Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Estimation of carbon accumulation potential in soybean fields using remote sensing vegetation indices (Case study: Gorgan County)

Samane Bakhshande Larimi[1] | Hossein Kazemi[*2] | Afshin Soltani[3] | Behnam Kamkar[4]

1. Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: sb_farming@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: hkazemi@gau.ac.ir
3. Professor, Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: afshi.soltani@gmail.com
4. Professor, Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources and Ferdowsi University of Mashhad, Iran. E-mail: behnam.kamkar@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 12.15.2020
Revised: 01.20.2021
Accepted: 01.26.2021

Keywords:
Biomass,
Satellite images,
Sentinel 2,
Vegetation Index

ABSTRACT

Background and Objectives: Nowadays, concerns about the amount of carbon emission to atmosphere and its effects on the climate are increasing. In the new approach to agricultural ecosystem management, the function of carbon sequestration is being replaced by carbon emissions. Therefore, providing accurate information on the spatial distribution of biomass and carbon sequestration potential of ecosystems is an essential issue in carbon sequestration and prevention of carbon dioxide emissions from agricultural ecosystems to the atmosphere. The purpose of this study was to using vegetation indices to estimate the carbon sequestration potential of soybean (*Glycine max* L.) biomass in the fields of Gorgan County.

Materials and Methods: This study was conducted in soybean fields of Gorgan County, located in Golestan province, during 2016-2017. In order to carry out this study, we used satellite images of Sentinel 2 on 17.9.2017. Also, the accuracy of the images was checked after geometric and radiometric corrections, using 250 ground control points. In the field section, plant samples from of 150 points were randomly prepared by 0.5×0.5 m^2 quadrats in the stage of maximum vegetative growth of soybean and they transferred to the crop research laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Then, the dry weight of plant samples was calculated and the amount of carbon in the plant biomass (stems and leaves) was determined using the combustion method. To prepare the land use map of soybean cultivation area, the supervised classification was used according to the maximum and minimum reliability algorithm. The accuracy of this classification was assessed by value of overall accuracy and Kappa coefficient. The studied vegetation indices were NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), DVI (Difference Vegetation Index), RVI (Ratio Vegetation Index) and SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index). Then, a regression equation was established between vegetation indices and plant biomass and carbon accumulation potential in SPSS 16 software. After choice of the best vegetation index, plant biomass and carbon accumulation potential maps were prepared using ArcGIS 10.6 software. Then, using some classification methods, the final layer was divided into four classes of biomass and carbon accumulation potential.

Results: In this study, the area of soybean cultivation in Gorgan County was determined as 12333.71 ha. The results showed that the value of overall accuracy coefficient in the classification method was the minimum distance from the mean, 87% and in the maximum probability method was 92% and the value of Kappa coefficient was 0.79 and 0.93, respectively. Based on the results of regression analysis, DVI index was selected for biomass mapping and carbon sequestration potential due to the highest coefficient of determination (0.86) and the lowest amount of RMSE about 661.80 for shoot biomass and 145.29 $kg.ha^{-1}$ in for accumulation carbon, respectively. Based on the results, the highest amount of carbon sequestration potential was obtained from 1924.78 to 2526.18 $kg.ha^{-1}$ in the central and eastern parts of this county, and the lowest value estimated as 919.43 to 1313.83 $kg.ha^{-1}$ that it related to western regions of Gorgan.

Conclusion: In this experiment, DVI index indicated a better estimation of carbon accumulation potential in soybean agroecosystems. Due to the high accuracy, easiness and low cost of remote sensing technology, especially calculation of vegetation indices, this approach can use to estimate the biomass and carbon accumulation potential of crops in agroecosystems.

Cite this article: Bakhshande Larimi, Samane, Kazemi, Hossein, Soltani, Afshin, Kamkar, Behnam. 2022. Estimation of carbon accumulation potential in soybean fields using remote sensing vegetation indices (Case study: Gorgan County). *Journal of Plant Production*, 29 (1), 19-37.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.18657.2752
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

برآورد پتانسیل انباشت کربن در مزارع سویا با استفاده از شاخص‌های گیاهی سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان گرگان)

سمانه بخشنده لاریمی[۱] | حسین کاظمی*[۲] | افشین سلطانی[۳] | بهنام کامکار[٤]

۱. دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
رایانامه: sb_farming@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
رایانامه: hkazemi@gau.ac.ir

۳. استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: afshi.soltani@gmail.com

٤. استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
رایانامه: behnam.kamkar@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

واژه‌های کلیدی:
تصاویر ماهواره‌ای،
زیست‌توده،
سنتینل ۲،
شاخص گیاهی

چکیده

سابقه و هدف: نگرانی‌های ناشی از مقدار کربن وارد شده به جوّ و اثرات آن روی اقلیم، روز به روز در حال افزایش است. در رویکرد جدید مدیریت بوم نظام‌های کشاورزی، کارکرد ترسیب کربن به‌جای انتشار کربن در حال جایگزین شدن است. از این‌رو، تهیه اطلاعات دقیق از توزیع مکانی میزان زیست‌توده و پتانسیل ترسیب کربن در کشت بوم‌ها، یک عامل ضروری در ترسیب کربن و جلوگیری از انتشار دی‌اکسیدکربن از بوم‌نظام‌های کشاورزی به جوّ است. بنابراین، هدف از این پژوهش، استفاده از شاخص‌های گیاهی سنجش از دور، برای برآورد میزان پتانسیل انباشت کربن در زیست‌توده گیاهی سویا (*Glycine max* L.) در زمین‌های زراعی شهرستان گرگان بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در کشت بوم‌های سویای شهرستان گرگان واقع در استان گلستان در سال زراعی ۱۳۹٦-۱۳۹۵ انجام شد. به منظور انجام این مطالعه، از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ به تاریخ ۲۰۱۷/۹/۱۷ استفاده شد. با استفاده از ۲۵۰ نقطه کنترل‌زمینی، دقت تصاویر بعد از انجام تصحیحات هندسی و رادیومتری مورد بررسی قرار گرفت. در بخش مزرعه‌ای از ۱۵۰ مزرعه سویا نمونه‌های گیاهی در مرحله حداکثر رشد رویشی به صورت تصادفی با استفاده از کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ مترمربعی تهیه و به آزمایشگاه تحقیقات زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل گردید. سپس وزن خشک نمونه‌های گیاهی محاسبه و با استفاده از روش احتراق میزان کربن موجود در زیست‌توده هوایی تعیین شد. برای تهیه نقشه سطح زیر کشت سویا، از روش طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از الگوریتم حداکثر و حداقل احتمال

اطمینان استفاده گردید. دقت این طبقه‌بندی با واقعیت زمینی بر اساس مقدار صحت کلی و ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه شاخص‌های گیاهی نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، پوشش گیاهی تفاضلی (DVI)، نسبت شاخص پوشش گیاهی (RVI) و پوشش گیاهی با اصلاح انعکاس خاک (SAVI) محاسبه شد. سپس رابطه رگرسیونی بین شاخص‌های گیاهی و میزان زیست‌توده و پتانسیل انباشت کربن در نرم‌افزار SPSS 16 برقرار شد. بعد از انتخاب برترین شاخص گیاهی، در گام بعدی نقشه‌های زیست‌توده گیاهی و میزان پتانسیل انباشت کربن با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.6 تهیه شد. سپس با استفاده از روش‌های گروه‌بندی، میزان زیست‌توده و میزان پتانسیل انباشت کربن در چهار طبقه تفکیک گردید.

یافته‌ها: در این مطالعه سطح زیرکشت سویا در شهرستان گرگان ۱۲۳۳۳/۷۱ هکتار تعیین گردید. نتایج نشان داد که مقدار ضریب صحت کلی در روش طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین، ۸۷ درصد و در روش حداکثر احتمال ۹۲ درصد و مقدار ضریب کاپا نیز به ترتیب برابر با ۰/۷۹ و ۰/۹۳ به‌دست آمد. براساس تجزیه رگرسیونی، شاخص DVI برای تهیه نقشه زیست‌توده و پتانسیل تثبیت کربن به‌دلیل داشتن بیش‌ترین ضریب تبیین (۰/۸۶) و کم‌ترین مقدار RMSE به‌ترتیب ٦٦١/٨٠ کیلوگرم در هکتار (در زیست‌توده هوایی) و ١٤٥/٢٩ کیلوگرم در هکتار (در بخش انباشت کربن) انتخاب شد. براساس نتایج، بیش‌ترین مقدار پتانسیل انباشت کربن از ١٩٢٤/٧٨ تا ٢٥٢٦/١٨ کیلوگرم در هکتار، در نواحی مرکزی و شرقی شهرستان، به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار آن از ۹۱۹/۴۳ تا ۱۳۱۳/۸۳ کیلوگرم در هکتار در نواحی غرب و جنوب غربی شهرستان مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: در این آزمایش شاخص DVI توانست برآورد بهتری از پتانسیل انباشت کربن در مزارع سویا نشان دهد. با توجه به داشتن دقت بالا، سهولت و کم‌هزینه بودن فناوری سنجش از دور از جمله محاسبه شاخص‌های گیاهی، می‌توان از این فناوری برای تخمین زیست‌توده و برآورد پتانسیل تثبیت کربن توسط گیاهان زراعی در کشت بوم‌ها استفاده نمود.

استناد: بخشنده لاریمی، سمانه، کاظمی، حسین، سلطانی، افشین، کامکار، بهنام (۱۴۰۱). برآورد پتانسیل انباشت کربن در مزارع سویا با استفاده از شاخص‌های گیاهی سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان گرگان). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۹ (۱)، ۳۷-۱۹.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.18657.2752

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

ترسیب کربن به معنای افزایش دایمی ذخیره کربن در مخازن اصلی آن یعنی گیاه، خاک و آب می‌باشد. کشت بوم‌ها به عنوان یکی از منابع کربن خشکی دنیا، نقش مهمی در چرخه جهانی کربن دارند. از این رو برای بهبود تعیین مقدار کربن آلی در خاک و گیاه و هم‌چنین مدل‌سازی تغییرات مکانی آن، به روش‌های بررسی توزیع مکانی قابل اعتماد نیاز است (۱۰). زیست‌توده گیاهی بخشی از چرخه کربن می‌باشد، بنابراین برآورد دقیق آن برای بسیاری از اهداف از جمله تعیین محتوای گازهای گلخانه‌ای، محاسبه کربن موجود در زمین و شبیه‌سازی تغییرات آب و هوا مورد نیاز است. هم‌چنین این شاخص می‌تواند عامل مهمی در ارزیابی میزان استفاده تجاری از زمین–های زراعی به عنوان منبع انرژی محسوب شود (۳٤). روش سنتی برآورد زیست‌توده، تنها متکی به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای است. هزینه بالا، زمان‌بر و طاقت‌فرسا بودن جمع‌آوری داده‌های زمینی از جمله محدودیت‌های روش سنتی می‌باشد، هرچند از دقت بالایی برخوردار است. امروزه این محدودیت‌ها موجب تمایل به استفاده از روش‌های غیرمستقیم مانند فناوری سنجش از دور در برآورد زیست‌توده گیاهی شده است (۲۱، ۱ و ۸).

توسعه دانش فناوری اطلاعات و علوم رایانه در سال‌های اخیر، همراه با در دسترس بودن داده‌های سنجش از دور با وضوح بالا، منجر به توسعه روش‌های برآورده داده‌های زمینی با قدرت تفکیک مکانی، دقت و سرعت مناسب در پیش‌بینی ویژگی‌های پوشش گیاهی شده است (۱۱، ۳۷ و ۵۱). توسعه روش‌های کسب اطلاعات از زمین به‌ویژه سنجش از دور، اطلاعات انبوه و با ارزشی برای پژوهش در زمینه‌های مختلف علوم محیطی، از جمله کشاورزی بوجود آورده است (۲۷، ۱۲ و ۲٦). زرینه و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به مطالعه روابط شاخص‌های گیاهی حاصل از باندهای ماهواره IRS-P6LISS-III برای بررسی پوشش گیاهی در منطقه تنگ صیاد (استان چهارمحال و بختیاری) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از ۲٤ شاخص گیاهی، شاخص DVI[۱] مناسب‌ترین شاخص برای تخمین پوشش کل گندمیان می‌باشد (٤۹). در مطالعه دیگری شفیعی و حسینی (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به بررسی پوشش گیاهی در منطقه سیستان پرداختند و روند تغییرات پوشش‌های گیاهی منطقه را در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰٦ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که سطح پوشش گیاهی برای سال ۱۹۹۰ معادل ۱۰۱۲٤۷ هکتار می‌باشد که در سال ۲۰۰٦ به ۲٦٤۷۵ هکتار کاهش یافته است (٤۳). محمدی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای IRS در برآورد تاج‌پوشش گیاهی استان چهارمحال و بختیاری به این نتیجه دست یافتند که شاخص GNDVI[۲] و DVI با تاج‌پوشش کل و شاخص PD321[۳] با تاج‌پوشش گیاهان علفی و بوته‌ای و شاخص GNDVI، GVI[٤] و MIRV2[٥] با تاج‌پوشش گندمیان بیش‌ترین همبستگی را دارند (۳۲).

در مطالعه‌ای فتح العلومی و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور در حوضه آبخیز بالیخلی‌چای اردبیل، از سه مدل برای برآورد میزان کربن آلی خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد که مقدار کربن در منطقه از ۰/۳۲ تا ٦/۹۸ درصد متغیر و میانگین آن ۳/۰٤ درصد بود (۱۷). در بررسی‌های انجام شده توسط یوسفی و همکاران (۲۰۱۱) با هدف

1- Deference Vegetation Index
2- Green Normalized Difference Vegetation Index
3- PD321 (RED-ETM2)
4- Green Vegetation Index
5- MIRV2 ((ETM5-RED)/ (ETM5+ RED))

تعیین بهترین روش طبقه‌بندی تصاویر لندست، سنجنده ETM^+، از بین ۹ روش طبقه‌بندی نظارت شده، روش حداکثر احتمال، با مقدار ضریب صحت کلی ۸۱/۸۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۷ در اولویت قرار گرفت (۴۷). اوتاروک و لائوسوان (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷، توانستند بهترین معادله برای میزان انباشت کربن زیست‌توده اندام‌هایی هوایی در باغات تایلند را با استفاده از شاخص گیاهی NDVI[1] برآورد نمایند. در این مطالعه میزان کربن در زیست‌توده هوایی در باغات را برابر با ۲۵۵/۴۰ تن در هکتار گزارش نمودند (۴۶). نئومن و اسمیت (۲۰۱۸) با استفاده از روش سنجش از دور، میزان کربن تولید شده از بوم‌نظام زراعی و جنگلی را در اروپا به ترتیب ۱/۹۶ تن در هکتار و ۱/۷۶ تن در هکتار در سال برآورد نمودند (۳۳). بیندو و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نرم‌افزارهای ERDAS و ArcGIS و به کمک شاخص گیاهی NDVI، غلظت کربن به دست آمده از کل زیست‌توده در جنگل‌های حرا را ۰/۴۷۵ درصد گزارش نمودند. هم‌چنین آن‌ها بیان نمودند که سهم اندام هوایی ۶۳۶/۸۳۲ تا ۳۲۰۴۸/۵ گرم در هر پیکسل و سهم اندام زیرزمینی ۲۴۱/۹۹۶ تا ۱۲۱۷۸/۴ گرم در هر پیکسل بود (۹). در مطالعه‌ای توسط گرایبل و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش سنجش از دور و تصاویر لیدار توانستند میزان کربن موجود در این دو گونه گیاهی *Eucalyptus camaldulensis* L Her. و *Melaleuca alternifolia* L. و نیز در خاک برآورد نمایند (۲۲).

علیزاده و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، میزان سطح زیر کشت سویا را در استان گلستان با استفاده از روش ماشین‌بردار با صحت کلی ۸۷/۸۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۶ در سال ۱۳۹۴ حدود ۲۷۹۴۱ هکتار و در سال ۱۳۹۵ حدود ۳۳۱۰۷ هکتار با صحت کلی ۹۰/۶ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۹ برآورد نمودند (۵).

استان گلستان یک از قطب‌های تولید دانه‌های روغنی از جمله سویا در سطح کشور می‌باشد. میانگین سطح زیر کشت و تولید سویا در استان گلستان در سال ۹۶-۱۳۹۵ به ترتیب ۲۱۰۰۰ هکتار و ۴۰۶۰۰ تن و میزان عملکرد آن ۱۹۳۳ کیلوگرم در هکتار بود. در شهرستان گرگان نیز میانگین سطح زیر کشت و تولید برابر با ۱۱۲۰۰ هکتار و ۲۰۷۲۰ تن و میزان عملکرد ۱۸۵۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۳۰). با توجه به اهمیت گیاه سویا و سازگاری آن به شرایط اقلیمی و خاکی استان گلستان و هم‌چنین نقش این گیاه در بهبود خصوصیات خاک و توانایی ترسیب کربن، از طرفی با توجه به اهمیت داده‌های سنجش از دور در مطالعات مربوط به تخمین زیست‌توده گیاهی و پتانسیل انباشت کربن، این پژوهش با هدف برآورد میزان زیست‌توده و پتانسیل انباشت کربن در مزارع سویای شهرستان گرگان با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و محاسبه انواع شاخص‌های گیاهی انجام شد.

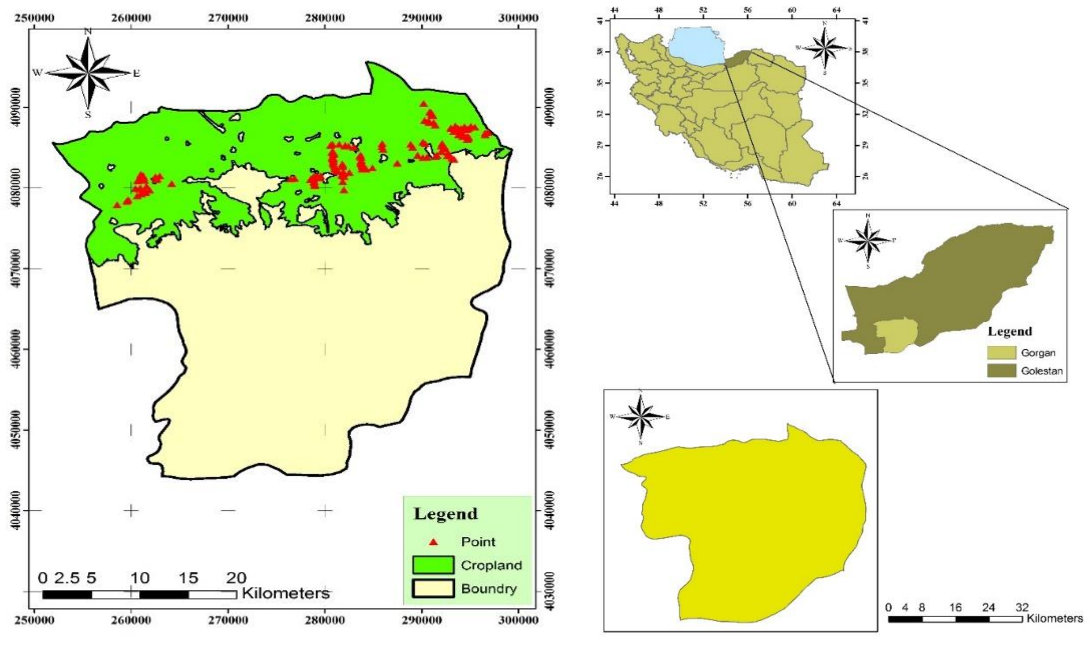
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزارع سویای گرگان واقع در استان گلستان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۳/۳ از سطح دریا انجام شد (شکل ۱). میانگین درازمدت بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه حدود ۴۲۲/۵ میلی‌متر و میانگین درازمدت

1- Normalized Difference Vegetation Index

دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال به‌ترتیب ۷/۹ درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه و ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه گزارش شده است. در این منطقه معمولاً یک فصل معتدل و نیمه مرطوب (از اواسط پاییز تا اوایل بهار) و یک فصل نسبتاً گرم و نیمه مرطوب وجود دارد (۳۰). تاریخ آماده‌سازی زمین زراعی و کشت سویا در این شهرستان از اواسط خرداد تا تیر ماه است. مرحله اوج سبزینگی سویا نیز از اواخر مرداد تا شهریور می‌باشد و در ماه‌های مهر و آبان این گیاه برداشت می‌شود. موقعیت جغرافیایی مزارع با دستگاه GPS مدل گاردمین لمسی ثبت شد که در شکل ۱ موقعیت مکانی مزارع انتخابی نشان داده شد. در مزارع سویای شهرستان گرگان عمدتاً از رقم کتول استفاده می‌شود. به‌طور میانگین ۸۰ درصد کشاورزان، حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره مصرف می‌نمایند. هم‌چنین به‌طور متوسط کودهای سوپرفسفات تریپل حدود ۵۰ کیلوگرم و سولفات پتاسیم به مقدار ۲۵ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده می‌شود. مزارع سویا بین ٤ الی ٥ مرحله آبیاری می‌شوند.

داده‌های مورد استفاده: اطلاعات مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه شامل تصاویر ماهواره سنتینل ۲، لایه کاربری زراعی، آمار و اطلاعات مربوط به محصولات کشاورزی منطقه به‌ویژه گیاه سویا و تقویم زراعی بود. در این پژوهش از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ در تاریخ ۲۰۱۷/۹/۱۷ از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا[1] (USGS) استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت شهرستان گرگان در استان گلستان، ایران و موقعیت مزارع انتخابی در شهرستان گرگان.

Fig. 1. Location of Gorgan County in Golestan province, Iran and location of selected fields in Gorgan.

1- The United States Geological Survey

علت انتخاب تصاویر ماهواره سنتینل ۲، قدرت تفکیک زمانی و مکانی خیلی خوب، در دسترس و رایگان بودن آن‌ها و پراکنش زمانی مناسب آن‌ها با دوره رشد گیاه سویا بود. رفتار طیفی محصولات کشاورزی در طول دوره رشد (تقویم زراعی) متفاوت است، بنابراین در یک زمان خاص نمی‌توان تمامی محصولات را در وضعیت یکسان از دوره رشد در تصویر مشاهده نمود. برای استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای و تعیین دامنه مناسب به منظور استفاده از تصاویر، ابتدا با مراجعه به منطقه و پیمایش میدانی، با کمک کشاورزان و کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به تقویم زراعی محصولات مختلف منطقه پرداخته شد. سپس بازه‌های زمانی با بیش‌ترین سبزینگی مربوط به سویا شناسایی شد و تصاویر ماه شهریور برای تفکیک محصول سویا انتخاب گردید.

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای: تصحیحات هندسی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ با استفاده از ۲۵۰ نقطه کنترل زمینی انجام شد (٤ و ۳۱). جهت انجام تصحیح رادیومتریک، از ابزارهای Radiometric Calibration و Gapfill در نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد (۱۹ و ۲۳). هم‌چنین تصویر انتخابی در این مطالعه به دلیل ابرناکی نبودن نیازی به تصحیح اتمسفری نداشت. در این مطالعه از باند ٤ (B_4- باند قرمز) و باند ۸ (B_8- باند مادون قرمز نزدیک) تصویر ماهواره‌ای استفاده شد. این دسته از باندهای ماهواره سنتینل ۲ از تفکیک مکانی ۱۰ متر برخوردار می‌باشند که عرض برداشت تصاویر توسط این ماهواره ۲۹۰ کیلومتر بوده و مدار چرخش آن نیز در ارتفاع ۷۸٦ کیلومتری زمین واقع شده است (۲).

پردازش تصاویر

محاسبه شاخص‌های گیاهی: شاخص‌های گیاهی تبدیلات ریاضی هستند که براساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهده ماهواره‌ای چند طیفی طراحی شده‌اند. بیش‌ترین باندهایی که در محاسبه شاخص گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند در محدوده باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند. خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه‌های موجود در رنگدانه کلروفیل موجب انعکاس کم‌تر و انعکاس شدیدتر در بخش مادون قرمز توسط گیاهان در این باند می‌شود (۲٤، ٤۲، ٤٦). برای تهیه شاخص‌های گیاهی، ابتدا تصاویر به اندازه منطقه مورد مطالعه و با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 برش داده شدند. برای محاسبه زیست‌توده و پتانسیل انباشت کربن، تعداد ٤ شاخص گیاهی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱) که شامل شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص گیاهی تفاضلی (DVI)، نسبت شاخص گیاهی (RVI[1]) و شاخص پوشش گیاهی با اصلاح انعکاس خاک (SAVI[2]) بودند. نحو محاسبه شاخص‌های گیاهی در جدول ۱ آمده است.

این شاخص‌ها اغلب با توجه به مشکلات مناطق مختلف و تأثیر رنگ خاک زمینه روی نور بازتاب شده از پوشش گیاهی ارائه شده‌اند. شاخص گیاهی NDVI از مهم‌ترین شاخص‌هایی است که در آن از محدوده‌های طیفی مادون قرمز نزدیک و قرمز استفاده می‌شود (۳۵). مقادیر شاخص NDVI همیشه در محدوده ۱+ و ۱- تغییر می‌کنند. در این شاخص، پیکسل‌هایی که دارای پوشش گیاهی بیش‌تر هستند، بزرگ‌تر از صفر هستند. پیکسل‌هایی که با خاک پوشیده شده‌اند، به صفر نزدیک‌تر بوده و پیکسل‌هایی که با آب پوشیده شده‌اند، به ۱- نزدیک‌تر می‌باشند (۳۵).

1- Ratio Vegetation Index
2- Soil Adjusted Vegetation index

جدول ۱- تبدیلات ریاضی شاخص‌های گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای.

Table 1. Mathematical transformations of vegetation indices extracted from satellite images.

شاخص Index	معادله Equation	منابع References
شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI	$\frac{(IR-R)}{(IR+R)}$	(٤٢)
شاخص گیاهی تفاضلی DVI	$IR-R$	(٤٦)
نسبت شاخص گیاهی RVI	$\frac{IR}{R}$	(٤١)
شاخص پوشش گیاهی با اصلاح انعکاس خاک SAVI	$\left[\frac{(IR-R)}{(IR+R+L)}\right]\times(1+L)$	(٢٤)

IR: مادون قرمز نزدیک، R: قرمز و L: فاکتور تصحیح برای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی که برابر با ۰/۵ (هوئت، ۱۹۸۸) است

IR: near infrared, R: red and L: correction factor for different vegetation densities equal to 0.5 (Huete, 1988)

طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای

طبقه‌بندی نظارت شده: در این مطالعه برای انجام طبقه‌بندی از روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد. در این روش لازم است نمونه‌های آموزشی (تعلیمی) مناسب و صحیح تهیه شود تا نماینده و الگوی کاملی از پوشش اراضی باشد (۱۷). به این منظور ابتدا زمین‌های زراعی از کاربری‌های مختلف شهر، باغ، کوه، مرتع و خاک جدا گردید. سپس با استفاده از ۲۵۰ نقطه کنترل زمینی (ثبت شده با GPS) و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی، نمونه‌های آموزشی تهیه شدند. ۷۰ درصد داده‌ها جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و ۳۰ درصد برای ارزیابی صحت نتایج به‌دست آمده به‌کار گرفته شد. تصویر شهریور ماه برای استخراج سطح زیرکشت سویا به ٤ طبقه شامل سویا، ذرت، برنج و آیش، با استفاده از دستور طبقه بندی (Classification) در نرم‌افزار ENVI 5.3 طبقه‌بندی شدند.

ارزیابی صحت: ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی، آخرین مرحله تهیه نقشه از تصاویر ماهواره‌ای است و با این عمل مشخص می‌شود که نقشه‌های خروجی تا چه اندازه با واقعیت زمینی منطبق است (١٤). در این مرحله روش‌های طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین و حداکثر احتمال مورد ارزیابی قرار گرفتند و صحت کلی و ضریب کاپا هر یک محاسبه شد. صحت کلی روش معمول و استاندارد برای تعیین دقت نقشه‌های تهیه شده می‌باشد که به درصد بیان می‌شود. این شاخص دقت را براساس نسبت پیکس‌های طبقه‌بندی شده صحیح به جمع کل پیکسل‌های معلوم محاسبه می‌کند. چنان‌چه مقدار آن در نقشه‌های تولید شده بیش از ۷۰ درصد باشد، صحت نقشه‌ها قابل اعتماد است (۱۳). ضریب کاپا بین ۱ و ۱- متغیر است که عدد یک بیانگر توافق صد درصد طبقه‌بندی با واقعیت زمینی و مقادیر منفی به معنی ضعف در طبقه‌بندی تفسیر می‌شود (۲۸). هر چند استفاده از معیار صحت کلی در بیان میزان درستی طبقه‌بندی بسیار متداول می‌باشد، اما ضریب کاپا به‌دلیل لحاظ نمودن واحدهای تصویری (پیکسل) که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند، معیار مناسب‌تری برای مقایسه حالت‌های

مختلف طبقه‌بندی می‌باشد (۱۵). این ضریب از جمله شاخص‌های صحت‌سنجی است که از ماتریس خطا در نرم‌افزار ENVI نسخه ۵/۳ استخراج می‌شود و صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. در واقع آن نشان‌دهنده توافق به‌دست آمده از طبقه‌بندی با داده‌های واقعیت زمینی می‌باشد (۲۸) که بر اساس رابطه زیر به‌دست می‌آید (۳):

$$K = \frac{N\sum_{i=1,j=1} Xij - \sum_{i=1,j=1}(X_{i+} . X_{j+})}{N^2 - \sum_{i=1,j=1}(X_{i+} . X_{j+})} \quad (۱)$$

که در آن، X تعداد کل پیکسل‌ها در ماتریس خطا، X_{ij} مجموع قطر اصلی ماتریس خطا، X_{i+} مجموع ردیف i و X_{+j} مجموع ستون متناظر j ماتریس خطا است.

تهیه نمونه‌های گیاهی و تجزیه‌های آزمایشگاهی: برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت برآورد میزان پتانسیل انباشت کربن به‌واسطه به‌کارگیری شاخص‌های گیاهی، نمونه‌های گیاهی ۱۵۰ مزرعه سویا، به‌صورت کف‌بر در مرحله حداکثر رشد رویشی گیاه سویا (مرحله اوج سبزینگی) در شهریور ۱۳۹۶ با استفاده از کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ مترمربعی تهیه و به آزمایشگاه تحقیقات زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. سپس وزن خشک نمونه‌های گیاهی محاسبه و با استفاده از روش احتراق، میزان کربن موجود در زیست‌توده هوایی (ساقه و برگ‌ها) تعیین شد (۱).

تحلیل آماری و انتخاب شاخص‌های گیاهی برتر: پس از تهیه داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI 5.3، تجزیه و تحلیل آن‌ها انجام شد. برای تعیین شاخص مناسب در تهیه نقشه‌های مورد نیاز، از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ و Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده گردید. به این منظور از ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و از ۳۰ درصد آن‌ها برای ارزیابی مدل استفاده شد (۲۵). بهترین مدل با توجه به ضریب همبستگی متغیرها (r)، خطای برآورد (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و ضریب تغییرات (CV) انتخاب شد. اصولاً دامنه همبستگی (r) بین ۱+ و ۱- متغیر است که ۱- نشان‌دهنده همبستگی معکوس و کامل و ۱+ همبستگی مستقیم و کامل می‌باشد. اصولاً هر چقدر همبستگی به قدر مطلق ۱ نزدیک‌تر باشد، شدت آن بیش‌تر است (۲۹، ۳۹ و ٤٤). هم‌چنین هر چقدر مقدار ضریب تبیین (R^2) به عدد یک نزدیک‌تر باشد، مقدار برآورد شده تطابق بیش‌تری با مقدار مشاهده شده دارد (۳۹). در مورد ضریب تغییرات (CV) که به‌صورت درصد بیان می‌شود، هر چه مقدار آن کم‌تر باشد، برآورد دقیق‌تر خواهد بود و هرچه بیش‌تر باشد، سطح پراکندگی در اطراف میانگین بیش‌تر خواهد بود (۲۹، ۳۹ و ٤٤). هم‌چنین میزان RMSE نشان‌دهنده انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مشاهدات است. یک شبیه‌سازی کامل دارای RMSE برابر با صفر است (۳۹). در این مطالعه مدل‌های رگرسیونی با استفاده از روابط ۲ الی ۵ انتخاب شدند. در پایان پس از تعیین مدل مناسب، با استفاده از شاخص‌های گیاهی برتر، نتایج مدل بر روی تصاویر اعمال گردید."

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}[(\mathrm{p_i} - \mathrm{O_i})]^2 / \mathrm{n}} \quad (۲)$$

$$\mathrm{r} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{P}) \times (O_i - \bar{O})}{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{(P_i - \bar{P})^2} \times \sum_{i=1}^{n}\sqrt{(O_i - \bar{O})^2}} \quad (۳)$$

$$CV = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (٤)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_{i-} - P)^2}{\sum_{i=1}^{n}(\bar{P}_i - P)^2} \quad (۵)$$

که در آن‌ها، $\bar{P}$ و P_i، به‌ترتیب میانگین مقادیر مشاهده شده و مقادیر مشاهده شده، $\bar{O}$ و O_i نیز به‌ترتیب میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر پیش‌بینی شده و n نیز برابر تعداد ارزش‌های جفت شده می‌باشند (۵، ۱۷).

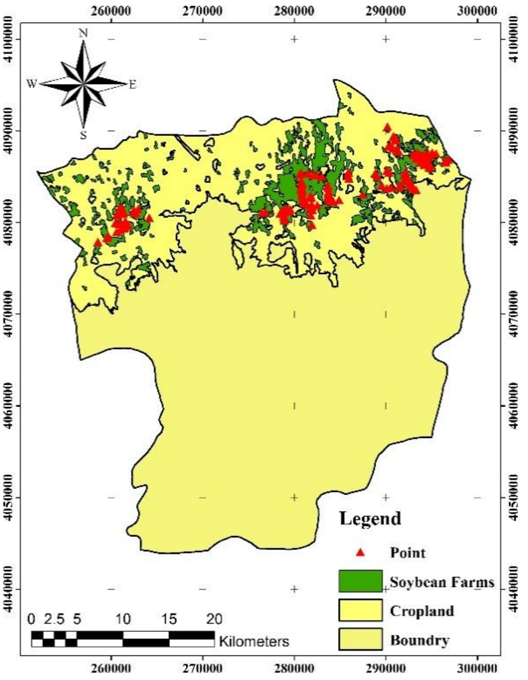
به‌منظور برآورد پتانسیل انباشت کربن در گیاه سویا، نمونه‌های گیاهی کاملاً خشک شده، آسیاب شدند و از هر کدام نمونه‌های ۲ گرمی تهیه شد. نمونه‌ها پس از توزین، در کوره قرار داده شد و به‌مدت ٤-۳ ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شدند. نمونه‌ها پس از سوزاندن و خشک شدن در دستگاه دسیکاتور توزین شدند. با تعیین وزن خاکستر و با توجه به وزن اولیه و نسبت کربن آلی به مواد آلی مطابق با رابطه ٦، میزان کربن آلی هر کدام از اندام‌های گیاه، به‌طور جداگانه محاسبه گردید (۳٦):

$$\%\,OC = \frac{1}{2}\ \%\,OM \qquad (٦)$$

که در آن، OC و OM به‌ترتیب مقدار کربن آلی (درصد) و مقدار ماده آلی (درصد) می‌باشند. رابطه فوق گویای این نکته مهم است که کربن آلی نیمی از ماده آلی گیاهان را تشکیل می‌دهد.

نتایج و بحث

برآورد سطح زیر کشت مزارع سویا: در این پژوهش سطح زیرکشت سویا در شهرستان گرگان براساس تصاویر ماهواره سنتینل ۲، ۱۲۳۳۳/۷۱ هکتار برآورد گردید (شکل ۲). هم‌چنین مقدار ضریب صحت کلی مربوط به تصاویر ماهواره سنتینل ۲، در روش طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین ۸۷ درصد و در روش حداکثر احتمال ۹۲ درصد و ضریب کاپا نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۷۹ و ۰/۹۳ به‌دست آمد.



شکل ۲- سطح مزارع سویا تفکیک شده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و نقاط زمینی ثبت شده در شهرستان گرگان.

Fig. 2. Area of soybean fields separated from Sentinel 2 satellite images and field points recorded in Gorgan County.

در پژوهشی فهیم‌نژاد و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تصویر فراطیفی هایپریون و روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، دو محصول زراعی گندم و جو را در اراضی کشاورزی جنوب تهران از هم تفکیک کردند (۱۸). اصولاً روش‌های اخذ آمار کشاورزی از طریق فناوری سنجش از دور، بسیار دقیق‌تر از روش‌های سنتی کسب آمار و اطلاعات مکانی است (۵۰).

برآورد میزان زیست‌توده گیاهی: نتایج مدل‌های رگرسیونی بین مقادیر زیست‌توده گیاهی با داده‌های ماهواره‌ای در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- معادلات رگرسیونی و آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات (RMSE)، ضریب تغییرات (CV) و ضریب همبستگی (r) بین شاخص‌های گیاهی و زیست‌توده اندازه‌گیری شده در مزارع سویا (کیلوگرم در هکتار).

Table 2. Regression equations and statistics of coefficient of determination (R^2), root mean squared error (RMSE), coefficient of variation (CV) and correlation coefficient (r) between vegetation indices and measured biomass in soybean fields (kg/ha).

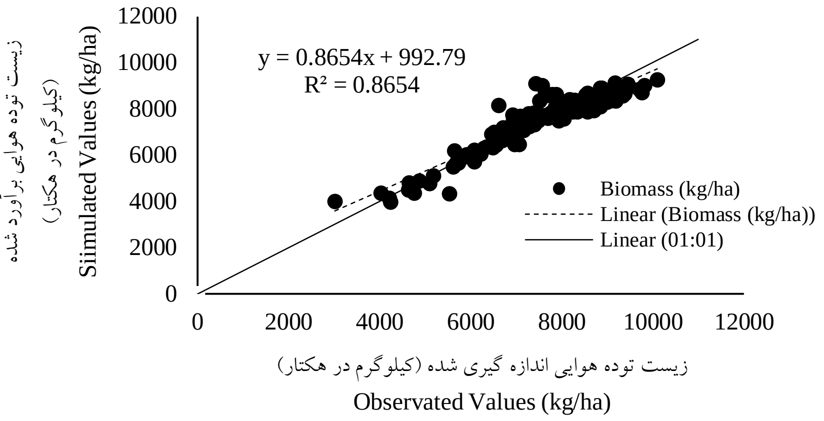
شاخص Index	ضریب همبستگی r	ضریب تغییرات CV (%)	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تبیین R^2	معادله Equation
NDVI	0.94	9.82	834.04	0.82**	Y = 6822.1(NDVI) +3582.8
DVI	0.98	7.79	661.80	0.86**	Y = 3335.8(DVI) + 4912.5
RVI	0.90	11.58	982.68	0.75**	Y =-5848.1 (RVI) + 9376.9
SAVI	0.95	9.27	787.29	0.83**	Y = 5723.6(SAVI) + 3910.6

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

** Significance at 1% probability level

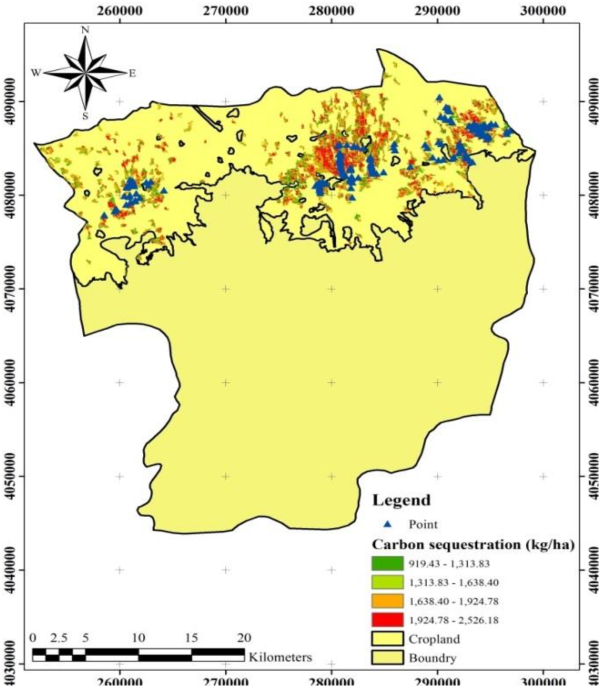
در این پژوهش شاخص گیاهی DVI با بیش‌ترین ضریب تبیین (۰/۸٦) و کم‌ترین مقدار RMSE (٦٦۱/۸۰)، شاخص گیاهی برتر جهت برقراری رابطه رگرسیونی با میزان زیست‌توده سویا انتخاب شد (جدول ۲). مطالعه رضایی و همکاران (۲۰۱٤) با استفاده از تصاویر لندست، نشان داد که بهترین مدل در برآورد زیست‌توده گیاهی، عملکرد شلتوک و مقدار کاه برنج به ترتیب دارای RMSE برابر با ۱۰۳۰، ٤۳٤ و ۷۱۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (٤۰). این شاخص از تفاضل باند مادون قرمز و قرمز محاسبه می‌شود. با توجه به اثری که افزایش زیست‌توده در افزایش بازتاب در باند مادون قرمز و کاهش بازتاب در باند قرمز دارد، می‌توان انتظار داشت که این شاخص دقت بالایی را در تخمین زیست‌توده داشته باشد. بنابراین در ادامه ارتباط بین زیست‌توده اندازه‌گیری شده و زیست‌توده تخمین زده شده سویا، با استفاده از شاخص DVI مشخص گردید (شکل ۳) و نقشه میزان زیست‌توده گیاهی با استفاده از شاخص DVI تهیه گردید (شکل ٤). با توجه به نقشه بیش‌ترین مقدار زیست‌توده گیاهی در مناطق شرقی و مرکزی به‌دست آمد (۷۵۸۹/۷۲ تا ۱۰۱٤۱/۱۲ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین مقدار از ۲۸۵۹/۸٤ تا ٤۹۹۷/۸۲ کیلوگرم در هکتار در نواحی غرب و جنوب غرب منطقه مشاهده شد. علت مشاهده مقادیر بیش‌تر زیست‌توده گیاهی در نواحی شرقی را می‌توان اعمال مدیریت زراعی مناسب از جمله استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری، تاریخ کاشت مناسب و خصوصیات خاک منطقه دانست که منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی، جذب بیش‌تر کربن از هوا و رسوب آن در بافت‌های گیاهی به صورت کربن آلی و در نتیجه

افزایش زیست‌توده گیاهی می‌گردد (۷). روجین و بروون (۱۹۹۵) نشان دادند که شاخص DVI نسبت به شاخص NDVI از خاک پس‌زمینه، تأثیر کم‌تری می‌پذیرد (٤٣). درویش‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) نیز با بررسی شاخص‌های طیفی استخراج شده از ماهواره Alos-AVNIR2 به منظور تخمین زیست‌توده برنج، به این نتیجه رسیدند که شاخص DVI از دقت بالاتری نسبت به سایر شاخص‌های گیاهی برخوردار است. آن‌ها هم‌چنین نشان دادند که شاخص‌هایی که تفاضل بازتاب بین باندهای قرمز و مادون قرمز را بهتر نمایش می‌دهند، در مقایسه با دیگر شاخص‌های که با دادن ضریب باندها از مقدار اختلاف بازتاب بین این دو باند می‌کاهند، از دقت بالاتری برخوردار هستند (١٦).



شکل ۳- میزان زیست‌توده هوایی اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده در مزارع سویا به وسیله شاخص DVI.

Fig. 3. The measured and estimated shoot biomass in soybean fields using DVI index.



شکل ٤- نقشه تخمین زیست‌توده هوایی سویا با استفاده از شاخص DVI در شهرستان گرگان.

Fig. 4. Map of soybean shoot biomass estimation using DVI index in Gorgan County.

برآورد میزان پتانسیل انباشت کربن: نتایج مدل‌های رگرسیونی بین مقادیر پتانسیل انباشت کربن زیست‌توده مزارع سویا با داده‌های ماهواره‌ای در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- معادلات رگرسیونی و آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات (RMSE)، ضریب تغییرات (CV) و ضریب همبستگی (r) بین شاخص‌های گیاهی و میزان پتانسیل انباشت کربن اندازه‌گیری شده در مزارع سویا (کیلوگرم در هکتار).

Table 3. Regression equations and parameters of coefficient of determination (R^2), root mean squared error (RMSE), coefficient of variation (CV) and correlation coefficient (r) between vegetation indices and the measured carbon accumulation potential in soybean fields (kg/ha).

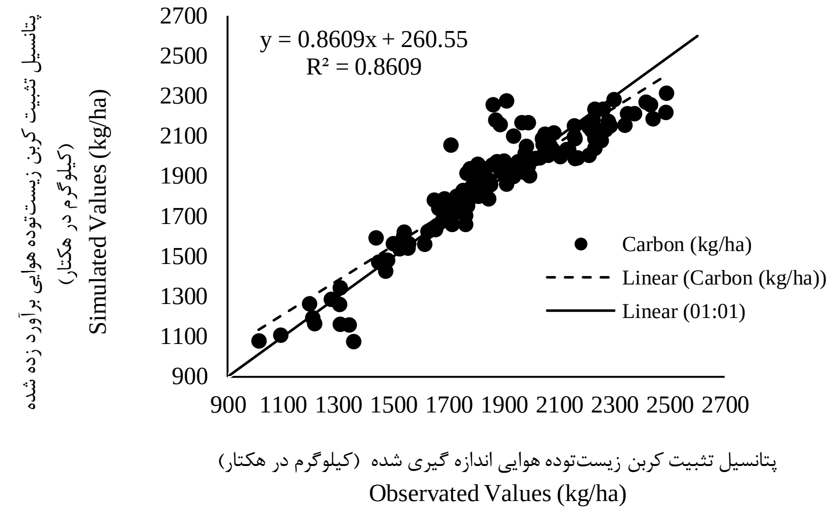
شاخص Index	ضریب همبستگی r	ضریب تغییرات (درصد) CV(%)	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تبیین R^2	معادله Equation
NDVI	0.93	9.09	192.66	0.80**	Y=1607.1 (NDVI) + 1049.3
DVI	0.98	6.86	145.29	0.86**	Y=791.01 (DVI) + 1124.1
RVI	0.89	10.84	229.60	0.72**	Y=-135.6 (RVI) + 2338.4
SAVI	0.95	8.49	180.007	0.82**	Y=1342.7 (SAVI) + 1061.5

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

** Significance at 1% probability level

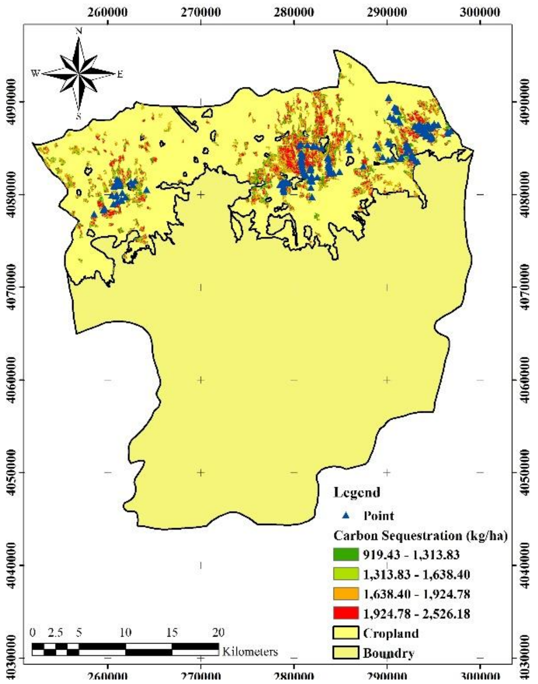
با توجه به وجود بهترین رابطه رگرسیونی بین شاخص DVI با میزان زیست‌توده گیاهی در مزارع سویا، در برآورد میزان پتانسیل انباشت کربن نیز از بین شاخص‌های گیاهی (NDVI، DVI، RVI و SAVI)، شاخص گیاهی DVI با بیش‌ترین ضریب تبیین (۰/۸۶) و کم‌ترین مقدار RMSE (۱٤۵/۲۹)، شاخص گیاهی برتر جهت برقراری رابطه رگرسیونی با میزان پتانسیل انباشت کربن مزارع سویا انتخاب شد (جدول ۳). با توجه به بالا بودن دقت این شاخص در برآورد میزان زیست‌توده سویا، می‌توان انتظار داشت که این شاخص دقت بالایی در تخمین پتانسیل انباشت کربن هم داشته باشد. درنتیجه با توجه به نتایج، ارتباط بین پتانسیل انباشت کربن اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده در سویا با استفاده از شاخص گیاهی DVI مشخص گردید (شکل ۵). هم‌چنین نقشه پتانسیل انباشت کربن نیز با استفاده از شاخص DVI تهیه (شکل ٦) و سپس با استفاده از روش‌های گروه‌بندی، نقشه نهایی به چهار طبقه تفکیک گردید. از آن‌جایی که میزان زیست‌توده گیاهی یکی از عوامل مهم در برآورد میزان تثبیت کربن می‌باشد، می‌توان براساس نقشه زیست‌توده گیاهی، تغییرات میزان انباشت کربن را در منطقه بررسی نمود. در این مطالعه شاخص NDVI در رتبه دوم جهت برآورد پتانسیل انباشت کربن قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به شکل ٤ با افزایش زیست‌توده گیاهی در مناطق شرقی و مرکزی، میزان انباشت کربن نیز در این مناطق افزایش یافت (شکل ٦) به‌طوری که بیش‌ترین مقدار پتانسیل انباشت کربن از ۱۹۲٤/۷۸ تا ۲۵۲٦/۱۸ کیلوگرم در هکتار در نواحی مرکزی و شرقی شهرستان به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار از ۹۱۹/٤۳ تا ۱۳۱۳/۸۳ کیلوگرم در هکتار در نواحی غرب و جنوب غرب مشاهده شد. علت مشاهده مقادیر بیش‌تر پتانسیل انباشت

کربن در نواحی شرقی را می‌توان به علت دسترسی به منابع آبی بیش‌تر، اعمال مدیریت زراعی مناسب‌تر از جمله عدم آتش زدن بقایا و برگرداندن آن به خاک در این مناطق دانست. این موارد می‌تواند به افزایش زیست‌توده گیاهی، جذب بیش‌تر طول موج قرمز توسط رنگدانه‌های فعال برگ، بازتاب بیش‌تر مادون قرمز نزدیک، افزایش فعالیت فتوسنتزی، جذب بیش‌تر کربن از جوّ و تثبیت آن در بافت‌های گیاهی به‌صورت کربن آلی دانست (۳۸). عوامل محیطی و مدیریت زراعی از جمله عدم برگرداندن بقایا، نوع و زمان مصرف کود، نوع ادوات کشاورزی، دفعات و روش آبیاری و هم‌چنین نوع خاک و عوامل فیزیکی و شیمیایی آن، بر رشد و تولید زیست‌توده گیاهی اثر می‌گذارند. پس از این موارد، در مقیاس منطقه‌ای و بزرگ، سطح زیر کشت بیش‌تر تا حدودی می‌تواند اطمینان بخش پتانسیل بیش‌تر انباشت کربن در آن منطقه باشد. اما کاهش مقدار پتانسیل انباشت کربن در نواحی غربی شهرستان با توجه به نتایج به‌دست آمده از تصویر سنتینل ۲ و شاخص گیاهی DVI را نیز می‌توان به اجرای مدیریت نامناسب مزارع از جمله آتش زدن بقایا گیاهی دانست. با توجه به نتایج به‌دست آمده از مطالعه پورقیومی و همکاران (۲۰۱۱) و پردل و همکاران (۲۰۱۷) در مراتع ایران و آریکاک و همکاران (۲۰۱۵) در جنگل‌های ترکیه، از یک شاخص گیاهی می‌توان به‌عنوان متغیر مستقل در برآورد زیست‌توده گیاهی و پتانسیل انباشت کربن با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای استفاده نمود (۳۸، ۳۷ و ۷). از این‌رو در مزارع سویای گرگان، شاخص گیاهی DVI به همراه برداشت‌های زمینی، می‌تواند میزان زیست‌توده و تثبیت کربن را به‌خوبی پیش‌بینی کند. البته نقشه‌های زیست‌توده و پتاسیل انباشت کربن، نمایان‌گر ناهمگنی مکانی توزیع زیست‌توده گیاهی و میزان تثبیت کربن در منطقه مورد مطالعه می‌باشند.



شکل ۵- رابطه بین میزان پتانسیل انباشت کربن اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده در مزارع سویا به وسیله شاخص گیاهی DVI.

Fig. 5. Relationship between measured and estimated carbon accumulation potential in soybean fields by DVI index.



شکل ٦- نقشه تخمین میزان پتانسیل انباشت کربن مزارع سویا با استفاده از شاخص گیاهی DVI در شهرستان گرگان.

Fig. 6. Map of estimating carbon accumulation potential of soybean fields using DVI index in Gorgan County.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شد تا با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های گیاهی و روش‌های جدید طبقه‌بندی با خطای کمتر، نقشه‌های زیست‌توده اندام‌های هوایی تهیه و میزان تثبیت کربن در اندام‌های گیاهی سویا تخمین زده شود. یکی از خروجی‌های این مطالعه، نقشه سطح زیرکشت سویا در شهرستان گرگان، استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد که می‌تواند به عنوان نقشه پایه برای مدیریت اراضی، طراحی الگوی کشت، بودجه‌بندی کربن و غیره مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این پژوهش نشان داد شاخص‌های DVI و NDVI از قابلیت بالایی برای تخمین میزان زیست‌توده اندام‌های هوایی و میزان انباشت کربن برخوردار هستند. اصولاً تصاویر ماهواره‌ای در صورتی که در زمان مناسب انتخاب شوند، از قابلیت بالایی برای تفکیک محصولات زراعی، تهیه نقشه پراکنش و برآورد سطح زیر کشت با دقت مناسب برخوردار هستند. استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل با قدرت تفکیک مکانی بالا، استخراج اطلاعات در زمان کم و در سطح وسیع، تکراری بودن کسب اطلاعات، عدم نیاز به مراجعه مستمر به اراضی کشاورزی و پیمایش میدانی، می‌تواند اطلاعات جامع محیطی همراه با صرفه‌جویی در هزینه و زمان را فراهم نماید. پیشنهاد می‌شود سطح زیرکشت، میزان زیست‌توده گیاهی و میزان کربن تثبیت شده در زیست‌توده گیاهی سایر محصولات منطقه گرگان با استفاده ار فناوری سنجش از دور برآورد شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان جهت اجرای این پژوهش و همکاری کشاورزان سویاکار و کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

1. Abdi, N., Madah Arefi, H. and Zahedi Amiri, J. 2009. Estimation of carbon sequestration in Gon rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). Iran. Rangel. Desert Res. 15: 2. 269-282. (In Persian)
2. Ahrari, A.H. 2018. Training in processing and preparing Sentinel satellite data 2. Amirkabir Univ. Technology Publications. 57p. (In Persian)
3. Akbari Poursalimi, S. and Nickfar, M. 2018. Prediction of urban development using Sentinel satellite images by neural network method. J. Technol. Aerosp. Eng. 2: 3. 22-13. (In Persian)
4. Alavi Panah, S.K. 2008. Application of Remote Sensing in Earth Sciences, University of Tehran Press. 478p. (In Persian)
5. Alizadeh, P., Kamkar, B., Shataee, S. and Kazemi, H. 2018. Estimation of changes in land area under wheat and soybean cultivation using satellites images classification techniques in west of Golestan province. Appl. Res. Field. Crops. 31: 41-61. (In Persian)
6. Álvaro-Fuentes, J., Morell, F.J., Plaza-Bonilla, D., Arrúe, J.L. and Cantero-Martínez, C. 2012. Modelling tillage and nitrogen fertilization effects on soil organic carbon dynamics. Soil Tillage Res. 120: 32-39.
7. Aricak, B. 2015. Estimating above-ground carbon biomass using Satellite image reflection values: A case study in camyazi forest directorate, Turkey. Sumar. List. 139: 7-8. 369-376.
8. Bao, Y., Gayo, W. and Gayo, Z. 2009. Estimation of winter wheat biomass based on remote sensing data at various spatial and spectral resolutions. Earth Sci. 3: 1. 118-128.
9. Bindu, G., Poornima Rajan, E.S., Jishnu, K. and Ajith, J. 2020. Carbon stock assessment of mangroves using remote sensing and geographic information system. Egypt. J. Remote Sens. Space Sci. 23: 1. 1-9.
10. Bogunovic, I., Trevisani, S., Pereira, P. and Vukadinovic, V. 2018. Mapping soil organic matter in the Baranja region (Croatia): Geological and anthropic forcing parameters. Sci. Total Environ. 643: 335-345.
11. Chao, ZH., Liu, N., Zhang, P., Ying, T. and Song, K. 2019. Estimation methods developing with remote sensing information for energy biomass: A comparative review. Biomass Bioenergy. 122: 414-425.
12. Chi, M., Plaza, A., Benediktsson, J.A., Sun, Z., Shen, J. and Zhu, Y. 2016. “Big data for remote sensing: Challenges and opportunities.” Proc. IEEE. 104: 2207-2219.
13. Chuanga, W.C., Lina, C.Y., Chiena, C.H. and Choub, W.C. 2011. Application of Markov-Chain model for vegetation restoration assessment and landslide areas caused by a catastrophic earthquake in Central Taiwan. Ecol. Modell. 222: 835-845.
14. Damavandi, H. and Darvish Sefat, A.A. 1999. Investigation of the use of satellite data in the identification and classification of saline lands by digital method. P 238-254. The 6th Tehran Surveying Conference. (In Persian)
15. Darvish Sefat, A.A. and Zare, A. 1998. Investigation of satellite data capability for preparing vegetation map in arid and semi-arid regions (Case study: in Ghaen region). Iranian J. Nat. Res. Fac. Nat. Res. 51: 2. 47-52. (In Persian)
16. Darvishzade, R., Metkan, A.A. and Eskandari, N. 2011. Evaluation of spectral indices extracted from ALOS-AVNIR2 images to estimate the biomass of rice crop. Geograph. Lands. 14: 61-73. (In Persian)
17. Elahee, F. 2016. Assessment of wheat and canola residues as capability in four basins of Golestan province. Master Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 76p. (In Persian)
18. Fahim Nejad, H., Soof Baf, S.R., Alimohammadi, A. and Valdan Zooj, M.J. 2007. Differentiation of agricultural products using Hyperion hyperspectral data, Geomatics Conference, Tehran. (In Persian)

19. Fatemi, B. and Rezaee, Y. 2010. Fundamentals of Remote Sensing. Azadeh Publications. 25p. (In Persian)
20. Fathololoumi, S., Vaezi, A.R., Alavipanah, S.K. and Ghorbani, A. 2020. Modeling Soil Organic Carbon Variations Using Remote Sensing Indices in Ardabil Balikhli Chhay Watershed. Iran. Soil Water Res. 51: 2417-2429. (In Persian)
21. Ghasemi, N., Sahebi, M.R. and Mohammadzadeh, A. 2013. "Biomass estimation of a temperate deciduous forest using wavelet analysis." IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 51: 2. 765-776. (In Persian)
22. Griebel, A., Metzen, D., M Boer, M., Brton, C.V.M. Renchon, A.A., Andrews, H.M. and Pendall, E. 2020. Using a paired tower approach and remote sensing to assess carbon sequestration and energy distribution in a heterogeneous sclerophyll forest. Sci. Total Environ. 699: 13-39.
23. Hadjimitsis, D.G., Papadavid, G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Toulios, L. and Clayton, C.R.I. 2010. Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10: 89-95.
24. Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sens. Environ. 25: 295-309.
25. Khajeddin, S. and Pormanafi, S. 2007. Determining the level of Zayandehrood rice fields in Isfahan region with digital data from IRS satellite sensors. J. Agric. Sci. Technol. Nat. Res. 11: 1. 513-527. (In Persian)
26. Khanal, S., Fulton, J., Klopfenstein, A., Douridas, N. and Shearer, S. 2018. "Integration of high resolution remotely sensed data and machine learning techniques for spatial prediction of soil properties and corn yield." Comput. Elec. Agric. 153: 213-225.
27. Liu, P. 2015 "A survey of remote-sensing big data". Front. Environ. Sci. 3: 1-6.
28. Mather, P.M. and Tso, B. 2009. Classification methods for remotely sensed data. CRC Press, New York.
29. Mayer, D.G. and Butler, D.G. 1993. Statistical validation. Ecol. Model. 68: 21-32.
30. Ministry of Agriculture Jihad. 2016. Agricultural Statistics: Crop Products. First Volume. Center for Statistics and Information. (In Persian)
31. Mishra, N., Haque, M.O., Leigh, L., Aaron, D., Helder, D. and Markham, B. 2014. Radiometriccross calibration of Landsat 8 operational land imager (OLI) and Landsat 7 enhanced thematic mapper plus (ETM+). Rem. Sens. 6: 12. 12619-12638.
32. Mohammadi, M., Ebrahimi, A. and Haghzade, A. 2012. Capability of IRS satellite data in estimating vegetation canopy (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari). J. Rene. Nat. Res. 3: 1. 41-54. (In Persian)
33. Neumann, M. and Smith, P. 2018. Carbon uptake by European agricultural land is greater than in forests and could be increased further. Sci. Total Environ. 643: 902-911.
34. Nichol, J.F. and Sarker, M.L.R. 2011. "Improved biomass estimation using the texture parameters of two high-resolution optical sensors." IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 49: 3. 930-946.
35. Pocas, I., Cunha, M., Pereira, L.S. and Allen, R.G. 2013. Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 21: 159-172.
36. Polidori, A., Turpin, B.J., Davidson, C.I., Rodenburg, L.A. and Maimone, F. 2008. Organic PM2.5: fractionation by polarity, FTIR spectroscopy, and OM/OC ratio for the Pittsburgh aerosol. Aerosol Sci. Technol. 42: 233-246.
37. Pordel, F., Ebrahimi, A. and Azizi, Z. 2017. Modeling of canopy green cover of coral rangeland vegetation during the growing season using spectral parameters of OLI sensor. J. Surv. Sci. Technol. 7: 6. 36-44. (In Persian)

38.Poorghayyomi, H. and Khajeddin, S.J. 2011. Investigating the role of vegetation in carbon sequestration using remote incineration technology. Master Thesis, Isfahan University of Technology. Fac. Nat. Res. 138p. (In Persian)
39.Power, M. 1993. The predictive validation of ecological and environmental methods. Ecol. Model. 68: 33-50.
40.Rezaei, M., Raeini Sarjaz, M., Shahnazari, A. and Vazifedoust, M. 2014. Estimation of paddy field rice yield in the Sephidrood using Landsat images (case study: Some Sara). Iranian J. Irrig. Drain. 3: 8. 591-601. (In Persian)
41.Richardson, A.J. and Wiegand, C.L. 1997. Distinguishing vegetation from soil background information. Photogramm. Eng. Rem. Sens. 43: 1541-1552.
42.Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradiation (green wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, final report, Greenbelt, MD.
43.Shafiee, H. and Hosseini, S.M. 2012. Survey of vegetation with the help of satellite data in Sistan region. J. Plant Ecol. 3: 91-105. 35-49. (In Persian)
44.Smith, P., Smith, J.U., Powlson, D.S., McGill, W.B., Arah, J.R.M., Chertov, O.G., Coleman, K., Franko, U., Frolking, S., Jenkinson, D.S., Jensen, L.S., Kelly, R.H., Klein-Gunnewiek, H., Komarov, A.S., Li, C., Molina, J.A.E., Mueller, T., Parton, W.J., Thornley, J.H.M. and Whitmore, A.P. 1997. A comparison of the performance of nine soilorganic matter models using datasets from seven long-term experiments. Geoderma. 81: 153-225.
45.Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens. Environ. 8: 127-150.
46.Uttaruk, Y. and Laosuwan, T. 2016. Remote sensing based vegetation indices for estimating above ground carbon sequestration in Orchards. Agric. Forest. 62: 4. 193-201.
47.Yousefi, S., Tazeh, M., Mirzaee, S., Moradi, H.R. and Tavangar, F. 2011. Comparison of different classification algorithms in satellite imagery to produce land use map (Case study: Noor city). J. Appl. RS GIS Tech. Nat. Res. Sci. 2: 15-23.
48.Roujean, J.L. and Breon, F.M. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurement. Remote Sens. Environ. 51: 375-384.
49.Zarrine, A., Naderi Khorasgani, M. and Asadi Brojeni, A. 2012. Estimation of range land cover in Tang Sayad region (Chaharmahal and Bakhtiari province) using IRS-P6LISS-III satellite data. Environ. Sci. 37: 61. 117-130. (In Persian)
50.Ziaeian Firoozabadi, P., Sayyad Bidhendi, L. and Eskandari Node, M. 2009. Preparing a map and estimating the area under rice cultivation in Sari city using radar satellite images. Nat. Geo. Res. 68: 45-58. (In Persian)
51.Zheng, G., Chen, J. and Tian, Q. 2007. Combining remote sensing imagery and forest age inventory. J. Environ. Manage. 85: 3. 616-623.