابانی بیرجند با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی و

¹ *Artemisia herba-alba*

² *Lactuca orientalis*



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه

۳.۲. روش شناسی

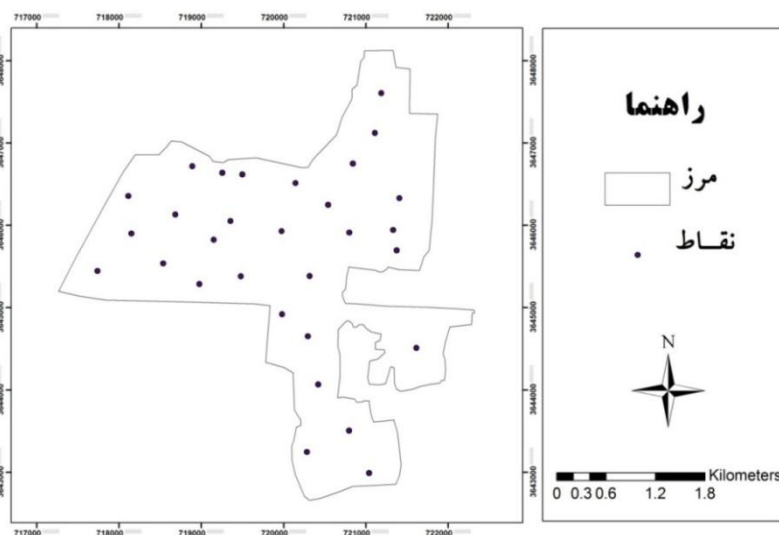
۱.۳.۲. اندازه گیری میدانی

در هر پلات 30×30 متر از ۳۰ عدد زیر پلات‌های یک متر مربعی استفاده شد. با توجه به دست کاشت بودن تاغ کاری منطقه و پراکنش نسبتاً منظم این جامعه گیاهی، نمونه برداری تصادفی نسبت به دیگر روش‌های نمونه برداری مانند خوشه‌ای ترجیح داده شد. زیر پلات‌ها به صورت تصادفی و بر روی اقطار مربع اندازه‌گیری و ثبت شد. پس از انتخاب پلات‌ها متغیرهای ارتفاع و قطر اندازه‌گیری شد و مقدار بیوماس یک درخت با روش قطع و توزین به عنوان نمونه محاسبه گردید و براساس بیوماس به دست آمده از درختان نمونه و متغیرهای درختان نمونه از قبیل ارتفاع و قطر به برقراری ارتباط بین بیوماس و متغیرهای درخت پرداخته و معادله بیوماس برای درختان نمونه به دست آمد. سپس با اعمال معادله بیوماس به دست آمده برای همه درختان پلات، مقدار بیوماس کل پلات به دست آمد. مقدار بیوماس برای این زیر پلات‌ها با توجه به مساحت پوشیده شده توسط گیاه تعیین شد. در آخر، میانگین زیر پلات‌های برداشتی یک مترمربعی، به عنوان متوسط بیوماس در پلات 30×30 متر در نظر گرفته شد.

در این تحقیق مناطق مناسب برای برداشت اطلاعات صحرایی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تجربیات مطالعات گذشته و بازدیدهای میدانی، مشخص شد (شکل ۲). اندازه‌گیری میدانی در زمان اخذ داده‌های سنجش از دور انجام پذیرفت. به منظور تعیین میزان بیوماس تاغ در زمان منطبق با تصویر (۲۵ آوریل سال ۲۰۱۴)، ابتدا ۳۰ سایت به صورت تصادفی روی کل منطقه مورد مطالعه جهت برداشت انتخاب شد. به صورت کاملاً مشابه، تعداد ۱۰ سایت دیگر نیز در منطقه مشخص شد تا از داده‌های این نقاط در تعیین صحت و دقت نقشه نهایی استفاده گردد. سپس با استفاده از یک دستگاه GPS مختصات تمامی این نقاط جهت انتقال روی لایه‌های اطلاعاتی موجود در بانک اطلاعاتی ثبت شد (شکل ۲). با توجه به دقت هندسی نسبتاً بالای تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و همچنین استفاده از دستگاه GPS با خطای کمتر از ۳ متر، ابعاد پلات‌ها 30×30 متر در نظر گرفته و به منظور محاسبه پارامترهای مورد نظر (قطر و ارتفاع و بیوماس)

جهت بررسی همبستگی داده‌های پوشش زمینی با داده‌های ماهواره‌ای، تمام نقاط برداشتی به صورت پلیگون در یک فایل وکتوری وارد شده و به رستر تبدیل شد. آن‌گاه ارزش پیکسل‌های هر یک از باندهای تصاویر شاخص‌های گیاهی که متناظر با نقاط برداشت بودند، ثبت شدند. آنگاه مقادیر پوشش زمینی اندازه‌گیری شده به عنوان متغیر وابسته و ارزش پیکسل‌های باندهای محاسباتی به عنوان متغیرهای مستقل وارد نرم افزار SPSS شدند و آنالیزهای رگرسیون خطی بر روی آن‌ها صورت گرفت تا شاخص بهینه تعیین شود.

اندازه‌گیری‌های صحرایی از آن جهت صورت می‌گیرد تا رابطه شاخص‌های گیاه تاغ (بیوماس) با مقادیر شاخص‌های تهیه شده با تصاویر ماهواره‌ای به دست آید تا بدین ترتیب با به دست آوردن همبستگی و رگرسیون بین بیوماس در محیط واقعی (نمونه‌ها) و شاخص‌های پوشش گیاهی، بیوماس تاغ در کل منطقه مورد مطالعه به دست آید [۲۶]. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شاخص‌های گیاهی محاسبه شد. سپس با استفاده از این شاخص‌ها و داده‌های زمینی مقدار بیوماس گیاه تاغ برای کل منطقه تخمین زده شد و مناسب‌ترین شاخص که بیشترین همبستگی را با بیوماس دارد، مشخص شد.



شکل ۲. پراکنش نقاط زمینی برداشت شده

مجذورخطای (RMSE) به دست آمده که کمتر از ۰/۵ پیکسل بود، تصحیحات هندسی جهت این تصاویر نیاز نشد. همچنین با توجه به این که تصاویر استفاده شده مربوط به روزهای بدون ابر بوده و نظر به استفاده از روابط شاخص‌های گیاهی که خود باعث کاهش اثر اتمسفر می‌شود، تصحیح اتمسفری انجام نشد. پس از انجام عملیات پیش پردازش، یکسان سازی تصاویر انجام شد و

۲.۳.۲. محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی

قبل از استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، بایستی آن‌ها را جهت ورود به مراحل طبقه‌بندی و پردازش آماده نمود. از آنجایی که تصاویر استفاده شده مربوط به ماهواره لندست ۸ است و این تصاویر با فرمت GeoTIFF از قبل زمین مرجع شده و فاقد خطا است [۱۷]. با این وجود، با استفاده از نقاط کنترل زمینی و محاسبه میزان میانگین

رسیدن به یک مدل رگرسیونی، نقشه شاخص‌های NDVI، DVI، RVI، WdVI، IPVI، PVI، SAVI، TSAVI با استفاده از روابط بین باندهای قرمز (R) و مادون قرمز نزدیک (NIR) و شاخص Tassel Cap در منطقه هدف در ماه آوریل سال ۲۰۱۴ تهیه گردید.

شاخص‌های Tassel Cap یک دسته متعامد از شاخص‌های طیفی هستند که روشنایی خاک را از اجزای سبز و زرد در داده‌ها جدا می‌کنند و می‌توان آن‌ها را در انواع مطالعات پوشش گیاهی، خاک، فعالیت‌های جنگل‌زدایی و شوری خاک به کار برد [۱۰].

شاخص‌های گیاهی مورد نظر با استفاده از روابط ارائه گردیده در جدول ۱ محاسبه می‌شوند.

با استفاده از نرم افزار ENVI v.5 مقادیر DN به رادیانس و سپس بازتابش طیفی تبدیل شد. سپس تصاویر براساس پلیگون منطقه مورد مطالعه برش زده شد در گام بعدی نیز اقدام به محاسبه شاخص‌های گیاهی شد.

اگرچه همه شاخص‌ها با بیوماس همبستگی نشان نمی‌دهند اما این شاخص‌ها راهی آسان و مطمئن برای استخراج اطلاعات از داده‌های سنجش از دور هستند، چراکه به دلیل راحتی استفاده از آن‌ها پردازش و تحلیل حجم عظیمی از داده‌های سنجش از دور تسهیل می‌گردد [۸].

با برنامه‌نویسی رابطه‌های هریک از شاخص‌ها در نرم افزار ENVI 5، نقشه بیوماس هر یک از این شاخص‌ها ایجاد می‌شود. در این تحقیق جهت بررسی بیوماس و

جدول ۱. شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده در تحقیق

نماد	نام شاخص	رابطه	مرجع
DVI	Difference Vegetation Index	$DVI = NIR - red$	Tucker (1979)
RVI	Ratio Vegetation Index	$RVI = NIR/red$	Jordan (1969)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$	Rouse et al. (1974)
IPVI	Infrared percentage Vegetation Index	$IPVI = NIR/NIR + red$	Crippen (1990)
PVI	Perpendicular Vegetation Index	$PVI = \sin(a)NIR - \cos(a)red$ a is the angle between the soil line and the NIR axis	Richardson & Wiegand (1977)
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	$WDVI = NIR - g * red$ g is the slope of the soil line	Clevers (1988)
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \frac{NIR - red}{NIR + red + L} (1 + L)$ L is a correction factor	Huete (1988)
TSAVI	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index	$TSAVI = \frac{s(NIR - s * red - a)}{(a * NIR + red - a * s + X * (1 + s * s))}$ a is the soil line intercept, s is the soil line slope, and X is an adjustment factor which is set to minimize soil noise (0.08 in original papers)	Baret et al. (1991)

[۲۵]. به منظور محاسبه برخی از شاخص‌های پوشش گیاهی مانند SAVI، MSAVI، TSAVI به دست آوردن معادله خط و ضرایب آن ضروری است.

۳.۳.۲. خط خاک

خط خاک خط فرضی رگرسیونی در فضای طیفی بازتاب خاک در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز است

تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره^۱، چگونگی رابطه بین شاخص‌های گیاهی و متغیر برآورد (بیوماس) مورد بررسی قرار گرفت. به منظور برازش مدل‌های رگرسیونی، پارامتر اندازه‌گیری شده بیوماس به عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های گیاهی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. شکل کلی این مدل به صورت زیر است:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + \varepsilon \quad (2)$$

که در آن: Y متغیر وابسته مورد مطالعه (بیوماس) است و xها متغیرهای مستقل (اعداد مربوط به شاخص‌ها) هستند. ضرایب متغیرهای مستقل (ضرایب رگرسیونی) با b بیان می‌شوند که نشان دهنده سهم مشارکت هر متغیر مستقل در بیان درصد پوشش گیاهی منطقه بوده و ε عدد ثابت این معادله است.

در این تحقیق با اعمال مدل رگرسیون خطی چند متغیره به روش حذف پس‌رونده^۲، مدل‌های مختلفی تولید شد که بهترین مدل با توجه به مقدار بالاتر آماره R² تصحیح شده، انتخاب گردید. پس از انتخاب مدل مناسب، متغیرهایی که می‌توانستند توجیه‌گر منطقه نسبت به بیوماس گیاهی باشند، با عنوان predictor جدا شده و ضرایب هر یک از آن‌ها نیز با عنوان مقادیر b ثبت گردید. سپس با قرار دادن میزان عدد ثابت (ε) و ضرایب رگرسیونی به دست آمده، رابطه رگرسیون خطی چند متغیره شکل گرفت و با داشتن تمامی متغیرهای رابطه (متغیرهای مستقل و ضرایب آن‌ها)، نقشه نهایی تولید گردید.

۴. نتایج

۴.۱. نتایج مربوط به برداشت زمینی

از آنجایی که اندازه‌گیری مقدار بیوماس به روش مستقیم بسیار زمان‌بر و پرهزینه است، بنابراین از روش

به‌منظور محاسبه خط خاک در یک منطقه، نخست می‌بایست پیکسل‌هایی که دارای خاک لخت بوده و هیچ پوشش گیاهی ندارند، در سطح منطقه جدا شوند. در مرحله بعد ارزش پیکسل‌های جدا شده در باند قرمز و مادون قرمز نزدیک استخراج و معادله رگرسیونی بین ارزش پیکسل‌ها در این دو باند محاسبه می‌شود. ضرایب معادله رگرسیون بیان‌کننده ضرایب خط خاک و شیب خط ترسیمی، شیب خط خاک است. در این تحقیق، به‌منظور محاسبه معادله خط خاک، ابتدا تعداد ۳۲۴ پیکسل خالص خاک استخراج و با ترسیم مقادیر بازتاب این پیکسل‌ها در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک، ضرایب خط خاک محاسبه شد.

۴.۳.۲. روابط رگرسیونی

برای به‌دست آوردن میزان بیوماس گیاهی با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، از مدل و روابط رگرسیون استفاده گردید. جهت بررسی روابط رگرسیونی و انتخاب مدل‌های مناسب، مقدار بیوماس به عنوان متغیر وابسته (Y) و شاخص‌های گیاهی مربوط به نقاط نمونه برداری استخراج و به عنوان متغیر مستقل (X) وارد نرم افزار SPSS گردید. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها مدل رگرسیونی خطی جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. سپس با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، شاخص‌ها گروه‌بندی گردید. رابطه رگرسیونی بین شاخص‌های گیاهی و بیوماس گیاهی اندازه‌گیری شده به صورت زیر است.

$$Y = a + bX \quad (1)$$

۴.۳.۲. بررسی روابط رگرسیونی بین بیوماس و

ارزش‌های طیفی متناظر در شاخص‌های گیاهی

در تحلیل‌های آماری هنگامی که بیش از یک متغیر مستقل وجود داشته باشد، بایستی از مدل‌های آماری چند متغیره استفاده نمود. در این تحقیق با استفاده از

¹ Multiple Linear Regression Analysis

² Backward

به دست آمد.

$$y = 0.7304x + 0.0297 \quad (۴)$$

با توجه به ضرایب خاک، شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه شد. مقدار ضریب L برابر ۰/۹ در نظر گرفته شد.

$$L = 1 - 2 \times 1.06 \times NDVI \times WDWI \quad (۵)$$

۳.۴. نتایج رگرسیون خطی ساده

جهت به دست آوردن معادله بین بیوماس اندازه‌گیری شده و شاخص‌های گیاهی، رگرسیون ایجاد گردید. قوی‌ترین ضریب همبستگی بین میزان بیوماس و شاخص SAVI برای تصویر ماه آوریل سال ۲۰۱۴ به میزان ۰/۹۰ و ضریب تبیین (R^2) به مقدار ۰/۹۴ است. این مقدار ضریب همبستگی در سطح معنی‌دار ۱ درصد قرار می‌گیرد. سایر شاخص‌ها نیز با بیوماس همبستگی خوبی را نشان دادند. تنها شاخص Brightness از نظر میزان دقت و همبستگی در سطح پایین‌تری قرار دارد و از نظر آماری معنی‌دار نیست.

غیرمستقیم استفاده شده است. در این روش مقدار بیوماس هر درخت با توجه به قطر و ارتفاع آن به دست آمد و با توسعه آن به کل پلات مقدار بیوماس هر پلات محاسبه شد:

$$\text{Biomass} = 0.11280H - 0.0159 \text{ DBH} - 11.003 \quad (۳)$$

که در آن:

H: ارتفاع درخت بر حسب؛ DBH: قطر برابر سینه بر

حسب متر

با توجه به برداشت‌های زمینی، مقدار بیوماس گیاه تاغ به‌طور تصادفی در ۳۰ پیکسل اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

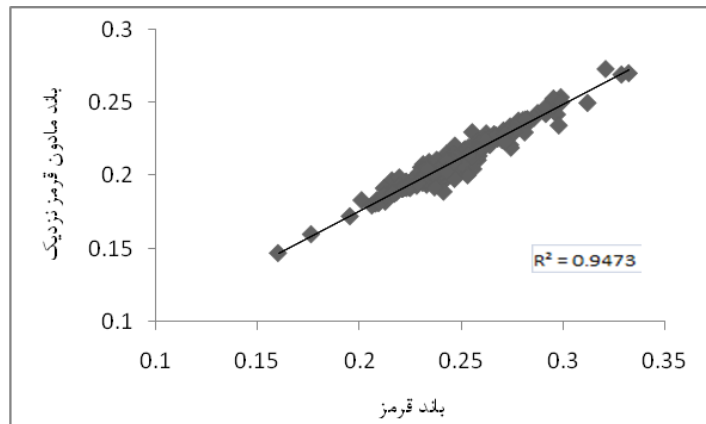
۲.۴. نتایج خط خاک

در این تحقیق برای هر تصویر به‌صورت جداگانه، ۳۲۴ پیکسل خالص خاک با استفاده از موقعیت پلات‌های خاک برداشت شد و با استفاده از فضای ویژگی باند قرمز و مادون قرمز نزدیک، عرض از مبدأ خاک و شیب خط خاک، ضرائب خط خاک محاسبه شد (شکل ۳). برای تصویر گرفته شده در ماه آوریل ۰/۲۹۷ به عنوان عرض از مبدأ و ۰/۷۳ به عنوان شیب خط خاک

جدول ۲. داده‌های بیوماس تاغ اندازه‌گیری شده در برداشت زمینی در آوریل ۲۰۱۴

شماره پلات	میانگین* (kg)	شماره پلات	میانگین* (kg)	شماره پلات	میانگین* (kg)
۱	۳۴,۹	۱۱	۵۷,۶	۲۱	۳۷
۲	۴۷,۸	۱۲	۶۹,۸	۲۲	۱۹,۵
۳	۳۲	۱۳	۵۲	۲۳	۵۷
۴	۵۵,۱	۱۴	۱۰۱,۹	۲۴	۶۹,۱
۵	۲۴	۱۵	۸۲,۶	۲۵	۵۱
۶	۲۳,۲	۱۶	۱۰,۹	۲۶	۶۶
۷	۶۸	۱۷	۱۱۰	۲۷	۲۲,۷
۸	۵۷	۱۸	۸۱	۲۸	۵۴,۸
۹	۳۶,۴۵	۱۹	۱۲۴,۵	۲۹	۵۳,۳
۱۰	۷۱	۲۰	۳۱,۱	۳۰	۴۹,۹

*میانگین زیر پلات‌ها بیانگر بیوماس گیاه تاغ در هر پلات ۳۰ متر مربعی است.



شکل ۳. موقعیت پیکسل‌های خاک در فضای ویژگی قمرمز و مادون قمرمز نزدیک

۴.۴. برآورد بیوماس براساس تصاویر ماهواره‌ای
براساس فرض‌ها و اهداف تحقیق، روابط رگرسیونی
برآورد میزان بیوماس تهیه گردید. در روابط رگرسیونی،
بیوماس در هر پیکسل تصویر ماهواره‌ای به اندازه
ماه آوریل ۲۰۱۴ به شرح زیر است:

۳. بهترین مدل‌های تخمین به‌دست آمده از آنالیز رگرسیون چند متغیره برای ماه آوریل ۲۰۱۴

جدول ۳. بهترین مدل‌های تخمین به‌دست آمده از آنالیز رگرسیون چند متغیره برای ماه آوریل ۲۰۱۴

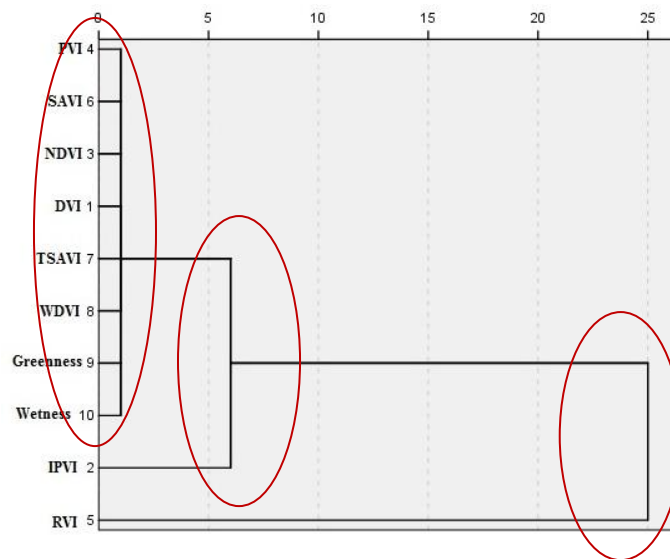
متغیر	مدل	R ²
DVI	Biomass = 3777.06 (DVI) -116.3	۰.۵۰
IPVI	Biomass = 3356.7 (IPVI) -1793.4	۰.۴۱
NDVI	Biomass = 3090.68 (NDVI) -162.75	۰.۷۵
PVI	Biomass = 5327.62 (PVI) -248.73	۰.۸۰
SAVI	Biomass = 3713.28 (SAVI) -179.55	۰.۹۰
TSAVI	Biomass = 3691.71 (TSAVI) -340.56	۰.۸۹
WDVI	Biomass = 4303.05 (WDVI) -373.52	۰.۸۰
Greenness	Biomass=5373.12(Greenness)+565.69	۰.۳۴
Wetness	Biomass = -9451.69 (Wetness)-164.25	۰.۷۰
RVI	Biomass = 1333.38 (RVI) -1480.72	۰.۷۵

۵.۴. تحلیل خوشه‌ای
برای گروه‌بندی شاخص‌های گیاهی با استفاده از نرم
افزار SPSS آن‌ها را خوشه‌بندی کردیم و نتایج برای ماه
آوریل به‌صورت جدول نمایش داده شد. این شاخص‌ها با
توجه به تحلیل خوشه‌ای ارائه شده در شکل ۴، به سه
گروه قابل تقسیم هستند:

آوریل به‌صورت جدول نمایش داده شد. این شاخص‌ها با
توجه به تحلیل خوشه‌ای ارائه شده در شکل ۴، به سه
گروه قابل تقسیم هستند:

دارد.
از بین این سه گروه شاخص SAVI از گروه اول به دلیل همبستگی بالاتر نسبت به سایر شاخص‌ها، شاخص IPVI از گروه دوم و شاخص RVI از گروه سوم برای ایجاد رگرسیون انتخاب شدند.

(۱) شاخص‌های PVI, SAVI, NDVI, DVI, TSAVI, WDVI, Greenness, Wetness,
(۲) شاخص‌های IPVI
(۳) شاخص RVI
شاخص RVI از آنجایی که بازتاب خاک زمینه را در نظر نمی‌گیرد فاصله بیشتری نسبت به دو گروه دیگر



شکل ۴. تحلیل خوشه‌ای بین شاخص‌های پوشش گیاهی در ماه آوریل ۲۰۱۴

با توجه به جدول ضرایب، معادله‌های چند متغیره بین بیوماس و شاخص‌های گیاهی به صورت زیر به دست آمد.

$$Y = -179.55 + 3713.28 (\text{SAVI}) \quad (۶)$$

$$Y = -616.86 + 3362 (\text{SAVI}) + 833.42 (\text{IPVI}) \quad (۷)$$

با توجه به این که نقشه نهایی تولید، مربوط به میزان بیوماس است، جهت دقت‌سنجی به جای استفاده از شاخص Kappa که جهت داده‌های اسمی به کار می‌رود، از ضریب RMSE و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. مدل‌های استخراج شده براساس مقادیر بالای R^2 و مقدار پایین‌تر RMSE اعتبار سنجی شدند (۵).

۶.۴. نتایج رگرسیون چند متغیره

با داشتن متغیرهای مستقل از قبیل شاخص‌های گیاهی و Tasscap روابط رگرسیونی بین میزان بیوماس بر حسب کیلوگرم در هکتار و متغیرهای مستقل (شاخص‌های گیاهی) در قسمت نتیجه‌گیری ارائه شد. مدل رگرسیونی چند متغیره در نرم افزار SPSS به روش حذف پس رونده انجام گردید در این قسمت متغیرهای مستقلی که در آنالیز خوشه‌ای از هر گروه انتخاب شدند به عنوان متغیر مستقل وارد مدل رگرسیونی شدند. روابط رگرسیونی بین بیوماس و شاخص‌ها در سطح معنی‌داری ۹۹٪ انجام شد. نتایج حاصل از برقراری رابطه رگرسیون خطی چند متغیره به روش (Forward) بر روی متغیرهای مستقل و وابسته در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. جدول ضرایب بین بیوماس و شاخص‌های گیاهی با توجه به آنالیز خوشه‌ای در ماه آوریل

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
	Constant	-179.559	10.185				-17.630
SAVI	3713.283	158.040	.976	23.496	.000	3389.552	4037.014
Constant	-616.868	107.578		-5.734	.000	-837.600	-396.137
SAVI	3362.732	153.057	.883	21.970	.000	3048.685	3676.779
IPVI	833.424	204.431	.164	4.077	.000	413.965	1252.882

جدول ۵. مقادیر ضریب همبستگی و RMSE برای مدل‌های انتخاب شده برای ماه آوریل

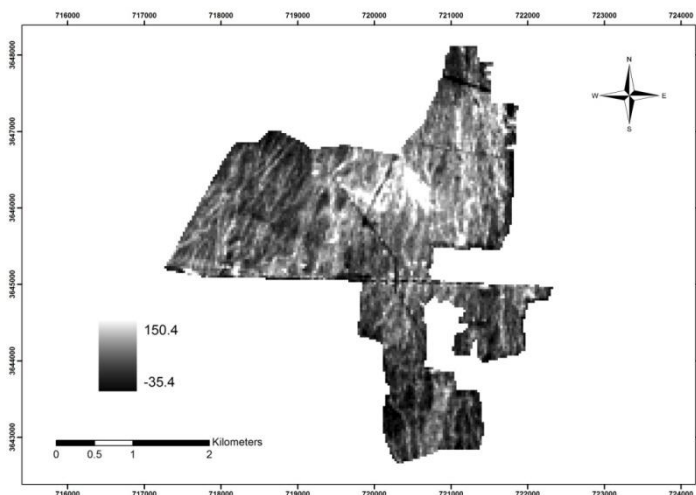
مدل	R ²	RMSE
Y = -179.55 + 3713.28 (SAVI)	۰/۵۵	۱۶/۲۸
Y = -616.86 + 3362 (SAVI) + 833.42 (IPVI)	۰/۶۶	۱۴/۹

۷.۴. نقشه بیوماس گیاهی

با استفاده از مدل مذکور بر روی شاخص‌های گیاهی شرکت کننده در مدل، نقشه بیوماس گیاهی در منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

با توجه به ضرایب معادله چند متغیره بین بیوماس و شاخص‌های گیاهی، مدلی که بیشترین R² و کمترین RMSE را دارد، به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد:

$$Y = -616.86 + 3362 (SAVI) + 833.42 (IPVI) \quad (A)$$



شکل ۵. نقشه بیوماس با استفاده از معادله رگرسیون چند متغیره

۵. بحث و نتیجه گیری

از آن جایی که در این مطالعه نحوه محاسبه بیوماس تاغ مطرح است، اندازه‌گیری میدانی بیوماس به روش مخرب باعث آسیب به جنگل‌های دست کاشت تاغ می‌گردد. از این رو مقدار بیوماس هر درخت با توجه به قطر و ارتفاع آن به دست آمد و با بسط آن به کل پلات، مقدار بیوماس هر پلات محاسبه شد.

با توجه به اینکه روش‌های زمینی محاسبه بیوماس بسار هزینه‌بر و مستلزم صرف زمان زیاد هستند، ارائه روش‌های مبتنی بر استفاده از تصاویر سنجش از دور در نظر گرفته شد.

سنجش از دور توانایی اندازه‌گیری بیوماس را در مقیاس‌های مختلف دارد. نیاز کاربران، ویژگی‌های داده‌های سنجش از دور، وسعت منطقه مورد مطالعه و محدودیت‌های اقتصادی، از مهمترین عواملی هستند که بر روی انتخاب روش تخمین بیوماس موثر هستند.

بیوماس جنگل‌های گیلان با استفاده از مولفه‌هایی همچون ارتفاع و قطر درخت در ۲۸ پلات به ابعاد 30×30 متر با استفاده از روش غیر مخرب اندازه‌گیری شد و با برقراری ارتباط بین زیست توده و متغیرهای درخت و اعمال معادله زیست توده به دست آمده برای همه درختان پلات، مقدار زیست توده کل به دست آمد [۱].

با توجه به مطالعات صورت گرفته به‌وسیله برخی از پژوهشگران، شاخص NDVI نمی‌تواند به خوبی بیانگر درصد پوشش گیاهی در مناطق خشک باشد و شاخص‌هایی که بازتاب خاک را در نظر می‌گیرند با دقت بیشتری می‌توانند درصد پوشش گیاهی را تخمین بزنند [۹]. در تحقیق دیگری که در ایالت کلرادو آمریکا انجام شد، دقت شاخص NDVI نسبت به سایر شاخص‌های خط خاک در تخمین درصد پوشش گیاهی بیشتر برآورد شد [۱۲].

در مطالعه دیگری ثابت شد که شاخص $TSAVI_2$ ، همبستگی بالایی با بیوماس نسبت به شاخص‌های دیگر دارد و شاخص‌های گیاهی که برای باند مادون قرمز بیشترین وزن را در نظر می‌گیرند و از ضرایب رگرسیونی α و β استفاده می‌کنند، با دادن ارزش بیشتر به باند مادون قرمز قادر به

برآورد میزان بیوماس با دقت بالاتری هستند [۸].

در مطالعه‌ای مشخص شد که دو شاخص NDWI و Greenness، دارای حساسیت بیشتری نسبت به شاخص‌های DVI, RAI, GEMI در برآورد حجم سرپا هستند [۱۹]. شاخص‌های $MSAVI$ و $TSAVI$ همبستگی بالایی با تاج‌پوشش در مناطق خشک دارند. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به علت اثر سایه ایجاد شده توسط اندام‌های هوایی و جذب نور قرمز توسط برگ‌ها و ساقه‌ها (با وجود زیاد بودن روشنایی سطح خاک)، شاخص‌های این گروه توانایی خوبی در برآورد مقادیر کم پوشش گیاهی دارند [۲۴]. علت این امر کم شدن اثر بازتاب خاک زمینه از طریق اعمال نمودن ضریب L اصلاحی است [۵].

از آن‌جا که منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، خشک و دارای پوشش کم و تنک شامل جنگل‌های تنک تاغ است، به نظر می‌رسد که اثر زمینه‌ای خاک به مقدار زیادی وجود داشته و از این رو شاخص‌های برتر، آن‌هایی هستند که اثر زمینه‌ای خاک در آن‌ها دیده شده است، مانند شاخص‌های $SAVI$, $TSAVI$, PVI , $WDVI$. این شاخص‌ها به سهولت تغییرات پوشش گیاهی مناطق خشک و بیابانی را تشخیص داده و تغییرات آن را در طول زمان بررسی می‌نمایند. از آن‌جا که در این شاخص‌ها ضرایب خط خاک به کار رفته می‌شود، اثرات منفی خاک زمینه‌ای به خوبی حذف شده و در آن تفکیک پوشش گیاهی با دقت بالاتری صورت می‌گیرد. شاخص‌های NDVI و $IPVI$ نیز بعد از این شاخص‌ها، همبستگی خوبی با میزان بیوماس در مناطق بیابانی نشان دادند. اما شاخص‌های $Brightness$ و $Wetness$ همبستگی خوبی با میزان بیوماس نشان نداده و در مدل مورد استفاده قرار نگرفتند. با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات پوشش گیاهی گذشته منطقه، امکان بررسی پوشش گیاهی با روش‌های سنتی وجود ندارد، اما استفاده از فناوری سنجش از دور، این امکان را فراهم نمود تا با دقت قابل قبولی بیوماس جنگل تاغ برآورد شده و وضعیت پوشش گیاهی گذشته منطقه مورد مطالعه مشخص شود.

References

- [1] Amini, J., and Sadeghi, Y. (2013). Optical and radar satellite imagery for modeling forest biomass of northern Iran. *Remote Sensing and GIS Iran*, 4(4), 69- 82.
- [2] Amiri, F., and Yegane, H. (2011). Evaluation of vegetation indices for preparing vegetation cover percentage in semi-arid lands of Central Iran (Case study: Ghareh Aghaj watershed). *Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources)*, 65 (2), 175 -189.
- [3] Arzani, H. (1998). National Assessment Guidelines of rangelands of the different climate zones. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran.
- [4] Baret, F., and Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 35(2-3), 161–173.
- [5] Baret, F., Jacquemoud., S., and Hanocq., J. F. (1993). About the soil line concept in remote sensing. *Advances in Space Research*, 13(5): 281-284.
- [6] Clevers, J. G. P. W. (1988). The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 25(1), 53-70.
- [7] Crippen, R. E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34(1), 71-73, ISSN 0034-4257, [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(90\)90085-Z](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(90)90085-Z).
- [8] Darvishzade, R., Matkan, A.nA., Hoseiniasl, A., and Ebrahimi Khosfi, M. (2012). Estimation of vegetation fraction in the Central arid region of Iran using satellite images (Case study: Sheitoor basin, Bafgh). *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 2(1), 25-38.
- [9] Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Atzberger, C., and van Wieren, S. (2008). Estimation of vegetation LAI from hyperspectral reflectance data: Effects of soil type and plant architecture. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, 358-373.
- [10] DeRose, R. J., Long, J. N., and Ramsey, R. D. (2011). Combining dendrochronological data and the disturbance index to assess Engelmann spruce mortality caused by a spruce beetle outbreak in southern Utah, USA. *Remote Sensing of Environment*, 115, 2342–2349. doi: 10.1016/j. rse.2011.04.034
- [11] Farzadmhr, J., Arzani, H., and Nazari Samani, A. A. (2005). An Investigation of the Capability of Multi-temporal Data of Landsat 7 Satellite in Estimating Vegetation Cover and Production (Case study: Arid Region, Saveh, Bakhshali-Nemati). *Iranian Journal of Natural Resources*, 58 (3), 719-729.
- [12] Groeneveld, D. P., and Baugh, W. M. (2007). Correcting Satellite data to detect vegetation signal for eco-hydrologic analyses. *Journal of Hydrology*, 344. 135- 145.
- [13] Huete, A. R. (1988). A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295-309, ISSN 0034-4257, [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442578890106X>)
- [14] Ishiyama, T., Nakajima, Y., Kajiwara, K., and Tsuchiya, K. (1997). Extraction of vegetation cover in an arid area based on satellite data. *Advances in Space Research*, 19(9), 1375-1378.
- [15] Jackson, R. D., Slater, P. N. and Pinter, P. Jr. (1983). Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote sensing of Environment*, 13(3), 187-208.
- [16] Jordan, C. F. (1969). Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. *Ecology*, 50(4), 663–666. <http://doi.org/10.2307/1936256>
- [17] Khosravi, M. R., Keshavarz, A., Rostami, H., and Mansouri, S. (2014). Statistical fused Landsat satellite images for coloring high-resolution band. 20th Computer Society of Iran Computer Conference (CSICC), 2-4 March, 2015, Mashhad, Iran.
- [18] Li, X., Gar-On Yeh, A., Wang, S., Liu, K. Liu, X., Qian, J., and Chen, X. (2007). Regression and analytical models for estimating mangrove wetland biomass in South China using Radarsat images. *International Journal of Remote Sensing*, 28, (24), 5567–5582.

- [19] Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (7), 1297–1328.
- [20] Maxwell, E. L. (1976). A remote rangeland analysis system. *Journal of Range Management*, 29(1), 66 – 73.
- [21] Mohammadi, J., and Shataee, Sh. (2009). Sensitivity evaluation of spectral vegetation indices using sensitivity functions for stand volume estimation. *Wood and Forest Science and Technology*, 16(2), 101-120.
- [22] Nik Nahad, H. (2002). Effects of *Haloxylon* plantation on soil characteristics and vegetation cover of Qom. MSc thesis. Faculty of Natural Resources. Tarbiat Modarres University, pp. 67.
- [23] Rafie Emam, A., Zehtabian, Gh. R., and Ehsani, A. H. (2004). Study of the planting of crops and vegetation cover in margins of Damghan playa. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 11 (3), 323-341.
- [24] Rahimizadeh, A., Farzadmehr, J., Rostagi, A. A., and Ramazani Gasak, M. (2010). Comparison of effects of planting *Haloxylon spp.* and *Atriplex spp.* on the characteristics of vegetation cover and rangelands soil (Case study: Salemabad, Sarbishe, Iran). *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 1(2), 1-13.
- [25] Richardson, A. J., and Wiegand, C. L. (1977). Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12):1541-1552.
- [26] Rodgarmi, P., Khorasani, N. A., Monavari, S. M., and Nori, J. (2009). Environmental impact prediction using remote sensing images and techniques. *Journal of Environmental Science and Technology*, 11 (1), 161-172.
- [27] Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-1 Symposium NASA, NASA SP-351, Washington DC, 309-317.
- [28] Roy, P. S., and Ravan, Sh. A. (1996). Biomass estimation using satellite remote sensing data—An investigation on possible approaches for natural forest. *Journal of Biosciences*, 21(4), 535-561.
- [29] Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, (2), 127–150, DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.