

## بررسی تأثیر روش‌های مختلف تصحیح اتمسفری در برآورد زی توده جنگل با استفاده از شاخص‌های گیاهی

اسماعیل مرادی امام‌قیسی\*<sup>۱</sup> و امیراسلام بنیاد<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. (ismaeil.moradi@yahoo.com)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. (bonyad@guilan.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱

## چکیده

مقدمه و هدف: بازتاب سطح زمین به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر شرایط جوی مانند بخار آب و ذرات معلق در هوا است. به ویژه، اثرات جذب و پراکندگی زمانی قوی‌تر می‌شوند که ویژگی‌های هدف، اجسام غیر درخشان مانند مناطق آبی یا پوشش گیاهی باشند؛ بنابراین به عنوان رویکرد سنجش از دور، تصحیح اتمسفر برای به حداقل رساندن این اثرات و تبدیل مقادیر عدد رقومی به بازتاب سطحی مورد نیاز است. این پژوهش با هدف بررسی چهار مدل تصحیح اتمسفریک، شامل (۱) تفریق شی تیره (DOS)، (۲) تحلیل اتمسفری خط دید سریع ابرمکعب‌های طیفی (FLAASH)، (۳) شبیه‌سازی دوم سیگنال ماهواره‌ای در طیف خورشیدی (6SV)، (۴) مدل تصحیح توپوگرافی اتمسفر (ATCOR) و مقایسه آنها با تصویر اصلی سنجنده OLI برای تخمین مقدار زی توده روی زمینی (AGB) جنگل سری ۱۱ آواردیم حوزه نه سفارود استان گیلان انجام شد تا اثربخشی روش‌های تصحیح اتمسفریک برای ماهواره Landsat ۸ بررسی شود.

مواد و روش‌ها: برای برآورد زی توده، تعداد ۲۶۶ قطعه نمونه ۳۶۰۰ مترمربعی با ابعاد شبکه ۳۰۰ × ۳۰۰ متر به‌صورت منظم تصادفی در عرصه پیاده شد. برای نمونه‌برداری و پیدا کردن قطعات نمونه از دستگاه GPS دستی (مدل Garmin GPS MAP 64s با دقت  $\pm 3$  متر) استفاده شد و برای این کار قبل از شروع آماربرداری طول و عرض جغرافیایی نقاط (قطعات نمونه) را وارد دستگاه GPS کرده و سپس با استفاده از دستگاه فوق قطعات نمونه در عرصه مشخص و مشخصه‌های قطر برابر سینه، ارتفاع درختان و درختچه‌های موجود (قطر بیش از ۷/۵ سانتی‌متر) اندازه‌گیری و سپس در فرم‌های مربوطه ثبت شد. تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ از سایت جهانی USGS استخراج شد. انتخاب تصاویر با توجه به فصل، میزان حداقل پوشش آبری و همچنین در فصل رویش نزدیکی به زمان حداکثر سبزی‌نگی انجام شد. این تصاویر در سطح LIT ارائه شده و با نقشه‌های رقومی کاملاً انطباق دارد. در این تحقیق از ۷ بانده سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به گذر/ردیف شماره ۱۶۶/۳۴ استفاده شده است. ماهواره ترا قبل از عبور ماهواره لندست ۸ بر فراز

ایران با اختلاف زمانی حدود نیم ساعت به وقت محلی تهیه تصویر می‌نماید. با توجه به پایدار بودن شرایط اتمسفر در این اختلاف زمانی کم امکان استفاده از اطلاعات MODIS هم گام با لندست ۸ وجود دارد. همچنین در این پژوهش از سه محصول روزانه MODIS برای هر یک از تصاویر لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر، شامل: MOD04 (ضخامت نوری ذرات معلق در محدوده ۵۵۰ میکرومتر)، MOD05 (بخار آب) و MOD07 (ازن کل)، استفاده شد. DEM حاصل از ASTER با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از سایت جهانی USGS دریافت شد. از مدل DEM به‌طور مستقیم در روش تصحیح اتمسفری ۶SV استفاده گردید. همچنین برای روش تصحیح اثر اتمسفر ATCOR مدل DEM جهت تهیه نقشه شیب، جهت، دید آسمان مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مدل تصحیح اتمسفریک بر مبنای کد انتقال تابشی ۶SV در بیشتر شاخص‌های گیاهی حاصله از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ عملکرد مطلوبی داشته است. بالاترین نتایج آنالیز همبستگی را شاخص ARVI حاصل از مدل تصحیح اتمسفری ۶SV با ضریب همبستگی ۰/۸۰۱ به خود اختصاص داده است. همچنین در حالت استفاده از روش FLAASH بیشترین و کمترین میزان همبستگی را به ترتیب شاخص‌های ARVI (۰/۷۷۹) و RVI (۰/۵۸۶) به خود اختصاص داده‌اند. در روش تصحیح اتمسفریک DOS یا شیء تیره بیشترین و کمترین میزان همبستگی به ترتیب مربوط به شاخص‌های GARI (۰/۷۶۲) و EVI (۰/۵۱۸) است و در آخر در روش ATCOR بیشترین و کمترین میزان همبستگی به ترتیب مربوط به شاخص‌های NDVI (۰/۷۳۲) و GNDVI (۰/۴۵۴) است. به‌طور کلی، در برآورد مقدار زی توده جنگل، مدل تصحیح اتمسفریک ۶SV با کمترین درصد RMSE (۱۵/۰۴ درصد) بهترین عملکرد را نشان داد و پس از آن مدل‌های ATCOR، FLAASH و DOS بیشترین دقت را داشتند.

نتیجه‌گیری کلی: برآورد و پایش میزان بیوماس روی زمینی برای مطالعات تغییر اقلیم، تولید چرخه کربن، تخصیص مواد غذایی و انباشت سوخت، مطالعات رفتار آتش و ... در اکوسیستم ضروری است. همچنین اعمال تصحیحات اتمسفری بر روی باندهای اصلی تصاویر در فرایند پیش‌پردازش قبل از طبقه‌بندی و استخراج شاخص‌های گیاهی جهت رفع اثرات ناخواسته اتمسفر امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است و سبب بهبود صحت نتایج می‌شود. از نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان پیشنهاد کرد که مدل تصحیح اتمسفریک ۶SV، با ادغام بخار آب و عمق نوری آئروسول حاصل از محصولات MODIS، برای تخمین زی توده روی زمینی بر اساس داده‌های سنجنش‌ازدور مناسب‌تر است، به‌ویژه هنگام استفاده از داده‌هایی که در تابستان به‌دست می‌آیند، زمانی که بخار آب و دما هر دو بالا است و تاج پوشش جنگل در توسعه کامل است. در نهایت، پیشنهاد می‌شود که از مدل تصحیح اتمسفریک ۶SV برای برآورد زی توده روی زمینی جنگل مورد بررسی بر اساس داده‌های سنجنش‌ازدور استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** اتمسفر، زیست توده، لندست ۸، طبقه‌بندی، ۶SV.

روش‌های تصحیح اتمسفریک در دهه‌های اخیر توسعه داده شده است (Roy et al., 2014). به‌طور کلی، این روش‌ها به دو دسته کلی و مدل‌های فیزیکی تقسیم می‌شوند. روش‌های کلی از اطلاعات خود تصویر در تصحیح استفاده می‌کند و روش‌های فیزیکی بر مبنای مدل انتقال تابشی اتمسفر عمل می‌نمایند (Canty, 2008). تصاویر حاصل از سنجنده تصویربردار عملیاتی (Operation Land Imager (OLI)) ماهواره لندست ۸ از جنبه کالیبراسیون، نسبت سیگنال به نویز، قدرت تفکیک طیفی و طول موج‌های طیفی باریک‌تر نسبت به نسل پیشین پیشرفت زیادی کرده است (Roy et al., 2014)، اما در محاسبه بخار آب، ازن و عوامل مؤثر در جذب و پخش اتمسفر ضعیف عمل کرده است (Hu et al., 2014). برای حل این مشکل، امکان استفاده هم‌زمان از اطلاعات اتمسفری تهیه‌شده از طریق سنجنده MODIS ماهواره ترا به دلیل اختلاف زمانی محدودی که با لندست ۸ دارند؛ فراهم شده است. زی‌توده، شاخص مهمی در ارزیابی مقدار استفاده تجاری از جنگل‌ها و مراتع محسوب می‌شود؛ بنابراین، تخمین ذخایر زی‌توده جنگلی علاوه بر کاهش انتشار آلاینده‌های جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها، در مدیریت پایدار جنگل نیز نقش بسزایی دارد (Pan et al., 2013). جنگل‌ها مقدار زیادی کربن را ذخیره می‌کنند و نقش مهمی در سامانه جهانی آب‌وهوا دارند (Pan et al., 2013). نمونه‌برداری زمینی برای برآورد مقدار زی‌توده در مقیاس‌های بزرگ به‌صرفه نیست و تنها برای اطمینان از دقت و صحت برآورد مقدار زی‌توده به کمک استفاده از روش‌های سنجش‌ازدوری به‌صورت محدود انجام می‌پذیرد. محدودیت‌های اندازه‌گیری‌های زمینی در برآورد مقدار زی‌توده موجب افزایش تمایل به استفاده از سنجش‌ازدور برای حل این مسئله شده است. Lohrabi et al. (2018) قابلیت تصاویر سنجنده OLI

تصاویر ماهواره‌ای امکان پایش پوشش زمین در مقیاس‌های مختلف را فراهم کرده است. تصویربرداری به‌صورت مکرر از سطح زمین با قدرت تفکیک مکانی مختلف توسط ماهواره‌ها، محاسبه پوشش زمین در مقیاس وسیع را ممکن کرده است (Feng et al., 2013; Roy et al., 2014). بازتاب سطحی تصاویر ماهواره‌ای با هندسه دید سنجنده، انعکاس پدیده‌های مجاور و شرایط اتمسفر در زمان تصویربرداری تغییر می‌یابد (Mask et al., 2006). بسته به شرایط اتمسفر، استفاده از بازتاب سطحی چندان دقیق نیست. به دلیل وجود نویز، سایه و اطلاعات ناخواسته بر روی تصاویر لندست، انعکاس پدیده‌های ثبت‌شده در بعضی موارد واقعی نیستند. برای رفع این اطلاعات ناخواسته در حین ثبت مستقیم انعکاس بر روی سنجنده در ماهواره‌های سری لندست اقدام مؤثری انجام نشده است (Mask et al., 2006)؛ بنابراین انعکاس پدیده، مشاهدات قوی‌تری را از شرایط مختلف سطح زمین فراهم می‌آورد. در این شرایط اعداد رقومی ثبت‌شده، نشان‌دهنده انعکاس واقعی پدیده‌های مختلف سطح زمین نیستند. با اعمال ضرایب کالیبراسیون دقیق بر روی تصاویر، امکان تبدیل اعداد رقومی به مقادیر انعکاس بالای اتمسفر (Top of Atmospher (TOA)) وجود دارد (Chander et al., 2009). به دلیل اثرات پخش و جذب اتمسفر بر روی انرژی ثبت‌شده، مقادیر TOA، با انعکاس واقعی پدیده‌های سطح زمین اختلاف دارد (Roy et al., 2010)؛ بنابراین انتخاب مدل تصحیح اتمسفریک کارآمد و معقول برای پردازش و استخراج اطلاعات مفید از تصاویر ضروری است (Hu et al., 2014). اعمال تصحیحات اتمسفریک قبل از محاسبه شاخص‌های گیاهی امری ضروری و کارآمد است.

۳۱/۴۵ کیلوگرم و مقدار سطح برگ را ۰/۸۶۸ مترمربع در هکتار برآورد کردند. در پژوهشی Nguyen et al. (2015) سه روش تصحیح اتمسفری متداول را در بهبود برآورد زی توده جنگل‌های Gongju و Sejong واقع در کره جنوبی با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مدل تصحیح اتمسفریک SV6 (Second Vector Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum) برتر از دیگر مدل‌هاست. (Muchsin et al. 2019) در پژوهشی به مقایسه دو روش تصحیح جوی SV6 و FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube) تأثیر آنها را بر پوشش گیاهی در شالیزارهای منطقه Subang پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل انجام شده بر روی پاسخ طیفی تصویر تصحیح شده اتمسفر نشان داد که مدل SV6 دقت بهتری برای پاسخ طیفی از فاز رشد برنج در مقایسه با مدل FLAASH دارد. (Nuorodini et al. 2017) در پژوهشی روش‌های تصحیح اتمسفریک SV6، FLAASH و DOS (Dark Object Subtraction) را در برآورد مقدار تراکم تاج پوشش جنگل‌های هیرکانی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل SV6 کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها در برآورد مقدار تراکم تاج پوشش جنگل دارد.

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر روش‌های تصحیح اتمسفریک بر داده‌های سنجنده OLI لندست ۸ در برآورد مقدار زی توده روی زمینی جنگل‌های شفارود است. برای دستیابی به این هدف، ابتدا شاخص‌های گیاهی از تصاویر حاصل از اعمال مدل‌های تصحیح اتمسفریک SV6، FLAASH، ATCOR (Atmospheric correction) و تصاویر اصلی بدون اعمال تصحیح تهیه شده و سپس با مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی ارزیابی و اعتبارسنجی انجام

ماهواره لندست ۸ را در تهیه نقشه تیپ جنگل‌های زاگرس مرکزی (ذخیره‌گاه چارطاق اردل) را ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی آنها نشان داد تصاویر این سنجنده با توجه به تنوع زیاد گونه‌های گیاهی منطقه، قابلیت متوسطی برای تهیه نقشه تیپ جنگل را دارند. (Agapiou et al. 2011) در پژوهشی تأثیر مدل‌های تصحیح اتمسفریک را در برآورد زی توده پوشش گیاهی در رویشگاه‌های Palaepaphos و Nea Paphos قبرس مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آنها نشان داد که اعمال نکردن این تصحیحات، به خصوص زمانی که از شاخص‌های گیاهی برای برآورد استفاده می‌شود، سبب دقت پایین در محاسبه زی توده می‌شود. (Soleimannejad et al. 2019) در پژوهشی مشخصه‌های کمی جنگل‌های زاگرس را با استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست مورد طبقه‌بندی قرار دادند. نتایج بررسی آنها نشان داد دقیق‌ترین طبقه‌بندی برای مشخصه‌های تاج پوشش (صحت کلی ۸۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۳) و سپس برای سطح مقطع (صحت کلی ۷۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۲) و تراکم (صحت کلی ۶۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۵) انجام گرفت. (Ronoud et al. 2018) قابلیت سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ را برای برآورد زی توده چوبی توده‌های خالص راش در جنگل‌های خیرود ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی روی زمینی با مؤلفه اول حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی روی باندهای یک تا هفت لندست ۸ به مقدار  $r = 0.377$  به دست آمد. (Khalili Ardali et al. 2019) به بررسی زی توده، کربن ترسیب یافته و سطح برگ گونه کیکم (*Acer monspessulanum*) در جنگل‌های زاگرس میانی پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان داد که میانگین زی توده، ترسیب کربن و متوسط مقدار جذب دی-اکسید کربن از جو در هکتار به ترتیب ۸/۱۷، ۸/۵۷ و

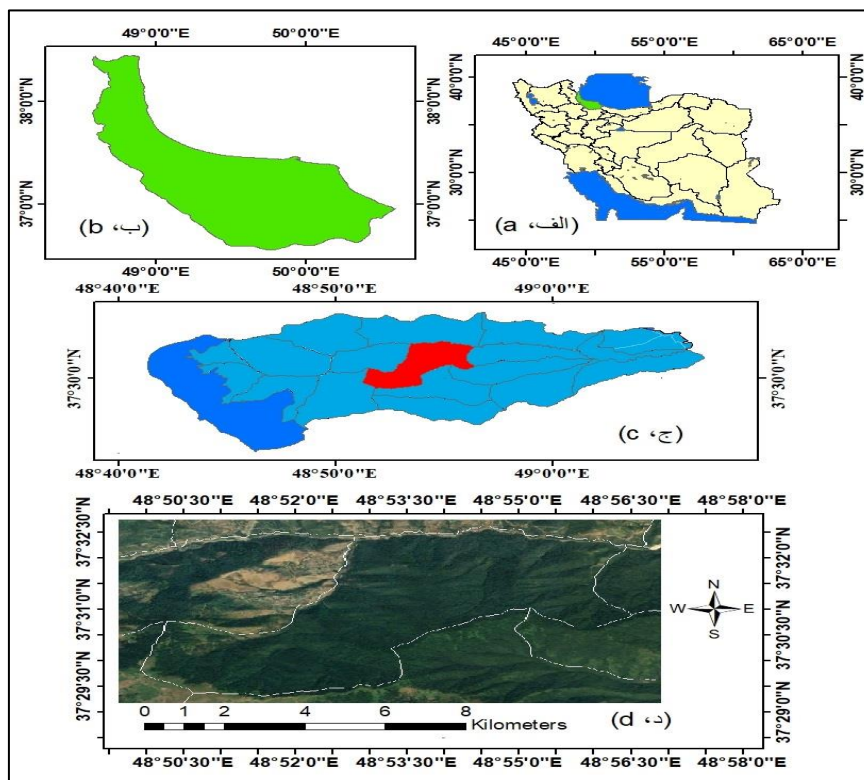
شد. این رویکرد می‌تواند با فراهم آوردن یک مبنای علمی برای برآورد زی توده جنگل برای منطقه مورد بررسی لحاظ شود و همچنین یک رویکرد معتبر را ایجاد کند که می‌تواند برای نقشه برداری و نظارت بر ذخیره کربن منطقه مورد بررسی، مورد استفاده قرار گیرد.

**مواد و روش‌ها**

**منطقه مورد بررسی**

جنگل‌های سری ۱۱ آواردیم حوزه شفارود استان گیلان بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۱ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه و ۲۵ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه و ۱۶ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه واقع شده است (شکل ۱). مساحت کل این سری معادل ۲۲۲۷ هکتار است که از مساحت فوق

۱۴۹۳ هکتار قابل بهره‌برداری و ۱۲۶ هکتار مناطق بدون پوشش جنگل و ۲۱ هکتار مناطق زراعی و متصرفات و ۵۰۶/۹۷ هکتار مناطق حفاظتی و ۱۹ هکتار جنگلکاری سنواتی موجود و ۶۱/۰۳ هکتار مساحت جاده‌های موجود است. سری مورد بررسی در ارتفاع ۵۰۰ الی ۱۷۰۰ متر و بیشتر سطح سری در ارتفاع ۱۱۰۰ متر واقع شده است و جزء سری‌های میان‌بند و کوهستانی محسوب می‌شود. بیشترین و کمترین میانگین بارندگی به ترتیب مربوط به ماه‌های مهر (۲۶۱/۴ میلی‌متر) و خرداد (۵۴/۵ میلی‌متر) است. تیپ غالب سری گونه راش و از نظر ساختار سنی میانسال تا کهنسال با تک-پایه‌های جوان و با کیفیت خوب تا متوسط و تجدید حیات متوسط تا خوب است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی: الف) ایران، ب) استان گیلان، ج) حوزه آبخیز شفارود، د) سری ۱۱ آواردیم

Figure 1. Location of study area: a) Iran, b) Gilan province, c) Shafarood watershed, d) Series 11 of Avardim

## داده‌های مورد استفاده

## لندست ۸

در این پژوهش تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر مربوط به تاریخ ۱۴۰۰/۰۵/۲۸ از آرشیو ماهواره لندست ۸ از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> دریافت شد. انتخاب تصاویر با توجه به فصل، مقدار کمینه پوشش ابری و همچنین در فصل رویش نزدیکی به زمان بیشینه سبزی‌نگی (فصل تابستان) انجام شد. این تصاویر در سطح LIT ارائه شده و با نقشه‌های رقومی کاملاً انطباق دارد. در این تحقیق، از ۷ باند سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به گذر/ردیف شماره ۱۶۶/۳۴ استفاده شد.

## محصولات اتمسفری MODIS

محصولات اتمسفری MODIS، تابش سنج طیفی برای تصویربرداری با کیفیت متوسط بوده که اطلاعات را در ۳۶ باند طیفی در طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرون جمع‌آوری می‌کند. تصاویر این ماهواره هر دو روز یک بار کل زمین را در مداری خورشید آهنگ پوشش می‌دهد. ماهواره ترا قبل از عبور ماهواره لندست ۸ بر فراز ایران با اختلاف زمانی حدود نیم ساعت به وقت محلی تصویربرداری می‌کند. با توجه به پایدار بودن شرایط اتمسفر در این اختلاف زمانی کم امکان استفاده از اطلاعات MODIS هم گام با لندست ۸ وجود دارد. در این تحقیق از سه محصول روزانه MODIS مربوط به تاریخ ۱۴۰۰/۰۵/۲۸ برای هر یک از تصاویر لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر، شامل: MOD۰۴ (ضخامت نوری ذرات معلق در محدوده ۵۵۰ میکرومتر)، MOD۰۵ (بخار آب) و MOD۰۷ (ازن کل) است (Menzel et al., 2002; King et al., 1997) استفاده شد.

## مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model (DEM))

DEM یکی از شاخص‌های ورودی به روش‌های تصحیح اتمسفر SV6 و ATCOR است. DEM حاصل از تصاویر سنجنده ASTER با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده به آدرس <https://earthexplorer.usgs.gov> دریافت شد. از مدل DEM به‌طور مستقیم در روش تصحیح اتمسفری SV6 استفاده شده است. همچنین برای روش تصحیح اثر اتمسفر ATCOR مدل DEM برای تهیه نقشه شیب، جهت، دید آسمان مورد استفاده قرار گرفت. روش تحقیق

## نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از جنگل‌های سری ۱۱ (آواردیم) حوزه شفارود گیلان به روش منظم تصادفی با ابعاد شبکه ۳۰۰×۳۰۰ متر با قطعات نمونه مربعی شکل به مساحت ۳۶۰۰ مترمربع (۶۰×۶۰) در تابستان سال ۱۴۰۰ انجام شد. برای آماربرداری و پیدا کردن قطعات نمونه از دستگاه GPS دستی (مدل Garmin GPSMAP 64s با دقت ±۳ متر) استفاده شد و برای این کار، قبل از شروع آماربرداری طول و عرض جغرافیایی مراکز نقاط (کلیه قطعات نمونه) را وارد دستگاه GPS کرده و سپس با استفاده از دستگاه فوق، مراکز قطعات نمونه در عرصه مشخص شد و در مجموع تعداد ۲۴۶ قطعه نمونه در عرصه پیاده شد. در هر قطعه نمونه مشخصه‌های قطر برابرسینه تمامی درختان (ارتفاع ۱/۳۰ متر) و درختچه‌های با قطر بیش از ۷/۵ سانتی‌متر با نوار قطرسنج و همچنین ارتفاع درختان با دستگاه سوننتو اندازه‌گیری و سپس در فرم‌های آماربرداری ثبت شد (شکل ۲).



شکل ۲- شبکه آماری برداری با ابعاد ۳۰۰ × ۳۰۰ متر مورد استفاده براساس روش منظم تصادفی

Figure 2. Used inventory grid with 300×300 m dimensions based on systematic random method

شاخص‌های پوشش گیاهی  
انتخاب شاخص‌های گیاهی متناسب با منطقه از اهمیت  
بالایی برخوردار است. در این پژوهش برای برآورد  
زی توده جنگل از شاخص‌های مختلفی استفاده شد  
(جدول ۱).

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در منطقه مورد بررسی

Table 1. Used vegetation indices in the study area

شاخص Index	رابطه Relation	منبع Source
Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)	$ARVI = \frac{R_{NIR} - R_{RB}}{R_{NIR} + R_{RB}}$	(Kaufman et al., 1992)
Different Vegetation Index (DVI)	$DVI = R_{NIR} - R_{RED}$	Richardson and ) (Wiegand., 1997
Enhanced Vegetation Index (EVI)	$EVI = 2.5 \times \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + (6 \times R_{RED} - 7.5 \times R_{BLUE})}$	(Huete et al., 2002)
Green Atmospherically Resistant Vegetation Index (GARVI)	$GARVI = \frac{R_{NIR} - [R_G - \lambda(R_B - R_{RED})]}{R_{NIR} + [R_G - \lambda(R_B - R_{RED})]}$	(Gitelson et al., 1996)
Green Normalized Different Vegetation Index (GNDVI)	$GNDVI = \frac{R_{NIR} - R_G}{R_{NIR} + R_G}$	(Gitelson et al., 1996)
Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI)	$IPVI = \frac{R_{NIR}}{R_{NIR} + R_{RED}}$	(Crippen., 1990)
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	(Rouse et al., 1974)
Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI)	$OSAVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED} + 0.16}$	et al., 1996) (Rondeaux
Ratio Vegetation Index (RVI)	$RVI = \frac{NIR}{R}$	(Jordan, 1969)
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = \frac{NIR - RED}{(NIR + RED + L)} \times (1 + L)$	(Huete, 1988)

در جدول  $R_B$ ,  $R_G$ ,  $R_{RED}$  و  $R_{NIR}$  به ترتیب بیانگر انعکاس باند آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک است.

In table  $R_B$ ,  $R_G$ ,  $R_{RED}$  and  $R_{NIR}$  represent blue, green, red and near infrared band reflectance respectively.

## برآورد زی توده روی زمینی درختان با استفاده از معادلات آلومتریک

در این پژوهش، از رابطه ۱ برای گونه‌های درختی و از رابطه ۲ برای گونه‌های درختچه‌ای (Vahedi, 2016; Ali et al., 2015; Sharifi et al., 2013) استفاده شد. ابتدا زی توده روی زمینی برحسب کیلوگرم بر مترمکعب برای هر یک از گونه‌های درختی و درختچه‌ای محاسبه شد و سپس زی توده روی زمینی در هر قطعه نمونه برحسب کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد و در آخر زی توده روی زمینی برحسب مگاگرم در هکتار در سطح جامعه آماری محاسبه شد.

$$AGB = 1.04 \times \exp\{-4.48 + 1.11 \times \ln(D^2 \times \rho) + 1.27 \times \ln(H)\} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$AGB = 1.00 \times \exp\{-5.57 + 1.89 \ln(D) + 1.16 \ln(H) + 2.72 \times \rho\} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این روابط قطر برابر سینه (DBH) به سانتی متر مربع، ارتفاع درختان (H) به متر و دانسیته بحرانی چوب ( $\rho$ ) برحسب گرم بر سانتی متر مکعب است.

### روش‌های تصحیح اتمسفر

روش تصحیح DOS یک روش تجربی برای تصحیح اتمسفر است. بر اساس رابطه ۳، بازتاب به وسیله کسر مقادیر شیء تیره از تمامی پیکسل‌ها در تمامی باندها تهیه می‌شود.

$$\rho_h = \frac{(l_{sen,\lambda} - l_{haze,h})d^2 \cdot \pi}{E_{\lambda} \cdot \cos\theta_i} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه  $l_{sen,\lambda}$  بازتاب سطحی ثبت شده سنجنده،  $l_{haze,h}$  بازتاب سطحی اشیاء تیره برای هر باند،  $d^2$  توان دوم فاصله زمین تا سنجنده و  $\theta_i$  زاویه برخورد است. روش تصحیح اتمسفریک FLAASH برای حداقل کردن اثرات اتمسفر بر روی داده‌های چند طیفی OLI استفاده شده است. این روش نیازمند کد انتقال تابشی MODTRAN4 و شاخص‌های ورودی مانند نوع سنجنده، زمان پرواز، ارتفاع سنجنده، نوع مدل

تصحیح ذرات معلق، مدل اتمسفری و موقعیت جغرافیایی مرکز تصویر است. کد تصحیح SV6 به طور رایگان در سایت <http://6s.ltdri.org/> قابل دسترس است. در این بررسی، روش تصحیح اتمسفری به طور مستقیم با مدل SV6 انجام شد. ابتدا تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ با استفاده از کالیبراسیون اعداد خاکستری و اعمال ضرایب اریب به بازتاب سطحی تبدیل شدند. در ادامه بازتاب بالای اتمسفری (TOA) از طریق رابطه ۴ محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۴} \quad TOA = \pi d^2 \times RAD / (ESUN \times \cos\theta)$$

در این معادله d فاصله زمین-خورشید، RAD

بازتاب سطحی تصویر لندست ۵ (w.m-2.μm-1) و  $\theta$  زاویه زنیت خورشید است. روش ATCOR، روش تصحیح اتمسفر و اعوجاجات زمینی تصویر است. این روش تصاویر بالای اتمسفر فاقد گردوغبار، ماسک ابر، ماسک غبار، ماسک آب، DEM، جهت، شیب، دید آسمان، سایه و نوردهی را دریافت و انعکاس زمینی تصحیح شده با اعمال کد MODTRAN را پدید می‌آورد.

### تحلیل آماری و اعتبارسنجی متقابل

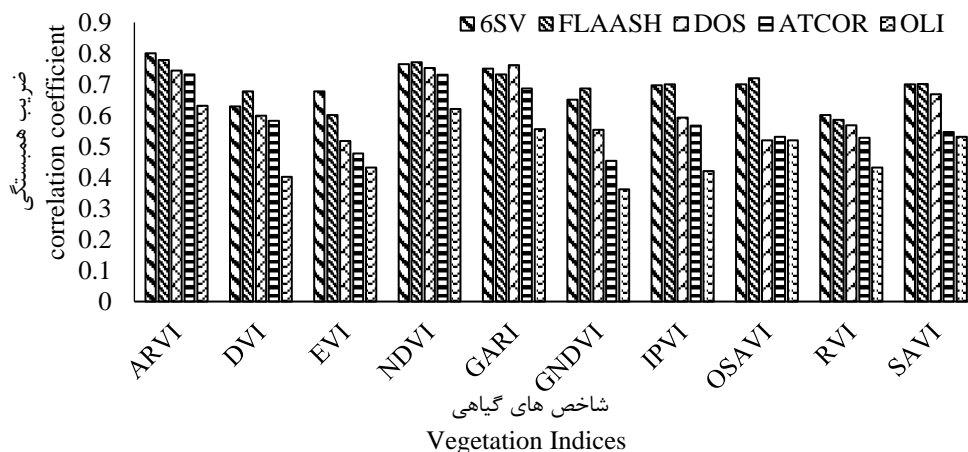
با استفاده از داده‌های مرجع روی ۱۰ شاخص پوشش گیاهی که تصحیحات اتمسفریک SV6، FLAASH، ATCOR، DOS شده‌اند، مدل‌سازی انجام شد. همچنین از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی همبستگی دو متغیر زی توده روی زمینی روی اطلاعات مرجع و میانگین اعداد رقومی شاخص‌های گوناگون استفاده شد. مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی (نمایی، لگاریتمی و توانی) برای برآورد مقدار زی توده روی زمینی تشکیل شد. در این مدل‌ها، داده‌های مربوط به زی توده روی زمینی به عنوان متغیر وابسته و میانگین اعداد رقومی به دست آمده از شاخص‌های پوشش گیاهی به عنوان متغیر مستقل در مدل قرار گرفتند. در نهایت،



### نتایج

نتایج آنالیز آماری ضریب همبستگی (پیرسون) مربوط به شاخص‌های گیاهی حاصل از مدل‌های ATCOR، FLAASH، SV6، DOS و مدل اصلی (OLI) در شکل ۳ آمده است. هر ۱۰ شاخص مورد بررسی همبستگی معنی‌داری با مقدار زی توده روی زمینی جنگل دارند؛ به طوری که بیشترین ضریب همبستگی را شاخص گیاهی ARVI (۰/۸۰۱) و کمترین ضریب همبستگی را شاخص RVI (۰/۶۰۱) نشان داد.

مناسب‌ترین مدل در سطح احتمال ۹۵ درصد با در نظر گرفتن درصد ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE %) معرفی شد. همچنین برای اعتبار سنجی نتایج داده‌های مرجع به دو گروه تقسیم شد. ۱۹۷ نمونه (۸۰ درصد) برای مدل‌سازی و ۴۹ نمونه (۲۰ درصد) برای ارزیابی و اعتبار سنجی مدل‌ها استفاده شد. در مراحل انجام این پژوهش، شامل تهیه نقشه‌های پایه، تصحیح و پردازش - های اولیه داده‌ها، پردازش نهایی تحت عملیات طبقه - بندی و تهیه خروجی‌ها از نرم‌افزارهای ENVI 5.6، PCI Geomatica 2020، ArcGIS 10.8، SPSS v26، Excel 2019 و IDL8.5 و ArcBrutle7 استفاده شد.



شکل ۴- نمودار ضریب همبستگی شاخص‌های گیاهی با استفاده از مدل‌های مختلف اتمسفریک

Figure 4. Correlation coefficient histogram of vegetation indices using different atmospheric models

کمترین مقدار همبستگی را به ترتیب شاخص‌های ARVI (۰/۷۷۹) و RVI (۰/۵۸۶) به خود اختصاص داده‌اند. در روش تصحیح اتمسفریک DOS یا شیء تیره بیشترین و کمترین مقدار همبستگی به ترتیب مربوط به شاخص‌های GARI (۰/۷۶۲) و EVI (۰/۵۱۸) است و در آخر در روش ATCOR بیشترین و کمترین مقدار همبستگی به ترتیب مربوط به شاخص‌های NDVI (۰/۷۳۲) و GNDVI (۰/۴۵۴) است. به طور کلی نتایج

به طور کلی نتایج نشان داد که مدل تصحیح اتمسفریک بر مبنای کد انتقال تابشی SV6 در بیشتر شاخص‌های گیاهی به دست آمده از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ عملکرد مطلوبی داشته است. بالاترین نتایج آنالیز همبستگی را شاخص ARVI حاصل از مدل تصحیح اتمسفری SV6 با ضریب همبستگی ۰/۸۰۱ به خود اختصاص داده است. همچنین در حالت استفاده از روش FLAASH بیشترین و

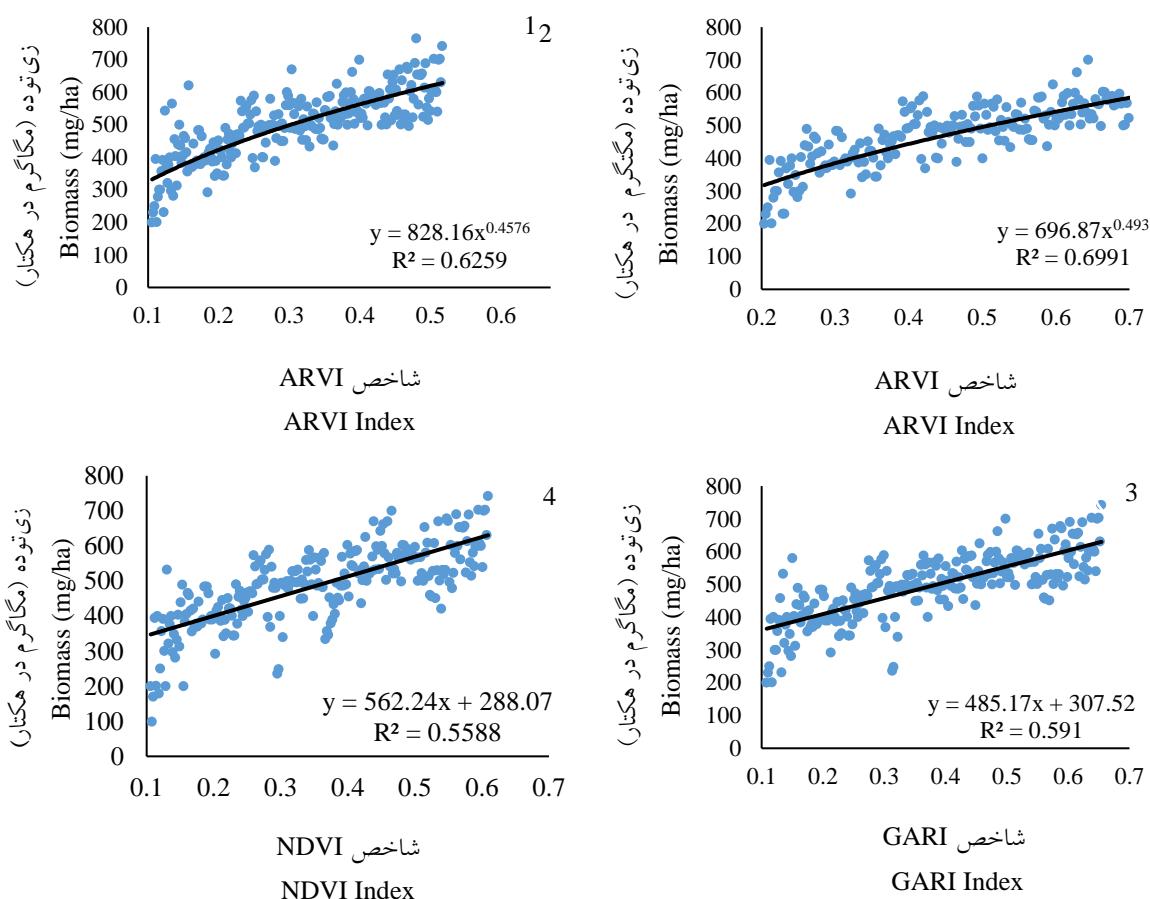
به‌عنوان متغیر مستقل و داده‌های مقدار زی‌توده روی زمینی در عرصه به‌عنوان متغیر وابسته به مدل معرفی شده است. همچنین ضریب تبیین ( $R^2$ ) و درصد ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE%) معادلات رگرسیونی محاسبه و در شکل ۵ آورده شده است.

نشان داد که روش ATCOR در مقایسه با دیگر روش‌های تصحیح اثر اتمسفر نتایج ضعیف‌تری را ارائه داد. مدل‌سازی برای محاسبه مقدار زی‌توده روی زمینی جنگل محاسبه و نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. در این مدل‌ها میانگین اعداد رقومی شاخص‌های گیاهی

جدول ۲- بهترین مدل رگرسیونی حاصل از شاخص‌های مختلف

Table 2. The best regression model obtained from different indices

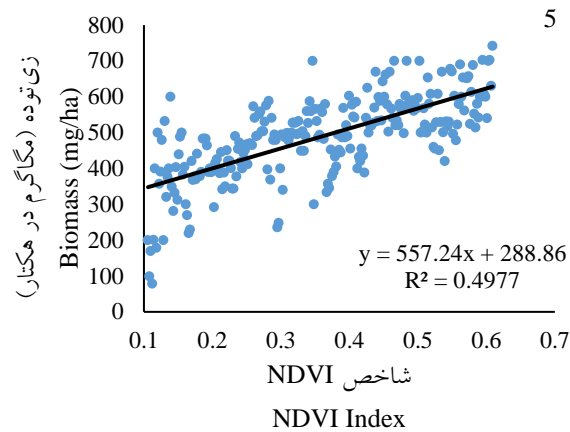
$r^2$	RMSE%	df	مجموعه اعتبارسنجی Validation set	مدل رگرسیونی	مدل اتمسفریک
				Regression model	Atmospheric model
0.696	15.04			$AGB = 696.87ARVI\ index^{0.493}$	6SV
0.626	16.45			$AGB = 828.16ARVI\ index^{0.626}$	FLAASH
0.591	20.78	194	49	$AGB = 485.17\ GARI\ index + 307.52$	DOS
0.558	19.82			$AGB = 562.25\ NDVI\ index + 288.07$	ATCOR
0.497	21.37			$AGB = 557.24\ NDVI\ index + 288.86$	OLI



شکل ۵- نمودار پراکنش مقدار زی‌توده روی زمینی در مقابل شاخص پوشش گیاهی حاصل از: ۱) 6SV-ARVI،

۲) FLAASH-ARVI (۳)، DOS-GARI (۴)، ATCOR-NDVI و ۵) OLI-NDVI

Figure 5. Distribution histogram of aboveground biomass against the vegetation index obtained from: 1) 6SV-ARVI, 2) FLAASH-ARVI, 3) DOS-GARI, 4) ATCOR-NDVI and 5) OLI-NDVI



ادامه شکل ۵.

Continued figure 5.

شکل ۵ نمای دو بعدی از مدل‌های بهینه رگرسیونی روی شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل از باندهای اصلی سنجنده OLI و اعمال تصحیحات اتمسفری SV6، FLAASH، ATCOR و DOS را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که شاخص ARVI استخراج شده از مدل‌های تصحیح اتمسفری SV6 و

شکل ۵ نمای دو بعدی از مدل‌های بهینه رگرسیونی روی شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل از باندهای اصلی سنجنده OLI و اعمال تصحیحات اتمسفری SV6، FLAASH، ATCOR و DOS را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که شاخص ARVI استخراج شده از مدل‌های تصحیح اتمسفری SV6 و

جدول ۳- نتایج ارزیابی صحت شاخص‌های استخراج شده از مدل‌های تصحیح اتمسفری مختلف

Table 3. The results of accuracy evaluation of extracted indices from different atmospheric correction models

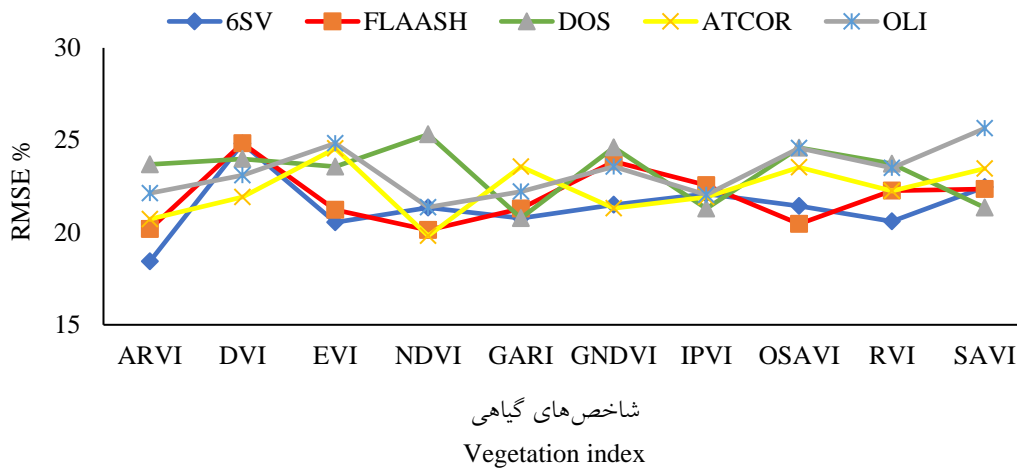
OLI		DOS		ATCOR		FLAASH		6SV		روش تصحیح Correction method
توانی power	خطی liner	توانی power	خطی liner	توانی power	خطی liner	توانی power	خطی liner	توانی power	خطی liner	مدل Model
RMSE %										شاخص Index
25.65	22.12	22.75	23.68	21.03	20.72	16.45	22.19	15.04	18.43	ARVI
26.34	23.09	23.90	23.99	24.10	21.92	23.41	24.83	21.28	24.82	DVI
23.45	24.83	24.61	23.56	23.23	24.55	21.29	21.22	20.67	20.55	EVI
24.75	22.21	21.33	20.78	19.83	23.56	22.23	21.29	17.23	20.78	GARI
25.22	23.57	21.68	24.60	22.67	21.32	20.48	23.84	18.16	21.51	GNDVI
23.25	22.04	21.93	21.29	24.85	21.92	18.43	22.56	18.70	22.10	IPVI
22.17	21.37	22.55	25.31	20.27	19.82	17.52	21.34	16.33	20.13	NDVI
23.56	24.57	21.31	24.59	22.45	23.53	20.97	20.47	20.22	21.43	OSAVI
23.21	23.50	22.67	23.73	20.32	22.25	18.45	22.27	19.25	20.60	RVI
27.82	25.64	22.73	21.34	21.25	23.47	21.19	22.45	23.19	22.35	SAVI

بررسی خطای % RMSE حاصل از اعمال مدل‌های خطی و غیرخطی نشان داد که برآورد مقدار زی توده روی زمینی جنگل از طریق مدل‌های غیرخطی بهتر است. شکل‌های ۵ و ۶ روند تغییرات % RMSE

بررسی خطای % RMSE حاصل از اعمال مدل‌های خطی و غیرخطی نشان داد که برآورد مقدار زی توده روی زمینی جنگل از طریق مدل‌های غیرخطی بهتر است. شکل‌های ۵ و ۶ روند تغییرات % RMSE

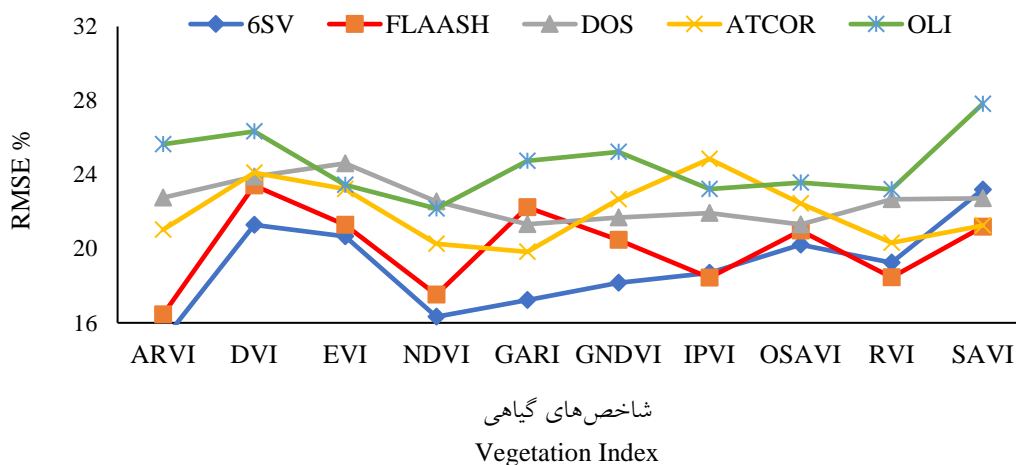
مدل‌های تصحیح اتمسفریک SV6 و FLAASH در برآورد مقدار زی توده روی زمینی عملکرد بالاتری داشته است. بر اساس نتایج، استفاده از شاخص‌های تصویر اصلی OLI، در بیشتر موارد سبب افزایش RMSE % شد.

در مدل‌سازی شاخص‌های پوشش گیاهی مختلف، با روش خطی و غیرخطی را نشان می‌دهد. کمترین RMSE % (۱۵/۰۴ درصد) در مدل‌سازی شاخص ARVI از روش تصحیح اتمسفریک SV6 به دست آمده است. همچنین شاخص ARVI استخراج شده از



شکل ۵- نمودار RMSE% حاصل از مدل خطی زی توده جنگل با استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از تصحیح اتمسفریک

Figure 5. The RMSE % histogram obtained from the linear model of forest biomass using vegetation indices obtained from atmospheric correction



شکل ۶- نمودار RMSE% حاصل از مدل توانی زی توده جنگل با استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از تصحیح اتمسفریک

Figure 6. The RMSE % histogram obtained from the power model of forest biomass using vegetation indices obtained from atmospheric correction

## بحث

شده است و شاخص گیاهی SV6-NDVI در مقایسه با TOA-NDVI عملکرد قوی‌تری داشت. همچنین نتایج این بررسی با نتایج (Muchsin et al. (2019) مطابقت دارد.

بر اساس شکل ۴، هر ۱۰ شاخص مورد بررسی همبستگی معنی‌داری با مقدار زی‌توده روی‌زمینی جنگل دارند؛ به طوری که بیشترین ضریب همبستگی را شاخص گیاهی ARVI (۰/۸۰۱) حاصل از روش SV6 داراست. روش تصحیح اثر اتمسفریک ATCOR نسبت به روش‌های دیگر همبستگی پایین‌تری را نشان داد که با نتایج بررسی (Ju et al. (2012) مطابقت دارد. با استفاده از معادلات خطی و غیرخطی، مقدار زی‌توده روی‌زمینی مدل‌سازی شد. در این فرآیند، شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل از مدل‌های تصحیح اتمسفریک به کار گرفته شد. اعتبار سنجی نتایج با نمونه‌های باقی‌مانده داده‌های مرجع بیانگر برتری شاخص‌های پوشش گیاهی ARVI حاصل از روش‌های تصحیح SV6 و FLAASH، شاخص پوشش گیاهی NDVI حاصل از روش تصحیح اتمسفریک ATCOR و شاخص گیاهی GARI حاصل از روش تصحیح DOS نسبت به سایر شاخص‌ها است. نتایج حاضر می‌تواند به دلیل شاخص‌های جوی خاص در هر یک از مدل‌ها باشد، به طوری که مدل DOS مربوط به مشخصات جوی نیست، مدل FLAASH از مقادیر جهانی برای شاخص‌های جوی خود استفاده می‌کند و مدل SV6 از محصولات MODIS که نماینده مجموع بخار آب و عمق نوری آتروسول هستند، استفاده می‌کند. نتایج این بررسی با نتایج پژوهش (Nazeer et al. (2014) مطابقت دارد. نتایج بررسی آنها نشان داد که در بین مدل‌های مختلف تصحیح اتمسفریک، مدل SV6 دارای کمترین اختلاف بین بازتاب واقعی زمینی و مقادیر رقومی

برآورد و پایش مقدار زی‌توده روی‌زمینی برای بررسی‌های تغییر اقلیم، تولید چرخه کربن، تخصیص مواد غذایی و انباشت سوخت، بررسی‌های رفتار آتش و غیره در زیست‌بوم ضروری است. بر مبنای نتایج به دست آمده در این پژوهش همبستگی بالایی بین داده‌های مرجع (زی‌توده روی‌زمینی در قطعات نمونه) و ده شاخص گیاهی تهیه‌شده از داده‌های تصحیح‌شده وجود دارد. دلیل آن را می‌توان به اعمال روش‌های تصحیح اثر اتمسفریک SV6، FLAASH، ATCOR و DOS روی باندهای اصلی OLI نسبت داد. شاخص‌های حاصل از تصحیح اتمسفریک SV6، از نظر همبستگی، بهتر از دیگر روش‌های تصحیح اتمسفریک است؛ چرا که از شاخص‌های اتمسفری، شامل بخار آب و عمق ذرات نوری معلق حاصل از محصولات MODIS، در فرآیند تصحیح استفاده می‌کند و به همین خاطر، عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد که با نتایج بررسی (Nuorodini et al. (2017) مطابقت دارد. نتایج آنها نشان داد که مدل تصحیح اتمسفریک SV6 در مناطق جنگلی استان گیلان نسبت به سایر مدل‌ها بهتر عمل کرده است. (Nguyen et al. (2015) برتری روش تصحیح اثر اتمسفریک SV6 در برآورد زی‌توده جنگل را در مقایسه با دیگر مدل‌ها، ناشی از به‌کارگیری شاخص‌های دقیق اتمسفری حاصل از محصولات MODIS در فرآیند تصحیح دانسته‌اند. در زمان استفاده از اطلاعات باندهای اصلی OLI برای تهیه شاخص‌های پوشش گیاهی، مقدار همبستگی کاهش یافت، که با نتایج بررسی Roy et al. (2014) هم‌خوانی دارد. نتایج بررسی آنها نشان داد که قبل از تهیه شاخص‌های پوشش گیاهی، اعمال تصحیحات اتمسفریک سبب ارتقاء و بهبود نتایج استخراج‌شده به‌ویژه در مناطق با پوشش گیاهی متراکم

روی زمینی با استفاده از چهار روش تصحیح جوی FLAASH، DOS و SV6 استفاده شد. ارزیابی‌ها برای سری ۱۱ آوارديم منطقه شفارود گیلان به دست آمد. از مقایسه مدل‌های تصحیح اتمسفریک و تصویر اصلی OLI در منطقه مورد بررسی، مشخص شد که کمترین درصد RMSE هنگام استفاده از کد انتقال تابشی SV6 به دست آمد. دومین دقت بالاتر در تصاویر تصحیح شده با FLAASH به دست آمد. با این حال، از نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر که در بالا ارائه شد، می‌توان پیشنهاد کرد که مدل تصحیح اتمسفریک SV6، با ادغام بخار آب و عمق نوری آئروسول حاصل از محصولات MODIS، برای تخمین زی توده روی زمینی بر اساس داده‌های سنجش از دور مناسب تر است، به ویژه هنگام استفاده از داده‌هایی که در تابستان به دست می‌آیند، زمانی که بخار آب و دما هر دو بالا است و تاج پوشش جنگل در توسعه کامل است.

## References

- Agapiou, A.; Hadjimitsis, D.G.; Papoutsas, C.; Alexakis, D.D.; Papadavid, G., The Importance of Accounting for Atmospheric Effects in the Application of NDVI and Interpretation of Satellite Imagery Supporting Archaeological Research: The Case Studies of Palaepaphos and Nea Paphos sites in Cyprus. *International Journal of Remote Sensing* 2011, (3), 2605- 2629
- Ali, A.; Xu, M.-S.; Zhao, Y.-T.; Zhang, Q.-Q.; Zhou, L.-L.; Yang, X.-D.; Yan, E.-R., Allometric biomass equations for shrub and small tree species in subtropical China. *Silva Fennica* 2015, (49), 1-10. (In Persian).
- Canty, M., Automatic Radiometric Normalization of Multitemporal Satellite Imagery with the Iteratively Re-Weighted MAD Transformation. *Remote Sensing of Environment* 2008, 112 (3), 1025- 1036.
- Chander, G.; Markham, B.L.; Helder, D.L., Summary of Current Radiometric Calibration Coef cients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment* 2009, 113 (5), 893-903.

ETM+ ماهواره لندست است. دقت رگرسیون غیرخطی توانی بیشتر از دیگر مدل‌هاست. نتایج مدل رگرسیون توانی با استفاده از شاخص‌های گیاهی تصحیح شده نشان داد که شاخص ARVI دارای کمترین مقدار خطای بهینه است. همچنین نتایج مدل رگرسیون خطی نشان داد که شاخص‌های پوشش گیاهی GARI و NDVI نیز دارای کمترین مقدار خطای بهینه هستند. به طور کلی، استفاده از شاخص‌های تصحیح شده در مقایسه با اعمال نکردن تصحیحات، خطای کمینه را کاهش داده است. نتایج این بررسی با یافته‌های دیگر محققان همسو است. نتایج پژوهش (et al. (2014) Pathak نشان داد که مدل تصحیح اتمسفریک SV6 در مقایسه با مدل‌های FLAASH، ATCOR، DOS بهتر عمل کرده است.

## نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، تصاویر سنجنده OLI و داده‌های میدانی جمع‌آوری شده برای ارزیابی دقت تخمین زی توده Crippen, R.E, Calculating the Vegetation Index Faster. *Remote Sensing of Environment* 1990, (34), 71- 73.

Muchsin, F.; Dirghayu, D.; Prasasti, I.; Rahayu, M.I.; Fibriawati, L.; Pradono, K.A., Comparison of atmospheric correction models: FLAASH and 6S code and their impact on vegetation indices (case study: paddy field in Subang District, West Java). *The 4<sup>th</sup> International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing*. 2019.

Feng, M.; Sexton, J.O.; Huang, C.; Masek, J.G.; Vermote, E.F.; Gao, F.; Narasimhan, R.; Channan, S.; Wolfe, R.E.; Townshend, J.R., Global surface reflectance products from Landsat: Assessment using coincident MODIS observations. *Remote Sensing of Environment* 2013, 134 (1), 276-293.

Gitelson, A.A.; Kaufman, Y.J.; Merzlyak, M.N., Use of a Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* 1996, (58), 289- 298.

- Hu, Y.; Liu, L.; Liu, L.; Peng, D.; Jiao, Q.; Zhang, H., A Landsat-5 Atmospheric Correction Based on MODIS Atmosphere Products and 6S Model. *Applied Earth Observations and Remote Sensing* 2014, 7 (5), 1609-
- Huete, A.R., A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 1988, (25), 295- 309.
- Jordan, C.F., Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on Forest Floor. *Ecology* 1969, (50), 663- 666.
- Ju, J.; Roy, D.P.; Vermote, E.; Masek, J.; Kovalsky, V., Continental-Scale Validation of MODIS-Based and LEDAPS Landsat ETM+ Atmospheric Correction Methods. *Remote Sensing of Environment* 2012, (122), 175- 184.
- Kaufman, Y.J.; Tanré, D., Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS, IEEE Trans. Geosci. *International Journal of Remote Sensing*, 1992, 30 (2), 261- 270.
- King, M.D.; Tsay, S.C.; Platnick, S.E., Cloud Retrieval Algorithms for MODIS: Optical Thickness, Effective Particle Radius, and Thermodynamic Phase, MODIS Algorithm Theoretical Basis Document, No. ATBD-MOD, Vol. 5, 1997.
- Khalili Ardali, Z.; Mirazadi, Z.; Mansour samaei, R., Estimation of biomass, carbon sequestration and leaf area of *Acer monspessulanum* in Middle-Zagros, case study: Ghaleh Gol forests in Lorestan province. *Journal of Forest Research and Development* 2019, 5(2), 245-257. (In Persian)
- Lohrabi, Y.; Abbasi, M.; Soltani, A.; Riyahi Bakhtyari, H.R., Determination of the most suitable method for forest type mapping in central Zagros using landsat-8 satellite Images. *Journal of Forest Research and Development* 2018, 4(2), 191-205. (In Persian)
- Masek, J.G.; Vermote, E.F.; Saleous, N.E.; Wolfe, R.; Hall, F.G.; Huemmrich, K.F.; Gao, F.; Kutler, J.; Lim, T.K., A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 2006, (3), 68- 72.
- Menzel, W.; Seemann, S.; Li, J, 2002, MODIS Atmospheric Profile Retrieval Algorithm Theoretical Basis Document (MOD-07), Eos ATBD web site [Online]. Available: pdf, 39.
- Nazeer, M.; Nichol, J.E.; Yung, Y.K., Evaluation of Atmospheric Correction Models and Landsat Surface Reflectance Product in an Urban Coastal Environment. *International Journal of Remote Sensing* 2014, (35), 6271- 6291.
- Nguyen, H.C.; Jung, J.; Lee, J.; Choi, S.; Hong, S.; Heo, J., Optimal Atmospheric Correction for Above-Ground Forest Biomass Estimation with the ETM+ Remote Sensor. *International Journal of Sensors* 2015, (15), 18865-18886.
- Nuorodini, A.; A.E. Bonyad., Investigating the efficiency of atmospheric effect correction methods in estimating the canopy density of Gilan forests using vegetation indices obtained from Landsat 8. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS* 2017, 9 (1), 93-110. (In Persian)
- Pan, Y.; Birdsey, R.A.; Phillips, O.L.; Jackson, R.B., The structure, distribution, and biomass of the world's forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 2013, (44), 593-622.
- Pathak, N.V.; Pandya, M.R.; Shah, D.B.; Trivedi, H.J.; Patel, K.D.; Sridhar, V.N.; Singh, R.P., Inter Comparison of Atmospheric Correction Models-SACRS2, FLAASH AND 6SV USING RESOURCESAT-2 AWIFS Data, The International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2014, (8), 881-884.
- Rondeaux, G.; Steven, M.; Baret, F., Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment* 1996, (55), 95- 107.
- Ronoud, Gh.; Darvishsefat, A.A., Estimating aboveground woody biomass of *Fagus orientalis* stands in Hyrcanian forest of Iran using Landsat 5 satellite data (Case study: Khyroud Forest). *Geographic Space* 2018, 17(60), 117-129.
- Rouse, J.W.; Haas, R.W.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C., Monitoring the Vernal Advancement and Retro Gradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation, NASA/GSFCT Type III *Final Report, Greenbelt* 1974, MD, USA.
- Roy, D.P.; Ju, J.; Kline, K., Web-enabled Landsat Data (WELD): Landsat ETM+ Composited Mosaics of the Conterminous

- United States. *Remote Sensing of Environment* 2010, 114 (1), 35- 49.
- Roy, D.P.; Qin, Y.; Kovalskyy, V.; Vermote, E.F.; Ju, J.; Egorov, A.; Hansen, M.C.; Kommareddy, I.; Yan, L., Continuous United States Demonstration and Characterization of MODIS-based Landsat ETM+ Atmospheric Correction. *Remote Sensing of Environment* 2014, (140), 433-449.
- Sharifi, A.; Amini, J.; Pourshakouri, F., Allometric model development for AboveGround Biomass estimation in Hyrcanian forests of Iran. *World Applied Sciences Journal* 2013, (28), 1322-1330. (In Persian)
- Soleimannejad, L.; Bonyad, A.E.; Naghdi, Latifi., Classification of quantitative attributes of Zagros forest using Landsat 8-OLI and Random Forest algorithm (Case study: protected area of Manesht forests). *Journal of Forest Research and Development* 2019, 4(4), 415-434. (In Persian)
- Vahedi, A.A., Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixedbeech forests of Iran. *Biomass and Bioenergy* 2016 (88), 66-76. (In Persian)



## Investigating the effect of different atmospheric correction methods in forest biomass estimation using Vegetation indices

Ismaeil Moradi Emamgheysi\*<sup>1</sup> and Amir Eslam Bonyad<sup>2</sup>

1- Ph.D. student of forest management, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Gilan University, Soume-Sera, I. R. Iran. (Ismaeil.moradi@yahoo.com)

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Gilan University, Soumesara, I. R. Iran. (bonyad@guilan.ac.ir)

Received: 12 September 2023

Accepted: 08 December 2023

### Abstract

**Background and objectives:** Earth's surface reflection is significantly affected by atmospheric conditions such as water vapor and particulate matter; therefore, atmospheric correction is needed to minimize these effects and convert digital number values to surface reflection. Therefore, as a remote sensing approach, atmospheric correction is required to minimize these effects and convert digital number (DN) values to surface reflectance. The main objective of this research was to study of four atmospheric correction models, including (1) dark object subtraction (DOS), (2) fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hypercube (FLAASH), (3) the second simulation of the satellite signal in solar spectrum (6SV), (4) atmospheric topographic correction (ATCOR) model and their comparison with the OLI original image for estimation of the aboveground biomass (AGB) in the forests of Avardim of the Shafarood watershed, Guilan province.

**Methodology:** In order to estimate of biomass, 246 plots (3600 m<sup>2</sup>) were established as systematic-random sampling pattern with 300m×300m dimensions and DBH, height of trees and shrubs were measured. A handheld GPS device (Garmin GPS MAP 64s with an accuracy of ±3 meters) was used for sampling and finding the sample pieces, and for this purpose, before starting the statistics, the latitude and longitude of the points (all sample pieces) were entered into the GPS device. And then, using the above device, the sample parts were determined in the field and the characteristics of the diameter at the chest, the height of the existing trees and shrubs (diameter more than 7.5 cm) were measured and then recorded in the relevant forms. The OLI sensor images of Landsat 8 satellite were extracted from the USGS global site. The selection of images was done according to the season, the amount of minimum cloud cover and also in the growing season close to the time of maximum greenness. These images are presented at LIT level and fully compatible with digital maps. In this research, 7 OLI sensor bands of Landsat 8 satellite related to pass/row number 166/34 have been used. Before the Landsat 8 satellite passes over Iran, Terra satellite prepares images with a time difference of about half an hour to local time. Due to the stability of the atmospheric conditions, it is possible to use MODIS information in step with Landsat 8. Also, in this research, three daily MODIS products were used for each of the Landsat 8 images with a spatial resolution of 500 meters, including: MOD04 (optical thickness of suspended particles in the range of 550 micrometers), MOD05 (water vapor) and MOD07 (total ozone). The DEM obtained from ASTER with a spatial resolution of 30 meters was obtained from the USGS global site. The DEM model was directly used in the SV6 atmospheric correction method. Also, DEM model was used for the atmospheric effect correction method of ATCOR to prepare the map of slope, direction, sky visibility.

**Results:** The results showed that the atmospheric correction model based on 6SV radiative transfer code had a good performance in most of the plant indices obtained from the OLI sensor data of Landsat 8 satellite. The ARVI index obtained from the 6SV atmospheric correction model has the highest correlation analysis results with a correlation coefficient of 0.801. Also, in the case of using the FLAASH method, ARVI (0.779) and RVI (0.586) indices have the highest and lowest correlations, respectively. In the DOS or dark object atmospheric correction method, the highest and lowest correlations are related to GARI (0.762) and EVI (0.518) indices, respectively, and finally, in the

---

\* Corresponding author

Tel: +989139805602

ATCOR method, the highest and lowest correlations are respectively related to NDVI indices (732.0) and GNDVI (0.454). In general, in estimating forest biomass, 6SV atmospheric correction model showed the best performance with the lowest RMSE percentage (15.04%), followed by FLAASH, ATCOR and DOS models.

**Conclusion:** Estimating and monitoring the amount of biomass on land is necessary for climate change studies, carbon cycle production, food allocation and fuel accumulation, fire behavior studies, etc. in the ecosystem. Also, applying atmospheric corrections on the main bands of the images in the pre-processing process before classifying and extracting plant indices is necessary and unavoidable to remove the unwanted effects of the atmosphere and it improves the accuracy of the results. From the results obtained in the present study, it can be suggested that the 6SV atmospheric correction model, with the integration of water vapor and aerosol optical depth obtained from MODIS products, is more suitable for the estimation of terrestrial zinc based on remote sensing data, especially when using the data in are obtained in summer, when water vapor and temperature are both high and the forest canopy is in full development. Finally, it is suggested to use the 6SV atmospheric correction model to estimate of aboveground biomass based on remote sensing data.

**Keywords:** Atmosphere, Biomass, Landsat 8, Classification, 6SV.