



سجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

سال نهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۶  
Vol.9, No. 1, Spring 2017

۹۳-۱۱۰

## بررسی کارایی روش‌های تصحیح اثر اتمسفر در برآورد تراکم تاج پوشش جنگل‌های گیلان با استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از لندست ۸

سید احمدرضا نورالدینی<sup>۱\*</sup> و امیراسلام بنیاد<sup>۲</sup>  
۱. دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان  
۲. استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۳/۲۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵



### چکیده

بازتاب پدیده‌های سطح زمین روی داده‌های سنجش از دوری تحت تأثیر عوامل گوناگونی مانند شرایط اتمسفر است. در برخی مطالعات لازم است اثر اتمسفر به شیوه‌های متفاوت و مناسبی حذف شود یا کاهش یابد. در این تحقیق، سه روش تصحیح اتمسفریک تفریق شیء تیره (DOS)، تجزیه و تحلیل سریع خط‌دیده اتمسفر از طریق طیف ابر مکعب (FLAASH)، شبیه‌ساز وکتوری ثانویه سیگنال ماهواره‌ای در طیف خورشیدی (۶SV) روی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ جنگل‌های استان گیلان اعمال شده است. از هر تصویر، ده شاخص گیاهی استخراج شد. با استفاده از لایه پوشش جهانی، محدوده جنگل روی شاخص‌های متفاوت استخراج و با استفاده از روش شیء پایه، محدوده جنگل روی تصویر قطعه‌بندی شد. ۹۱ قطعه به‌طور تصادفی انتخاب شد. با استفاده از شبکه نقطه چین به ابعاد ۲۰×۲۰ متر، تراکم تاج پوشش درختان در هر قطعه روی تصاویر گوگل مشخص شده است. آزمایش پیرسون برای آزمون معنادار بودن همبستگی شاخص‌ها با نمونه‌های مرجع، رگرسیون خطی و غیرخطی برای مدل‌سازی تراکم تاج پوشش به کار رفت. نتایج نشان داد که مدل تصحیح برمبنای کد ۶SV در مناطق جنگلی استان گیلان بهتر عمل کرده است. شاخص GARI حاصل از مدل تصحیح اتمسفریک DOS با خطای RMSE برابر ۱۷/۷۲ و شاخص ARVI حاصل از مدل تصحیح اتمسفریک ۶SV و شاخص اصلی OLI به ترتیب معادل ۱۵/۳۸ و ۱۵/۸۷ و ۲۱/۷۸ کمترین میزان خطای RMSE را نشان داده است. کاهش آثار اتمسفر در فرایند پیش‌پردازش قبل از مدل‌سازی ضروری و پیشنهادشده است.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص گیاهی، تاج پوشش جنگل، سنجش از دور، لندست ۸.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: لرستان، خرم‌آباد، خیابان سیزده آبان غربی، کوچه کشاورزی، واحد ۲، کدپستی ۶۸۱۵۸-۱۶۱۵۴. تلفن: ۰۹۱۶۳۶۹۰۹۱۹-۰۹۳۹۳۶۹۰۹۱۹

## ۱- مقدمه

تعیین کمی میزان گسترش جنگل در مقیاس ملی و منطقه‌ای برای مدیریت یکپارچه منابع جنگلی، برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، پایش و حفاظت از منابع طبیعی حائز اهمیت است. دسترسی رایگان و تصویربرداری پی‌درپی از سطح زمین، با قدرت تفکیک مکانی متوسط، محاسبه پوشش جنگل در مقیاس گسترده را ممکن کرده است. ماهواره‌های سری لندست متشکل از مجموعه متنوعی از سنجنده‌هاست که به‌مرور زمان، طی پروژه‌های گوناگون، از سال ۱۹۷۲ تا کنون توسعه یافته است (Gao, 2009). به دلیل نویز، سایه و اطلاعات ناخواسته روی تصاویر لندست، بازتاب پدیده‌های ثبت‌شده واقعی نیستند. برای رفع این اطلاعات ناخواسته، در حین ثبت مستقیم انعکاس روی سنجنده در ماهواره‌های سری لندست اقدام مؤثری صورت نگرفته است (Masek et al., 2006). در این شرایط، اعداد رقومی (DNs) ثبت‌شده بازتاب واقعی پدیده‌های متفاوت سطح زمین را نشان نمی‌دهند. با اعمال ضرایب کالیبراسیون دقیق روی تصاویر، امکان تبدیل اعداد رقومی به مقادیر بازتاب بالای اتمسفر (TOA) وجود دارد (Chander et al., 2009). به دلیل آثار پخش و جذب اتمسفر در انرژی ثبت‌شده، مقادیر TOA با بازتاب واقعی پدیده‌های سطح زمین اختلاف دارد (Roy et al., 2010). اعمال تصحیحات اتمسفری روی بازتاب سطح، در بیشتر موارد به‌ویژه در مطالعات چندزمانه و عرصه‌های گسترده ضروری است (Hu et al., 2014). تأثیر جذب و پخش اتمسفر در اعداد رقومی ثبت‌شده پدیده‌های تیره، شامل پوشش گیاهی انبوه و مناطق آبی، بیشتر است (Nguyen et al., 2015). این مسئله به‌ویژه در پایش مناطق جنگلی اهمیت دارد (Hadjimitsis et al., 2010). بنابراین انتخاب مدل تصحیح اتمسفریک کارآمد و معقول برای پردازش و استخراج اطلاعات مفید از تصاویر در برخی از مطالعات سنجنش از دوری پوشش گیاهی ضروری است. آگاپیو و

همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) تأثیر تصحیحات اتمسفری در برآورد زیست‌توده پوشش گیاهی را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که اعمال نکردن این تصحیحات، به‌خصوص در رابطه با استفاده از شاخص‌های گیاهی، سبب از بین رفتن قطعیت در محاسبه زیست‌توده شده است. این امر بیانگر ضرورت اصلاح آثار اتمسفری از روی تصویر، پیش از محاسبه شاخص‌های گیاهی است.

روش‌های تصحیح اتمسفریک چندی توسعه داده شده است (Roy et al., 2014). در مجموع، این روش‌ها در دو دسته کلی و مدل‌های فیزیکی تفکیک می‌شوند. روش‌های کلی از اطلاعات خود تصویر در فرایند تصحیح بهره می‌برند (Canty, 2008). از این دسته می‌توان به روش تفریق شیء تیره (DOS) اشاره کرد (Song & Woodcock, 2003). این روش، با کسر نسبی انعکاس شیء تیره از کل تصویر، تصویر را تصحیح اتمسفریک می‌کند. روش‌های فیزیکی بر مبنای مدل انتقال تابشی اتمسفر عمل می‌کنند. از این روش‌ها می‌توان به تحلیل سریع خط‌دید اتمسفر از طریق طیف ابر مکعب (FLAASH) و شبیه‌ساز وکتوری ثانویه سیگنال ماهواره‌ای در طیف خورشیدی (۶SV) اشاره کرد. تصاویر حاصل از سنجنده تصویبردار عملیاتی زمین (OLI) ماهواره لندست ۸ از جنبه کالیبراسیون، نسبت سیگنال به نویز، قدرت تفکیک طیفی و طول موج‌های طیفی باریک‌تر در مقایسه با نسل پیشین بسیار پیشرفت کرده است (Roy et al., 2014). اما محاسبه بخار آب، ازون و عوامل مؤثر در جذب و پخش اتمسفر با استفاده از تصاویر لندست ۸ چالشی جدی است (Hu et al., 2014). برای رفع این مشکل، امکان استفاده از اطلاعات اتمسفری تهیه‌شده از طریق ماهواره دیگر با تفکیک طیفی بیشتر وجود دارد. سنجنده مودیس-ترا<sup>۲</sup> و لندست OLI مدار قطبی دارند. مشاهده‌های این دو سنجنده اختلاف زمانی محدودی

1. Agapiou et al.  
2. MODIS-Terra

TM ماهواره لندست و داده‌های مرجع ۰/۵۳ است. پاک‌خصال و بنیاد (۲۰۱۳)، با استفاده از مدل FCD، تراکم جنگل‌های شفاورد استان گیلان را طبقه‌بندی کردند. نتایج این تحقیق توانایی مدل یادشده را در برآورد تاج‌پوشش درختان جنگل نشان می‌دهد. با استفاده از تصاویر آنلاین موجود در محیط گوگل‌ارث<sup>۱</sup> امکان تهیه اطلاعات مرجع (تاج‌پوشش) برای تحلیل داده‌های ماهواره لندست وجود دارد. قطعه‌بندی خودکار تصویر با روش شیء‌پایه، ضمن شناخت و معرفی مناطق همگن، سرعت نمونه‌برداری را افزایش می‌دهد. تصمیم‌گیری بر مبنای رویکرد شیء‌پایه در افزایش سرعت نمونه‌برداری مناطق وسیع مؤثر است (Yan and Roy, 2014).

تحقیقات انجام‌شده برای برآورد تاج‌پوشش جنگل معمولاً دقت بالایی نداشته‌اند. به این دلیل که داده‌های ماهواره‌ای در زیست‌سنجی جنگل از اهمیت بسیاری برخوردارند، محققان می‌کوشند با استفاده از تکنیک‌های جدید، مانند اعمال تصحیحات اتمسفر روی داده‌های اصلی، دقت استفاده از آن را بیشتر کنند. هدف از این تحقیق بررسی آثار به‌کارگیری روش‌های گوناگون تصحیح اتمسفری در مدل‌سازی انبوهی تاج‌پوشش جنگل‌های شمال ایران، با استفاده از تصاویر لندست ۸ است. برای دستیابی به این هدف، شاخص‌های گیاهی از تصاویر حاصل از اعمال مدل‌های تصحیح اتمسفری FLAASH، DOS، ۶SV و تصاویر اصلی بدون اعمال تصحیح تهیه، و سپس برای دستیابی به روش تصحیح بهینه با مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی ارزیابی و اعتبارسنجی می‌شوند.

دارد؛ بنابراین، استفاده از داده‌های مودیس در تصحیح تصاویر لندست امکان‌پذیر است. تصحیح اتمسفری تصاویر لندست بر مبنای الگوریتم توسعه‌یافته MODIS-Based، با استفاده از کد انتقال تابشی ۶SV عرضه شده است (Vermote et al., 2006). این کد امکان پردازش تصاویر لندست ۸ را برای ایجاد فرآورده‌های انعکاس سطحی از رادیومتری خام فراهم آورده است. روش تصحیح مبتنی بر مودیس با استفاده از ذرات معلق دینامیک، ضخامت نوری ذرات معلق و بخار آب حاصل از مودیس-ترا برای تصحیح تصاویر OLI در مدار هم‌زمان عمل می‌کند. وین و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) سه روش تصحیح اتمسفری متداول در بهبود برآورد زیست‌توده جنگل روی تصاویر سنجنده ETM+ را مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل ۶SV برتر از دیگر مدل‌هاست. در تحقیقی دیگر، جو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۲) دو روش تصحیح اتمسفری LEDDAPS و MODIS-Based را در تصحیح سنجنده ETM+ به‌کار بردند. نتایج نشان داد، در مجموع، عملکرد MODIS-Based بهتر از LEDDAPS در تصحیح باندهای قرمز و نیز با طول موج بلندتر ETM+ بوده است.

تاج‌پوشش جنگل یکی از متغیرهای مهم در زیست‌سنجی محسوب می‌شود. در تحقیقات گوناگون، این متغیر مهم‌ترین پارامتر قابل اندازه‌گیری شمرده شده است. محققان با توجه به اهمیت این متغیر در تحقیقات گوناگون، مانند بذرافکن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۴)، با استفاده از روش‌های نمونه‌برداری و آماری پیشرفته به دنبال افزایش صحت برآورد تراکم تاج‌پوشش‌اند. در بررسی یادشده، از تصاویر سنجنده Liss III برای تهیه نقشه تراکم استفاده شده است. پرما و شتابی<sup>۴</sup> (۲۰۱۰) نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس را با استفاده از تصاویر ETM+ تهیه کردند. نتایج طبقه‌بندی و مدل‌سازی بیانگر توانایی اندک باندهای اصلی در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل است. نتایج تحقیق جافر<sup>۵</sup> (۱۹۹۳) در مدل‌سازی تراکم تاج‌پوشش درختان نشان داد بیشترین همبستگی بین باندهای اصلی سنجنده

1. Nguyen et al.  
3. Bazrafkan et al.  
5. Jofer

2. Ju  
4. Parma & Shataee  
6. Google Earth

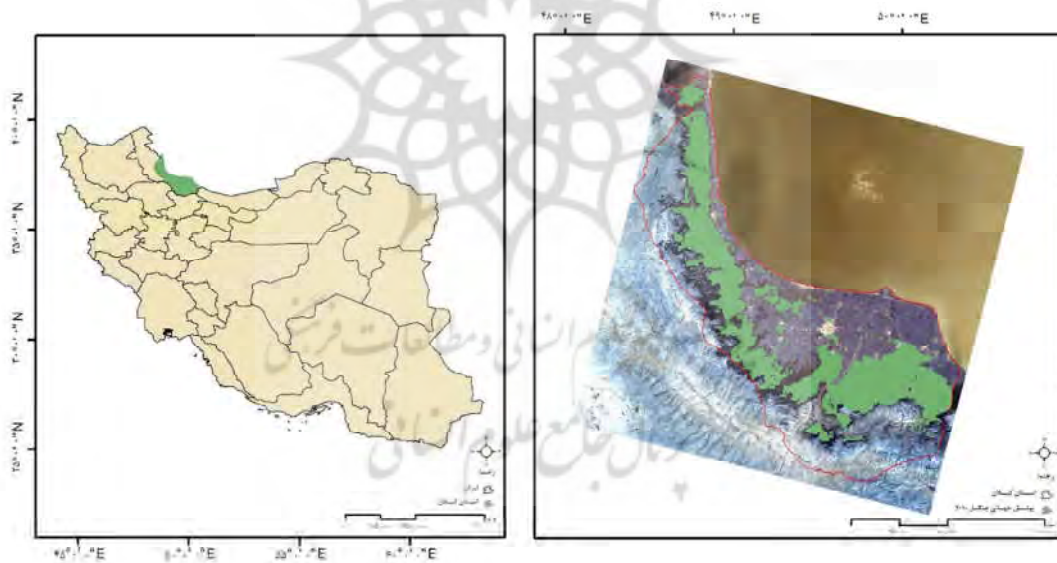
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه جنگل‌های استان گیلان، واقع در شمال ایران است. این استان بین طول جغرافیایی ۰۰" ۵۳' ۴۸° تا ۰۰" ۳۴' ۵۰° شرقی و عرض ۰۰" ۳۴' ۳۶° تا ۰۰" ۲۷' ۳۸° شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). جنگل‌های گیلان بخش عمده‌ای از سطح استان را به خود اختصاص داده و از نظر تقسیمات جهانی، جزء جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده با اقلیم نیمه‌مدیترانه‌ای مرطوب‌باند. سطح جنگل‌های این استان، به دلیل دخالت‌های انسانی و رشد فزاینده جمعیت، به شدت رو به کاهش است. این جنگل‌ها بیشتر به علت تخریب بسیار، در مناطق کوهستانی و دورازدسترس، تا حدودی باقی مانده است.

هفت باند سنجنده OLI با ویژگی‌های زیر برای بازیابی

انعکاس سطح زمین استفاده شده است (جدول ۱). سنجنده مودیس ماهواره ترا، هر دو روز یکبار، پوشش کاملی از سطح زمین در ۳۶ باند طیفی تصویربرداری تهیه می‌کند. ماهواره ترا، پیش از عبور لندست ۸ بر فراز ایران، در تاریخ ۱۲ مرداد ۱۳۹۴ و ساعت ۱۰:۱۵:۰۰ ق.ظ. به وقت محلی تصویر تهیه کرده است. بنابراین، با توجه به پایداربودن وضعیت و شرایط اتمسفر در این اختلاف زمانی (حدود نیم ساعت)، امکان استفاده از اطلاعات مودیس همگام با لندست وجود دارد. در این تحقیق سه محصول روزانه مودیس، با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰۰ متر، در تصحیح لندست به کار رفت (جدول ۲).



شکل ۱. موقعیت استان گیلان و جنگل‌های آن

جدول ۱. ویژگی‌های تصاویر OLI ماهواره لندست ۸ مورد استفاده

سنجنده	شناسه	تاریخ برداشت	گذر/ردیف	سطح تصحیحاتی داده	وقت محلی برداشت	پوشش ابر
OLI	LC81660342015215	۱۲ مرداد ۱۳۹۴	۳۴/۱۶۶	LIT	۱۰:۴۹:۴۱	۰/۱۸

جدول ۲. محصولات اتمسفری مودیس

کاربرد	اطلاعات موجود	نوع محصول	ردیف
مدل سازی آب و هوا	ذرات معلق (ابعاد و نوع ذرات معلق)	MOD04	۱
چرخه آب، ذرات معلق	بخار آب (ستون بخار آب)	MOD05	۲
تصحیح اتمسفریک	ازون کل (ازون، پایداری اتمسفر، پروفیل حرارتی، بخار آب)	MOD07	۳

### ۳- روش تحقیق

#### ۳-۱- شاخص‌های پوشش گیاهی

انتخاب شاخص گیاهی مناسب برای هر منطقه اهمیت فراوانی دارد. در این مطالعه، جهت برآورد پوشش جنگل، از شاخص‌های متداول در تحقیقات گوناگون استفاده شد. در جدول ۳، معادلات ده شاخص به کاررفته در این تحقیق درج شده است.

مدل رقومی ارتفاع یکی از پارامترهای ورودی در مدل‌های تصحیح اتمسفریک است. در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاع حاصل از سنجنده استر<sup>۱</sup> با قدرت تفکیک مکانی سی متر استفاده شده است. از لحاظ دقت عمودی این داده‌ها با میانگین مربعات خطا (RMSE) بین ۱۰ و ۲۵ متر مطرح شده است. نسخه ثانویه استر GDEM را ناسا با همکاری وزارت اقتصاد، تجارت و صنعت ژاپن، در ۲۴ مهر ۱۳۹۰، عرضه و در ۸ آذر ۱۳۹۵ به روزرسانی کرد.

جدول ۳. شاخص‌های مورد استفاده

شاخص	مخفف	رابطه	منبع
Atmospherically Resistant Vegetation Index	ARVI	$ARVI = \frac{R_{NIR} - R_{RB}}{R_{NIR} + R_{RB}}$	(Kaufman & Tanré, 1992)
Difference Vegetation Index	DVI	$R_{RB} = R_{RED} - \lambda(R_B - R_{RED})$ $DVI = R_{NIR} - R_{RED}$	(Tucker, 1979)
Enhanced Vegetation Index	EVI	$EVI = 2.5 \times \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + (6 \times R_{RED} - 7.5 \times R_B)}$	(Huete, et al., 1997)
Green Atmospherically Resistant Vegetation Index	GARI	$GARI = \frac{R_{NIR} - [R_G - \lambda(R_B - R_{RED})]}{R_{NIR} + [R_G - \lambda(R_B - R_{RED})]}$	(Gitelson et al., 1996)
Green Normalized Difference 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	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$	(Rouse et al., 1974)
Optimized Soil Vegetation Index	OSAVI	$OSAVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED} + 0.16}$	(Rondeaux et al., 1996)
Rational Vegetation Index	RVI	$RVI = \frac{R_{NIR}}{R_{RED}}$	(Jordan, 1969)
Soil Adjusted Vegetation Index	SAVI	$SAVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}(1 + 0.5)}{R_{NIR} + R_{RED} + 0.5}$	(Huete, 1988)

## 1. ASTER

آمده است. پس از قطعه‌بندی کل منطقه جنگل، از بین قطعات ۹۱ شیء (وکتور) با سطوح متفاوت و با تراکم تاج پوشش ۱۰ تا ۱۰۰٪، به صورت کاملاً تصادفی انتخاب شده است. وکتورهای منتخب به صورت تک‌به‌تک، با استفاده از شبکه نقطه‌چین ۲۰×۲۰ متر (با توجه به میانگین فاصله درختان در تراکم‌های پایین)، از لحاظ درصد تاج پوشش برچسب خورده است. لایه وکتوری منتخب روی نقشه‌های بینگ<sup>۱</sup> و گوگل<sup>۲</sup> آنلاین بارگذاری شده است. درصد تاج پوشش در هر پلی‌گون (هر قطعه)، با استفاده از شبکه نقطه‌چین، از رابطه (۱) به دست آمد (Carreias et al., 2006).

رابطه (۱) (تعداد کل نقاط شبکه / تعداد نقاط روی تاج پوشش) × ۱۰۰ = درصد تاج پوشش جنگل در قطعه  
شکل ۲ قطعه نمونه قرار گرفته روی تصویر گوگل، شبکه مورد استفاده برای تعیین درصد تاج پوشش درختان، را نشان می‌دهد. در این شکل، نقاطی که کاملاً روی تاج درختان واقع شده‌اند با علامت + سفید و نقاط قرار گرفته روی زیراشکوب تاج پوشش با دایره توخالی سفید<sup>۰</sup> نمایش داده شده است.

شاخص‌های یادشده از تصاویر تصحیحی و تصویر اصلی OLI استخراج شده است. در این جدول، ، ، به ترتیب انعکاس باند آبی، سبز، قرمز و فروسرخ نزدیک است.

### ۳-۲- نمونه برداری

نقشه پوشش جهانی زمین (GLC) برای شناخت کلی محدوده کاربری پوشش زمین تهیه شده است. در این تحقیق، لایه جنگل استان گیلان را از این نقشه استخراج و به لایه وکتوری تبدیل کرده‌اند. منطقه جنگلی با استفاده از این لایه از تصویر لندست ۸ زیرمجموعه‌گیری و تصویر مورد نظر برای قطعه‌بندی به نرم‌افزار معرفی شد. نرم‌افزار eCognition برای یکپارچه‌سازی پیکسل‌ها و ایجاد قطعات همگن از سه پارامتر، شامل رنگ/شکل، فشردگی/همواری و مقیاس استفاده می‌کند. قطعات باید، در داخل خود، کمترین واریانس و بین خود، بیشترین واریانس را داشته باشند. مطلوب‌ترین قطعه‌بندی، با توجه به آزمون همگنی چشمی، در پارامتر رنگ/شکل برابر با ۰/۹، در پارامتر فشردگی/همواری برابر با ۰/۱-۰/۹ و در پارامتر مقیاس برابر با ۱۰۰ حاصل



(ب)

(الف)

شکل ۲. (الف) قطعه قرار گرفته روی تصویر؛ (ب) جزئیات همان قطعه در حالت استفاده از شبکه نقطه‌چین. علامت مثبت و دایره سفید به ترتیب بیانگر شبکه قرار گرفته روی تاج و زمین‌اند.

1. Bing

2. Google

### ۳-۳- تصحیح اتمسفریک بر مبنای مودیس، با استفاده از کد انتقال تابشی ۶SV

مدل اتمسفری شبیه‌ساز سیگنال‌های ماهواره‌ای در طیف خورشیدی قادر به شبیه‌سازی سیگنال مشاهده‌شده سنجنده روی یک هدف لامبرتی است. این مدل به منظور ارتقا و بهبود آثار ذرات معلق و پخش ریلی روی تصویر توسعه یافته و بر مبنای کد انتقال تابشی ۶S است. این کد به طور گسترده برای اعمال تصحیحات اتمسفریک استفاده و با مدل‌های انتقال تابشی دقیق همچون AERONNET اعتبارسنجی شده است. مدل ۶S را می‌توان برای اعمال تصحیحات به صورت مستقیم یا غیرمستقیم (جدول مراجعه (LUT) به کار برد. در این تحقیق، تصحیح اتمسفری با این روش به طور مستقیم صورت گرفته است. با توجه به اختلاف زمانی اندک دریافت تصاویر لندست ۸ و مودیس، به استثنای جریان‌های سریع اتمسفری، امکان استفاده از اطلاعات ماهواره مودیس- ترا در تصحیح باندهای لندست وجود دارد. در این تحقیق، از سه محصول اتمسفری مودیس، شامل MOD 04 (مقادیر ضخامت نوری ذرات معلق در ۵۵۰ nm، MOD 05 (بخار آب) و MOD 07 (ازون کل) برای تصحیح تصویر OLI استفاده شده است (King et al., 1997; Kaufman & Tanré, 1998; Menzel et al., 2002)

### ۳-۴- تصحیح اتمسفریک FLAASH

روش تصحیح اتمسفریک FLAASH بر مبنای کد ۴ MODTRAN است. این مدل تصحیح آثار اتمسفر را آزمایشگاه نیروی هوایی فیلپس گسترش داده است (Adler-Golden et al., 1999). این روش بازتاب دقیق سطح را از طریق کاهش آثار، همچون آلبیدو، ارتفاع از سطح دریا، ستون بخار آب، ذرات معلق، ضخامت ابر، درجه حرارت سطح و اتمسفر، با استفاده از اطلاعات رنگ، اشباع شدن و شدت (HSI) حاصل آورده است. تصحیح اتمسفریک FLAASH در محدوده طیفی ۰/۴-۲/۵ میکرومتر عمل می‌کند. این روش با استفاده از

اطلاعات حاصل از باندهای تصویر (در این تحقیق، لندست) تصحیح انجام می‌دهد. در گام نخست، شبیه‌سازی‌های MODTRAN برای شرایط متنوع اتمسفر، بخار آب، و شرایط دید (زوایای خورشیدی) روی محدوده‌ای از بازتاب‌های سطح، با ایجاد LUT از طریق پارامترهای اتمسفری بخار آب، ذرات معلق و قابلیت دید برای استفاده‌های بعدی اقدام می‌کند. به طور معمول، طیف ۱/۱۳ میکرومتر برای برآورد بخار آب و نیز نسبت ارزش‌های رقومی رادیانس در-باند و خارج-باند به برآورد عمق باند جذبی در محدوده‌ای از ستون تراکم‌های بخار آب به کار می‌رود. باند جذب در محدوده طیفی ۰/۷۶۲ میکرومتر برای محاسبه فشار استفاده می‌شود. این روش برای اصلاح آثار پخش نور در پیکسل‌های مجاور مفید است. روش FLAASH، در مقایسه با دیگر روش‌های تصحیح اتمسفری، از شرایط و عوامل متنوعی بهره گرفته است؛ مانند دید خارج از نادیر و تمامی مدل‌های استاندارد کد ۴ MODTRAN.

### ۳-۵- تصحیح شیء تیره DOS

تصحیح اتمسفریک شیء تیره روشی تجربی است (Song et al., 2001). در این روش بازتاب اتمسفر معادل انعکاس از اجسام تیره، مانند پوشش گیاهی انبوه و آب عمیق زلال، در نظر گرفته شده است. بنابراین، پس از تشخیص اجسام تیره روی تصویر، بازتاب آن از عدد رقومی هر باند تصویر کسر می‌شود.

### ۳-۶- پردازش اطلاعات

تصویر لندست ۸ در سطح تصحیحاتی L1T دریافت شد که این تصاویر، از لحاظ هندسی، با نقشه‌های رقومی انطباق و هم‌پوشانی کامل دارد. DN‌های تصویر با استفاده از کالیبراسیون عدد خاکستری و ضرایب اریب و افست به رادیانس تبدیل شد (رابطه (۲)):

$$RAD = gain \times DN + offset \quad (2)$$

نرم‌افزار ENVI را می‌توان در محدوده طیفی مرئی و فرورسرخ استفاده کرد. این مدل بر مبنای کد انتقال تابشی MODTRAN عمل می‌کند و به پارامترهای ورودی همانند مرکز فریم تصویر، ارتفاع و نوع سنجنده، زمان عبور ماهواره بر فراز منطقه تصویر، ارتفاع از زمین و اندازه پیکسل— نیازمند است. تمامی این اطلاعات را از فایل متنی و متادیتای همراه تصویر می‌توان دریافت کرد. با استفاده از رابطه (۲)، اعداد رقومی باندهای تصویر به رادیانس TOA تبدیل و سپس تمامی باندهای تصویر به فرمت BIL تبدیل شده است. کد تصحیح ۶SV به رایگان در سایت قابل دسترسی است. (<http://6s.ltdri.org/>). این کد توان شیب‌سازی سیگنال مشاهده‌شده در طول موج خورشیدی در محدوده ۴۰۰-۲۵۰ نانومتر را دارد (Pathak et al., 2014). برای راه‌اندازی مدل یادشده، فایل ورودی باید در مسیر فایل‌های اجرایی قرار گیرد. فایل‌های خروجی نیز در همان مسیر نوشته خواهد شد. پارامترهای ورودی این مدل شامل شرایط هندسی، مدل اتمسفری برای بخار آب، ازون و ذرات معلق است. مدل تصحیح اتمسفریک مورد نظر در برنامه IDL نوشته و راه‌اندازی شد. گام‌های تصحیح اتمسفریک با مدل‌های گوناگون در شکل ۳ مشاهده می‌شود. پس از اعمال مدل، شاخص‌های گیاهی از بازتاب سطح تهیه و با داده‌های مرجع مقایسه شده است.

### ۳-۹- تحلیل آماری و اعتبارسنجی متقابل

انبوهی تاج‌پوشش جنگل‌های گیلان با استفاده از مدل برآورد شده است. با استفاده از داده‌های مرجع روی ده شاخص گیاهی که تصحیح اتمسفری ۶SV، FLAASH، DOS شده‌اند، مدل‌سازی صورت گرفت. از ضریب همبستگی پیرسون<sup>۱</sup> برای بررسی همبستگی دو متغیر تاج‌پوشش روی اطلاعات مرجع و میانگین اعداد رقومی شاخص‌های گوناگون استفاده شد.

در مجموع، انعکاس TOA تصویر لندست به صورت زیر محاسبه شده است (رابطه (۳)):

$$TOA = \pi d^2 \times RAD / (ESUN \times \cos \theta) \quad (3)$$

در این رابطه،  $d$  فاصله زمین تا خورشید،  $RAD$  رادیانس تصویر لندست  $ESUN$  ( $w. m^{-2}. \mu m^{-1}$ )،  $\theta$  زاویه زنیت خورشید است.

### ۳-۷- تنظیم ابعاد و مختصات هندسی تولیدات اتمسفری MODIS

تولیدات روزانه مودیس در سطح ۲ با فرمت HDF-EOS دریافت شده است. تصاویر با استفاده از ابزار MCTK (ابزار تبدیل HDF-EOS به TIFF) تبدیل شد. با استفاده از این ابزار، تولیدات اتمسفریک سه‌گانه به سیستم تصویر طول/عرض در قدرت تفکیک زمینی ۵۰۰۰ متر در فرمت GeoTIFF تبدیل شد. در نهایت، تولیدات اتمسفری مودیس به‌اندازه محدوده لندست زیرمجموعه‌گیری شده است.

### ۳-۸- درون‌یابی تولیدات اتمسفری مودیس

به دلیل ابر و دیگر آثار ناخواسته، پیکسل‌های نامعتبری در تولیدات سه‌گانه اتمسفری داده‌های مودیس وجود دارد. برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم از درون‌یابی استفاده شده است. در این تحقیق، با روش کریجینگ بر مبنای شباهت نقاط مجهول از طریق نزدیک‌ترین نقاط معلوم، درون‌یابی صورت گرفته است.

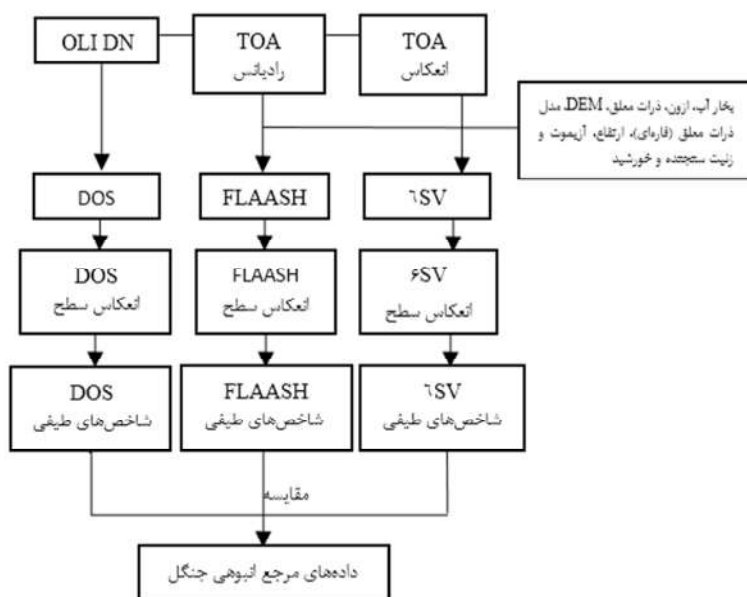
برای دستیابی به بهترین مدل تعیین انبوهی تاج‌پوشش جنگل، شاخص‌های گیاهی از سه مدل تصحیح آثار اتمسفری، شامل ۶SV و FLAASH و DOS، و باندهای اصلی OLI تهیه و با داده‌های مرجع سنجیده شدند.

مدل DOS روی تصویر اصلی اعمال شده است. مقادیر تفریقی از روی پیکسل‌های پدیده تیره (معمولاً آب عمیق و زلال) در باندهای فرورسرخ میانی محاسبه و از کل باندها کسر می‌شود.

مدل تصحیح اتمسفریک FLAASH موجود در

1. Pearson





شکل ۳. نمودار جریان تصحیح اتمسفریک لندست ۸ با استفاده از مدل‌های 6SV، FLAASH و DOS.

مقدار تراکم تاج پوشش جنگل حاصل از اطلاعات مرجع (قطعات)،  $n$  تعداد زیرمجموعه‌های مورد استفاده برای اعتبارسنجی است. مدل رگرسیون بهینه با داده‌های مرجع ارزیابی شد.

#### ۴- نتایج

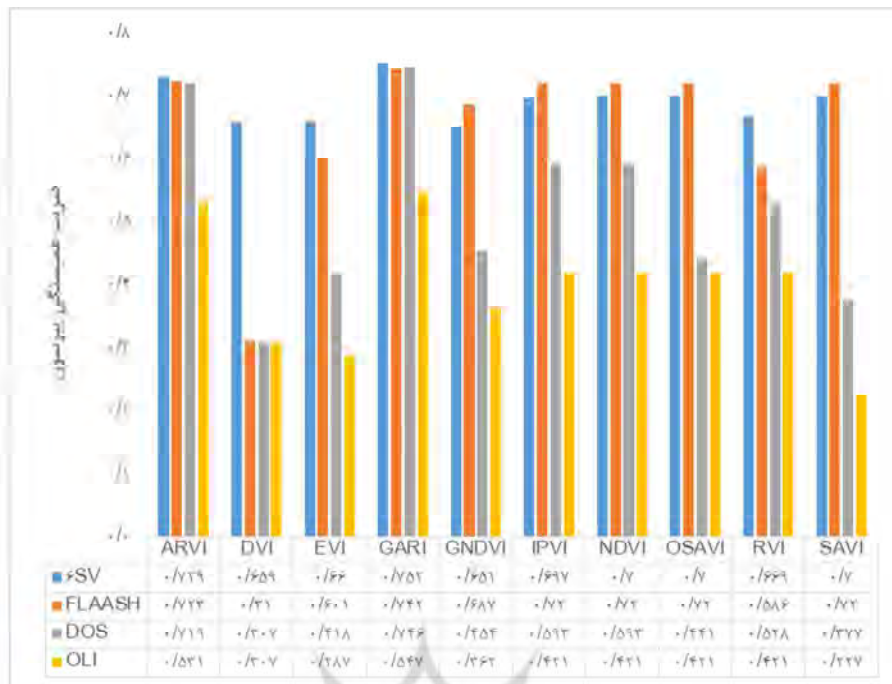
در این تحقیق، برای دستیابی به بهترین مدل تعیین انبوهی تاج پوشش جنگل، با هدف افزایش دقت نقشه‌های طبقه‌بندی روی تصاویر سنجنش از دور، از سه مدل تصحیح آثار اتمسفر استفاده شد. این مدل‌ها شامل 6SV، FLAASH و DOS هستند. شاخص‌های گیاهی از سه مدل تصحیح آثار اتمسفر و تصویر اصلی تهیه و بررسی شده است. نتایج تحلیل آماری ضریب همبستگی (پیرسون) مربوط به شاخص‌های حاصل از مدل‌های اتمسفریک 6SV، FLAASH، DOS و اصلی (OLI) مطابق شکل ۴ است. هر ده شاخص مورد استفاده همبستگی معتنا بهی با پوشش جنگل دارند. بیشترین ضریب همبستگی را شاخص ARVI و GARI و کمترین ضریب همبستگی را شاخص DVI نشان داده است.

مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی (تمایبی، لگاریتمی و توانی) برای برآورد تاج پوشش تشکیل شد. در این مدل‌ها، داده‌های مربوط به تراکم تاج پوشش به‌منزله متغیر وابسته و میانگین اعداد رقومی تاج درختان در هر قطعه روی شاخص‌های گیاهی به‌منزله متغیر مستقل در مدل قرار گرفتند. مناسب‌ترین مدل در سطح احتمال ۹۵٪ با در نظر گرفتن کمترین خطای استاندارد معرفی شد.

برای برآورد کمی میزان خطای میانگین مربعات مدل RMSE، تعداد نمونه‌های مرجع به دو زیرمجموعه تقسیم شده است. ۷۳ نمونه برای مدل‌سازی و ۱۸ نمونه برای ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌ها به کار رفت. مقدار RMSE با استفاده از رابطه (۴) به دست آمد (Kim et al., 2012):

#### رابطه (۴)

در این رابطه، درصد تراکم تاج پوشش برآوردی با استفاده از مدل رگرسیونی در آمین مشاهده،



شکل ۴. ضریب همبستگی (پیرسون) مربوط به شاخص‌های حاصل از مدل‌های اتمسفریک 6SV، FLAASH، DOS و OLI با داده‌های مرجع تراکم تاج‌پوشش جنگل

با ضریب همبستگی 0/746 اختصاص دارد و کمترین میزان همبستگی این روش، در شاخص DVI، برابر 0/307 است. شاخص گیاهی EVI در روش DOS یا شیء تیره همبستگی معادل 0/418 را دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش DOS، در مقایسه با روش‌های تصحیح پیشرفته FLAASH و 6SV، نتایج ضعیف‌تری داشته اما عملکرد آن از باندهای اصلی بهتر بوده است. شاخص GARI و ARVI باند اصلی، به ترتیب با همبستگی 0/547 و 0/531، نتایج بهتری داشته‌اند. مدل‌سازی به صورت رگرسیون خطی ساده برای محاسبه تاج‌پوشش درختان جنگل به کار رفته و نتایج آن مطابق جدول ۴ است. در این مدل‌ها، میانگین اعداد رقومی شاخص‌های گیاهی را متغیر مستقل و داده‌های درصد تراکم تاج‌پوشش در عرصه را متغیر وابسته به مدل معرفی کرده‌ایم. برای بررسی امکان برآورد پوشش جنگل به کمک شاخص‌های گوناگون، مقادیر ضریب تبیین ( $r^2$ ) و خطای استاندارد تخمین (RMSE) معادلات رگرسیونی محاسبه استفاده شدند.

نتایج نشان می‌دهد مدل تصحیح اتمسفریک برمبنای کد انتقال تابشی 6SV در بیشتر شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های OLI ماهواره لندست ۸ در مناطق جنگلی استان گیلان عملکرد مناسبی داشته است. شاخص GARI حاصل از مدل تصحیح 6SV، با ضریب همبستگی 0/752، بالاترین نتایج تحلیل همبستگی را نشان داده است. شاخص DVI، به استثنای 6SV، در دیگر مدل‌ها همبستگی مطلوب را نداشته است. در حالت استفاده از مدل تصحیح اتمسفریک FLAASH برای تصحیح، شاخص GARI با میزان همبستگی 0/742 بهتر از دیگر شاخص‌هاست و شاخص گیاهی DVI با همبستگی 0/31 ضعیف‌ترین شاخص به‌شمار می‌رود.

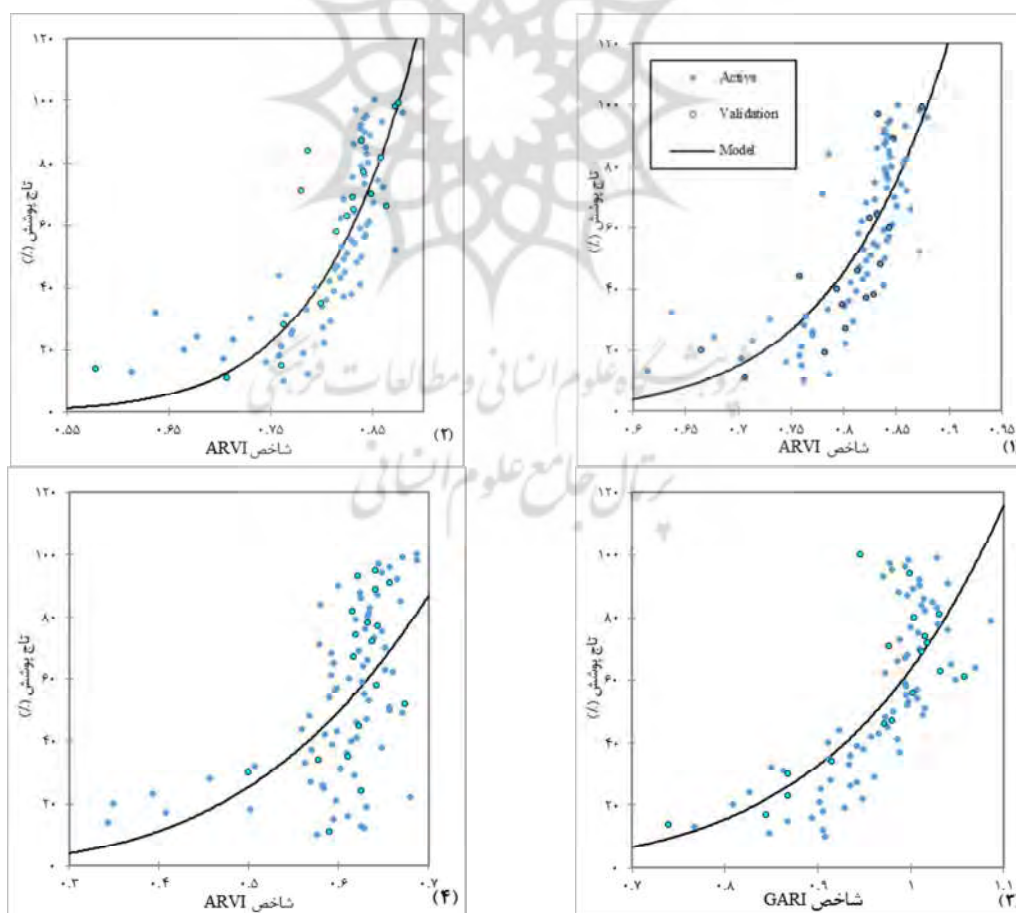
استفاده از روش تجربی تصحیح شیء تیره یا DOS تا حد زیادی در ارتقای همبستگی شاخص‌ها مؤثر است. بیشترین میزان همبستگی در حالت استفاده از روش تصحیح شیء تیره، در تهیه شاخص، به شاخص GARI

جدول ۴. بهترین مدل رگرسیونی حاصل از شاخص‌های گوناگون

مدل اتمسفیریک	مدل رگرسیونی	مجموعه اعتبارسنجی	df	خطای استاندارد	r <sup>2</sup>
۶SV	تاج پوشش (%) = $228/098 \times (AVRI \text{ Index}^{\wedge} 8 / 428)$	۱۸	۷۱	۰/۹۵۶	۰/۶۸۱
FLAASH	تاج پوشش (%) = $291/821 \times (ARVI \text{ Index}^{\wedge} 8 / 238)$	۱۸	۷۱	۰/۹۹۰	۰/۶۳۶
DOS	تاج پوشش (%) = $63/576 \times (GARI \text{ Index}^{\wedge} 6 / 29)$	۱۸	۷۱	۰/۸۰۴	۰/۵۶۸
OLI	تاج پوشش (%) = $318/367 \times (AVRI \text{ Index}^{\wedge} 3 / 639)$	۱۸	۷۱	۰/۷۹۸	۰/۳۳۰

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در بین ده شاخص گیاهی، شاخص GARI استخراج شده از مدل تصحیح اتمسفیریک DOS و شاخص ARVI حاصل از مدل تصحیح اتمسفیریک ۶SV، FLAASH و شاخص اصلی OLI کمترین میزان خطای RMSE را دارند (جدول ۵).

شکل ۵ نمای دوبعدی از مدل‌های بهینه رگرسیونی روی شاخص‌های گوناگون حاصل از باندهای اصلی و اعمال تصحیحات اتمسفیری ۶SV، FLAASH و OLI را نشان می‌دهد.



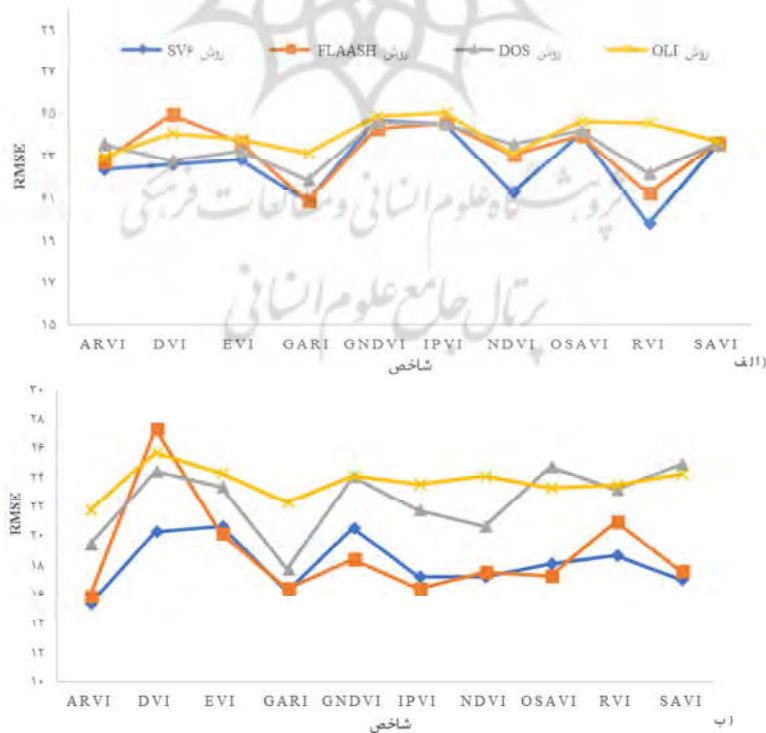
شکل ۵. نمودار پراکنش انبوهی تاج پوشش جنگل در مقابل شاخص‌های حاصل از: ۱. SV۶-ARVI، ۲. FLAASH-ARVI، ۳. DOS-GARI و ۴. OLI-ARVI

جدول ۵. نتایج ارزیابی صحت شاخص‌های استخراج‌شده از مدل‌های تصحیح اتمسفریک متفاوت

OLI		DOS		FLAASH		۶SV		روش تصحیح
توانی	خطی	توانی	خطی	توانی	خطی	توانی	خطی	مدل
RMSE								شاخص
۲۱/۸۷	۲۳/۰۱	۱۹/۴۰	۲۳/۵۷	۱۵/۸۷	۲۲/۷۸	۱۵/۳۸	۲۲/۴۲	ARVI
۲۵/۷۳	۲۴/۱۰	۲۴/۴۰	۲۲/۸۰	۲۷/۳۳	۲۴/۹۴	۲۰/۲۸	۲۲/۶۴	DVI
۲۴/۲۸	۲۳/۸۰	۲۳/۳۸	۲۳/۲۵	۲۰/۱۶	۲۳/۶۸	۲۰/۶۷	۲۲/۸۴	EVI
۲۲/۳۵	۲۳/۱۶	۱۷/۷۲	۲۱/۹۲	۱۶/۲۴	۲۰/۹۰	۱۶/۲۹	۲۰/۸۸	GARI
۲۴/۱۵	۲۴/۹۲	۲۴/۰۴	۲۴/۶۰	۱۸/۴۲	۲۴/۳۳	۲۰/۵۶	۲۴/۷۴	GNDVI
۲۳/۵۶	۲۵/۰۶	۲۱/۷۵	۲۴/۵۵	۱۶/۴۴	۲۴/۷۵	۱۷/۲۳	۲۴/۵۵	IPVI
۲۴/۱۲	۲۳/۱۵	۲۰/۶۸	۲۳/۵۶	۱۷/۵۵	۲۳/۱۰	۱۷/۲۸	۲۱/۲۹	NDVI
۲۳/۲۹	۲۴/۶۷	۲۴/۷۳	۲۴/۲۳	۱۷/۳۲	۲۳/۹۹	۱۸/۱۴	۲۴/۰۸	OSAVI
۲۳/۵۲	۲۴/۵۹	۲۳/۱۹	۲۲/۲۱	۲۰/۹۷	۲۱/۲۴	۱۸/۷۰	۱۹/۸۰	RVI
۲۴/۲۲	۲۳/۷۰	۲۴/۹۲	۲۳/۶۳	۱۷/۶۴	۲۳/۶۲	۱۷/۰۵	۲۳/۵۳	SAVI

شاخص‌های گوناگون، با روش خطی و غیرخطی را نشان داده است. کمترین RMSE در مدل‌سازی شاخص ARVI از روش تصحیح اتمسفریک ۶SV به‌دست آمده است. شاخص ARVI حاصل از روش ۶SV، FLAASH و تصویر اصلی OLI در برآورد

بررسی خطای RMSE حاصل از اعمال مدل‌های خطی و غیرخطی نشان داد که برآورد میزان انبوهی تاج‌پوشش جنگل از طریق مدل‌های غیرخطی بهتر است. مدل توانی دقت بیشتری از دیگر موارد دارد. نمودار شکل ۶ روند تغییرات RMSE در مدل‌سازی



شکل ۶. نمودار RMSE حاصل از مدل‌سازی تاج‌پوشش جنگل، با استفاده از شاخص‌های حاصل از تصحیح اتمسفریک:

الف) مدل خطی؛ ب) مدل توانی

سنجش از دور و GIS ایران  
سال نهم = شماره اول = بهار ۱۳۹۶

مودیس در فرایند تصحیح دانسته‌اند. روش FLAASH به‌استثنای حالت استفاده از شاخص DVI، در شاخص‌های دیگر، از جنبه همبستگی متعادل است. همبستگی شاخص‌های حاصل از DOS با نمونه‌ها در مقایسه با دو روش تصحیح ۶SV و FLAASH کمتر است. در زمان استفاده از اطلاعات باندهای اصلی تصویر OLI برای تهیه شاخص میزان همبستگی کاهش یافته است. این نتایج با نتایج تحقیق روی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) هماهنگی دارد. نتایج تحقیق آنان نشان داد که اعمال تصحیحات اتمسفریک، پیش از تهیه شاخص از تصاویر، سبب ارتقا و بهبود نتایج استخراج اطلاعات شده؛ به‌ویژه در مناطق با پوشش گیاهی انبوه و مناطق آبی، و شاخص گیاهی ۶SV-NDVI در مقایسه با-TOA NDVI عملکردی قوی‌تر داشته است. نتایج تحقیق جافر (۱۹۹۳) نشان داد که در بهترین حالت، همبستگی باندهای اصلی سنجنده TM و داده‌های مرجع تراکم تاج‌پوشش بسیار پایین و معادل ۰/۵۳ است. نتایج تحقیق پرما و شتایی (۲۰۱۰) بیانگر پایین بودن ضریب همبستگی پیرسون بین باندهای اصلی، شاخص‌های گیاهی حاصل از سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در برابر داده‌های مرجع تراکم تاج‌پوشش جنگل است. در این تحقیق، کاهش همبستگی در روش DOS به دلیل عملکرد ضعیف روش یادشده در محاسبه جذب و پخش چندگانه روی تصاویر است. جو و همکاران (۲۰۱۲) به این نتیجه رسیدند که روش تصحیح DOS روش تجربی ساده‌ای محسوب می‌شود و در تصحیحات دقیق نتایج مناسبی نداشته است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق آنها هماهنگی دارد.

با استفاده از معادلات رگرسیونی خطی و غیرخطی، تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های گیلان مدل‌سازی شد. در این فرایند، شاخص‌های حاصل از مدل‌های تصحیح به کار رفت. اعتبارسنجی نتایج با نمونه‌های باقی‌مانده مرجع بیانگر برتری شاخص‌های حاصل از روش تصحیح

تاج‌پوشش عملکرد بهتری داشته است. شاخص GARI حاصل از مدل DOS با RMSE معادل ۱۷/۷۲ کمترین میزان خطا را، در مقایسه با دیگر شاخص‌های حاصل از این مدل داشته است. در بیشتر موارد، کمترین میزان خطای RMSE برای مدل‌سازی از شاخص‌های حاصل از مدل SV۶ به دست آمده است. شاخص GNDVI، IPVI و OSAVI حاصل از مدل FLAASH کمترین میزان خطای RMSE را، در مقایسه با دیگر مدل‌ها داشته‌اند. طبق نتایج، استفاده از شاخص‌های تصویر اصلی OLI، در بیشتر موارد، سبب افزایش RMSE شده است.

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

برای نمونه‌گیری تراکم تاج‌پوشش جنگل در منطقه مورد مطالعه روی تصاویر OLI ماهواره لندست ۸، از روش قطعه‌بندی شیء پایه استفاده شده است. با استفاده از این روش، قطعه‌بندی تصویر با اطلاعات یکنواختی و همگنی انجام شد. این خود مزیتی در نمونه‌گیری به‌شمار می‌رود زیرا دخالت کاربر انسانی به کمترین میزان رسیده است. ۹۱ قطعه با ابعاد متفاوت بصری، روی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا در محیط وب، نشان داد که قطعات به‌درستی و با رعایت اصل یکنواختی از یکدیگر تفکیک شده‌اند. آزمون همبستگی پیرسون بین داده‌های مرجع (درصد تاج‌پوشش در قطعه‌ها) ده شاخص گیاهی تهیه‌شده از داده‌های تصحیح‌شده ارتقای همبستگی را بیان می‌کند. دلیل آن اعمال روش‌های تصحیح اثر اتمسفریک ۶SV، FLAASH، DOS روی باندهای اصلی OLI است.

در مجموع، شاخص‌های حاصل از تصحیح اتمسفریک SV۶، از لحاظ همبستگی، بهتر از دیگر روش‌هاست چون از پارامترهای اتمسفری، شامل بخار آب و عمق نوری ذرات معلق حاصل از محصولات مودیس، در فرایند تصحیح اتمسفری استفاده می‌کند و عملکرد آن بهتر از مدل‌های دیگر است. وین و همکاران (۲۰۱۵) برتری مدل ۶S در برآورد زیست‌توده جنگل را، در مقایسه با دیگر مدل‌ها، ناشی از به‌کارگیری پارامترهای دقیق اتمسفری حاصل از محصولات

1. Roy

مدل‌های خطی، جهت مدل‌سازی تراکم تاج‌پوشش جنگل روی باندهای اصلی و شاخص‌های حاصل از باند اصلی سنجنده TM ماهواره لندست، بیانگر برتری شاخص ARVI و NDVI در مقایسه با دیگر شاخص‌هاست.

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از روش‌های تصحیح اتمسفری در تهیه شاخص‌های گیاهی سبب افزایش دقت استخراج اطلاعات از داده‌های سنجنش از دور، از نوع ماهواره‌ای شده است. با اعمال این تصحیحات روی تصاویر اصلی، بازتاب پدیده‌ها با رفع عوامل ناخواسته به بازتاب واقعی نزدیک و بهبود صحت نتایج ممکن است. اعمال تصحیحات اتمسفری و رفع آثار آن در بررسی پوشش گیاهی مناطق وسیع، مانند جنگل‌های استان گیلان با ساختار توپوگرافی متنوع، ضروری است. مقایسه نتایج شاخص‌های حاصل از باندهای اصلی و تصحیح‌شده بیانگر ضرورت کاهش آثار اتمسفر در فرایند پیش‌پردازش، قبل از مدل‌سازی است. بنابراین پیش از طبقه‌بندی و مدل‌سازی، به‌ویژه در مطالعات پدیده‌های از لحاظ طیفی مشابه (تراکم جنگل)، باید تصحیحات اتمسفری برای ارتقای نتایج در تحقیقات آتی اعمال شود. طبق نتایج حاصل از این تحقیق، شاخص‌های استخراج‌شده از اعمال مدل تصحیح اتمسفری 6SV روی تصویر لندست 8، در بیشتر موارد، بهتر از مدل‌های دیگر عمل کرده است. از این‌رو روش یادشده، با به‌کارگیری محصولات اتمسفری مودیس، برآورد دقیق‌تری از انبوهی تاج‌پوشش جنگل‌های گیلان عرضه داشته است. کاربرد روش‌های نوین تصحیحات اثر اتمسفر، در مدل‌سازی تراکم تاج‌پوشش جنگل، پیشنهاد می‌شود.

اثر اتمسفر 6SV، از لحاظ کمترین میزان خطای RMSE است. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق نظیر و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) در ارتباط است. نتایج تحقیق ایشان نشان داد، در بین مدل‌های مختلف تصحیح اتمسفری، مدل 6S کمترین اختلاف بین بازتاب واقعی زمینی و مقادیر رقومی ETM+ ماهواره لندست را دارد. در مجموع، دقت رگرسیون غیرخطی توانی بیشتر از دیگر مدل‌هاست. نتایج مدل‌سازی رگرسیونی خطی ساده، با استفاده از شاخص‌های گیاهی تصحیح‌شده، نشان داد در بهترین حالت، خطای کمینه برای شاخص گیاهی RVI و GARI حاصل آمده است. استفاده از شاخص‌های اصلاح‌شده، در مقایسه با اعمال نکردن تصحیحات، خطای کمینه را کاهش داده است. در این بررسی استفاده از روش‌های تصحیح اتمسفریک پیشرفته سبب بهبود نتایج شاخص پرکاربرد NDVI شده است. شاخص NDVI استخراج‌شده از 6SV همبستگی بالایی دارد. این نتایج با یافته‌های دیگر محققان منطبق است. نتایج تحقیق آگاپیو و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که تصحیحات اتمسفری سبب ارتقای شاخص گیاهی NDVI، در مقایسه با حالت به‌کاربردن تصحیحات شده است. نتایج تحقیق پاتاک و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۴) در مقایسه سه مدل تصحیح اتمسفریک SACRS2، FLAASH و 6SV با اطلاعات زمینی نشان داد که مدل 6SV بهتر از SACRS2 و FLAASH عمل کرده است. وین و همکاران (۲۰۱۵) سه روش تصحیح اتمسفریک DOS، FLAASH و 6SV را، در محاسبه زیست‌توده بالای زمین جنگل، روی باندهای ETM+ مقایسه کردند. در مجموع، به‌ترتیب برتری برآورد زیست‌توده با 6SV، FLAASH و DOS است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق وین و همکاران هماهنگی دارد. در این تحقیق، دست‌کم RMSE مدل رگرسیون خطی در حالت استفاده از شاخص‌های حاصل از باندهای اصلی برای شاخص ARVI و NDVI به‌دست آمده است. نتایج تحقیق کاررپراس و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) در حالت استفاده از

1. Nazeer et al.  
2. Pathak et al.  
3. Carreiras et al.

- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J. & Merzlyak, M.N., 1996, **Use of a Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS**, Remote Sensing of Environment, 58, PP. 289–298.
- Hadjimitsis, D.G., Papadavid, G., Themistocleous, K., Hadjimitsis, M.G., Retalis, A., Michaelides, S., Chrysoulakis, N., Toullos, L. & Clayton, C.R.I., 2010, **Atmospheric Correction for Satellite Remotely Sensed Data Intended for Agricultural Applications: Impact on Vegetation Indices**, Nat. Hazard. Earth Syst, 10, 89–95.
- Jofer, R., 1993, **Estimation Tree Density in Oak Savanna-Like Dehesa of Southern Spain from SPOT Data**, Int. J. Remote Sens, 14 (4), PP. 685–697.
- Hu, Y., Liu, L., Liu, L., Peng, D., Jiao, Q. & Zhang, H., 2014, **A Landsat-5 Atmospheric Correction Based on MODIS Atmosphere Products and 6S Model**, Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7 (5), PP. 1609–1615.
- Huete, H., Liu, Q., Batchily, K. & Van Leeuwen, W., 1997, **A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS**, Remote Sensing of Environment, 59, PP. 440–451.
- Huete, A.R., 1988, **A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**, Remote Sensing of Environment, 25, PP. 295–309.
- Jordan, C.F., 1969, **Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on Forest Floor**, Ecology, 50, PP. 663–666.
- Ju, J., Roy, D.P., Vermote, E., Masek, J. & Kovalsky, V., 2012, **Continental-Scale Validation of MODIS-Based and LEDAPS Landsat ETM+ Atmospheric Correction Methods**, Remote Sensing of Environment, 122, PP. 175–184.
- Kaufman, Y.J. & Tanré, D., 1998, **Algorithm for Remote Sensing of Tropospheric Aerosol from MODIS**, Goddard Space Flight Center NASA MODIS Algorithm Theoretical Basis Document, Vol. 85.
- Adler-Golden, S.M., Matthew, M.W., Bernstein, L.S., Levine, R.Y., Berk, A., Richtsmeier, S.C., Acharya, P.K., Anderson, G.P., Felde, J.W., Gardner, J.A., Hoke, M.L., Jeong, L.S., Pukall, B., Ratkowski, A.J. & Burke, H.K., 1999, **Atmospheric Correction for Shortwave Spectral Imagery Based on MODTRAN4**, Imaging Spectrometry, PP. 6–69.
- Agapiou, A., Hadjimitsis, D.G., Papoutsas, C., Alexakis, D.D. & Papadavid, G., 2011, **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**, Remote Sens, 3, PP. 2605–2629.
- Bazrafkan, A., Bavaghar, M.P. & Fathi, P., 2014, **Capability of Liss III Data for Forest Canopy Density Mapping in Zagros Forests**, Iranian Journal of Forest, 6 (4), PP. 387–401.
- Canty, M., 2008, **Automatic Radiometric Normalization of Multitemporal Satellite Imagery with the Iteratively Re-Weighted MAD Transformation**, Remote Sensing of Environment, 112 (3), PP. 1025–1036.
- Carreiras, J.M.B., Jose, M.C., Pereira, J. & Pereira, S., 2006, **Estimation of Tree Canopy Cover in Evergreen Oak Woodlands Using Remote Sensing**, Forest Ecology and Management, 223: 45–53.
- Chander G., Markham, B.L. & Helder, D.L., 2009, **Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors**, Remote Sensing of Environment, 113 (5), PP. 893–903.
- Crippen, R.E., 1990, **Calculating the Vegetation Index Faster**, Remote Sensing of Environment, 34, PP. 71–73.
- Gao, J., 2009, **Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery**, The McGraw Hill Companies.

۶- منابع

- Kaufman, Y.J. & Tanré, D., 1992, **Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 30 (2), PP. 261–270.
- Kim, C., Heo, J., Bin Lee, J., Han, S., Jung, J.H. & Jayakumar, S.A., 2012, **Synergetic Approach to Estimating Timber Age Using Integrated Remotely Sensed Optical Image and in Sar Height Data**, Int. J. Remote Sens, 33, PP. 243–260.
- King, M.D., Tsay, S.C. & Platnick, S.E., 1997, **Cloud Retrieval Algorithms for MODIS: Optical Thickness, Effective Particle Radius, and Thermodynamic Phase**, MODIS Algorithm Theoretical Basis Document, No. ATBD-MOD, Vol. 5.
- Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous, N.E., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, K.F., Gao, F., Kutler, J. & Lim, T.K., 2006, **A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America 1990–2000**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 3, PP. 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: <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/docs/MOD07MYD07ATBDC005.pdf>, p. 39.
- Nazeer, M., Nichol, J.E. & Yung, Y.K., 2014, **Evaluation of Atmospheric Correction Models and Landsat Surface Reflectance Product in an Urban Coastal Environment**, Int. J. Remote Sens, 35, PP. 6271–6291.
- Nguyen, H.C., Jung, J., Lee, J., Choi, S., Hong, S. & Heo, J., 2015, **Optimal Atmospheric Correction for Above-Ground Forest Biomass Estimation with the ETM+ Remote Sensor**, Sensors, 15, PP. 18865–18886.
- Pakkhesal, E. & Bonyad, A.E., 2013, **Classification and Delineating Natural Forest Canopy Density Using FCD Model (Case Study: Shafarud Area of Guilan)**, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21 (1), PP. 99–114.
- Parma, R. & Shataee, S., 2010, **Capability Study on Mapping the Diversity and Canopy Cover Density in Zagros Forests Using ETM+ Images (Case Study Ghalajeh Forests, Kermanshah Province)**, Iranian Journal of Forest, 2 (3), PP. 231–242.
- Pathak, N.V., Pandya, M.R., Shah, D.B., Trivedi, H.J., Patel, K.D., Sridhar, V.N. & Singh, R.P., 2014, **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, Vol. XL–8.
- Rondeaux, G., Steven, M. & Baret, F., 1996, **Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices**, Remote Sensing of Environment, 55, PP. 95–107.
- Rouse, J.W., Haas, R.W., Schell, J.A., Deering, D.W. & Harlan, J.C., 1974, **Monitoring the Vernal Advancement and Retro Gradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation**, NASA/GSFCT Type III Final Report, Greenbelt, MD, USA.
- Roy, D.P., Ju, J. & Kline, K., 2010, **Web-enabled Landsat Data (WELD): Landsat ETM+ Compositing Mosaics of the Conterminous United States**, Remote Sensing of Environment, 114 (1), PP. 35–49.
- Roy, D.P., Qin, Y., Kovalsky, V., Vermote, E.F., Ju, J., Egorov, A., Hansen, M.C., Kommareddy, I., Yan, L., 2014, **Conteminous United States Demonstration and Characterization of MODIS-based Landsat ETM+ Atmospheric Correction Remote Sensinos of Environment**, 140: 433-449.
- Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.A., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R., Scambos, T.A., Schaaf, C.B., Schott, J.R., Sheng, Y., Vermote, E.F., Belward, A.S., Bindschadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Hipple, J.D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, Kilic, C.O., Kovalsky, A., Lee, V., Lymburner, Z.P., Masek, L., McCorkel, J.G., Shuai, J., Trezza, Y., Vogelmann, R. J., Wynne, R.H., Zhu, Z., 2014, **Landsat-8:**



**Science and Product Vision for Terrestrial Global Change Research**, Remote Sensing of Environment, 145, PP. 154–172.

Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P. & Macomber, S.A., 2001, **Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects**, Remote Sensing of the Environment, 75, PP. 230–244.

Tanré, D., Deroo, C. & Duhaut, P., 1990, **Technical Note Description of a Computer Code to Simulate the Satellite Signal in the Solar Spectrum: The 5S Code**, Int. J. Remote Sens, 11 (4), PP. 659–668.

Tucker, C.J., 1979, **Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation**, Remote Sensing of Environment, 8, PP. 127–150.

Vermote, E., Tanré, D. & Deuzé, J., 2006, **Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum-Vector (6SV)**, 6S User Guide Version.

Yan, L. & Roy, D.P., 2014, **Automated Crop Field Extraction from Multi-Temporal Web Enabled Landsat Data**, Remote Sensing of Environment, 144, PP. 42–64.

