دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

برآورد ذخیره کربن روی زمینی در جنگل‌کاری شهری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: پارک جنگلی چیتگر تهران)

حسین میررجبی[۱]، جعفر اولادی[۲] و اسد ا... متاجی[۳]

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، (نویسنده مسوول: hoseinmir@hotmail.com)
۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران
۳- استاد، گروه جنگلشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۴ تاریخ پذیرش:۹۶/۹/۴

چکیده

هدف از تحقیق حاضر برآورد ذخیره کربن جنگل‌کاری شهری به روش غیر مستقیم با استفاده از ماهواره GeoEye-1 بوده که برای این منظور توده‌های کاج، اقاقیا و ون موجود در پارک جنگلی دست کاشت چیتگر تهران مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۱۰۲ قطعه نمونه به‌مساحت پنج آر با استفاده از روش تصادفی منظم برداشت گردید. پس از برداشت اطلاعات زمینی ارتفاع ، قطر برابر سینه و محاسبه چگالی درختان، زی‌توده محاسبه و سپس با اعمال ضریب ۰/۴۷، ذخیره کربن بدست آمد. پنج شاخص پوشش گیاهی تولید و میانگین ارزش بازتابی قطعات نمونه بر روی تصویر ماهواره‌ای استخراج گردید. از میانگین ارزش بازتابی نقاط متناظر قطعات نمونه زمینی، در تمامی شاخص‌ها استفاده شد و با استفاده از ذخیره کربن اندازه‌گیری شده زمینی و اطلاعات استخراج شده از روش‌های سنجش از دوری، محاسبات همبستگی در محل نمونه‌ها انجام شد. از روش رگرسیون خطی برای تجزیه و ارزیابی رابطه بین ذخیره کربن روی زمینی از داده‌های زمینی و اطلاعات رقومی تصویر ماهواره‌ای ذکر شده، استفاده و رابطه‌های برآورد زی‌توده ارائه شد.سپس با استفاده آزمون t جفتی مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی نشان داد که در تصویر GeoEye-1 شاخص NDVI و ارزش بازتابی باند مادون قرمز نزدیک (NIR) به ترتیب با ۰/۶۵۹ و ۰/۳۹۶ بیشترین ضریب همبستگی را با میزان ذخیره کربن حاصل از آماربرداری زمینی دارد و می‌توان با استفاده از مدل رگرسیون خطی، ذخیره کربن را برآورد نمود.

واژه‌های کلیدی : ذخیره کربن، زی‌توده، شاخص‌های گیاهی، ماهواره GeoEye-1

مقدمه

برای استنباط هر چه بهتر از مقدار ذخایر کربن در مقیاس جهانی و ارزیابی تغییرات اقلیمی، برآورد دقیق ذخایر کربن در جنگل اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد (۲۶). بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته سهم ذخیره کربن زی‌توده گیاهان و خاک در بوم‌سازگان‌های جنگل به ترتیب ۴۶ و ۵۴ درصد می‌باشد (۱۰). از طرفی بین حاصلخیزی خاک و شاخص سطح برگ با نرخ رویش، میزان زی‌توده و ذخایر کربن درختان در بوم سازگان‌های جنگل ارتباط معنی‌داری دیده می شود (۵). برآورد ذخایر کربن در کلیه اجزای تشکیل دهنده بوم سازگان‌های پیچیده جنگل بسیار سخت و در برخی موارد ناممکن است. یکی از مهم‌ترین راه‌ها برای برآورد ذخیره کربن در جنگل، استفاده از آماربرداری زمینی و عملیاتی میدانی است. در این رابطه آماربرداری زمینی و استفاده از روش‌های معمول میدانی برای تهیه نقشه‌های مربوط به پوشش جنگل به‌منظور تهیه نقشه های ذخیره کربن با استفاده از آمار برداری زمینی، پرهزینه و زمان‌بر است و انجام دوره‌ای آن، بسیار کند بوده (۱۹) و احتیاج به نیروی کار زیادی دارند (۳۴). منابع سنجش از دوری نظیر تصاویر رقومی هوایی و ماهواره‌ای برای به‌هنگام سازی اطلاعات توصیفی جنگل نظیر تعیین زی‌توده، روند تغییرات آن، تغییرات رویشگاه و تنوع زیستی با ارزش هستند. برای تهیه اطلاعات به هنگام با تکرار بیشتر که موجب ارتقای فعالیت‌های مدیریت منابع می‌شوند، داده‌های سنجش از دور را می‌توان استفاده کرد و کیفیت پایگاه داده را افزایش داد (۷).

تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یکی از منابع اطلاعات مکانی نسبت به سایر منابع متداول (عکس‌های هوایی و نقشه‌ها)، دارای مزایایی از جمله سطح گسترده، پوشش فراوان، تکراری و چند طیفی بودن، نیاز کمتر به انجام نقشه‌برداری، هزینه کمتر و همچنین به روز بودن اطلاعات می‌باشند که استفاده از آنها را برای کاربر جهت بررسی تغییرات کاربری زمین و کاربردهای زمین‌شناسی، کشاورزی و جنگل‌داری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید (۳). امروزه داده‌های ماهواره‌ای، مجموعه‌ای از اطلاعات با قدرت تفکیک مکانی، زمانی، طیفی و رادیومتریک متفاوتی را ارائه می‌دهند که اطلاعات مفید زیادی جهت مقایسه نتایج اطلاعات زمینی برداشت شده با داده‌های تولید شده از تصاویر ماهواره‌ای را در راستای اهداف تحقیق فراهم خواهد نمود (۲۹). پاره‌ای از ارزیابی‌ها و برآوردها بیانگر دقت بیشتر یافته‌ها در صورت استفاده از داده‌های میدانی توام با داده‌های سنجش از دوری است (۱۶). صادقی (۳۱) در تحقیقی به منظور نمونه‌برداری از جنگل و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف بیوفیزیکی درختان با استفاده از روش غیرمخرب، مقدار زی‌توده در سطح پلات‌های نه آری را محاسبه و سپس با بهره‌گیری از تصاویر نوری و راداری ماهواره ALOS، بین اطلاعات سنجش از دور و مقدار زیست‌توده جنگل، از طریق معادلات رگرسیون چندگانه بهترین مدل ارائه گردید. علی آبادی و انتظاری (۲) تخمین پارامتر فیزیکی (زی‌توده) پوشش گیاهی را با استفاده از داده‌های سنجش از دور در منطقه آمل انجام دادند. در این تحقیق از شاخص NDVI استخراج شده از سنجنده ALSO AVNIR-2 به‌منظور پیش‌بینی میزان زی‌توده منطقه استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که با استفاده از تصاویر ماهواره ALOS امکان تخمین زی‌توده با دقت مناسب وجود دارد. مدل‌هایی که برای برآورد مقادیر زی‌توده ارائه شده‌اند عموماً بر محاسبه‌ی شاخص‌های گیاهی (NDVI, RVI, …) استوارند که با استفاده از این شاخص‌ها و با فرض یک نوع

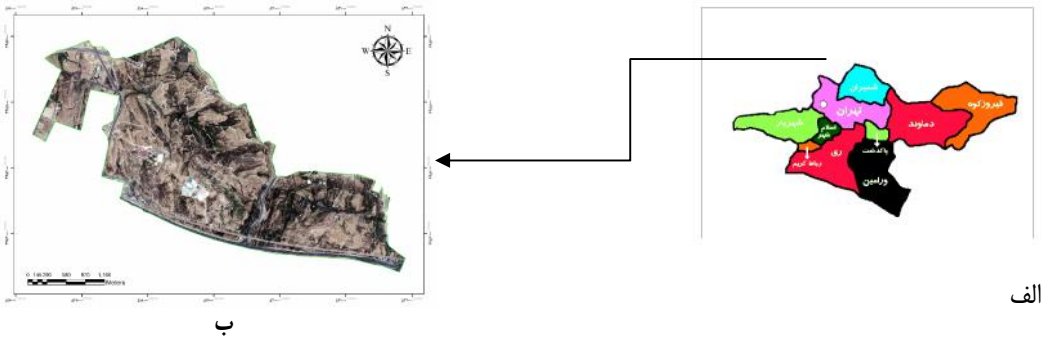
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1395.4.7.5.4]

AVNIR-2 به‌منظور پیش‌بینی میزان زی‌توده منطقه استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که با استفاده از تصاویر ماهواره ALOS امکان تخمین زی‌توده با دقت مناسب وجود دارد. مدل‌هایی که برای برآورد مقادیر زی‌توده ارائه شده‌اند عموماً بر محاسبه‌ی شاخص‌های گیاهی (NDVI, RVI, ...) استوارند که با استفاده از این شاخص‌ها و با فرض یک نوع تابع (خطی، لگاریتمی، نمایی و ...) پارامترهای تابع محاسبه و میزان زی‌توده برآورد می‌شود. بسیاری از مطالعات در زمینه تخمین میزان زی‌توده بر مبنای همبستگی بین شاخص تفاضلی نرمالیزه شده گیاهی (NDVI) و میزان زی‌توده بنا نهاده شده‌اند. پژوهش دیگری در مراتع مرکزی مونتانا با هدف مقایسه توانایی مدل رگرسیون (NDVI) در برآورد زی‌توده با استفاده از تصاویر ماهواره ای و ارائه روشی سریع، دقیق و غیرمخرب با استفاده از عملکرد زی توده و پاسخ طیفی گیاهان در مراحل مختلف فنولوژیکی در دو فصل رشد انجام شد. نتایج این مطالعه نشان‌داد که تخمین زی‌توده در نواحی طیفی قرمز، لبه قرمز و باند مادون قرمز نزدیک در مرحله رشد گیاهان امکان‌پذیرتر است (۲۸). حسینی و همکاران در اراضی جنگل‌کاری شده مبارکه اصفهان با استفاده از داده‌های ماهواره ای Quick bird و شاخص‌های گیاهی NDVI و DVI با استفاده از مدل رگرسیون خطی مقدار زی‌توده گونه‌های اقاقیا، سرو نقره‌ای، کاج تهران و توت سفید را برآورد نمود (۱۷). آریکاک و همکاران (۶)، در جنگل‌های کاج جنگلی استان کارس ترکیه به مساحت ۹۹۱۷ هکتار با ایجاد رابطه رگرسیونی بین ارزش طیفی پیکسل‌های تصویر ماهواره ای رپیدآی و زی‌توده هوایی حاصل از برداشت زمینی متوسط ذخیره کربن را با ضریب تبیین R^2=۰/۷۱، ۲۸.۸ تن در هکتار برآورد نمود. از آنجا که تاکنون در داخل کشور پژوهش‌های کمی درمورد برآورد زی‌توده جنگل و جنگل‌کاری ها با استفاده از تصاویر GeoEye و تکنیک‌های سنجش از دور انجام شده است و همچنین با توجه به اهمیت درختان در جنگل‌کاری‌های شهری به‌دلیل جذب آلاینده های مختلف، پژوهش پیش رو با هدف مقایسه روش‌های مختلف سنجش از دوری در برآورد زی توده گونه‌های پهن برگ و سوزنی برگ کاشته شده در پارک جنگلی چیتگر با استفاده از تصاویر GeoEye انجام شد. همچنین بکارگیری روش‌هایی سریع، دقیق و فاقد اثرات تخریبی در مورد قطع درختان در این پژوهش مدنظر بوده است. اهداف فرعی تحقیق نیز شامل ارزیابی توان داده‌های سنجنده GeoEye در برآورد میزان زی‌توده جنگل و بررسی رابطه بین شاخص‌های گیاهی، با میزان زی‌توده درختان منطقه موردمطالعه بود.

مواد و روش‌ها

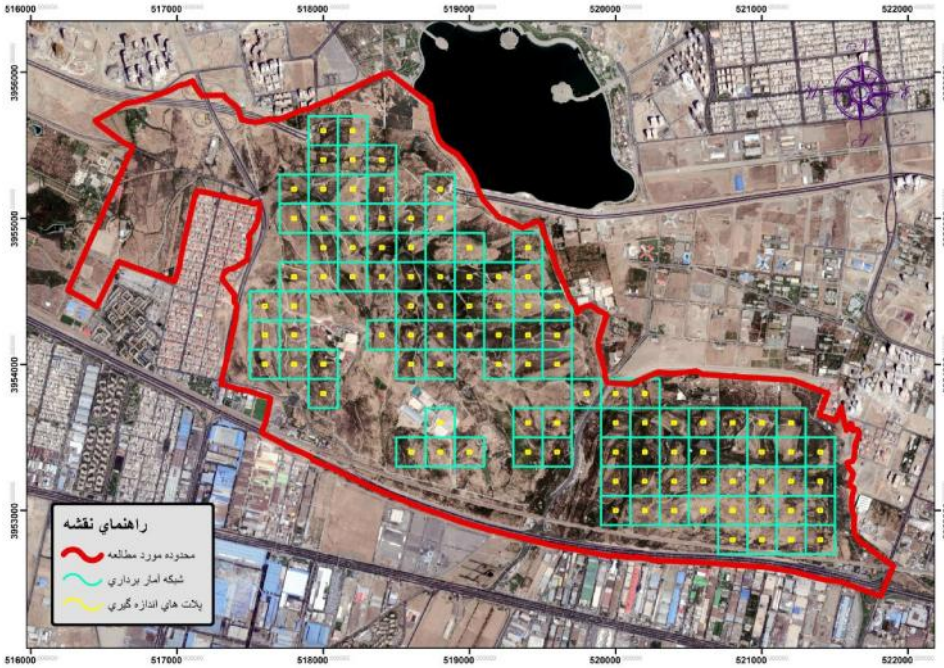
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه پارک جنگلی چیتگر تهران به وسعت حدود ۹۰۰ هکتار در غرب شهر تهران (در مسیر اتوبان تهران ـ کرج، کیلومتر ۱۶) واقع شده و بین " ۰۱ ´ ۱۱ ° ۵۱ تا "۳۰ ´ ۱۴ °۵۱ طول جغرافیایی شرقی و "۲۰ ´ ۴۳ °۳۵ تا "۴۸ ´ ۴۴ °۳۵ عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد. تاریخ احداث این پارک سال ۱۳۴۷ می‌باشد. میزان متوسط بارندگی آن ۲۳۲ میلی‌متر و شیب کلی منطقه جنوب غربی بوده و متوسط ارتفاع منطقه از سطح در یا ۱۲۶۹ متر می‌باشد. دمای هوا از کمینه منهای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه تا بیشینه ۴۱ درجه سانتی‌گراد در تیرماه متغیر می‌باشد. ۴۵ درصد از کل مساحت پارک را درختان کاج تهران و ۲۳ درصد آن را درختان اقاقیا و ۱۰درصد آن را درختان زبان گنجشک تشکیل می‌دهند (شکل ۱) (۴).



شکل ۱– منطقه مورد مطالعه– استان تهران– پارک چیتگر(الف– نقشه استان تهران ب– محدوده پارک)
Figure 1. Study area - Tehran province - Chitgar park (A) - Parks area on the map of Tehran province B - Parks area)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1395.4.7.5.4]



شکل۲- تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه – پارک چیتگر که شبکه آماربرداری بر روی آن قرار داده شده
Figure 2. Satellite Image of the studied area - Chitgar Park, which is located on the census network

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های ماهواره GeoEye-1 به‌دلیل قدرت تفکیک مکانی و طیفی مناسب (۰/۵ متر و چهار باند) و همزمانی عملیات آمار برداری با تصویر، از تصویر مربوط به تاریخ دوم تیرماه سال ۱۳۹۴ استفاده گردید. نقشه‌های توپوگرافی مورد استفاده در این تحقیق بمنظور بررسی دقت هندسی تصاویر با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشد. سیستم تصویر بکار رفته در این نقشه‌ها UTM و مبنای بیضوی WGS 84 می‌باشد. در این تحقیق از چهار برگ نقشه به شماره ۶۲۶۱۲NW ،۶۲۶۱۱SW ،۶۲۶۱۳NW و ۶۳۶۱۴SE به صورت رقومی استفاده شد. از داده‌های جاده موجود در نقشه‌ها به‌منظور ارزیابی صحت تطابق هندسی از طریق روی هم‌گذاری آنها روی تصاویر تطابق یافته استفاده گردید.

روش تحقیق

ابتدا پیمایش زمینی در عرصه پارک به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات کلی اولیه از منطقه مورد مطالعه و نیز آگاهی از شرایط کلی بوم نظام از جمله تیپ گیاهی، موجودی، عناصر گیاهی انجام و سپس با در نظر گرفتن شرایط منطقه و نتایج بررسی اولیه نمونه‌برداری به‌صورت سیستماتیک و با استفاده از شبکه آماربرداری به ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ متر انجام پذیرفت. مساحت قطعه نمونه با توجه به اندازه تفکیک مکانی و صحت هندسی داده‌های ماهواره‌ای و همچنین شرایط توده‌های جنگل‌کاری (۲۳) پنج آری و به شکل مستطیل (با ابعاد ۲۰ در ۲۵ متر) تعیین شد. شایان ذکر است که نمونه‌برداری در تیپ‌هایی در گونه‌های هدف (کاج، اقاقیا و ون) انجام شد. درمجموع تعداد ۱۰۲ قطعه نمونه برداشت گردید (شکل ۲). مختصات مکانی مرکز هر قطعه نمونه با استفاده از DGPS[1] با دقت حداکثر دو سانتی‌متر برداشت شد، سپس در هر قطعه نمونه پارامترهای مختلف هر پایه درختی شامل قطر برابر سینه و ارتفاع اندازه‌گیری شدند. با توجه به محدودیت قطع درختان به منظور برآورد مقدار چگالی، از شاخه گونه‌های مورد بررسی (از هر گونه سه نمونه) در بخش‌های مختلف منطقه، نمونه با ابعاد ۲/۵×۲/۵×۲/۵ سانتی مترمکعب تهیه و در محیط آزمایشگاه به‌مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (۳۵،۱۵،۳۰). سپس چگالی خشک چوب (گرم بر سانتی مترمکعب) بر اساس نسبت وزن خشک به حجم محاسبه شد. با توجه به اینکه چگالی محاسبه شده مربوط به شاخه بوده، متوسط چگالی در منابع مختلف و محاسبه شده در این تحقیق ملاک عمل قرار گرفت. با استفاده از داده‌های به دست آمده، زی‌توده و ذخیره کربن با استفاده از رابطه زیر با توجه به شرایط منطقه (۳۳) محاسبه شد.

رابطه ۱ $AGTB=0.112*(\rho.D^2.H)^{0.916}$

در این رابطه AGTB زی‌توده رو زمینی (کیلوگرم)، ρ دانسیته ویژه چوب برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب برای هر اصله درخت، D قطر برابر سینه درخت برحسب سانتی‌متر و H ارتفاع درخت برحسب متر می‌باشد. در تحقیقات مختلف ۵۰ درصد از وزن زی‌توده خشک به‌عنوان میزان ذخیره کربن مورد استناد قرار می‌گیرد، در تحقیق حاضر نیز با ضرب وزن زی‌توده خشک در ۰/۴۷ میزان ذخیره کربن (۱۸) به دست آمد.

1- Differential Global positioning system

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1395.4.7.5.4]

در تصویر ماهواره‌ای GeoEye با مشاهده تک باندها و ترکیبات رنگی مختلف پس از بهبود کنتراست و یا بزرگنمایی متعدد صفحه رایانه خطاهای ناشی ازتصویر نابرابر آشکارسازها مانند راه راه شدگی مورد بررسی قرار گرفت و خطایی مشاهده نگردید. تصحیح رادیومتریک و اتمسفریک با استفاده از ماژول Flash در نرم‌افزار ENVI انجام و بازتاب سطحی پدیده‌ها به دست آمد. سپس به‌منظور تطابق هندسی تصویر، به روش GCP_S و با انتخاب ۱۵ نقطه کنترل زمینی با توزیع مناسب و با RMSE برابر ۰/۰۲ پیکسل در محور X و ۰/۰۳ پیکسل در محور Y در نرم‌افزارENVI تصویر مورد نظر زمین مرجع شد. نهایتا با استفاده از نقشه وکتوری ۱/۲۵۰۰۰ جاده‌ها و انطباق با تصویر از تطابق هندسی تصویر اطمینان حاصل شد.

نسبت‌گیری‌های مختلف جهت ایجاد شاخص‌های معروف گیاهی انجام شد. نسبت‌گیری عبارتند از بارزسازی ناشی از تقسیم مقادیر DN در یک باند طیفی بر مقادیر DN مربوطه در باند دیگر می‌باشد (۲۲). تاکنون انواع مختلف شاخص‌های گیاهی ارائه شدند که هرکدام نقاط ضعف و قوت خاص خود را دارا هستند (۱۳). جدول ۱ شاخص‌هایی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند را نشان می‌دهد.

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی حاصل از نسبت‌گیری های طیفی مورد استفاده در این تحقیق

Table 1. Vegetation indices derived from spectral ratios used in this research

شاخص	فرمول	منبع
DVI[2]	NIR-Red	Tucker,1979
NDVI[3]	$(NIR-Red)/(NIR+Red)$	Rouse et al ,1974
RATIO[4]	NIR/RD	Rouse et al, 1974
RDVI[5]	$(NIR-Red)/(\sqrt{NIR+Red})$	Rougean et al, 1995
SMR[6]	$\sqrt{2NDVI}/\sqrt{(1-NDVI)}$	Chen et al, 1995

پنج شاخص گیاهی به همراه ارزش رقومی باند NIR در بین شاخص‌های گیاهی موجود در نرم‌افزار ENVI مورد بررسی قرار گرفت.ابتدا بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد. داده ها از توزیع نرمال (p بزرگتر از ۰/۰۵) برخوردار بودند. سپس، به دلیل تنک بودن توده‌های آماربرداری، میانگین ارزش‌های بازتابی (طیفی) پیکسل‌های شاخص‌های تولیدی تصویر ماهواره‌ای متناظر با قطعات نمونه زمینی توسط نرم‌افزار ENVI استخراج شد. میانگین ارزش رقومی پیکسل‌های داخل در سطح قطعات نمونه به‌عنوان متغیر مستقل منظور شد. سپس رابطه رگرسیونی میانگین ارزش‌های طیفی پیکسل‌های قطعات نمونه در داده‌های ماهواره‌ای با ذخیره کربن روی زمینی حاصل از برداشت میدانی به‌عنوان متغیر وابسته با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت.

به‌منظور ارزیابی و برازش توابع و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری ۳۰ درصد از داده‌ها به صورت تصادفی انتخاب و به عنوان مجموعه داده‌های شاهد بمنظور اعتبار سنجی مدل کنار گذاشته شدند یا به عبارتی از روش اعتبار سنجی با نمونه آزمون استفاده شد. بدین ترتیب با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون مشخصه‌های مورد نظر تخمین زده شد. سپس با در اختیار داشتن مقادیر تخمینی ($\hat{Y}_i$) و مقادیر حقیقی (y_i) با استفاده از آزمون t جفتی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج پنج شاخص به‌همراه ارزش رقومی در ۷۰ قطعه نمونه زمینی در نرم افزار spss مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از برآورد زی‌توده و ذخیره کربن بر حسب کیلوگرم در هکتار برای گونه‌های مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

باند مادون قرمز نزدیک (NIR)

مدل رگرسیون خطی باند مادون قرمز نزدیک با ذخیره کربن به دست آمده و ضریب همبستگی چندگانه، ضریب تعیین، ضریب تعیین تعدیل شده، به ترتیب برابر ۰/۳۹۶، ۰/۱۵۷ و ۰/۱۴۴ محاسبه و نتیجه به شرح جدول ۲ ارائه شده است.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1395.4.7.5.4]

جدول ۲- ضرایب رگرسیون مربوط به ارزش رقومی باند مادون قرمز نزدیک

Table 2. regression model coefficients related to digital near-infrared band value

		ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استاندارد شده	درجه آزادی	سطح معنی داری
		مقدار ضریب	اشتباه معیار	بتا		
خطی Y=a+bx	عدد ثابت	۲۲۰۷/۵۵۸	۴۳۸/۴۱۶		۵/۰۳۵	۰/۰۰*
	Nir**	-۲/۶۹۱	۰/۷۵۸	-۰/۳۹۶	-۳/۵۵۳	۰/۰۰۱*
سهمی یا درجه دو y=a+b1x+b2x2	عددثابت	۲۸۱۲/۷۳۰	۱۶۴۷/۷۷۴		۱/۷۰۷	۰/۰۹۲
	Nir	-۴/۸۷۸	۵/۷۸۷	-۰/۷۱۷	۰/۸۴۳	۰/۴۰۲
	Nir^{2}	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۳۲۴	۰/۳۸۱	۰/۷۰۴
درجه سه $y=a+b_{1x}+b_2x^2+b_3x^3$	عدد ثابت	-۴۵۵۹/۵۷۱	۶۰۶۷/۱۴۱		-۰/۷۵۲	۰/۴۵۵
	Nir	۳۵/۴۲۲	۳۲/۴۴۶	-۵/۲۰۷	۱/۰۹۲	۰/۲۷۹
	Nir^{2}	-۰/۰۶۹	۰/۰۵۶	-۱۱/۷۴۵	-۱/۲۲۳	۰/۲۲۶
	Nir^{3}	۳/۹۷۴	۰/۰۰	۶/۲۴۸	۱/۲۶۲	۰/۲۱۱

*نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۹۵ درصد **متغیر مستقل (ارزش بازتابی تصویر مادون قرمز نزدیک)

شاخص NDVI

در مدل رگرسیون خطی ضریب همبستگی چندگانه، ضریب تعیین، ضریب تعیین تعدیل شده، خطای معیار به ترتیب برابر ۰/۶۵۹، ۰/۴۳۵، ۰/۴۲۶ و ۵۹۶/۷۳ میباشد و نتیجه به شرح جدول ۳ ارائه شده است.

ارزیابی مدل

پس از اینکه با استفاده از نرم‌افزار SPSS روابط رگرسیونی محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت و مدل های مربوطه به شرح ذیل به دست آمد.

Y=-2/691NIR+2207/588

Y=3825/783 NDVI -479/083

نتایج حاصل با آزمون t جفتی مورد ارزیابی و به شرح جداول ۴ و ۵ ارائه داده شده است.

جدول ۳- ضرایب مدل رگرسیون مربوط به شاخص NDVI

Table 3. Regression model coefficients for the NDVI index

		ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استاندارد شده	درجه آزادی	سطح معنی داری
		مقدار ضریب	اشتباه معیار	بتا		
خطی Y=a+bx	عدد ثابت	-۴۷۹/۰۸۳	۱۷۵/۶۰۰		-۲/۷۲۸	۰/۰۰*
	NDVI**	۳۸۲۵/۷۸۳	۵۲۹/۱۱۶	۰/۶۵۹	۷/۲۳۱	۰/۰۵*
سهمی یا درجه دو $y=a+b_1x+b_2x^2$	عددثابت	-۸۴/۹۷۸	۳۴۰/۷۰۳		-۰/۲۴۹	۰/۸۰۴
	NDVI	۱۳۶۹/۴۴۰	۱۸۹۷/۹۶۱	۰/۲۳۶	۰/۷۲۲	۰/۴۷۳
	$NDVI^{2}$	۳۱۸۵/۲۰۱	۲۳۶۴/۷۳۹	۰/۴۴۱	۱/۳۴۷	۰/۱۸۳
درجه سه $y=a+b_1x+b_2x^2+b_3x^3$	عدد ثابت	۵۵۶/۹۳۴	۶۷۵/۶۱۰		۰/۸۲۴	۰/۴۱۳
	NDVI	-۴۶۹۷/۸۶۱	۵۸۳۳/۶۵۵	-۰/۸۱۰	-۰/۸۰۵	۰/۴۲۴
	$NDVI^{2}$	۱۹۳۶۵/۴۷۶	۱۴۹۰۱/۷۴۲	۲/۶۷۸	۱/۳۰۰	۰/۱۹۸
	$NDVI^{3}$	-۱۲۳۱۷/۱۸۹	۱۱۲۰۰/۶۱۷	-۱/۲۷۱	-۱/۱۰۰	۰/۲۷۵

*- نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۹۵ درصد **- متغیر مستقل (ارزش بازتابی تصویر شاخص NDVI)

جدول ۴- همبستگی شاخص NDVI و باند NIR با ذخیره کربن حاصل از برداشت زمینی رگرسیون

Table 4. Correlation between NDVI index and NIR band with carbon storage obtained from field inventory

		تعداد	همبستگی	سطح معنی‌داری
جفت ۱	Carbon&NDVI	۳۲	۰/۲۹۷	۰/۰۹۹
جفت ۲	Carbon&NIR	۳۲	-۰/۲۳۶	۰/۱۹۳

جدول ۵- آزمون نمونه‌های جفتی رگرسیون خطی شاخص NDVI و باند NIR با کربن حاصل از برداشت زمینی

Table 5. Testing of Paired Samples of Linear Regression of the NDVI index and the NIR Band with Carbon obtained from field inventory

		تفاوت‌های جفتی					مقدارt	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
		میانگین	انحراف معیار	میانگین اشتباه معیار	۹۵ درصد اطمینان بین تفاوت‌ها				
					پایین‌تر	بالاتر			
جفت ۱	Carbon&NDVI	-۱۳۸/۰۵۱۲۰۷	۶۵۲/۴۴۶۹۲۷۹	۱۱۵/۳۳۷۴۱۱۸	۹۷/۲۸۳۴۰۷	۹۷/۱۸۰۹۹۷۰۰	-۱/۱۹۷	۳۱	۰/۲۴۰
جفت ۲	Carbon&NIR	-۴۱/۲۹۱۵۲۱۳	۶۰۰/۲۳۳۷۲۲۷	۱۰۶/۱۰۷۳۳۳۹	-۲۵۷/۶۹۸۸۵۶	۱۷۵/۱۱۵۸۱۲۹	۰/۳۸۹	۳۱	۰/۷۰۰

یکی از روش‌های دقیق محاسبه زی‌توده جنگل و جنگل‌کاری‌ها، قطع کامل درختان و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی متعدد است که علاوه بر صرف زمان و هزینه بر بودن، نابودی کامل درختان مورد مطالعه را نیز به همراه دارد (۹). امروزه با پیشرفت تکنولوژی، روش های جدید با صرف زمان و هزینه کمتر جایگزین روش‌های قبلی شده‌اند. یکی از روش‌های پرکاربرد بر پایه فن‌آوری‌های جدید در مطالعات و تحقیقات مربوط به روش های مبتنی بر علم سنجش از دور و

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1395.4.7.5.4]

کاربرد تصاویر ماهواره‌ای است. با تکیه بر روش‌های سنجش از دور و داده‌های با قدرت تفکیک مکانی زیاد مانند ماهواره های IKONOS و QUICKBIRD می‌توان در مدت زمان کوتاه و هزینه بسیار کمتر، به نتایج قابل ملاحظه ای دست یافت (۱۹). برداشت‌های زمینی و محاسبات در پارک جنگلی چیتگر در این تحقیق نشان داد متوسط کربن ذخیره شده در زی‌توده روی زمینی ۱۳/۲۴۸۱۱ تن در هکتار می‌باشد. نتایج به دست آمده از تحقیق پیش رو در رابطه با برآورد ذخیره کربن گونه‌های کاج تهران، اقاقیا و زبان گنجشک با استفاده از شاخص‌های طیفی NIR و NDVI در منطقه مورد مطالعه، همبستگی معنی‌داری را نشان داد. سهرابی و همکاران (۳۲) در نتایج خود در مقایسه توانایی باندهای مختلف برای برآورد موجودی حجمی قطعه نمونه بیان نمودند که از بین باندهای مورد بررسی، اطلاعات بافتی مادون قرمز توانایی بیشتری برای برآورد موجودی حجمی نسبت به سایر باندها دارد. بکارگیری شاخص‌های گیاهی در مدل ها و تأثیرگذاری آنها بر نتایج مدل سبب شده که استفاده از این شاخص ها در مطالعات مشخصه‌های کمی جنگل مورد تاکید قرار گیرد (۱،۱۲،۲۵،۲۷). وجود باندهای قرمز و مادون قرمز در اکثر شاخص‌های به‌کار برده شده بیانگر متأثر شدن این باندها از زیست‌توده است. در ناحیه قرمز طیف الکترومغناطیسی به دلیل جذب نور توسط رنگدانه کلروفیل میزان بازتاب برگ کاهش می‌یابد. ولی در ناحیه مادون قرمز به دلیل ساختار داخلی برگ‌ها میزان بازتاب افزایش پیدا می کند. اکثر شاخص‌های گیاهی از تباین به‌وجود آمده بین این دو باند به منظور بیان مقدار پوشش گیاهی و پارامترهای فیزیکی دیگر گیاه استفاده می کنند.

محمدی (۲۴) نیز در نتایج خود با عنوان برآورد حجم سرپا، تعداد در هکتار و تفکیک سنی، در جنگل‌های لوه با استفاده از داده‌های سنجنده +ETM، نشان داد که DVI به‌عنوان متغیر مستقل در مقایسه با دیگر باندها و ترکیبات به کار رفته شده می‌تواند حجم سرپا را بهتر برآورد نماید. استفاده از شاخص‌های مهم و باند مادون قرمز نزدیک به‌همراه قدرت تفکیک مکانی و طیفی تصاویری که در عملیات تخمین زی‌توده مورد استفاده قرار می‌گیرند، در دقیق تر بودن نتایج مطالعه بسیار اهمیت دارد که این موضوع نیز در این تحقیق مورد بررسی و تایید قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان دادند که شاخص NDVI و NIR از بین سایر شاخص‌های محاسبه شده در تصویر GeoEye دارای بیشترین همبستگی با ذخیره کربن حاصل از برداشت زمینی می‌باشد. آنچه که حائز اهمیت و توجه است وجود باند مادون قرمز نزدیک در تصویر به‌عنوان یکی از شاخص‌هایی که بیشترین همبستگی را با ذخیره کربن داشته که موید توضیحات فوق می‌باشد. یکی از پرکاربردترین شاخص‌های گیاهی که به‌طور فراوان در مطالعات مربوط به پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص NDVI است. لاتیفر و همکاران (۲۱) قابلیت داده‌های ماهواره ALOS را به‌منظور برآورد زی‌توده یک منطقه جنگلی در چین، مورد بررسی قرار داد و گستره وسیعی از شاخص‌های طیفی نتایج نشان داد که از بین باندهای سنجنده، باند مادون قرمز نزدیک و از بین شاخص‌های طیفی، شاخص RVI بیشترین همبستگی را با زی‌توده نشان می‌دهند.

نتایج تجزیه داده‌های استخراج شده نشان داد که از بین شاخص‌های طیفی، شاخص NDVI برای برآورد ذخیره کربن کارآیی مناسبتری دارد. در همین مورد نتایج مطالعه حسینی و همکاران در اراضی جنگل‌کاری شده مبارکه اصفهان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای Quickbird و شاخص‌های گیاهی NDVI و DVI مؤید این مطلب میباشد. (۱۷). با استفاده از مدل رگرسیون خطی و داده‌های تست، نتایج با آزمون t جفتی مورد ارزیابی قرار گرفت و همانطور که اعداد t و سطح معنی‌داری نشان می‌دهد میانگین به‌دست آمده ذخیره کربن حاصل از برداشت زمینی با ذخیره کربن حاصل از مدل‌ها اختلاف معنی‌داری نداشته و مدل‌ها مورد تایید قرار گرفت. آریکاک و همکاران (۶)، نیز در جنگل‌های کاج جنگلی استان کارس ترکیه با ایجاد رابطه رگرسیونی بین ارزش طیفی پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای رپیدآی و زی‌توده هوایی حاصل از برداشت زمینی، متوسط ذخیره کربن را با ضریب همبستگی R^2=۰/۷۱، ۲۸/۸ تن در هکتار برآورد و از طریق آزمون t جفتی نیز مدل بدست آمده را مورد تایید قرار داد. لذا از آنجایی‌که در پارک‌های جنگلی دست‌کاشت شهری، قطع درختان به‌منظور کارهای آماری نظیر محاسبه بایومس و ذخیره کربن، یک محدودیت می‌باشد، به‌عنوان یک پیشنهاد کلی میتوان از تصاویر ماهواره‌ای نظیر GeoEye استفاده و با به دست آوردن مدل مناسب، ذخیره کربن را برآورد نمود.

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش پیش رو، پیشنهاد می شود در مطالعات برآورد زی توده به منظور افزایش دقت و افزایش صحت اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای، از تصاویر بروز و با قدرت تفکیک مکانی و طیفی مناسب هم زمان در اوج فصل رویش درختان (اواسط تابستان) در توده‌هایی که از تراکم بالاتری برخوردار هستند، استفاده شود. همچنین برای جلوگیری از قطع درختان می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مناطق جنگل‌کاری شده و تهیه سری تصاویر بروز و ایجاد یک بانک اطلاعاتی دقیق، اطلاعات مربوط به زی‌توده را هر ساله بروز رسانی کرد.

منابع

1. AlaviPanah, S.K. 1993. Application of remote sensing in the earth sciences (Soil Science) Tehran
2. Aliabadi, K.And Entezari, A., 2014. Estimation of physical parameters (biomass) vegetation using remote sensing data. Geographical Studies of Arid Zones Press, 4(15): 23-33 pp (In Persian).
3. Amini, M.R., N. Shataei, Kh. Ghazanfari and M.H. Mo'ayyeri. 2008. Assessment of changes in the scope of Zagros forests using aerial photographs and satellite images in Armardeh. Baneh. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15 (2): 12 (In Persian).
4. Anonymous. 2011. Breeding Management Plan of Park of Chitgar in Tehran, Page 69 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1395.4.7.5.4]

5. Arias, D. 2007. Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. Forest Ecology and Management, 247: 185-193.
6. Arickak, B., A, Bultat, A, Altunel and O, Sakici. 2015. Estimating Aboveground Carbon biomass Using sattelite image Reflection values: A case Study In camiazi forest directorate, Turkey. izvorni znanstveni članci-original scientific paper sšumarski list, 7-8: 369-376.
7. Aronoff, S. 2005 . Remote Sensing for GIS Managers. ESRI Press, Redlands, CA.
8. Backeus, S., P. Wikstrom and T. Lamas, 2005. A model for regional analysis of carbon sequestration and timber production, Forest Ecology and Management, 216: 28-40.
9. Bakhtiarvand Bakhtiari, S. and H, Sohrabi, 2012. Allometric equations for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 20(3): 481-492 (In Persian).
10. Bijan nejad, M. R., 1990. Evaluation of green space in tehran, the Publications Unit of jihad daneshgahi Office (SID), 122 p (In Persian).
11. Chave, J, C, Andelo. S, Brown. MA. Carins, JQ, Chambers. and D. Eamus, 2005. Tree allometry and improved estimatation of carbon Stocks. Oecologia, 87-99.
12. Darvishsefat, E, A.M. Pouyafar and F. Sardari, 2013. Exploring the possibility of using satellite images to determine the density of Haloxylon. Haloxylon and haloxylon plantation's first conference 52-46 (In Persian).
13. Fatemi, S.B. and I. Rezaei. 2006. Principles of remote sensing Tusi University Press, 241 p (In Persian).
14. Forests of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 21(4): 716-728 (In Persian).
15. Henry, M., A. Besnard, W.A. Asante, J. Eshun, S. Adu-Bredu, R. Valentini, M, Bernoux and L. Saint- André, 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. Forest Ecology and Management 260: 1375-1388.
16. Holmgren, J., S. Joyce, M. Nilsson and H. Olsson, 2000. Estimating stem volume and basal area in forest compartments by combining satellite image data with field data, Scandinavian Journal of forest Research, 15(1): 103-111.
17. Hoseini, S.Z. M. Abbasi, S. Bakhtiarvand, and M, Salehi. 2015. Proper models to estimate aboveground biomass using Quickbird satellite imagery in plantation areas of Isfahan's Mobarakeh Steel Company. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 23: 143-153
18. IPCC. 2006. Good practice guidelines for national Greenhouse gas inventorie. Switzerland: intergovernmental panel on climate change.
19. Karami, J., Sh. Shataee Joibary and S.M., Hosseini. 2010. Capability assessment of IKONOS mages for urban vegetation mapping. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 17(2): 89-105 (In Persian).
20. khorami, R., 2004. Evaluation of the Landsat ETM + satellite data to estimate the Beech stand in Forest Sangdeh Forestry. Master's thesis, Tehran University, 80 p.
21. Latifur, R.S. & Janet, E.N. 2011. Improved Forest estimates using ALOS-AVNIR-2 Texture indices. Remote Sensing of Environment. 115: 968-977.
22. Lillesand, T.M. Kiefer, R.W. and Chipman, J.W., 2004. Remote Sensing and Image Interpretation, fifth ed., J. Wiley & Sons, Inc., New York.
23. MacDicken, kG. 1997. A Guide to Monitoring carbon storage in forestry and Agro-forestry projects. Arlington, USA: Winrock international.
24. Mohammadi, J., 2007. Evaluation of the quantitative estimation of some models to provide spatial model using satellite data Landsat ETM +. Master's thesis Forestry, University of Gorgan, 78 p (In Persian).
25. Naseri, F., 2008. Classification of forest types and quantitative evaluation of them using satellite data on forests in arid and semi-arid Tehran. Forestry doctoral thesis Tehran University, 202 p. (In Persian)
26. Osama, K. Yu Qiu, G. Watanuki, K. Yoshimi, K. and Akiyama, Y. 2003. Accurate estimation of forest carbon stocks by 3-d remote sensing of individual trees. Environmental science and technology. 37: 1 198-1201.
27. Pirbavaqar, d., 2011. Evaluation of estimation of some quantitative characteristics of Zagros forests using satellite images of IRS-P6 in Forests of Baneh. Iran forestry third year forum, 4: 289- 227.
28. Porter, T.F., C., Chen. J.A., Long, R.L. Lawrence and B.F., Sowell. 2014. Estimating biomass on CRP pastureland: A comparison of remote sensing techniques. Biomass and Bioenergy, 66: 268-274.
29. Raciti, S., M. L., R. Hutyra and J., D. Newell. 2014. Mapping carbon storage in urban trees with multi-source remote sensing data: Relationships between biomass, land use, and demographics in Boston neighborhoods. Science of the Total Environment. 500(50): 72–83.
30. Ribeiro, C.S., Fehrmann, L., Pedro Boechat Soares, C.,Antônio Gonçalves Jacovine, L., Kleinn, C., and deOliveira Gaspar, R., 2011. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. Forest Ecology and Management, 262: 491-499.
31. Sadeghi, y. G. Amini. 2012. optical and radar satellite imagery in modeling forest biomass of northern Iran. Iranian Journal of Remote Sensing. 4: 82-69.
32. Sohrabi, E. Hosseini, S.M. And Zubair., 2000. Estimate of forest stand volume using textual indices. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 18(2): 306-296.
33. subedi et al. 2010. Forest Carbon Stock Measurement: Guidelines for measuring carbon stocks in community-managed forests. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD) P.O.Box 3226, Kathmandu, Nepal.
34. Trotter, C. M., J. R. Dymond. and C. J. Goulding. 1997. Estimation of timber volume in a coniferous plantation forest using Landsat TM. International Journal of Remote Sensing, 18: 2209-2223.
35. Vahedi, A., A. Mataji. 2001. Amount of carbon sequestration distribution associated with oak tree's (Quercus castaneifolia C.A. May) bole in relation to physiographical units of Hyrcanian natural.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1395.4.7.5.4]

Estimating above Ground Carbon Storage in Urban Afforestation Using Satellite Data (Case Study: Chitgar Forest Park in Tehran)

Hossein Mirrajabi[1], Jafar Oladi[2] and Asadollah mataji[3]

1- Ph.D candidated, Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(Corresponding Author: hoseinmir@hotmail.com)
2- Associate Professor Forestry group, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Professor in Forestry Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran
Received: June 25, 2017 Accepted: November 25, 2017

Abstract

The goal of this research is to indirectly estimate carbon storage. Carbon sequestrations by the trees in the Pine, ash and false trees-planted areas of Chitgar Forest Park in Tehran, Iran, were estimated by using of GeoEye-1 images. 102 sample areas of 25×20m have been measured using Systematic Random Sampling (SRS) method for the study. The Biomass and carbon sequestration for each sample were estimated by Height, Diameter on the breast and Density of trees based on the collected Land Information System (LIS) data and then, by applying a coefficient of 0.47, carbon storage was achieved. Five vegetation indices were generated and the average reflectance values of sample units were extracted on a satellite image. The mean reflection values of the corresponding points in the sample plots were used in all indices. Using the measured carbon storage and extracted data from remote sensing methods, correlation calculations were done at the site of the samples. NIR image and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were then established for each sample using ENVI image analysis software. Linear and non-linear regression analysis was then performed to establish correlations between the reflectance value and the carbon sequestration that were estimated using LIS data. GeoEye-1 images indicated that the NDVI index and Near-Infrared (NIR) reflectance values had the strongest relationship with the estimated carbon sequestrations using LIS data with correlation coefficients of 0.659 and 0.396, respectively. The coefficients of linear model were analyzed, leading to conclusion that the linear model could be used to estimate carbon sequestration. Models were analyzed using Paired T-test. The results showed that the GeoEye-1 images with 0.5-m spatial and 4-band spectral resolutions can be used to estimate carbon sequestrations by the trees in the Chitgar Forest Park.

Keywords: Biomass, Carbon Storage, Satellites Geoeye-1, Vegetation Indices

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1395.4.7.5.4]