نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸

Vol.7, No.2, Summer 2019

۱۳۳-۱۵۳

مقاله پژوهشی

تأثیر روش‌های تصحیح جوی بر رابطه میان شاخص‌های گیاهی و تاج پوشش (مطالعه موردی: مرتع مرجن بروجن)

فاطمه پردل[1*]، عطاالله ابراهیمی[2]، زهرا عزیزی[3]

۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی- مرتعداری، دانشگاه شهرکرد

۲- دانشیار گروه مرتع آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد

۳- استادیار گروه سنجش از دور و *GIS*، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۰۵

چکیده

تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای هنگامی‌که شاخص‌های گیاهی برای تعیین تغییرات به کار می‌روند، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش، چهار روش تصحیح اتمسفری در برآورد پوشش‌گیاهی با استفاده از شاخص‌های گیاهی ارزیابی و اعتبارسنجی شد. برای این منظور، پوشش سبز گیاهی در ۱۹ نقطه و با فواصل ۴۰۰-۱۰۰۰متر در امتداد ترانسکتی به طول ۱۰ کیلومتر و با ۵ کوادرات در هر نقطه اندازه‌گیری شد (در هر دوره ۹۵ کوادرات و در کل چهار دوره نمونه‌برداری، ۳۸۰ کوادرات). سپس، تصاویر متناظر با تاریخ‌های نمونه‌برداری به چهار روش تصحیح شامل ۱) تصحیح اتمسفری جوّی آنی (*QUAC*) ۲) تصحیح اتمسفری تجزیه‌وتحلیل سریع خط‌دید-اتمسفر ازطریق طیف ابر مکعب (*FLAASH*) ۳) نرمال‌سازی تصاویر چندزمانه به روش تبدیل آشکارسازی تغییرات چند متغیّره وزن‌دار (*IR-MAD*) و ۴) تبدیل اعداد رقومی به بازتابش بالای جوّ (*TOA*) اعمال شد. سپس دو شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص پوشش‌گیاهی مقاوم به جوی محاسبه شد. در مرحله بعد، اعتبار سنجی مدل‌های رگرسیونی خطی برای رابطه بین پوشش و شاخص‌های‌گیاهی با دو شاخص‌گیاهی مذکور و بر مبنای چهار روش تصحیح بیان شده، بر اساس ۳۳ درصد از داده‌های زمینی انجام شد. مقادیر ضریب همبستگی و تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا و اریبی به عنوان سنجه‌های اعتبار هر روش محاسبه شد. پس از دستیابی به بهترین روش تصحیح، ۱۰ شاخص‌گیاهی دیگر نیز علاوه بر دو شاخص ذکر شده، محاسبه و در نهایت پس از دستیابی به مدل برآورد تاج پوشش منطقه، نقشه تاج پوشش گیاهی برای چهار زمان تهیه شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد، مقدار ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا در روش تجزیه و تحلیل سریع خط‌دید اتمسفر از طریق طیف ابر مکعب، نسبت به روش‌های تصحیح جوّی آنی، تبدیل آشکارسازی تغییرات چند متغیره وزن‌دار و تبدیل به بازتابش بالای جوّ، دقت بهتری داشت. مقدار ضریب تبیین به ترتیب برابر ۰/۶۱، ۰/۳۷، ۰/۲ و ۰/۵۷ برای شاخص پوشش‌گیاهی مقاوم جوّی و برابر ۰/۵۴، ۰/۳۹، ۰/۲۱ و ۰/۵۶ برای شاخص نرمال شده پوشش گیاهی می‌باشد. به‌علاوه، مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۰/۷۷، ۰/۹۷، ۱/۱۳ و ۰/۸برای شاخص پوشش‌گیاهی مقاوم به جوی و برابر ۰/۸۳، ۰/۹۶، ۱/۱۲ و ۰/۸۱ برای شاخص نرمال شده پوشش گیاهی می‌باشد. نقشه‌های تاج پوشش گیاهی نمایانگر ناهمگنی مکانی تاج پوشش در مرتع مرجن بوده و امکان برآورد تاج پوشش تمام فصول رویشی از یک مدل وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: شاخص گیاهی، تصحیح اتمسفری، نرمال سازی رادیومتریکی، کالیبراسیون تصاویر، پایش پوشش‌گیاهی

*نویسنده مکاتبه کننده: ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین

تلفن: ۰۹۱۳۲۸۰۸۳۴۳

Email: Ataollah.Ebrahimi@sku.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

۱- مقدمه

مراتع با دارا بودن بیش از ۵۰ درصد از سطح خشکی‌های جهان، با ارائه خدمات متنوع زیست محیطی، اقتصادی و تفرجگاهی و غیره نقش بسزایی در حیات انسان‌ها، گیاهان و حیوانات در مناطق مختلف جهان و توسعه اقتصادی این مناطق دارند [۱]. تاج پوشش‌گیاهی، مساحتی از زمین است که توسط بخش زنده گیاهی پوشیده شده و به درصد بیان می‌شود. نظارت و پایش مستمر پوشش گیاهی در دوره رویشی مراتع، منجر به شناخت مفاهیم متعددی از پویایی پوشش‌گیاهی در چرخه کربن و جریان انرژی خواهد شد [۲].

اندازه‌گیری‌های زمینی تاج پوشش‌گیاهی، مستلزم صرف وقت و هزینه‌ی بالایی است. در این راستا، شاخص‌های گیاهی بدست آمده از داده‌های ماهواره‌ای که بر اساس ترکیبات ساده‌ای از محدوده باند مادون قرمز و مرئی (خصوصاً باند قرمز) بنا گذاشته شده‌اند، در دو دهه اخیر کاربرد زیادی در زمینه پایش تغییرات پوشش زمین در مقیاس‌های مختلف پیدا کرده‌اند. از این جمله، شاخص‌هایی نظیر شاخص گیاهی مقاوم به شرایط جوّی (*ARVI*)[1] و شاخص گیاهی بهبودیافته (*EVI*)[2] که از باند آبی به‌منظور کاهش اثر جو استفاده می‌کند، توسعه یافته‌اند [۳]. محققان زیادی ارتباط بین پوشش‌گیاهی و پارامترهای زیست محیطی با شاخص‌های گیاهی را بااستفاده از مدل‌های تجربی و رگرسیونی نشان داده‌اند؛ ولی موضوع مطرح این است که پوشش‌گیاهی در مراحل مختلف رویشی خود، از نظر ترکیب شیمیایی و مورفولوژی دچار تغییر می‌شود [۴و۵]. به‌عنوان مثال، در گیاهان بالغ، نسبت ساقه به برگ، مقدار لیگنین و سلولز آن‌ها در طول دوره رویشی افزایش می‌یابد و این افزایش، به‌طور همزمان با یک کاهش در مقدار کلروفیل همراه است [۶]. درنتیجه پاسخ طیفی گیاهان در مراحل مختلف رشد رویشی، تغییر می‌یابد و مدل بدست آمده در یک دوره رویشی خاص، احتمالاً قابل استفاده در تمام دوره‌های رویشی نخواهد بود. بنابراین، توسعه روش‌هایی با دقت بیشتر و به‌صورت غیر مخرب، به‌منظور دستیابی اطمینان از پایداری پوشش گیاهی طی فصل رویش حیاتی است [۷و۸].

تابش خورشیدی در مسیر خود تا زمین و برخورد با پدیده‌ها و انعکاس و ثبت توسط سنجنده، قبل از آنکه توسط سنجنده‌های سنجش از دوری ثبت شوند، از اتمسفر عبور می‌کنند و به همین دلیل مقادیر بازتابش طیفی ثبت شده در تصاویر سنجش از دوری، هم شامل اطلاعات ناشی از برخورد و انعکاس امواج الکترومغناطیسی با جوّ بوده و هم تابش سطح زمین می‌باشند. با توجه به اثرات ذرات معلق در جو، ملکول‌های تشکیل دهنده اتمسفر، ذرات گرد و غبار و بخار آب بر پراکندگی تشعشات که بدون هیچ‌گونه تعامل با سطح زمین بر بازتاب واقعی پدیده های سطح زمین و از آن‌جمله پوشش‌گیاهی اثر گذار هستند، که اتفاقاً از زمانی به زمان دیگر نیز تغییر می یابند. در پایش پوشش‌گیاهی به وسیله تصاویر چند زمانه در دوره‌های مختلف، نیاز است که این مسئله مورد توجه و اصلاح قرار گیرد [۹].

در نتیجه کالیبراسیون و یا تصحیح اثر اتمسفر بر تصاویر ماهواره‌ای و از بین بردن اثر جوّ و تجزیه و تحلیل بازتاب واقعی پدیده‌ها و جدا سازی آن از اثر جو، بالاخص به‌منظور پایش پوشش‌گیاهی در دوره های زمانی مختلف مسئله‌ای حیاتی و بحث برانگیز می‌باشد. برآورد تاج پوشش‌گیاهی با استفاده از تصاویر چند زمانه نیازمند مقادیر واقعی بازتاب سطح زمین، برای مقایسه تصاویر کسب شده در زمان‌های مختلف است. از آنجا که اطلاعات متغیرهای محیطی به ویژه خصوصیات جوی به طور مستقیم به ندرت اتفاق می‌افتد و در بیشتر موارد دسترسی به چنین اطلاعاتی وجود ندارد. لذا، برخی از تکنیک‌های غیرمستقیم برای از بین بردن اثرات اتمسفری و تخمین بازتاب واقعی پدیده‌های سطح زمین توسعه یافته‌اند [۱۰و۱۱]. در این زمینه، هدف از تصحیح

[1] *Atmospheric Resistant Vegetation Index*
[2] *Enhanced Vegetation Index*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

اتمسفری به حداقل رساندن اثرات جوی و تبدیل اعداد رقومی (DN[1]) ثبت شده توسط سنجنده به بازتاب واقعی سطح است [۹]. علاوه بر تصحیح اتمسفری، نرمال سازی رادیومتریکی نیز در این زمینه به منظور بررسی تغییرات در تصاویر چند زمانه و موزاییک سازی تصاویری که از پهنه‌های وسیع و در چند صحنه اخذ می شوند، توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته است [۱۲و۱۴]. انجام نرمال‌سازی رادیومتریکی نیاز به برخی پارامترهای جوّی در زمان تهیه تصویر دارد که برای اکثر تصاویری که در زمانهای گذشته تصویربرداری شده‌اند وجود ندارند یا در دسترس نیستند. دراین‌راستا، روش‌های نسبی نرمال‌سازی رادیومتریکی، برای غلبه بر این موضوع توسعه یافته‌اند. یکی از این روش‌های اتوماتیک، روش تبدیل آشکارسازی تغییرات چند متغیره وزن‌دار(IR-MAD[2]) است که توسط کنتی و نیلسون[3] پیشنهاد شده است [۱۵]. در نتیجه، به نظر می‌رسد اعمال روش‌های مختلف تصحیح برای سنجنده‌ها و داده‌های دوره‌های زمانی مختلف سنجش از دوری، نتایج متفاوتی دربر خواهد داشت.

روابط بین زمان وقوع پدیده‌های فنولوژیکی (مثل رشد گیاه، ظهور غنچه و به گل نشستن، پیری و ...) با شرایط آب‌وهوایی و شاره کربن، اخیراً موضوع تحقیقات متعددی بوده است، درحالی‌که تغییرات فصلی بر رشد تاج پوشش گیاهی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیقی که توسط جی و همکاران [۱۶] انجام شد، مدل برآورد تولید سبز گیاهی در منطقه فاکن[4] با استفاده از داده‌های لندست و نمونه‌برداری‌های زمینی، ایجاد و یک مدل رگرسیونی پیشنهاد شد. از جمله تحقیق‌های مرتبط با شاخص‌های گیاهی در برآورد پوشش‌گیاهی، نتایج مطالعه درویش‌زاده و همکاران [۱۷] در برآورد پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های گیاهی در منطقه شیطور بافق یزد، نشان داد که شاخص‌های گیاهی که ضرایب خط خاک در محاسبه آنها در نظر گرفته می‌شوند، از دقت مناسب‌تری برخوردار بوده و می‌توانند بیانگر درصد پوشش‌گیاهی در مناطق خشک باشند. در تحقیق دیگری، حساسیت شاخص سطح برگ که از تصاویر ماهواره‌ای تخمین زده شده بود را با تصحیح اتمسفری $ATCOR$[5] و اثر آن بر مدل تعادل آب را بررسی کردند؛ که نتایج حاصل شده نشان داد، پارامتر قابلیت دید در تصحیح اتمسفری $ATCOR$ بیشترین اثر را بر تخمین شاخص سطح برگ دارد [۹]. تحقیقات نشان می‌دهد که در بیشتر موارد، قابلیت شاخص‌های گیاهی در یک مرحله‌ی رویشی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند، اما تحقیقات ناچیزی نیز در خصوص میزان پوشش در مراحل مختلف رویشی و ارتباط آن با شاخص های گیاهی انجام شده است. یکی از اهداف این تحقیق، توسعه مدلی برای برآورد پوشش‌گیاهی از داده‌های سنجنده لندست-۸ OLI می‌باشد که در فصول رویشی مختلف که مقادیر پوشش‌گیاهی متفاوتی دارند، قابل استفاده باشد. به‌علاوه، بررسی تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد که با توجه به اثر نوع تصحیح رادیومتریکی در تصاویر چند زمانه بر تخمین پارامترهای مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های مختلف تصحیح ممکن است نتایج متفاوتی را نشان دهند که این امر در خصوص تاثیر روشهای مختلف تصحیح در برآود پوشش‌گیاهی در تصاویر چند زمانه مورد برسی قرار نگرفته و هدف این تحقیق می باشد. تحقیق حاضر با اهداف زیر انجام گرفت:

۱- اعتبارسنجی چهار روش تصحیح تصاویر ماهواره ای برای مقایسه تاثیر آنها بر برآوردهای پوشش گیاهی که شامل موارد زیر می‌باشد:

الف) تصحیح اتمسفری جوی آنی ($QUAC$[6])

[1] *Digital Number*
[2] *Iteratively Reweighted Multivariate Alteration Detection*
[3] *Canty and Nielsen*
[4] *Fukon*
[5] *Atmospheric Correction*
[6] *QUick Atmospheric Correction*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

ب) تصحیح اتمسفری تجزیه و تحلیل سریع خطدید اتمسفر ازطریق طیف ابر مکعب (*FLAASH*[1])

ج) نرمال‌سازی رادیومتریکی اتوماتیک در تصاویر چند زمانه به روش تبدیل آشکارسازی تغییرات چند متغیره وزن‌دار (*IR-MAD*)

د) تبدیل اعداد رقومی (*DN*) ثبت شده توسط سنجنده به بازتابش انعکاسی بالای جو یا (*TOA*[2]) در تصاویر چند زمانه برای برآورد پوشش گیاهی در مراتع مرجن شهرستان بروجن

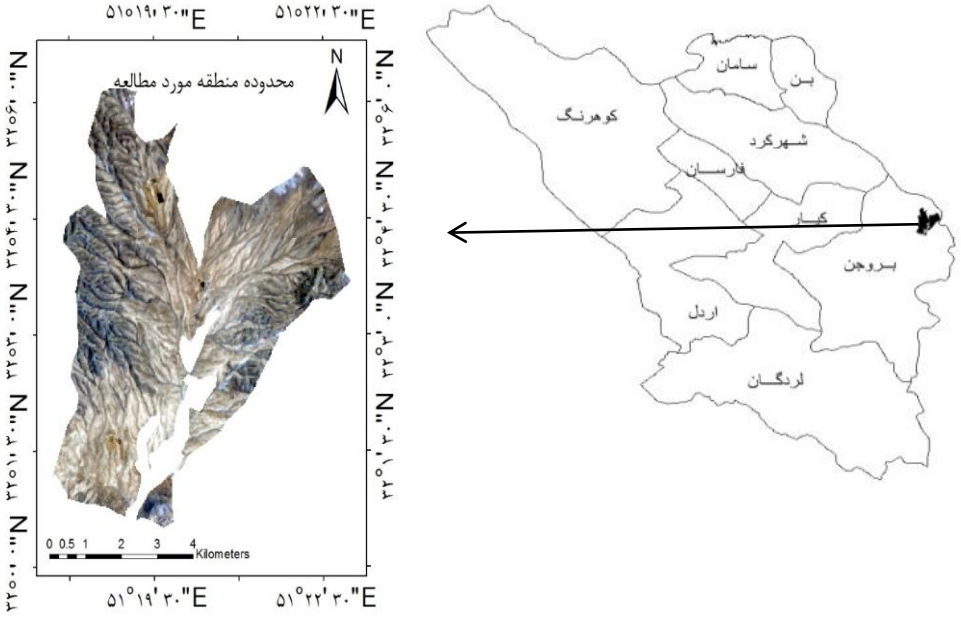
۲- تهیه نقشه تاج پوشش‌گیاهی مراتع مرجن، پس از انتخاب بهترین شاخص گیاهی و روش تصحیح اتمسفری

۲- مواد و روش‌ها

در ادامه ابتدا به معرفی منطقه مورد مطالعه و دادهای مورد استفاده در این تحقیق پرداخته شده و سپس روش‌های انجام تصحیحات شرح داده شده و پس از آن چگونگی برداشت داده‌های زمینی و سپس نحوه پیش‌پردازش‌های تصاویر و تحلیل داده‌ها تشریح می‌شود.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

مرتع مرجن در ۲ کیلومتری شهرستان بروجن در استان چهارمحال و بختیاری واقع‌شده است. این منطقه دارای مساحتی معادل ۵۶۹۴ هکتار می‌باشد. ازنظر جغرافیایی در حدفاصل "۳۰ ۱۷ °۵۱ تا "۳۰ ´۲۳ °۵۱ طول شرقی و "۳۰ ۶ °۳۲ تا "۰ ´۰ °۳۲ عرض شمالی قرارگرفته است. ارتفاع متوسط از سطح دریا در این رویشگاه ۲۲۰۰ متر از سطح دریای آزاد است. متوسط بارندگی طبق آمار ۲۵ ساله برابر ۲۵۵ میلی‌متر است. طبق تقسیم‌بندی کوپن این منطقه دارای اقلیم معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک است.



شکل ۱: تصویر ماهواره لندست ۸ از منطقه موردمطالعه و موقعیت آن نسبت به استان چهارمحال و بختیاری

در تحقیق حاضر پس از بررسی منابع علمی متعدد، چهار روش پر کاربرد تصحیح تصاویرماهواره‌ای که در ادامه آورده شده است؛ برای برآورد تاج پوشش‌گیاهی مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفت.

[1] *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes*

[2] *Top-Of-Atmosphere*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

۱- تصحیح اتمسفری جوی آنی (*QUAC*)
۲- تصحیح اتمسفری تجزیه و تحلیل سریع خط‌دید اتمسفر ازطریق طیف ابر مکعب (*FLAASH*)
۳- نرمال‌سازی رادیومتریکی اتوماتیک در تصاویر چند زمانه به روش تبدیل آشکارسازی تغییرات چند متغیره وزن‌دار (*IR-MAD*)
۴- تبدیل اعداد رقومی (*DN*) ثبت شده توسط سنجنده به بازتابش انعکاسی بالای جو یا (*TOA*)

این چهار روش به منظور فراهم آوردن مبنای بهتری برای مقایسه تصاویر چند زمانه توسعه یافته‌اند. روش‌های*QUAC* و *FLAASH* در دسته روش‌های تصحیح اتمسفری و روش *IR-MAD* در دسته روش‌های نرمال سازی رادیومتریکی قرار می‌گیرند. مبنای نرمال‌سازی رادیومتریکی بر اساس یافتن عوارض بدون تغییر یا شبه ثابت در تصاویر اخذ شده از یک منطقه در زمانهای مختلف می‌باشد. روش *TOA* به عنوان یک روش تصحیح اتمسفری همراه با کالیبره‌سازی رادیومتریکی تصاویرمحسوب می‌شود.

در ادامه به شرح مختصری از هر یک از روشهای مورد استفاده پرداخته می‌شود.

۲-۲- تصحیح انمسفری به روش *QUAC*

این روش یک روش تصحیح اتمسفری برای محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی است. الگوریتم اصلاح جوّی سریع به‌منظور اصلاح جوّ برای تعیین پارامترهای مورد نیاز به‌صورت مستقیم از اطلاعات موجود دریک صحنه (طیف پیکسل‌های مشاهده شده) استفاده می‌کند و برای این منظور نیاز به اطلاعات جانبی نیست. برخلاف بسیاری از روش‌های اصلاح جوّ، روش بازیابی عمق نوری آئروسل در الگوریتم *QUAC* به حضور پیکسل تاریک درصحنه نیاز ندارد [۱۸]. به‌طور خاص، *QUAC* می‌تواند زمانی که پیکسل تاریک در دسترس نیست عمق نوری آئروسل را برآورد کند. اگر یک سنجنده ازنظر رادیومتریکی یا طول‌موج، کالیبراسیون مشخصی نداشته باشد یا اگر شدت روشنایی خورشیدی نامعلوم باشد، الگوریتم *QUAC* به‌ویژه وقتی که شرایط زیر حاکم باشد، می‌تواند دقت قابل قبولی از بازتاب طیفی را ارائه دهد:

شرط اول: حداقل ۱۰ پدیده گوناگون درصحنه وجود داشته باشد.

شرط دوم: به‌اندازه کافی پیکسل تاریک برای تخمین مناسبی از شدت بازتابش طیفی پایه درصحنه وجود داشته باشد.

۲-۳- تصحیح اتمسفری به روش *FLAASH*

الگوریتم تصحیح اتمسفری *FLAASH* با فرض حضور پیکسل‌های تیره که می‌تواند به‌عنوان پیکسل مرجع با بازتاب سطحی مشخص در نظر گرفته شود، انجام می‌شود[۱۹]. در این روش، مقدار غبار، مه و ذرات معلق در جوّ، برآورد و بازیابی می‌شوند. در این الگوریتم، باید مدل‌های *MODTRAN* استاندارد مربوط به مدل‌های اتمسفری و آئروسل که نماینده منطقه مورد مطالعه می‌باشند، انتخاب شوند. نسخه *MODTRAN* مورد استفاده در *FLAASH* به‌منظور تصحیح خطا در پارامترهای خط آب اصلاح شده است [۲۰]. مقدار ستون بخار آب در این روش، برای تصاویر فاقد باند برای برآورد مقدار بخار آب در جوّ (مانند لندست یا اسپات)؛ باتوجه به مدل اتمسفری که بسته به زمان و شرایط تصویربرداری انتخاب می شود، تخمین زده می‌شوند. مدل‌های آئروسل موجود در این الگوریتم عبارت‌اند از روستایی، دریایی، شهری و تروپوسفریک که بسته‌به شرایط منطقه ازنظر نوع و اندازه ذرات موجود در هوا باید یک مدل انتخاب شود. ازجمله مدل‌های موجود *SAW*[1]، *MLW*[2]، *SAS*[3] *MLS*[4]، *US*[5] تروپیکال است. مدل اتمسفری مناسب در حالت اول، بسته به دمای هوا یا فشار بخار آب منطقه انتخاب می‌شود و در حالت دوم

[1] *Sub-Arctic Winter*
[2] *Mid-Latitude Winter*
[3] *Sub-Arctic Summer*
[4] *Mid-Latitude Summer*
[5] *U.S. Standard*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

درصورت در دسترس نبودن این پارامترها با توجه به ماه اخذ تصاویر و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، بااستفاده از اطلاعات موجود در راهنمای نرم افزار، مدل مناسب انتخاب می‌شود که در تحقیق حاضر از این طریق مدل مناسب انتخاب شد. صرفاً جهت استحضار درصد رطوبت نسبی در روزهای تصویر برداری از ایستگاه سینوپتیک اخذ شده و در جدول (۱) ارائه شده است. ازجمله اطلاعات مورد نیاز برای انجام این الگوریتم زاویه خورشیدی، ارتفاع سنجنده، زاویه آزیموت ماهواره، میانگین ارتفاع از سطح دریا، ساعت تصویربرداری و غیره است. در کالیبره کردن تصاویر اعداد رقومی ثبت شده توسط سنجنده به بازتاب بالای جوّ تبدیل می‌شود.

جدول۱: مقادیر درصد رطوبت نسبی جو در منطقه مورد مطالعه در روزهای تصویر برداری

تاریخ	۲۴ اردیبهشت	۲۵ خرداد	۱۱ مرداد
رطوبت نسبی٪	۴۲	۲۳	۲۰

۲-۴- نرمال سازی رادیومتریکی به روش *IR-MAD*

همان‌طور که ذکر شد، دستیابی به‌دقت مطلق در مقایسه تصاویر چندزمانه به‌عللی همچون مرجع رادیومتریکی غیریکسان که ناشی از شرایط متفاوت جوّی، عدم ثبات زمانی در همسان‌سازی سنجنده و زاویه قرارگیری متفاوت سنجنده نسبت به خورشید در زمانهای مختلف و غیره مشکل خواهد بود[۲۱]. نرمال‌سازی مطلق رادیومتریکی تصاویر ماهواره‌ای به یک الگوریتم اصلاح جوّی و دانستن خصوصیات مرتبط با اتمسفر در هنگام تصویربرداری نیاز دارد که برای بسیاری از تصاویر ماهواره‌ای وجود ندارد یا اینکه دسترسی به آن‌ها مشکل است [۲۲]. برای رفع این مشکل روش *IR-MAD* که توسعه یافته روش *MAD* می باشد، توسعه یافت. این روش شامل تجزیه و تحلیل بازتاب طیفی عناصر ساخته شده توسط انسان، مانند جاده‌ها، مناطق شهری و صنعتی و غیره است که به این عناصر پدیده‌های شبه ثابت[۱] می‌گویند؛ چرا که بازتاب طیفی آنها معمولا تا حدود زیادی ثابت است. با استفاده از بازتابش طیفی این پدیده‌ها، مقادیر بازتابی تک‌تک باندهایی که در زمانهای مختلف از یک منطقه گرفته شده بر مبنای بازتابش طیفی یکی از تصاویر که اصطلاحاً تصویر مبنا[۱] نامیده می شود، اصلاح می‌گردد [۲۳]. روش‌های زیادی به‌منظور نرمال‌سازی نسبی رادیومتریکی توسط محققان ارائه شده است [۲۳]. اساس تمامی این روش‌ها بر این فرض حاکم است که رابطه بین بازتابش‌های طیفی ثبت شده توسط سنجنده در زمان‌های مختلف از مکان‌هایی که بازتابش یکسان و ثابتی در دوره های مختلف دارند، مبنای انجام تصحیحات می‌باشد و فرض می‌شود که تفاوت بازتاب طیفی در این عوارض با بازتاب ثابت، به‌علت تغییرات و آشفتگی‌های جوی در تصاویر چندزمانه اتفاق افتاده است. در نتیجه این عوارض با بازتاب ثابت، می‌تواند مبنایی برای محاسبه توابعی خطی برای تقریب تغییرات جوّی و تأثیری که در تغییر بازتابش واقعی پدیده‌های سطح زمین دارد؛ باشد. مهمترین و دشوارترین جنبه تمامی این روش‌ها، تعیین عوارضی است که بازتاب طیفی آنها در طول زمان ثابت هستند که این پدیده‌ها، اساس و پایه نرمال‌سازی رادیومتریکی می‌باشند [۲۱و۲۲]. یکی از این روش‌ها، روش *IR-MAD*[۲] است که توسط کانتی و نیلسون ارائه شده است[۱۵]. این تکنیک به‌منظور نرمال‌سازی رادیومتریکی تصاویر چند طیفی و ابرطیفی توسعه یافته است. این روش از تجزیه و تحلیل همبستگی متعارف *(CCA)*[۳] برای پیدا کردن ترکیب

[1] *Reference Image*
[2] *Iteratively Re-weighting Multivariate Alteration Detection*
[3] *Canonical Correlation Analysis*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

خطی بین دو گروه متغیرها (به‌عنوان مثال باند طیفی از تصویر هدف و تصویر مرجع) استفاده کرده و یک‌سری تصویر جدید تولید می‌کند. باندهای تصاویر جدید، متغیرهای متعارف [1] نامیده می‌شوند. دراین‌صورت تصاویر اصلاح شده در مکان پدیدهای ثابت، حداکثر همبستگی را باهم دارند؛ در حالی‌که در بخش‌های تغییرپذیر تصویر کاملاً غیر همبسته و متعامد هستند. پیکسل‌های با حداقل تفاوت بین باندها به‌عنوان پدیده‌های شبه-ثابت یا ثابت در نظر گرفته می‌شوند. این پیکسل‌ها به‌منظور نرمال‌سازی هر تصویر نسبت به تصویر مرجع با استفاده از رگرسیون متعامد حاصله مورد اصلاح و بازسازی قرار می‌گیرند [۱۵].

۲-۵- کالیبره کردن رادیومتریکی تصاویر به روش *TOA*

در روند کالیبره کردن رادیومتریکی تصاویر ماهواره‌ای، اعداد رقومی ثبت شده توسط سنجنده یا *DN* به درخشندگی طیفی ثبت شده توسط سنجنده یا *Radiance* تبدیل شده و سپس به بازتاب بالای جوّ یا *(TOA)*[2] تبدیل می‌شوند. دو مرحله فوق با فرمول‌هایی که برای تصاویر هر سنجنده تعریف شده‌اند انجام می‌شود. کاهش تنوع و خطای موجود در تصاویر چندزمانه اخذ شده از یک منطقه با تبدیل ارزش‌ها به بازتاب بالای جوّ کاهش می‌یابد و فرایند ذکر شده منجر به ارائه مبنای بهتری برای مقایسه استاندارد تصاویر در زمان‌های مختلف می‌شود[۴ و ۲۴]. پارامترهای موردنیاز برای این تبدیل *Gain* و *Offset*، ارتفاع خورشید و زمان کسب تصویر و میزان عدد رقومی تیرگی تصویر[3] و ... است. روابط (۱) و (۲) مربوط به تعاریف بالا در زیر آمده است:

$$L_\lambda = Gain * Pixel\ value + offset \quad \text{رابطه(۱)}$$

$$\rho_\lambda = \frac{\pi L_\lambda d^2}{ESUN_\lambda sin\theta} \quad \text{رابطه(۲)}$$

که در آن

L_λ= رادیانس با واحد $W/(m^2 * sr * \mu m)$

d= فاصله زمین تا خورشید در واحد نجومی

$ESUN_\lambda$= انرژی تابشی خورشید با واحد $W/(m^2 * \mu m)$

θ= ارتفاع خورشیدی به درجه

۲-۶- اندازه‌گیری پوشش و تولید درعرصه

در این تحقیق با توجه به اهداف ذکرشده پس از تعیین محدوده موردمطالعه به‌منظور اندازه‌گیری تاج پوشش سبز گیاهی، این پارامتر به تفکیک ۵ فرم رویشی گندمی بلند، فورب بلند، فورب کوتاه، بوته‌ای و گندمی کوتاه اندازه‌گیری شد. در این تحقیق با توجه به تحقیق آندرسون و همکاران [۲۵] که تولید گیاهی را با استفاده از داده‌های لندست برآورد کرده بودند از ترانسکت استفاده شد. ۹۵ کوادرات در ۱۹ نقطه نمونه برداری (پلات) در امتداد یک ترانسکت ۱۰ کیلومتری با در نظر گرفتن تیپ‌های گیاهی موجود در منطقه، مستقر شدند. اندازه‌گیری‌ها در ۱۹ نقطه نمونه‌برداری (شامل ۵ کوادرات) که در هر نقطه نماینده یک پلات بود و با فرض قرار گرفتن هر نقطه نمونه برداری در یک پیکسل انجام شد. با توجه به نتایج تحقیق طهماسبی و همکاران [۲۶] باهدف تعیین شکل و اندازه کوادرات مناسب، در مراتع نیمه‌استپی، اندازه و شکل کوادرات، (۲*۲) در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری‌های فوق در چهار دوره رویشی (شامل اواسط اردیبهشت، اواخر خرداد، اویل مرداد و اواسط شهریور) در سال ۱۳۹۳ تکرار شد. در ضمن، مختصات پلات‌های موجود در عرصه توسط دستگاه *GPS* کالیبره شده با دقت زیاد (حدود ۱ متر) ثبت شد و با پیکه برای نمونه‌برداری دوره‌های بعد علامت‌گذاری شد. نمونه‌برداری در هر مرحله طی سه الی چهار روز انجام شد. برای اندازه‌گیری تاج پوشش سبز گیاهی از کوادرات مشبک که توسط شیومی و یوشیمورا پیشنهاد شده است، استفاده شد[۲۷]. در پلات مشبک به علت این‌که هر شبکه کوچک ایجاد شده برابر یک درصد از مساحت پلات می‌باشد، اندازه‌گیری درصدی از پلات که توسط

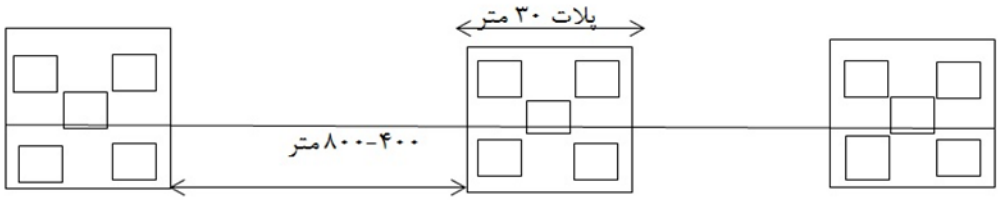
[1] *Canonical Variates*
[2] *Top-Of-Atmosphere*
[3] *Digital Number of Haze*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

تاج پوشش سبز گیاهی اشغال شده است، خطای بسیار کمتری داشته و در نتیجه این روش دارای دقت بالایی می‌باشد. در هر دوره نمونه برداری، فقط تاج پوشش سبز گیاهی و بخش فتوسنتز کننده گیاه اندازه‌گیری شد. مفهوم پلات و کوادرات در این پژوهش در شکل(۲)

نشان داده شده است.

مقادیر تاج پوشش سبز اندازه‌گیری شده، طی عملیات صحرایی به تفکیک ۴ دوره در جدول (۲) آورده شده است. بر اساس اطلاعات جدول، میزان تاج پوشش سبز گیاهی در منطقه مورد مطالعه از ۱۵٫۵ درصد در اولین مرحله آماربرداری (۹۳٫۰۲٫۲۴) به میزان ۲٫۵۲ درصد در آخرین مرحله آماربرداری (۹۳٫۰۶٫۱۲) کاهش‌یافته است.



شکل ۲. ارائه شماتیک از ۳ نقطه نمونه‌برداری (هر نقطه شامل ۵ کوادرات، با ۴ متر فاصله از کوادرات مرکزی)

جدول ۲: مقادیر اندازه‌گیری شده درصد تاج پوشش سبز (٪) در عرصه مراتع مرجن برحسب پلات‌های نمونه‌برداری صحرایی

مراحل	تاریخ نمونه‌برداری	درصد تاج پوشش سبز
مرحله ۱	۹۳٫۰۲٫۲۴	۱۵٫۵
مرحله۲	۹۳٫۰۳٫۲۵	۸٫۵۵
مرحله۳	۹۳٫۰۵٫۱۱	۳٫۷۵
مرحله۴	۹۳٫۰۶٫۱۲	۲٫۵۲

در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ اخذ شده از منطقه مورد مطالعه که مربوط به تاریخ‌های، ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد، ۱۲ شهریور (تاریخ‌هایی که هم زمان نمونه برداری زمینی نیز انجام شد) در سال ۱۳۹۳ استفاده‌شد. به منظور بررسی دقت هندسی تصاویر، مختصات چندین نقطه کنترل از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه استخراج و به‌علت تطابق هندسی تصاویر و نقاط کنترل زمینی و دقت بالای تصاویر لندست۸، نیازی به انجام تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای نبود. سپس، چهار روش تصحیح اتمسفری *QUAC*، *FLAASH* و همچنین نرمال‌سازی رادیومتریکی به روش *IR-MAD* به‌علاوه تبدیل اعداد ثبت شده توسط سنجنده به بازتابش بالای جو یا *TOA* بر روی چهار دوره تصاویر ذکر شده در جدول (۲) اعمال شد. لازم به ذکر است که پارامترهای موجود در مدل تصحیح اتمسفری *FLAASH* با توجه شرایط منطقه و ماه اخذ تصاویر و با رجوع به راهنمای نرم افزار انتخاب شدند. پارامتر قابلیت‌دید در تمام تصاویر ۴۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. در روند نرمال‌سازی رادیومتریکی، یکی از تصاویر به عنوان تصویر مرجع در نطر گرفته شد و مابقی تصاویر به عنوان تصویر هدف بر مبنای آن نرمال‌سازی می‌شود. در این تحقیق تصویر ۱۲ شهریور به عنوان تصویر مرجع در نظر گرفته شد و تصاویر ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد و ۱۱ مرداد به عنوان تصاویر هدف در نظر گرفته شدند. برای

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

انتخاب بهترین روش تصحیح و اعتبار سنجی مدل برآورد پوشش‌گیاهی، دو شاخص گیاهی *NDVI* و *ARVI* بر تصاویر خروجی چهار روش تصحیح ذکر شده، محاسبه شدند. علت انتخاب این دو شاخص در این مرحله، استفاده از یک شاخص مرسوم و پرکاربرد (*NDVI*) و یک شاخص مقاوم به شرایط جوی (*ARVI*) در اعتبارسنجی روش‌های تصحیح می‌باشد. مراحل پیش‌پردازش و پردازش تصاویر توسط نرم افزار *ENVI 5.1* و *Idrisi selva* انجام شد.

۲-۷- پیش‌پردازش و پردازش تصاویر

پس از اعمال روش‌های انجام تصحیحات اتمسفری برروی تصاویر ماهواره‌ای و محاسبه شاخص‌های گیاهی، رابطه بین پوشش گیاهی با شاخص‌های گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت که شرح هریک در ادامه آمده است.

۲-۸-رابطه بین تاج پوشش سبز گیاهی با داده‌های ماهواره‌ای

به‌منظور بررسی رابطه بین تاج پوشش سبز گیاهی با داده‌های ماهواره‌ای از تحلیل رگرسیون خطی استفاده شد. به این منظور ارزش شاخص‌های گیاهی *ARVI* و *NDVI* پس از اعمال روش‌های تصحیح از تصاویر ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد و ۱۲ شهریور به‌عنوان متغیر مستقل و مقادیر اندازه‌گیری شده تاج پوشش سبز زمینی در چهار دوره نمونه برداری به‌عنوان متغیر وابسته وارد رابطه رگرسیونی خطی و درجه ۲ شدند. به‌این‌ترتیب که مجموع مشاهدات در چهار دوره نمونه‌برداری برای ساخت یک معادله در نظر گرفته شدند.

این مرحله برای خروجی تصاویر چهار روش تصحیح *QUAC*، *FLAASH*، *IR-MAD* و *TOA* انجام شد. درضمن مقادیر زمینی تاج پوشش‌گیاهی میانگین ۵ کوادرات در هر پلات، به عنوان نماینده ارزش یک پیکسل در نظر گرفته شد. در مطالعات مختلفی [۸ و ۲۸] یک کوادرات ۱ متر مربعی نماینده پیکسل ۹۰۰ متر مربعی لندست در نظر گرفته شده است؛ ولی در تحقیق حاضر با توجه به تنوع گونه‌های گیاهی در طول دوره رویش، اختلافات درصد پوشش در فرم‌های رویشی مختلف، الگوی پراکنش گیاهان، ناهمگنی‌های موجود و در نهایت برای اطمینان بیشتر، میانگین ۵ کوادرات نماینده یک پیکسل در نظر گرفته شد. قبل از ایجاد مدل‌های رگرسیونی نرمال بودن توزیع متغیر وابسته بررسی شد و با انجام تبدیل و پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع این متغیر، تجزیه‌وتحلیل رگرسیون خطی و غیر خطی انجام شد. مدل‌های رگرسیونی ساخته شده براساس خروجی چهار روش تصحیح براساس ۶۷ درصد داده‌ها ایجاد شدند و ۳۳ درصد از مشاهدات برای تست مدل‌های رگرسیونی در نظر گرفته شدند. نتایج آزمون کولموگراف اسمیرنو نرمال در دو حالت قبل از انجام تبدیل و پس از انجام تبدیل و در نتیجه نرمال‌سازی در جدول(۳) آورده شده است.

جدول۳: نتایج نرمال سازی تاج پوشش سبز

داده‌های تاج پوشش	کولموگروف- اسمیرنو		
	آماره	درجه آزادی	سطح معنی داری
داده‌های خام	۰/۱۵۶	۷۶	۰
داده‌های تبدیل شده	۰/۰۷۵	۷۶	۰/۲

۲-۹- اعتبارسنجی مدل برآورد تاج پوشش گیاهی و انتخاب بهترین روش تصحیح

در این مرحله، اعتبار سنجی مدل‌های رگرسیونی که برای هر چهار روش *QUAC*، *FLAASH*، *IR-MAD* و *TOA* با دو شاخص گیاهی *NDVI* و *ARVI* ایجاد شده بودند، انجام شد. به این ترتیب که در ۳۳ درصد از داده‌ها که وارد ساخت مدل نشده بودند، مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآورد شده توسط مدل‌های رگرسیونی، در

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

رگرسیون خطی در مقابل هم قرار گرفتند و پارامترهای R و R^2 محاسبه شدند، سپس با استفاده از روابط (۳)، (۴) و (۵) پارامترهای *RMSE*، *MAE* و *Bias* نیز محاسبه شدند.

رابطه(۳) $$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(y_i - y)^2}{n}}$$

رابطه(۴) $$MAE: \sum_{i=1}^{n} \frac{|y_i - y|}{n}$$

رابطه(۵) $$Bias = \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i - y}{n}$$

در معادلات بالا y_i و y به ترتیب مقدار برآورد شده و مقدار اندازه‌گیری شده تاج پوشش سبز گیاهی، ith شماره نمونه یا شماره پلات در اندازه‌گیری زمینی و n تعداد کل نمونه‌ها است. پارامترهای ذکرشده نشان‌دهنده دقت و صحت مدل‌های رگرسیونی و نشانگر این می‌باشند که تا چه اندازه ارزش‌های پیش‌بینی‌شده به ارزش‌های واقعی نزدیک است. ارزش‌کمتر در مقادیر *RMSE*، *MAE* و *Bias* و ارزش بیشتر در مقادیر R و R^2 نمایانگر دقت و صحت بیشتر مدل رگرسیونی است.

۲-۱۰- محاسبه شاخص‌های گیاهی پس از دستیابی به بهترین روش تصحیح و اعتبارسنجی نهایی

پس از اعتبارسنجی و دستیابی به بهترین روش تصحیح از بین روش‌های *QUAC*، *FLAASH*، *IR-MAD* و *TOA* بر اساس خروجی این روش، ده شاخص گیاهی دیگر نیز علاوه بر شاخص‌های گیاهی *NDVI* و *ARVI* محاسبه شدند. دوازده شاخص گیاهی استفاده شده در این تحقیق به شرح جدول (۴) آورده شده است. در این مرحله، از مقادیر پارامترهای ضریب همبستگی (*R*)، ضریب تبیین(R^2) ریشه میانگین مربعات خطا (*RMSE*), میانگین مطلق خطا *(MAE)* و اریبی (*Bias*) به‌عنوان سنجه‌های اعتبار برای تعیین مناسب‌ترین شاخص گیاهی به‌منظور برآورد تاج پوشش سبز گیاهی استفاده شد.

طبق تحقیق جکسون و همکاران، شاخص‌های گیاهی در دو دسته کلی قرار می‌گیرند؛ شاخص‌های شیب‌محور و فاصله‌محور. شاخص‌های شیب‌محور، ترکیب ریاضی ساده‌ای هستند که بر تضاد بین الگوی پاسخ طیفی گیاهان در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک در طیف الکترومغناطیسی تمرکز می‌کنند. در مقابل، شاخص‌های فاصله محور، مقدار پوشش‌گیاهی در هر پیکسل را بااستفاده از تفاوت بازتاب هر پیکسل از بازتاب خاک لخت اندازه‌گیری می‌کند[۲۹].

پس از دست‌یابی به مدل برآود تاج پوشش‌گیاهی با لحاظ بهترین روش تصحیح از بین چهار روش *QUAC*، *FLAASH*، *IR-MAD* و *TOA*، به‌علاوه پس از انتخاب شاخص گیاهی مناسب در مرحله بعد با آزمون تی جفتی؛ مجدداً اعتبار سنجی انجام شد. در ۳۳ درصد از داده‌هایی که در ایجاد مدل رگرسیونی وارد نشده بودند مقادیر تاج پوشش سبز گیاهی اندازه‌گیری شده در عملیات صحرایی، در برابر مقادیر برآورد شده از مدل توضیح داده‌شده، قرارگرفت و با آزمون تی جفتی، وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین این دو ارزش مورد بررسی قرار گرفت. در ضمن مقدار ۳۳ درصد در هر دو مرحله، اعتبارسجی مذکور به صورت کاملاً تصادفی به تعداد برابر از مشاهدات مربوط به هر چهار دوره انتخاب شد.

۳- نتایج

نتایج حاصل از اعمال هر یک از روش‌های تصحیح اتمسفری و همچنین نتایج مطالعه ارتباط بین شاخص‌های گیاهی با پوشش گیاهی، پس از اعمال چهار روش تصحیحی و اعتبار سنجی مدل‌ها، در زیر آمده است.

۳-۱- خروجی روش‌های *QUAC*، *FLAASH*، *IR-MAD* و *TOA*

روش *IR-MAD* علاوه بر خروجی در قالب تصویر، شامل خروجی و تحلیل آماری هم می‌باشد که در جدول (۵) ارائه شده است. در این بخش تصاویر خروجی روش‌های تصحیح آورده نشده و تنها به مقایسه‌های میانگین و واریانس در نرمال‌سازی تصاویر ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد و ۱۱ مرداد (به‌عنوان تصاویر هدف) نسبت به تصویر تاریخ ۱۲ شهریور (به‌عنوان تصور مرجع) آمده است. نتایج نشان‌دهنده برابری واریانس تصاویر نرمال

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

شده و تصویر مرجع می‌باشد ($P>$۰٫۵). آماره F نشان‌دهنده نسبت بین واریانس تصویر نرمال شده و تصویر مرجع می‌باشد. مقدار این آماره باید نزدیک به یک باشد. آماره p مربوط به برابری واریانس‌ها در تصاویر نرمال شده و تصویر مرجع را در باندهای مختلف نشان می‌دهد. برای تمام باندهای تصویر ۱۱ مرداد , و باند مادون قرمز تصویر ۲۵ خرداد برابری واریانس‌ها وجود دارد ($P>$۰٫۵) ولی در تمام باندهای تصویر ۲۴ اردیبهشت و باند قرمز و آبی تصویر ۲۵ خرداد برابری واریانس‌ها وجود ندارد ($P>$۰٫۵).

جدول۴: شاخص‌های گیاهی مورداستفاده در این پژوهش

منبع	خصوصیات	رابطه	شاخص گیاهی
[۳۰]	شیب محور	$\frac{NIR-Red}{NIR+Red}$	*Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*
[۳۱]	شیب محور	NIR/Red	*Ratio Vegetation Index (Ratio)*
[۳۲]	فاصله محور	$\sqrt{(Rgg-NIR)^2+(Rgg-Red)^3}$	*Perpendicular Vegetation Index (PVI)*
[۳۳]	فاصله محور	$\frac{(bNIR-Red)+a}{\sqrt{b^2+1}}$	*Perpendicular Vegetation Index 1 (PVI1)*
[۳۴]	فاصله محور	$\frac{(NIR-a)*(Red+b)}{\sqrt{1+a^2}}$	*Perpendicular Vegetation Index 2 (PVI2)*
[۳۵]	فاصله محور	$aNIR-bred$	*Perpendicular Vegetation Index 3 (PVI3)*
[۳۲]	شیب محور	Red/NIR	*Ratio Vegetation Index (RVI)*
[۳۲]	فاصله محور	$aNIR-Red$	*Difference vegetation index (DVI)*
[۳۲]	فاصله محور	$NIR-aRed$	*Weighted Difference vegetation index (WDVI)*
[۳۶]	مقاوم به شرایط جوی	$\frac{NIR-(2*Red-Blue)}{NIR+(2*Red-Blue)}$	*Atmospheric Resistant Vegetation Index (ARVI)*
[۳۷]	مقاوم به شرایط جوی- دارای ضریب تعدیل کننده خاک	$G\frac{NIR-Red}{NIR+C_1Red-C_2B+L}$	*Enhanced Vegetation Index (EVI)*
[۳۸]	مقاوم به شرایط جوی- دارای ضریب تعدیل کننده خاک	$\frac{(1+L)}{NIR-(Red-(Blue-Red)}*\frac{NIR-(Red-(Blue-Red))}{NIR+(Red-(Blue-Red))+L}$	*Soil & Atmospheric Resistant Vegetation Index (SARVI)*

NIRباند مادون‌قرمز، Red = باند قرمز، $Blue$ = باند آبی، a = شیب خط خاک، b = عرض از مبدأ خط خاک، C_1= ۶ و C_2= ۷٫۵، G برابر ۲٫۵ م همچنین L برابر ۰٫۵. Rgg= خط خاک

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

جدول ۵: مقایسات میانگین و واریانس تصاویر ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد و ۱۱ مرداد پس از نرمال سازی به روش *IR-MAD*

	۲۴ اردیبهشت			۲۵ خرداد			۱۱ مرداد		
	باند ۲	باند ۴	باند ۵	باند ۲	باند ۴	باند ۵	باند ۲	باند ۴	باند ۵
میانگین تصویرهدف	۰٫۱۶۴۸	۰٫۲۲۹۰	۰٫۳۱۹۶	۰٫۱۵۵۶	۰٫۲۳۵۸	۰٫۳۱۴۲	۰٫۱۵۶۶	۰٫۲۳۴۲	۰٫۳۰۲۱
میانگین تصویر مرجع	۰٫۱۴۹۶	۰٫۲۲۵۱	۰٫۲۸۶۴	۰٫۱۴۹۶	۰٫۲۲۵۱	۰٫۲۸۶۴	۰٫۱۴۹۶	۰٫۲۲۵۱	۰٫۲۸۶۴
میانگین تصویر نرمال شده	۰٫۱۴۹۶	۰٫۲۲۳۱	۰٫۲۸۶۴	۰٫۱۴۹۶	۰٫۲۲۵۱	۰٫۲۸۶۴	۰٫۱۴۹۶	۰٫۲۲۵۰	۰٫۲۸۶۴
آماره ***T***	-۰٫۰۰۹۰	۰٫۰۷۲۶	-۰٫۱۶۵۶	-۰٫۱۴۷۴	-۰٫۰۲۹۴	-۰٫۱۱۵۰	۰٫۱۶۲۳	۰٫۰۵۸۶	-۰٫۲۴۴
آماره-***p***	۱	۰٫۹۴۷۹	۰٫۸۶۷۷	۰٫۸۷۸۲	۱	۰٫۹۱۷۷	۰٫۸۶۷۷	۰٫۹۴۷۹	۰٫۸۱۰۳
واریانس تصویر هدف	۰٫۰۰۰۲۲	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۰۱۱۵۵	۰٫۰۰۰۱	۰٫۰۰۶۵۴	۰٫۰۰۰۹۵۹	۰٫۰۰۰۸	۰٫۰۰۴۵	۰٫۰۰۰۷۶
واریانس تصویر مرجع	۰٫۰۰۰۱۰	۰٫۰۰۰۵۲	۰٫۰۰۰۹۲	۰٫۰۰۰۱	۰٫۰۰۵۲۷	۰٫۰۰۰۹۲	۰٫۰۰۰۱۰	۰٫۰۰۵۲	۰٫۰۰۹۲
واریانس تصویر نرمال شده	۰٫۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۴۱۴	۰٫۰۰۰۸۳۰	۰٫۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۴۹	۰٫۰۰۰۹۲	۰٫۰۰۰۱۰	۰٫۰۰۰۵۳	۰٫۰۰۹۴
آماره ***F***	۳٫۶۰۹۲۸	۱٫۲۷۳۱۸	۱٫۱۱۵۹	۱٫۰۲۴۱	۱٫۰۷۵۳۶	۱٫۰۰۲۹۰۰	۱٫۰۰۴۲۴	۰٫۰۰۷۳۹	۰٫۰۱۶۳۵
آماره-***p***	۰٫۰	۰٫۰	۰٫۰	۰٫۰۲۳۹	۰	۰٫۷۸۴۰۵۶	۰٫۶۸۸۴۵	۰٫۶۵۴۶۲	۰٫۱۲۴۷۸

معنی‌داری در سطح ۹۵٪ ($P>0.05$)

۳-۲- نتایج آنالیز رگرسیونی شاخص‌های *ARVI* و *NDVI* با تاج پوشش سبز گیاهی در چهار روش تصحیح

برای تعیین بهترین روش تصحیح تصاویر چند زمانه، از بین چهار روش *QUAC*، *FLAASH*، *IR-MAD* و *TOA*، دو شاخص گیاهی *ARVI* و *NDVI* از تصاویر خروجی حاصل از اعمال روش‌های تصحیح اتمسفری محاسبه شد. مقادیر R^2 در تصحیح اتمسفری *FLAASH* (در هر دو شاخص *ARVI* و *NDVI*) بیشترین مقدار بود (۰٫۸۱ و ۰٫۷۹). کمترین مقدار R^2 در تصحیح اتمسفری *QUAC* برای شاخص *ARVI* (۰٫۳۵) و در روش *IR-MAD* برای شاخص *NDVI* (۰٫۳۵) می‌باشد. بقیه موارد بین مقادیر مذکور هستند.

۳-۳- نتایج اعتبار سنجی مدل‌های رگرسیونی روش‌های تصحیح

نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد روش *FLAASH* از دقت و صحت بیشتری نست به روش‌های دیگر برخوردار می‌باشد. روش *FLAASH* با استفاده از شاخص *ARVI* ، R^20=۰٫۶۱ ، R=۰٫۶۱ ، *RMSE0*=۰٫۷۷ ، *MAE0*=۰٫۶۵ ، *Bias*=-۰٫۰۶۰۸ نسبت به مدل‌های دیگر ارجحیت دارد. درمقابل در روش *IR-MAD* مقادیر پارامترها نسبت به بقیه روش‌ها از دقت و صحت کمتری برخوردار می‌باشد (R^20=۰٫۲)، R=۰٫۴ ، *RMSE0*=۱٫۱۵ ، *MAE0*=۰٫۹۶ ، *Bias*=۰٫۱۴۴۰

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

جدول ۶: نتایج حاصل از رگرسیون درجه دوم بین تاج پوشش سبز و شاخص‌های طیفی *ARVI* و *NDVI* در تاریخ‌های ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد و ۱۲ شهریور در داده‌های آموزشی ۴ روش تصحیح

روش	شاخص	رابطه	R^2	*Sig*
QUAC	*ARVI*	$Y=۲٫۴۸+۸٫۶۷*ARVI+۲۷٫۴*ARVI^2$	۰٫۳۵	۰٫۰۱۰
	NDVI	$Y=۱٫۸۸-۳٫۵۴*NDVI+۳۸٫۹۶*NDVI^2$	۰٫۳۸	۰٫۰۰۱
FLAASH	*ARVI*	$Y=۴٫۵۸+۲۱٫۹۷*ARVI-۵۹٫۲۰۸*ARVI^2$	۰٫۸۱	۰٫۰۰۱
	NDVI	$Y=۴٫۲+۶۱٫۵*NDVI-۸٫۸۲*NDVI^2$	۰٫۷۹	۰٫۰۰۱
IR-MAD	*ARVI*	$Y=۲٫۳۷+۲۲*ARVI+۲۴۸٫۲*ARVI^2$	۰٫۴	۰٫۰۰۱
	NDVI	$Y=۶٫۵۲-۷۴٫۸۲*NDVI+۳۳٫۳۵*NDVI^2$	۰٫۳۵	۰٫۰۰۱
TOA	*ARVI*	$Y=۲٫۹+۲۷٫۸۳*ARVI-۴۱٫۸۷*ARVI^2$	۰٫۷	۰٫۰۰۱
	NDVI	$Y=-۴٫۸۷+۶۵٫۵۴*NDVI+۸۶٫۵۴*NDVI^2$	۰٫۷۲	۰٫۰۰۱

آزمون آماری معنی‌داری در سطح ۹۵٪ ($P<۰٫۰۵$)

۳-۴- نتایج آنالیز رگرسیونی شاخص‌های گیاهی و تاج پوشش سبز گیاهی

پس از انتخاب روش تصحیح اتمسفری *FLAASH* براساس نتایج جدول (۷) به عنوان بهترین روش تصحیح، تعداد ده شاخص گیاهی علاوه بر شاخص‌های *ARVI* و *NDVI* آنالیز رگرسیونی درجه دوم تک متغیره بین تاج پوشش سبز به‌عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های طیفی به‌عنوان متغیر مستقل در محل پیکسل‌های مربوطه در تصاویر چهار دوره (۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد، ۱۲ شهریور) در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. لازم به‌ذکر است که کل داده‌ها در چهار دوره برای ساخت یک مدل در نظر گرفته شد. در این رابطه طبق نتایج جدول (۷) تمام شاخص‌ها دارای ارتباط معنی‌داری ($P\leq۰٫۰۵$) با پوشش‌گیاهی می‌باشند. به‌علاوه، شاخص‌های *EVI*، *SARVI*، *ARVI*، *RVI*، *Ratio*، *WDVI*، *NDVI* و *PVI2* نسبت به شاخص‌های دیگر، دارای قوی‌ترین ارتباط با تاج پوشش سبز می‌باشند. درارابطه درجه دوم شاخص‌های مذکور، به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰٫۹، ۰٫۹، ۰٫۸۹، ۰٫۸۹، ۰٫۸۹، ۰٫۸۶، ۰٫۸۹ و ۰٫۸۵ و ضرایب تبیین ۰٫۸، ۰٫۸، ۰٫۸، ۰٫۷۹، ۰٫۷۹، ۰٫۷۵، ۰٫۷۹، ۰٫۷۲ می‌باشند. در این تحقیق، شاخص‌های گیاهی *PVI3* و *DVI* دارای کمترین ارتباط با تاج پوشش سبز می‌باشند. ضرایب همبستگی این شاخص‌ها برابر ۰٫۵۶ و ۰٫۶۲ و همچنین دارای ضریب تبیین ۰٫۳۲ و ۰٫۳۸ می‌باشند. دو شاخص باقی‌مانده بینابین دو دسته ذکر شده هستند.

با توجه به نتایج جدول (۷)، از بین سه شاخص گیاهی *EVI*، *SARVI*، *ARVI* که دارای قوی‌ترین ارتباط بودند؛ شاخص *ARVI* به‌عنوان شاخص موردنظر در برآورد تاج پوشش سبز گیاهی در رابطه درجه دوم در منطقه موردمطالعه در نظر گرفته شد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

جدول۷: نتایج اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی ارائه شده در جدول ۵ در داده‌های تست برای شاخص‌های گیاهی *ARVI* و *NDVI* در ۴ روش تصحیح

روش تصحیح	شاخص گیاهی	*R*	R^2	*RMSE*	*MAE*	*Bias*
QUAC	*ARVI*	۰٫۶۱	۰٫۳۷	۰٫۹۹	۰٫۸	-۰٫۱۷۵
	NDVI	۰٫۶۲	۰٫۳۹	۰٫۹۸	۰٫۷۷	-۰٫۱۸۳۸
FLAASH	*ARVI*	۰٫۷۸	۰٫۶۱	۰٫۷۷	۰٫۶۵	-۰٫۰۶۰۸
	NDVI	۰٫۷۳	۰٫۵۴	۰٫۸۵	۰٫۶۸	-۰٫۰۸۱۶
IR-MAD	*ARVI*	۰٫۴	۰٫۲	۱٫۱۵	۰٫۹۶	-۰٫۱۴۴۰
	NDVI	۰٫۴۱	۰٫۲۱	۱٫۱۳	۰٫۹۴	-۰٫۱۱۹۲
TOA	*ARVI*	۰٫۷۶	۰٫۵۷	۰٫۸	۰٫۶۳	-۰٫۰۸۹۴
	NDVI	۰٫۷۵	۰٫۵۶	۰٫۸۳	۰٫۶۹	-۰٫۱۰۳۹

جدول ۸: نتایج حاصل از رگرسیون درجه دوم بین تاج پوشش سبز و شاخص‌های طیفی داده‌های سنجنده لندست ۸ در تاریخ‌های ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد و ۱۲ شهریور

شاخص	*R*	R^2	*Std. Error*	*Sig.*	رابطه
Ratio	۰٫۸۹	۰٫۷۹	۰٫۵۹	۰,۰	Y=-۳۹٫۸۵+۴۹٫۹۵*(Ratio)*-۱۳٫۴۲*(Ratio^2)*
NDVI	۰٫۸۹	۰٫۷۹	۰٫۵۲	۰,۰	Y=-۴٫۲۰+۶۱٫۵۳*(NDVI)*-۸۲٫۸۴*(NDVI^2)*
RVI	۰٫۸۹	۰٫۷۹	۰٫۵۲	۰,۰	Y=۶٫۱+۱۵٫۸۹*(RVI)*-۲۶٫۸۹*(RVI^2)*
PVI	۰٫۷۷	۰٫۶۰	۰٫۷۲	۰,۰	Y=۱٫۴۷+۱۰۴٫۹۷*(PVI)*-۴۵۶٫۷۳*(PVI^2)*
PVI1	۰٫۷۳	۰٫۵۳	۰٫۷۸	۰,۰	Y=۱٫۶۵+۹۶٫۰۶*(PVI1)*-۷۱۳٫۰۳*(PVI1^2)*
PVI2	۰٫۸۵	۰٫۷۲	۰٫۶۰	۰,۰	Y=۰٫۷۷-۱۳٫۸۹*(PVI2)*+۲۱۵٫۰۹*(PVI2^2)*
PVI3	۰٫۵۶	۰٫۳۲	۰٫۹۴	۰,۰	Y=۲۵٫۳۱+۱۹۱٫۱۵ *(PVI3)*+۳۸۹٫۵۷*(PVI3^2)*
DVI	۰٫۶۲	۰٫۳۸	۰٫۹۰	۰,۰	Y=-۲٫۶۸-۴۰٫۷۶*(DVI)*+۵۳۴٫۷۷*(DVI^2)*
WDVI	۰٫۸۶	۰٫۷۵	۰٫۵۷	۰,۰	Y=-۱٫۱۰+۳۷٫۱۶*(WDVI)*+۱۲٫۸۱*(WDVI^2)*
ARVI	۰٫۸۹	۰٫۸	۰٫۴۸	۰,۰	Y=۴٫۶۶+۲۳٫۰۴*(ARVI)*-۵۵٫۱*(ARVI^2)*
EVI	۰٫۹	۰٫۸	۰٫۴۹	۰,۰	Y=-۳٫۴۸+۷۳٫۰۶*(EVI)*-۱۲۹٫۸۱*(EVI^2)*
SARVI	۰٫۹	۰٫۸	۰٫۴۹	۰,۰	Y=-۳٫۴۸+۴۸٫۷*(SARVI)*+۵۷٫۶۹*(SARVI^2)*

۳-۵- اعتبارسنجی مدل برآورد پوشش سبز گیاهی و تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی

در مرحله بعد نیز این دو مقدار (مقادیر پوشش و تولید برآورد شده توسط مدل با شاخص گیاهی *ARVI* در روش *FLAASH* با پوشش واقعی) در داده‌های تست مدل با آزمون تی جفتی مورد مقایسه قرار گرفتند. همان‌طور که در جدول (۹) آمده است تفاوت معنی داری بین تاج پوشش سبز برآورد شده با تاج پوشش سبز واقعی وجود ندارد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

جدول ۹: درصد تاج پوشش سبز برآورد شده توسط مدل در برابر درصد تاج پوشش سبز اندازه‌گیری شده در فرم‌های رویشی و تاریخ‌های نمونه‌برداری مختلف (در ۳۳ درصد از داده‌های تست)

تفاوت معنی‌دار	درصد پوشش تخمین زده شد	درصد پوشش واقعی	تاریخ
NS	۱۲٫۲۱	۱۵٫۱	۲۴ اردیبهشت
NS	۷٫۳۹	۹٫۶۴	۲۵ خرداد
NS	۶٫۳	۳٫۸	۱۱ مرداد
NS	۲٫۴	۱٫۹	۱۲ شهریور

پس از دستیابی به مدل برآورد پوشش در منطقه موردمطالعه، مدل حاصل برای تهیه نقشه پوشش سبز گیاهی در منطقه برای تاریخ‌های ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد و ۱۲ شهریور، استفاده شدند. شکل(۳) نمایانگر نقشه‌های پوشش برای تصاویر تاریخ‌های مختلف در واحدهای بهره‌برداری موجود در منطقه با برش مناطق کشاورزی است. در این نقشه‌ها شاهد ناهمگنی مکانی تاج پوشش‌گیاهی در منطقه مورد مطالعه می‌باشیم

۴- بحث و نتیجه گیری

پایش پوشش‌گیاهی زیست‌بوم‌ها و بررسی پویایی پوشش‌گیاهی و ترسیب کربن در آنها، منجر به درک بهتر و مدیریت پایدار آن‌ها خواهد شد. استفاده از سنجش‌ازدور برای اندازه‌گیری پوشش‌گیاهی، پس از پرتاب اولین نسل ماهواره لندست، افزایش چشم‌گیری پیدا کرده است. در این تحقیق، اعتبار چهار روش تصحیح در تصاویر چند زمانه در مدل رگرسیونی برآورد تاج پوشش مورد ارزیابی قرار گرفت.

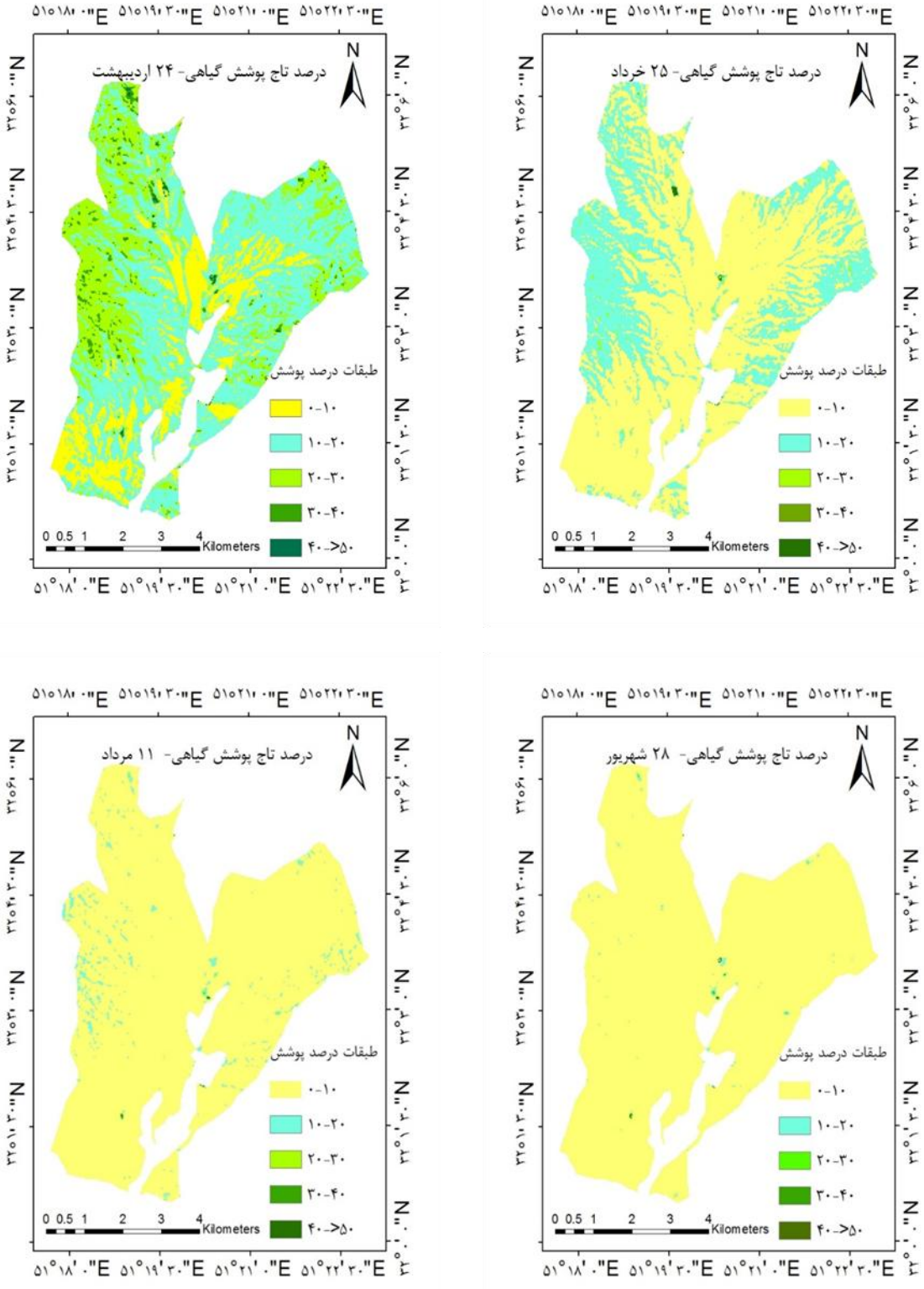
همانطور که در جدول(۵) آورده شده است در آزمون برابری میانگین در تصاویر نرمال شده نسبت به تصویر مرجع در تمام باندها، در هر سه تصویر حفظ شده است. ولی فرض برابری واریانس در برخی باندها، حفظ نشده است. ارتباط شاخص‌های گیاهی *ARVI* و *NDVI* با پوشش‌گیاهی در تمام روش‌های تصحیح معنی‌دار است (جدول(۶)). بسیاری از محققان بر اساس همبستگی بالای بین شاخص‌های گیاهی و مقادیر پوشش‌گیاهی، اقدام به پایش پوشش‌گیاهی نموده‌اند [۳۹،۴۰و۴۱]. در تحقیقات مشابه نیز حداقل یک شاخص گیاهی به همراه نمونه‌برداری زمینی برای برآورد تاج پوشش‌گیاهی مورد استفاده قرار گرفته است. البته در برخی مطالعات بیش از یک شاخص گیاهی بعنوان متغیر مستقل وارد معادله شده است که در این صورت پیشنهاد می‌شود اثر هم‌راستایی این شاخص‌ها در معادله رگرسیونی از نظر آماری مورد بررسی قرار گیرد تا از هم‌افزایی شاخص‌ها که همبستگی کاذبی را ایجاد می‌کند؛ جلوگیری به‌عمل آید. با این‌حال، انتخاب شاخص گیاهی مناسب در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار بحث برانگیز است. جدول(۵)، نشان‌دهنده ارتباط قوی‌تر شاخص‌های گیاهی و تاج پوشش‌گیاهی در روش‌های *FLAASH* (۰٫۸۱ $= R^2_{ARVI}$، $R^2_{NDVI=}$ ۰٫۷۹) و *TOA* ($R^2_{ARV=}$ ۰٫۷۰ ، $R^2_{\tilde{N}DVI=}$ ۰٫۷۲) می‌باشد. اثر جوّ و ذرات معلق در هوا، بر ارزش به‌دست آمده از شاخص‌های پوشش‌گیاهی همچون *NDVI* سبب توسعه شاخص مقاوم به شرایط جوّی همچون *ARVI* شده است که حساسیت آن به اثر اتمسفر چهار برابر کمتر از *NDVI* است[۳۶].

طبق نتایج این تحقیق که در جدول(۸) آورده شده است، شاخص‌های گیاهی *ARVI*، *EVI* و *SARVI* دارای ارتباط قوی‌تری با پارامتر پوشش تاجی با استفاده از باندهای ۲، ۴ و ۵ در ماهواره لندست ۸ می‌باشد. درنهایت در این پژوهش از شاخص *ARVI* استفاده شد.

.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]



شکل ۳: نقشه پوشش سبز گیاهی منطقه موردمطالعه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، همچنین شاخص *EVI* هم دارای ضریب تبیین بالایی با تاج پوشش سبز (۰/۸ =R^2) در رابطه رگرسیونی می‌باشد (جدول ۸). بااین‌وجود، به دلیل این‌که این شاخص با حساسیت به مناطق با زیتوده بالا توسعه یافته است [۳۷]، از این‌رو شاخص گیاهی *ARVI* بر این شاخص ارجحیت داده شده است. شاخص گیاهی *SARVI* هم ارتباط بالایی با تاج پوشش سبز (۰/۸ =R^2) در رابطه رگرسیونی توسعه یافته؛ دارد (جدول۸) که پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی با شاخص *ARVI* مورد مقایسه قرار گیرد. به‌این‌دلیل که شاخص *SARVI* جزء شاخص‌های مقاوم به شرایط جوّی بوده و همچنین دارای ضریب تعدیل‌کننده خاک می‌باشد؛ گزینه مناسبی برای مطالعات این چنینی به‌نظر می‌رسد. طبق تحقیق ارزانی و همکاران در بررسی داده‌های ماهواره‌ای لندست، در برآورد پوشش و تولید گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، شاخص *ARVI* یک شاخص مناسب معرفی شده است[۴۲]. در تحقیق مشابه دیگری، زهتابیان با استفاده از شاخص *ARVI* با ضریب تبیین ۰/۸۶ به برآورد مناسبی از پوشش‌گیاهی دست‌یافت[۴۳].

پارامترهای ورودی در روش تصحیح اتمسفری *FLAASH* (مدل ائروسل، مدل اتمسفری و قابلیت دید) براساس شرایط مورد مطالعه انتخاب می‌شوند. زیرا میورا و همکاران [۴۴] در مطالعه خود نشان دادند، خطای ایجاد شده در شاخص‌های گیاهی بر اثر انتخاب مدل آئروسل نامناسب، می تواند موثر واقع شود. باتوجه‌به نتایج جدول (۶)، در روش *FLAASH* ارتباط قوی‌تری بین تاج پوشش‌گیاهی و شاخص‌های گیاهی مستخرج از سنجنده *OLI* نسبت به روش‌های دیگر برقرار شده است. لازم به ذکر است، در مقایسه با اکثر مدل‌های تصحیح اتمسفری، در مدل *FLAASH* اثر مجاورت (مخلوط شدن بازتاب پیکسل‌های مجاور) که به‌علت پراکنش اتمسفری ایجاد می‌شود، محاسبه می‌شود. در نتیجه وقتی اثر مجاورت فعال می‌شود بازیابی دقیق‌تری حاصل می‌شود و نتیجه بهتر این روش نسبت به روش‌های دیگر، می‌تواند به دلیل این قابلیت باشد. این امر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دارای مقادیر پوشش کم، بعضا گردوخاک ناشی از پوشش کم و موارد مشابه می‌باشد؛ حذف چنین اثراتی می تواند در برآورد حقیقی میزان بازتابش پوشش‌گیاهی و جداسازی آن از از اثرات اتمسفری بسیار راهگشا و مؤثر باشد. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های ارائه شده در جدول (۶) با ۳۳ درصد از داده‌ها که وارد ساخت مدل نشده بودند نیز نشان داد که در روش *IR-MAD* هنگام استفاده از شاخص *NDVI*، R^2 برابر ۰/۲۱ و *RMSE* برابر ۱/۱۳ می‌باشد و هنگام استفاده از شاخص *ARVI*، R^2 برابر ۰/۲ و *RMSE* برابر ۱/۱۵ می‌باشد بنابراین روش *IR-MAD* به‌عنوان نامناسب‌ترین روش در مقابل روش *FLAASH* برای تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. چنانچه به جدول (۵) نیز توجه شود، مشاهده می‌شود که بعضی از باندهای مورد استفاده نیز به‌درستی در پیکسل‌هایی که به عنوان پیکسل‌های تغییر نیافته در نظر گرفته شده بودند بازسازی و اصلاح نشده و فرض تفاوت غیر معنی‌دار بودن بین باند مرجع و باندهای هدف تحقق نیافته است (مثلا باند ۲ در ۲۴ اردیبهشت و باند ۴ در ۲۵ خرداد) که این امر تاثیر به‌سزایی بر برآورد شاخص گیاهی دارد. از آنجا که یافتن مناطق تغییر نیافته یا به عبارتی پیکسل‌های تغییر نیافته از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند، لذا این امر و نحوه انتخاب آنها می تواند تأثیر خیلی زیادی بر نتایج حاصل داشته باشد. این امر در مراتعی که وسیع هستند و به‌ویژه در مناطق بیابانی و کویری که به ندرت می‌توان پیکسل‌های شبه‌ثابت یا ثابت را پیدا کرد کاری بسیار دشوار است. چنانچه چنین پیکسل‌هایی در مناطق شهری نیز انتخاب شوند، بازتضمینی برای ثابت بودن آنها به دلیل تغییراتی مثل ساخت‌وساز، نقل و انتقال خودروها و احتمال پوشش بخشی از محیط پیکسل به وسیله پوشش‌گیاهی که خود متغیر و غیرثابت است؛ وجود ندارد. درمجموع پارامترهای اعتبارسنجی نشان‌دهنده دقت و صحت بیشتر در

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

خروجی روش *FLAASH* و با استفاده از شاخص *ARVI* نسبت به سه روش *QUAC*، *IR-MAD* و *TOA* می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تصحیح اتمسفری *FLAASH* به‌منظور پایش پوشش‌گیاهی در مراتع مناطق خشک که پوشش‌گیاهی بیشتر از ۲۵ درصدی قاعدتا ندارند، نتایج قابل اعتمادتری را ارائه می‌دهد که این به‌علت برخی قابلیت‌های این روش می‌باشد که از این جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۱- محاسبه و اصلاح اثر مجاورت (مخلوط شدن بازتاب پیکسل‌های مجاور) که به‌علت پراکنش اتمسفری ایجاد شده است.

۲- وجود گزینه‌ای به‌منظور محاسبه میانگین قابلیت دید (مقدار آئروسل و مه) و تاکید بر شرایط ویژه جوّی همچون وجود ابر.

در مطالعه کی و همکاران با هدف بررسی سازگاری داده‌های ماهواره لندست ۸ با داده‌های ماهواره لندست۷، مودیس، سنجنده *GOCI*[1] در ارزیابی تغییرات، به این نتیجه رسیدند که *NDVI* حاصل از تصحیح اتمسفری *FLAASH* در داده‌های لندست ۸ و مودیس توافق بیشتری را نسبت به زمانی که از روش تصحیح اتمسفری *DOS*[2] استفاده شده دارا می‌باشند[۴۵]. براساس نتایج این تحقیق، نرمال‌سازی رادیومتریکی به روش *IR-MAD* به منظور پایش تاج پوشش‌گیاهی در این منطقه، مناسب نمی‌باشد، زیرا تغییرات پوشش‌گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک طی فصل رویش به تدریج و آهسته می‌باشد[۴۶]. در این راستا، کنتی و نیلسون بیان داشتند توانایی *IR-MAD* برای انتخاب پیکسل شبه‌ثابت در حالتی که تغییرات زیاد در صحنه داشته باشیم قابلیت بیشتری دارد و انتخاب پیکسل ثابت کاملاً وابسته به صحنه است.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۹) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دست‌یابی به مدل برآورد پوشش‌گیاهی که در تمام فصول رویش مورد استفاده قرار بگیرد با استفاده از داده‌های لندست۸ در این مناطق امکان‌پذیر می‌باشد. در پژوهش حاضر که در منطقه خشک مرجن انجام شده است و نمونه‌های زمینی و تصاویر، در چهار مرحله از فصل رویش مورد ارزیابی قرار گرفته و در ساخت مدل استفاده شده‌اند، در آن نتایج مطلوبی از تلفیق داده‌ها حاصل شده است. در نتیجه، تلفیق داده‌های دوره‌های مختلف رویشی و ساختن مدلی که بتواند پوشش‌گیاهی را در فصول مختلف نشان دهد، حائز اهمیت فراوانی است و از ایجاد مدل‌های متعددی که می‌تواند خود منشاء ایجاد برآوردی اشتباه از پوشش‌گیاهی باشد جلوگیری به عمل می‌آورد. لازم به‌ذکر است که استفاده از مدل حاضر در سال‌های بعد مشروط بر تست مدل می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد، تصحیح اتمسفری *FLAASH* در مقایسه با روش‌های *QUAC*، *IR-MAD* و *TOA* به ویژه هنگامی که در مناطق خشک و نیمه خشک تغییرات پوشش آهسته بوده و بازتاب تاج پوشش تحت تاثیر پیش زمینه خاک می‌باشد و همچنین در صورتی که تصاویر از فصول و ماه‌های مختلف سال که قطعاً شرایط متفاوت جوّی حاکم می‌باشد تهیه شده باشند؛ نتایج بهتری را برای پایش پوشش‌گیاهی در برخواهد داشت.

مراجع

[1] M. Mesdaghi, Range Management in Iran. Mashhad: Astan Ghods Razavi Press,Iran, 2004.

[2] M. Migliavacca, G. Galvagno, E. Cremonese, M. Rossini, M. Meroni, and O. Sonnentag, "Using digital repeat photography and eddy covariance data to model grassland phenology and photosynthetic CO2 uptake," Agricultural and Forest Meteorology, pp. 1325– 1337, 2011.

[3] N. G. Silleos, T. K. Alexandridis, I. Z. Gitas, and K. Perakis, "Vegetation Indices:

[1] *Geostationary Ocean Color Imager*

[2] *Dark Object Subtraction*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years," Geocarto International, vol. 21, 2006.

[4] K. Brinkmann, U. Dickhoefer, E. Schlecht, and A. Buerkert, "Quantification of aboveground rangeland productivity and anthropogenic degradation on the Arabian Peninsula using Landsat imagery and field inventory data," Remote Sensing of Environment, vol. 115, pp. 465–474, 2011.

[5] I. M. Morrison, "Changes in the lignin and hemicellulose concentrations of ten varieties of temperate grasses with increasing maturity.," Grass Forage Science, vol. 3 ,5pp. 93-287, 1980.

[6] G. C. Fahey, M. Collins, D. R. Mertens, and L. E. Moser, Forage quality, evaluation, and utilization: American Society of Agronomy, Inc., 1994.

[7] E. B. Knipling, "Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation," Remote Sensing of Environment, vol. 1, pp. 155–159, 1970.

[8] T. F. Porter, C. Chen, J. H. Long, and R. L. Lawrence, "Estimating biomass on CRP pastureland: A comparison of remote sensing techniques," biomas and bioenergy, vol. 66, pp. 268-274, 2014.

[9] T. Mannschatz, B. Pflug, E. Borg, K. H. Feger, and p. Dietrich, "Uncertainties of LAI estimation from satellite imaging due to atmospheric correction," Remote Sensing of Environment, vol. 153, pp. 24–39, 2014.

[10] P. S. Chavez, "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data.," Remote sensing of environment, vol. 24, pp. 459–479, 1998.

[11] R. Richter, D. Schla¨ pfer, and A. Mu¨ller, "An automatic atmospheric correction algorithm for visible/NIR imagery," International Journal of Remote Sensing, vol. 27, pp. 2077–2085, 2006.

[12] Y. Du, P. M. Teillet, and J. Cihlar, "Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection," Remote Sensing of Environment, vol. 82, pp. 123–134, 2002.

[13] S. H. Liu, C. W. Lin, Y. R. Chen, and C. M. Tseng, "Automatic radiometric normalization with genetic algorithms and a Kriging model," Computers &Geosciences, vol. 43, pp. 42–51, 2012.

[14] J. Heo and T. W. Fltzhugh, "A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery," Photogrammetric engineering 81 remote sensing, vol. 66, pp. 173-181, 2000.

[15] M .J. Canty and A. A. Nielsen, "Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation," Remote Sensing of Environment, vol. 112, pp. 1025–1036, 2008.

[16] L. Ji, B. K. Wylie, D. R. Nossov ,B. Peterson, M. P. Waldrop, J. W. McFarland, et al., "Estimating aboveground biomass in interior Alaska with Landsat data and field measurements," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 18, pp. 451–461, 2012.

[17] R. Darvishzadeh, A. A. Matkan, HosseiniaslA, and M. Ebrahimi Khusefi, "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, vol. 2, pp. 25.2012 ,37-

[18] L. S. Bernstein, S. M. Adler-Golden, R. L. Sundberg, and R. Y. Levine, "Validation of the QUick Atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi- and hyperspectral imagery," SPIE Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI. , vol. 5806, pp. 668-678, 2005.

[19] Y. J. Kaufman, A. E. Wald, L. A. Remer, B. C. Gao, R. R. Li, and L. Flynn, "The MODIS 2.1- m Channel—Correlation with Visible

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

Reflectance for Use in Remote Sensing of Aerosol," IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, vol. 35, pp. 1286-1298, 1997.

[20] M. W. Matthew, S. M. Adler-Golden, A. Berk, S. C. Richtsmeier, R. Y. Levine, L. S. Bernstein, et al., "Status of atmospheric correction using a MODTRAN4-based algorithm," SPIE Proceedings, Algorithms for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VI, vol. 4099, pp. 199-207, 2000.

[21] M. Caprioli, B. Figorito, and E. Tarantino, "Radiometric normalization of Landsat ETM+ data for multi-temporal analysis," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 34, 2006.

[22] M. J. Canty, A. A. Nielsen, and M. Schmidt, "Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery," Remote Sensing of Environment, vol. 91, pp. 441–451, 2004.

[23] J. R. Schott, C. Salvaggio, and W. Volchok, J., "Radiometric Scene Normalization Using Pseudoinvariant Features," Remote sensing of environment, vol. 26, pp. 1-18, 1988.

[24] G. Chander, B. L. Markham, and D. L. Helder, "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors," vol. 113, pp. 893–903, 2009.

[25] G. L. Anderson, J. D. Hanson, and R. H. Hanson, "Ewaluating Landsat Thematic Mapper Derived Vegetation Indices for Estimating Above-Ground Biomass on Semiarid Rangelands," Remote sensing of environment, vol. 45, pp. 165-175, 1993.

[26] P. Tahmasebi, A. Ebrahimi, and N. A. Yarali, "The Most Appropirate Quadrate Size and Shape for Determing Some Characteristics of a Semi-steppic Rangeland," Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, vol. 65, p. 203_216, 2012.

[27] M. Shiyomi and J. Yoshimura, "Measures of spatial heterogeneity for species occurrence or disease incidence with finite-counts," Ecological Research, vol. 15, pp. 13-20, 2000.

[28] C. L. Maynard, R. L. Lawrence, G. A. Nielsen, and G. Decker, "Modeling vegetation amount using bandwise regression and ecological site descriptions as an alternative to vegetation indices.," GIsci RemotE Sens, vol. 43, pp. 1-14, 2006.

[29] R. D. Jackson and A. Huete, R., "Interpreting vegetation indices," Preventive Veterinary Medicine,, vol. 11, pp. 185-200, 1991.

[30] J. G. Lyon, D. Yuan, R. S. Lunetta, and C. D. Elvidge, "A Change Detection Experiment Using Vegetation Indices," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 64, pp. 143-150, 1998.

[31] G. S. Birth and G. Mc Vey, "Measuring the color of growing turf with a reflectance spectroradiometer," Agronomy Journal, vol. 60, pp. 640-643, 1968.

[32] A. J. Richardson and C. L. Wiegand, "Distinguishing Vegetation From Soil Background Information,," Photogramnetric Engineering and Remote Sensing, vol. 43, pp. 1541-1552, 1997.

[33] C. R. Perry and L. F. Lautenschlager, "Functional Equvalence of Spectral Vegetation Indices.," Remote Sensing of Environment, vol. 14, pp. 169-182, 1984.

[34] A. Bannari, A. R. Huete, D. Morin, and F. Zagolski, "Effets de la Couleur et de la Brillance du Sol Sur les Indices de Végétation ,"International Journal of Remote Sensing, vol. 17, pp. 1885-1906., 1996.

[35] J. A. Qi, A. Chehbouni, A. R. Huete, and A. Sorooshian, "A Modified Soil Adjusted Vegetation Index," Remote sensing of environment, vol. 43, pp. 1541-1552, 1994.

[36] Y. J. Kaufman and D. Tanre, "Strategy for Direct and Inderect Methods for Correcting the aerosol effect on remote

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

sensing: From AVHRR " Remote sensing of environment, vol. 55, pp. 65-79, 1996.

[37] A. Huete, R., C. Justice, and W. van Leeuwen, MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document, NASA Goddard Space Flight Center, 1999.

[38] H. Liu, Q. and A. Huete, "A Feedback Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise," IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 33, pp. 457-465, 1995.

[39] V. Agon and S. M. Bhamare, "Change detection of vegetation cover Using Remote Sensing and GIS," Journal of research and development, vol. 2, pp. 1-12, 2012.

[40] J. Yang, P. J. Weisberg, and N. A. Bristow",Landsat remote sensing approaches for monitoring long-term tree cover dynamics in semi-arid woodlands: Comparison of vegetation indices and spectral mixture analysis," Remote Sensing of Environment, vol. 119, pp. 62–71, 2012.

[41] D. Hyung Kim, J. O. Sexton, P. Noojipady, C. Huang, A. Anand, and S. Channan, "Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000," Remote Sensing of Environment, vol. 155, pp. 178–193, 2014.

[42] H. Arzani, "Using digital Landsat TM image data for estimate production and vegetation cover,," Iranian Jour. Natural Resources, vol. 50, pp. 11-21, 1998.

[43] G. Zehtabian, H. Azarnivand, H. Ahmadi, and S. Kalantari, "Presentation of Suitable Model to Estimate Vegetation Fraction Using Satellite Images in Arid Region (Case Study: Sadough-Yazd, Iran)," Journal of Rangeland Science, vol. 3, pp. 108-117, 2013.

[44] T. Miura, A. Huete, R., H. Yoshioka, and B. Holben, N., "An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction," Remote Sensing of Environment, vol. 78, pp. 284– 298, 2001.

[45] Y. Ke, J. Im, J. Lee, H. Gong, and Y. Ryu, "Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations," Remote Sensing of Environment, vol. 164, pp. 298–313, 2015.

[46] F. Pordel, A. Ebrahimi, and z. Azizi, "Evaluation of spatio-temporal change of above-ground phytomass using calculation and extrapolation of Landsat-8 vegetation indices (Case study: Mrajan rangeland, Boroujen)," journal of rangeland, vol. 11, pp. 166-178, 2017

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.2, Summer 2019

Research Paper

The effect of atmospheric correction methods on the relationship between vegetation indices and canopy cover (Case study: Marjan rangelands of Borujen)

Fatemeh Pordel[1], Ataollah Ebrahimi[2]*, Zahra Azizi[3]

1- Ms.c in Rangeland Management, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2- Associate Professor in Rangeland Management, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3- Asistant Professor, Department of GIS and Remote sensing, Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University,

Abstract

Atmospheric correction of satellite images is important when vegetation indices are used to monitor changes. In this study, four methods of atmospheric correction were evaluated and validated using vegetation indices for monitoring vegetation. For this purpose, vegetation cover was measured at 19 points at intervals of 400-1000 m along a 10 km transect with 5 quadrats per point (95 quadrats in each period and 380 quadrats in total). Then, the synchronous images to the sampling dates in four correction methods including 1) QUick Atmospheric Correction (QUAC) 2) Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) 3) Image Normalization of Iteratively Reweighted Multivariate Alteration Detection (IR-MAD) and 4) converting of digital numbers to Top-Of-Atmospher (TOA) reflectance techniques were applied. After that, Normalized Diffrences Vegetation Indx (NDVI) and Atmospheric Resistant Vegetation Indx (ARVI) were calculated. Next, the validation of linear regression models for the relationship between vegetation cover and vegetation indices with the two aforementioned vegetation indices was carried out based on 33 percent of testing data. Correlation coefficient (R) and R-squared (R2), Root Mean Square Error (RMSE), Absolute Mean Error (AME) and Bias were calculated as validity measures for each method. After achieving the best correction method, 10 other vegetation indices were calculated in addition to the two mentioned indices. Finally, after finding the best canopy estimation model, a vegetation canopy map was depicted for four time periods. Validation results showed that the FLAASH method is a superlative method in comparison to the other methods of QUAC, IR-MAD and TOAin terms of RMSE and R. The R value was 0.61, 0.37, 0.2 and 0.57 for ARVI and 0.54, 0.39, 0.21 and 0.56 for NDVI, respectively. In addition, RMSE values were 0.77, 0.97, 1.13 and 0.8 for ARVI and 0.83, 0.96, 1.12 and 0.81 for NDVI, respectively. The vegetation canopy maps show the spatial heterogeneity of canopy cover in Marjan rangeland and its capability of estimating and monitoring the canopy cover of rangeland vegetation at different seasons using the developed model.
canopy cover in Marjan rangeland and its capability of estimating and monitoring the canopy cover of rangeland vegetation at different seasons using the developed model.

Key words: *Vegetation indices; Atmospheric correction; Radiometric Normalization; Image calibration;*

Correspondence Address*: Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Rahbar Boulvard, Shahrekord, Iran.*
Tel:*. 09132808343*
Email: *Ataollah.Ebrahimi@sku.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.133]