

Research Article

Agricultural Engineering., 45(2) (2022) 207-224
DOI: 10.22055/AGEN.2023.41633.1643

ISSN (P): 2588-526X

ISSN (E): 2588-5944

Evaluation of the effect of crop rotation on the yield of wheat fields using satellite images

M. Daghlavi¹, M. Ghasemi Nejad Raeini^{2*}, N. Loveimi³ and A. Lotfi Jalal-Abadi⁴

1. MSc Graduated, Department of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani. Iran.
2. Associate professor, Department of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Agriculture Science and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani. Iran.
3. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education center, AREEO, Ahvaz, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agricultura, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

Received: 10 June 2022

Accepted: 19 September 2022

Abstract

Introduction: Achieve more production, efforts should be made to increase yield per hectare. One of the things that play an important role in increasing crop production, disease control, chastity control, improving soil fertility and structure is the implementation of proper crop rotation. Crop rotation increases the efficiency of production and yield through the continuity of soil vegetation, more efficient water use, preservation of soil nutrients, increase of soil organic matter and stability of soil grains, reduction of pests and diseases, and better control of weeds. Also, data collection in the conducted research is done in a traditional way, which is usually difficult, limited and very time-consuming due to the dispersion of farms and their size. In general, obtaining information and collecting statistics on the characteristics of land resources is of particular importance, and on the other hand, obtaining an information bank in this field, without spending extra money, is possible only by using the science of remote sensing. Today, one of the most important topics is the evaluation of spectral indices in terms of their sensitivity to the biophysical characteristics of plants and also the effective factors in the spectral reflections of the crop cover.

Materials and Methods: This study was conducted to investigate the effect of crop rotations on wheat yield using satellite images in three crop years 2017-2018, 2019-2028, 2019-2020 in the fields of Shavor region of Khuzestan province. In this research, all the evaluated images are related to the Sentinel-2 satellite and all these images were obtained from the US Geological Survey website. The satellite images were taken at the flowering stage of wheat, and images without clouds and fog were used on February 25, 2019 (for the year before rotation) and February 19, 2021 (for the year after rotation). Also, for pre-processing and processing and extracting information, SNAP software, Sen2Cor and ENVI plugin were used, respectively. The steps of this research were done in three steps. In the first stage, five plant spectral indices EVI, GNDVI, GARI, NDVI and RVI were evaluated to identify the best index to estimate wheat yield.



The spectral index, which has a higher correlation with the yield of wheat, was chosen as the base index and was used to continue the research. In the second stage, three farms were randomly selected from each rotation to evaluate wheat yield after their application. In this section, variance analysis was performed in the form of a completely random design in three replications (one replication for each farm). The treatments include four alternations of wheat-wheat-wheat, wheat-canola-wheat, wheat-rice-wheat and wheat-clover-wheat. At this stage, the comparison of means was done by Duncan's multi-range test and in the MSTATC software environment. The third stage is the changes in wheat yield in each rotation in two times before and after applying that rotation. For this purpose, the changes of the base spectral index before and after the application of periodicity were set as criteria. For this purpose, the average statistical indices and the dispersion coefficient have been compared before and after applying rotation. At this stage, comparisons were made based on the t-student test. In order to have a high repetition and due to the limitation of the number of farms in this benchmark stage, the pixels of farms were considered.

Results: The results of variance analysis of five studied spectral indices in this research showed that the coefficient of explanation of each of these indices with wheat yield at the time of flowering is NDVI with 76, RVI with 73, GARI with 71, EVI with 60 and GNDVI with 57 respectively. In this research, the NDVI spectral index has the highest correlation, R² of 76%, and the minimum error, RMSE of 0.547 earned. The results showed that the average and the dispersion coefficient of the NDVI spectral index of intervals have a significant difference at the probability level of 1%. So that in terms of the average, the lowest average of the NDVI spectral index is in wheat-rice-wheat rotation with a rate of 0.2650 and the highest average is in the wheat-clover-wheat rotation with a rate of 0.5603. According to the distribution coefficient, the minimum and maximum values belonged to the rotation of wheat-canola-wheat with the rate of 0.0505 and wheat-rice-wheat with the rate of 0.1970. The results of the corresponding comparison before and after the application of each rotation showed that not observing the rotation and wheat cultivation after two crop years led to a 10% decrease and the use of rice in the crop rotation led to a 50% decrease in the NDVI spectral index. Also, the use of rapeseed and clover in crop rotations has led to an increase of 2 and 30% in NDVI spectral index compared to before rotation. The results of the dispersion coefficient of the NDVI spectral index in the time before and after the application of rotation showed that in the continuous cultivation of wheat, the dispersion coefficient due to the decrease in yield uniformity in different parts of the field led to an increase of 27% and in the rotation of wheat-rice-wheat it led to an increase of 152 percentage. However, the distribution coefficient of wheat-canola-wheat rotation and wheat-clover-wheat rotation resulted in a decrease of 57 and 32%, respectively, due to the increase in yield uniformity in different parts of the field.

Conclusion: Heat is one of the strategic products, and the evaluation of different rotations is of particular importance in increasing its yield. In this research, five plant spectral indices EVI, GNDVI, GARI, NDVI and RVI were investigated in order to identify the base index for wheat yield estimation. The results of the analysis of these indices showed that the NDVI spectral index with an explanation coefficient of 76% has the highest correlation with wheat yield. The comparison results of the NDVI spectral index correspondingly in each rotation in two states before and after the rotation showed that the continuous cultivation of wheat in an agricultural land after two crop years led to a 10% decrease in the NDVI spectral index and the use of rice in the wheat-rice rotation leads to a 50% decrease in the NDVI spectral index of wheat; but the use of canola and clover in the rotation of wheat-canola-wheat and wheat-clover-wheat led to an increase of 2% and 30% of NDVI spectral index, respectively. Also, the results of the comparison of the dispersion coefficient of the NDVI spectral index before and after the application of rotation showed that in the continuous cultivation of wheat, the dispersion coefficient increased by 27% due to the decrease in yield uniformity in different parts of the field, and in the wheat-rice-wheat rotation, the dispersion coefficient also as a result of the reduction of yield uniformity in different parts of the farm, it led to an increase of 152

Keywords: *Spectral index, NDVI index, sentinel-2 satellite, rotation, yield changes*

ارزیابی تاثیر تناوب زراعی بر عملکرد مزارع گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

منا دغلاوی^۱، محمود قاسمی نژاد رائینی^{۲*}، نعیم لویمی^۳ و امین لطفی جلال‌آبادی^۴

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران
- ۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران
- ۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
- ۴- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران

چکیده	تاریخچه مقاله
این مطالعه با هدف بررسی تاثیر تناوب‌های زراعی بر عملکرد گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ در منطقه شاوور استان خوزستان و در سه سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷، ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام گردید. نخست پنج شاخص طیفی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج برازش نمودارها نشان داد که شاخص NDVI با R^2 برابر ۷۶ درصد بیشترین همبستگی با عملکرد گندم را دارد. سپس به منظور بررسی تناوب‌های زراعی، ارزیابی‌ها براساس شاخص NDVI در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل چهار تناوب گندم-گندم-گندم، گندم-کلزا-گندم، گندم-برنج-گندم و گندم-شیدر-گندم بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میانگین و ضریب پراکنش NDVI تناوب‌ها در سطح احتمال ۱ درصد با هم اختلاف معنی‌داری دارند، به طوری که از نظر میانگین، کمترین میانگین NDVI در تناوب گندم-برنج-گندم با میزان ۰/۲۶۵۰ و بیشترین میانگین در تناوب گندم-شیدر-گندم با میزان ۰/۵۶۰۳ می‌باشد. همچنین از نظر ضریب پراکنش حداقل و حداکثر مقادیر به ترتیب به تناوب گندم-کلزا-گندم با میزان ۰/۰۵۰۵ و گندم-برنج-گندم با میزان ۰/۱۹۷۰ تعلق داشت. مقایسه متناظر هر تناوب در قبل و بعد از اعمال آن براساس آزمون t-student نشان داد که در تناوب گندم-گندم-گندم و تناوب گندم-برنج-گندم مقدار NDVI به ترتیب ۱۰ و ۵۰ درصد کاهش یافت؛ اما استفاده از کلزا و نیز شیدر در تناوب، به ترتیب منجر به افزایش ۲ و ۳۰ درصد این شاخص شد. همچنین بیشترین افزایش ضریب پراکنش NDVI در دو حالت قبل و بعد از اعمال تناوب، به تناوب گندم-برنج-گندم، با افزایش ۱۵۲ درصد، و بیشترین کاهش آن به تناوب گندم-کلزا-گندم، با کاهش ۵۷ درصد، تعلق داشت.	دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸
	کلمات کلیدی: شاخص‌های طیفی، شاخص NDVI، ماهواره سنتینل-۲، تناوب، تغییرات عملکرد
	* عهده دار مکاتبات Email: ghasemi.n.m@asnrukh.ac.ir

مقدمه

گندم یکی از محصولات استراتژیک و اساسی است که در تامین غذای بشر نقش حیاتی ایفا می کند. به همین دلیل تقریباً یک ششم از کل زمین های زراعی جهان تحت کشت گندم می باشد (۲۵). همچنین با توجه به اینکه افزایش تولید گندم از طریق افزایش سطح زیر کشت دشوار است، لذا برای دستیابی به تولیدات بیشتر باید در راستای افزایش عملکرد در هکتار تلاش کرد. یکی از اقداماتی که در افزایش تولید گیاهان زراعی، کنترل بیماری، کنترل آفات، بهبود حاصل خیزی و ساختار خاک نقش مهمی دارد، اجرای تناوب زراعی مناسب است (۱۰). در واقع تناوب زراعی به توالی کشت گیاهان زراعی مختلف در یک دوره دو یا سه ساله و یا بیشتر که از نظم و ترتیب خاصی برخوردار است، گفته می شود (۱۲). چنانچه کشاورزی به کشت دائمی یک گیاه و حتی اغلب کشت گیاهان یک خانواده گیاهی پردازد. بنا بر دلایل متعدد این طریق کشت اصولی نیست و موجب نقصان تدریجی محصول طی سال های متوالی خواهد شد (۲۶). تناوب زراعی از طریق تداوم پوشش گیاهی خاک، کارآیی بیشتر مصرف آب، حفظ عناصر غذایی خاک، افزایش مواد آلی خاک و ثبات خاکدانه ها، کاهش آفات و بیماری ها و کنترل بهتر علف هرز، باعث افزایش راندمان تولید و عملکرد می گردد (۳۴). طی تحقیقی گزارش شد که گندم می تواند بیشترین عملکرد را پس از یونجه، کلزا، آیش، ذرت، سودان گراس، ذرت سیلویی، کنجد تولید کند. افزایش عملکرد گندم در کشت پس از یونجه و کلزا به ترتیب معادل ۲۴ و ۱۷ درصد بوده است (۲۹). همچنین در تحقیق دیگری گزارش شد که بین نظام های تناوبی گندم-گندم، گندم-کلزا، گندم-جو، گندم-شبدرد اختلاف معنی داری وجود دارد و اجرای این تناوب های زراعی منجر به افزایش عملکرد می شود. در حالت کلی می توان گفت بیشترین عملکرد دانه در بین نظام های تناوبی مربوط به تناوب گندم-کلزا (۵۵۲۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد مربوط به تناوب گندم-گندم (۴۲۹۸ کیلوگرم در هکتار) بود (۲). همچنین

جمع آوری داده ها در این تحقیقات بصورت سنتی و از طریق بازدید میدانی در سطح مزرعه انجام شد که به علت پراکندگی مزارع و وسعت آنها، روش های داده برداری سنتی معمولاً دشوار، محدود و بسیار وقت گیر است. در حالت کلی کسب اطلاعات و جمع آوری آمار و ارقام از ویژگی های منابع زمینی، از اهمیت ویژه ای برخوردار است و از طرفی دستیابی به یک بانک اطلاعات در این زمینه، بدون صرف هزینه اضافه، تنها با بهره گیری از علم سنجش از دور امکان پذیر می باشد (۳). سنجش از دور علم و هنر فناوری کسب اطلاعات درباره یک شی یا پدیده در سطح زمین از طریق تجزیه و تحلیل داده های حاصل به وسیله ابزاری است که در تماس فیزیکی با شی یا پدیده در سطح زمین نباشد. از خصوصیات سنجش از دور می توان به قابلیت تکرارپذیری، فراهم ساختن دید وسیع از یک منطقه، سهل الوصول بودن اطلاعات، دقت بالای اطلاعات حاصله و صرفه جویی در زمان اشاره کرد که استفاده از آن برای تغییرات عملکرد نقاط مختلف مزارع نسبت به سایر روش ها ارجحیت دارد (۱۵).

مهم ترین موضوع در مطالعات سنجش از دور، توجه به دقت های تفکیک مکانی و طیفی سنجنده های مختلف است (۳۰). ماهواره ها و سنجنده های تعبیه شده در آنها معمولاً امواج الکترومغناطیسی را که با سرعت نزدیک به سرعت نور از سوی منبع گسیل می شوند، ثبت می کنند. بیشترین اطلاعاتی که از طریق سنجش از دور جمع آوری می گردد، حاصل کار سنجنده هایی است که در محدوده نوری و مایکروویو طیف الکترومغناطیسی فعالیت می کنند (۲۳). امروزه یکی از مهم ترین موضوعات، ارزیابی شاخص های طیفی بر حسب میزان حساسیت آنها به ویژگی های بیوفیزیکی گیاهان و نیز عوامل موثر در بازتاب های طیفی پوشش محصول است (۱). شاخص های پوشش گیاهی نوع ویژه ای از شاخص های طیفی هستند که برای تحلیل تصاویر ماهواره ای استفاده می شوند. هر یک از شاخص ها با ترکیب باندهای طیفی برای تخمین متغیرهای گوناگونی از خواص

غربی استان خوزستان و یکی از بخش‌های شهرستان کرخه می‌باشد (شکل ۱). از نظر موقعیت جغرافیایی، طول جغرافیایی آن ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی آن ۳۱ درجه و ۵۰ درجه شمالی و همچنین ارتفاع از سطح دریا ۳۲ متر می‌باشد. آب و هوای منطقه، خشک و نیمه خشک می‌باشد و بافت خاک آن سیلتی کلی لوم است. میزان متوسط بارندگی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ این منطقه ۲۰۲ میلی‌متر می‌باشد.

با توجه به کشت‌های آبی در استان خوزستان، چهار تناوب زراعی گندم-گندم-گندم، گندم-کلزا-گندم، گندم-برنج-گندم و گندم-شیدر-گندم که توسط کشاورزان استان اعمال می‌شود، در سه سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷، ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد ارزیابی قرار گرفت.

ماهواره سنتینل-۲

در این تحقیق تمام تصاویر مورد ارزیابی، مربوط به ماهواره سنتینل-۲ بوده و کلیه این تصاویر از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا اخذ گردید.

ماهواره سنتینل-۲ ماهواره مدار قطبی است که ماموریت آن اخذ تصاویر با وضوح بالا برای پایش پدیده‌ها (آب، خاک و پوشش گیاهی)، کشاورزی، مخاطرات طبیعی و محاسبه شاخص‌ها و متغیرهای فیزیکی می‌باشد. این تصاویر با توجه به محدوده طیفی آن‌ها دارای توان تفکیک مکانی متغیر ۱۰ تا ۶۰ متر، توان تفکیک زمانی ۵ روز در استوا و ۳ روز در عرض‌های میانی و همچنین شامل ۱۳ باند در محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه می‌باشد (۲۱). لذا با توجه به توان مکانی و زمانی مناسب این ماهواره و نیز در دسترس بودن تصاویر آن برای کشور ما، در این تحقیق از تصاویر این ماهواره استفاده گردید.

بیولوژیکی گیاهی استفاده می‌شوند (۳۱). شاخص‌های طیفی در سنجش از دور در زمینه‌های مختلف همچون تشخیص پوشش گیاهی، تخمین میزان زیست‌توده یا عملکرد و گاه در زمینه‌های تخصصی‌تر همچون برآورد بقایای محصولات و تشخیص خاک‌ورزی حفاظتی از خاک‌ورزی مرسوم نتایج بهتری داشته‌اند (۷).

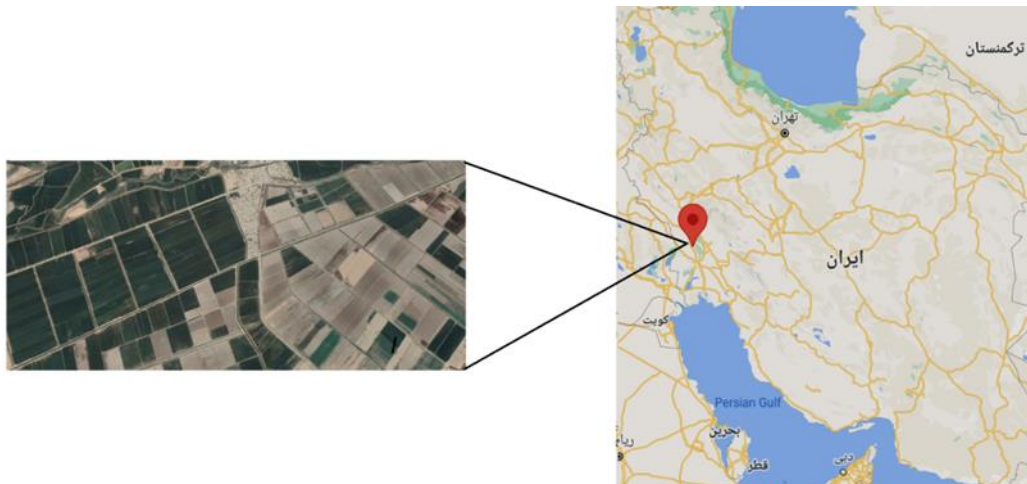
نتایج بررسی شاخص‌های طیفی مستخرج از ماهواره سنتینل-۲ بر پیش‌بینی عملکرد کلزا نشان داد که شاخص طیفی $NDVI^1$ در مرحله رسیدگی سبز بعد از اتمام گل‌دهی، RVI^2 در مرحله سبز قبل از شروع گل‌دهی از میزان همبستگی بیشتری با عملکرد برخوردار می‌باشد (۲۲). در تحقیق دیگری نتایج بررسی ۸ شاخص طیفی مستخرج از ماهواره لندست ۸ نشان داد که که بهترین ارتباط بین شاخص‌های $NDVI$ و $SAVI^3$ با عملکرد گندم به ترتیب با R^2 برابر ۷۲ و ۶۷ درصد، و ضعیف‌ترین ارتباط مربوط به شاخص TVI^4 با عملکرد گندم با R^2 برابر ۲۳ درصد بدست آمد (۱۷). در کل در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص‌های $NDVI$ و EVI^5 برای پایش و مطالعه تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی در سطح گسترده‌ای به کار گرفته می‌شوند (۲۴).

اکنون با توجه به اهمیت نظام‌های تناوب زراعی و نیز دقت مناسب و در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب، این تحقیق با هدف ارزیابی تاثیر تناوب‌های زراعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ بر عملکرد گندم در مزارع استان خوزستان، منطقه شاور، انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به منظور بررسی تاثیر تناوب‌های زراعی بر عملکرد گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مزارع منطقه شاور استان خوزستان انجام شد. این منطقه در شمال

- 1- Normalization Difference Vegetation Index
- 2- Ratio Vegetation Index
- 3- Solid Adjuster Vegetation Index
- 4- Transformed Vegetation Index
- 5- Enhanced Vegetation Index



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکندگی مزارع آن

Figure (1) The location of the study area and the dispersion of its farms

برای انجام عملیات پیش‌پردازش تصاویر ماهواره سنتینل-۲ همچون تصحیحات اتمسفری از برنامه SNAP و افزونه Sen2Cor استفاده شد. این برنامه توسط سایت پشتیبان ماهواره‌های سنتینل برای انجام پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌های سنتینل-۲ ارائه شده است. بعد از آن تصویر در فرمت استاندارد ENVI ذخیره شد تا پس از آن امکان باز کردن تصویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI ممکن گردد. تصاویر ماهواره‌ای بعد از پیش‌پردازش، برای پردازش اصلی آماده می‌شود. در این تحقیق پردازش تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و استخراج اطلاعات آن به وسیله نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام گردید. در نهایت تصویر هر یک از مزارع به طور جدا برش داده شد و میزان کمی هر باند طیفی برای پیکسل‌ها همراه با موقعیت مراکز آن‌ها از طریق نسخه کلاسیک ENVI استخراج شد تا براساس آن شاخص‌های طیفی محاسبه گردند.

مراحل انجام تحقیق

بطور مشخص این تحقیق در سه مرحله به شرح ذیل انجام گردید. تمام تجزیه اعداد این تحقیق در تمام مراحل در محیط برنامه‌های اکسل و نرم‌افزار MSTATC انجام شد.

تعیین شاخص طیفی مبنا

هدف اصلی این مرحله از تحقیق شناسایی شاخص طیفی که همبستگی بیشتری با عملکرد گندم دارد، می‌باشد. در این مرحله پنج شاخص طیفی گیاهی EVI،

زمان برداشت تصاویر ماهواره‌ای

بهترین زمان برای پیش‌بینی عملکرد گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مرحله به گل رفتن گندم است (۳۶). دوره گل‌دهی و پرشدن دانه (گل‌دهی تا رسیدگی) یکی از مراحل بسیار مهم در تعیین عملکرد گندم است. در شرایط مطلوب رطوبتی، افزایش نسبی طول دوره پرشدن دانه‌ها سبب انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها، افزایش وزن هزاردانه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود (۲۷). همچنین در تحقیقی گزارش شد که زمان گل‌دهی برای گندم ۹۵ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت می‌باشد (۱۴). لذا در این تحقیق بهترین زمان برای پیش‌بینی عملکرد گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مرحله به گل رفتن در نظر گرفته شد. با توجه به شرایط و ارقام گندم منطقه شاور و نظر محققان کشاورزی استان خوزستان، اواخر بهمن ماه تا انتهای دهه اول اسفندماه مرحله گل‌دهی گندم می‌باشد، لذا با توجه به تصاویر اخذ شده توسط ماهواره در این منطقه و در این محدوده زمانی، در این تحقیق از تصاویر فاقد ابر و مه در تاریخ ۲۵ فوریه ۲۰۱۹ (برای سال قبل از اعمال تناوب) و ۱۹ فوریه ۲۰۲۱ (برای سال بعد از اعمال تناوب) استفاده شد.

پیش‌پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکسری عملیات روی داده‌های خام انجام شد. این عملیات شامل تصحیح خطاهای رادیومتر و اتمسفری می‌باشند.

تصاویر ماهواره، با توجه به رابطه رگرسیون ساده، میزان همبستگی عملکرد و شاخص‌های طیفی محاسبه گردید. برای ارزیابی نتایج از شاخص‌های آماری ضریب تبیین^۳ و ریشه میانگین مربعات خطا^۴ استفاده شد. لذا با توجه به این شاخص‌های آماری، شاخص طیفی که بیشترین همبستگی و کمترین خطا در برآورد عملکرد گندم داشته، به عنوان شاخص مبنا برای ادامه تحقیق استفاده گردید.

ارزیابی تناوب‌ها بعد از اعمال آنها

در مرحله دوم برای ارزیابی تناوب‌ها بر عملکرد گندم در زمان بعد از اعمال آنها، از هر تناوب سه مزرعه بصورت تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، هر مزرعه یک تکرار، انجام شد. تیمارها شامل چهار تناوب گندم-گندم-گندم-گندم-کلزا-گندم، گندم-برنج-گندم و گندم-شدر-گندم می‌باشند. در این مرحله مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در محیط نرم‌افزار MSTATC انجام شد.

شاخص طیفی مبنا که در مرحله اول شناسایی شده، ملاک ارزیابی‌ها در این مرحله قرار گرفت. همچنین از شاخص‌های آماری میانگین و ضریب پراکنش برای ارزیابی تناوب‌های مورد مطالعه استفاده شد. در این مرحله سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (تصاویر ۱۹ فوریه ۲۰۲۱) که مربوط به بعد از اعمال تناوب است، ملاک ارزیابی قرار گرفت.

^۱GNDVI، ^۲GARI، NDVI و RVI جهت شناسایی بهترین شاخص جهت برآورد عملکرد گندم مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱). این شاخص‌ها در کشورها و مناطق مختلف برای برآورد عملکرد گندم مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند (۱۷، ۱۶، ۱۱) و با توجه به شرایط هر منطقه و نیز شرایط تحقیق، یک شاخص از آنها نتایج بهتری داشته است. با وجود این که در اکثر مناطق شاخص NDVI رابطه بهتری با عملکرد گندم داشته است ولی در بعضی منابع شاخص RVI (۶)، و در برخی منابع دیگر شاخص EVI (۲۴) نتایج بهتری کسب کرده‌اند. لذا در این مرحله از هر تناوب ۱۰ مزرعه واقع در منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. در این تحقیق با توجه به پیمایش میدانی، زمین‌هایی برای هر تناوب انتخاب شدند که شرایط نزدیک به هم از نظر خاک، روش مکانیزه تهیه زمین و کاشت، تغذیه و سایر عوامل داشته باشند تا عامل تاثیر تناوب با کمترین خطا مورد بررسی قرار گیرد. جهت شناخت شرایط مزارع انتخابی و عملکرد گندم آنها از پرسش‌نامه استفاده گردید. پرسش‌نامه بصورت پیمایشی در محل مزارع مورد نظر تکمیل گردید. این پرسش‌نامه شامل اطلاعات فردی، محصولاتی که سال قبل کشت شده، عملکرد گندم و همچنین ثبت موقعیت جغرافیایی مزارع بود. از طرف دیگر تصاویر ماهواره‌ای در زمان گل‌دهی گندم برای همه مزارع مورد نظر اخذ شد و عملیات پیش‌پردازش و پردازش آنها انجام گردید (شکل ۲) و در نهایت پنج شاخص طیفی مورد ارزیابی برای هر یک از مزارع انتخابی محاسبه گردید. در این مرحله مبنای عملکرد مزارع، سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و نیز تصاویر مرتبط با آن (تصاویر ۱۹ فوریه ۲۰۲۱) در نظر گرفته شد. اکنون با داشتن عملکرد گندم هر مزرعه که از طریق پرسش‌نامه بدست آمده و مقادیر شاخص‌های طیفی استخراج شده از

3- R2

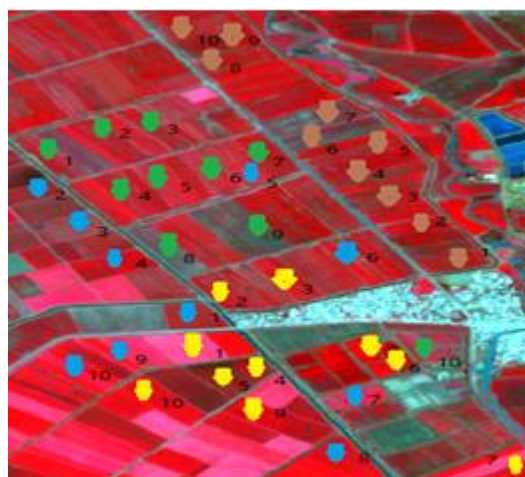
4- RMSE

1- Green Normalization Difference Vegetation Index
2- Green Atmospherically Resilient Index

جدول (۱) شاخص‌های طیفی مورد مطالعه در مرحله اول این تحقیق برای برآورد عملکرد گندم

Table (1) The studied spectral indices in the first stage of this research for wheat yield prediction

شاخص گیاهی Index	اختصار Acronym	رابطه Equation	منبع Reference
شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده Enhanced Vegetation Index	EVI	$2.5(NIR - Red) / [(NIR + 6Red - 7.5Blue + 1)]$	(۱۳)
شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده سبزیگی Green Normalization Difference Vegetation Index	GNDVI	$(NIR - Green) / (NIR + Green)$	(۵)
شاخص جوی انعطافی سبزیگی Green Atmospherically Resilient Index	GARI	$[NIR - (Green - (Blue - Red))] / [NIR + (Green - (Blue - Red))]$	(۱۱)
شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده Normalization Difference Vegetation Index	NDVI	$(NIR - Red) / (NIR + Red)$	(۲۸)
شاخص نسبت پوشش گیاهی Ratio Vegetation Index	RVI	NIR / Red	(۶)



شکل (۲) موقعیت مزارع تناوبی مورد ارزیابی در این تحقیق

سبز: گندم-گندم-گندم، زرد: گندم-کلزا-گندم، آبی: گندم-شیدر-گندم، قهوه‌ای: گندم-برنج-گندم

Figure (2) The location of rotation farms evaluated in this research

Green: wheat-wheat-wheat, Yellow: wheat-canola-wheat, Brown: wheat-rice-wheat, Blue: wheat-clover-wheat

مقایسه متناظر قبل و بعد از اعمال هر تناوب

در مرحله سوم، هدف مقایسه تغییرات عملکرد گندم در هر تناوب در دو زمان قبل و بعد از اعمال آن تناوب است. برای این منظور تغییرات شاخص طیفی مبنا در قبل و بعد از اعمال تناوب ملاک قرار گرفت. برای این کار شاخص‌های آماری میانگین و ضریب پراکنش در قبل و

بعد از اعمال تناوب مقایسه شده‌اند. در این مرحله مقایسه‌ها براساس آزمون t-student انجام شد. برای داشتن تکرار زیاد و به دلیل محدودیت تعداد مزارع تناوب در منطقه خصوصاً تناوب گندم-شیدر-گندم، در این مرحله ملاک، پیکسل‌های مزارع در نظر گرفته شد. بدین شکل از هر تناوب یک مزرعه، انتخاب گردید و

میانگین، کمترین میانگین شاخص طیفی NDVI در تناوب گندم-برنج-گندم با میزان ۰/۲۶۵۰ و بیشترین میانگین در تناوب گندم-شیدر-گندم با میزان ۰/۵۶۰۳ می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده بکارگیری برنج در تناوب زراعی باعث کاهش میانگین شاخص طیفی NDVI شده است. کاشت برنج قبل از گندم منجر به کاهش کربن آلی، تخریب ساختمان خاک و در نهایت منجر به کاهش عملکرد در سطح مزرعه می‌شود (۸). همچنین نتایج این تحقیق نشان داد بکارگیری شیدر در تناوب موجب افزایش میانگین شاخص طیفی NDVI گردیده است. استفاده از شیدر در تناوب گندم منجر به بهبود شاخص کیفیت خاک می‌شود، و به عنوان تناوب مناسب، در جهت افزایش عملکرد می‌باشد (۸). همچنین شکل ۵ مقایسه ضریب پراکنش بعد از اعمال تناوب را نشان می‌دهد. به طوری که از نظر ضریب پراکنش حداقل و حداکثر مقادیر به ترتیب به تناوب گندم-کلزا-گندم با میزان ۰/۰۵۰۵ و گندم-برنج-گندم با میزان ۰/۱۹۷۰ تعلق داشت.

با توجه به شکل ۴ میزان شاخص طیفی NDVI در استفاده از تناوب کلزا نسبت به کشت مداوم گندم حدود ۱۱ درصد، و نیز در بکارگیری تناوب شیدر نسبت به کشت مداوم گندم حدود ۱۴ درصد افزایش یافت. در تحقیقی گزارش شد که عملکرد گندم بعد از کلزا در مقابل کشت مداوم گندم منجر به افزایش ۱۷ درصد می‌شود (۲۹). همچنین در تحقیق دیگری گزارش شد که عملکرد گندم بعد از شیدر در مقابل کشت مداوم گندم منجر به افزایش حدود ۱۰ درصد می‌شود (۲). همچنین در شکل ۴ شاخص طیفی NDVI در استفاده از تناوب برنج نسبت به کشت مداوم گندم حدود ۴۰ درصد کاهش یافت. در تحقیقی که در استان خوزستان انجام شده، کاهش عملکرد گندم بعد از کاشت برنج مورد تایید قرار گرفته است (۲۰).

شاخص طیفی مبنا برای ۸۰ پیکسل از میانی هر مزرعه در دو زمان قبل و بعد از اعمال تناوب استخراج شد تا مورد مقایسه قرار گیرند. در این مرحله سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ (سال قبل از اعمال تناوب، تصویر ۲۵ فوریه ۲۰۱۹) و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (سال بعد از اعمال تناوب، تصویر ۱۹ فوریه ۲۰۲۱) ملاک ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

شاخص طیفی مبنا

نتایج تجزیه واریانس پنج شاخص طیفی مورد مطالعه در این تحقیق نشان داد که ضریب تبیین هر یک از این شاخص‌ها با عملکرد گندم در زمان گل‌دهی به ترتیب به شاخص طیفی NDVI با ۷۶، RVI با ۷۳، GARI با ۷۱، EVI با ۶۰ و GNDVI با ۵۷ درصد تعلق داشت. در این تحقیق شاخص طیفی NDVI بیشترین میزان همبستگی، R^2 به میزان ۷۶ درصد، و حداقل خطا، RMSE به میزان ۵۴۷/۰ را کسب نمود (شکل ۳-الف). لذا این شاخص به عنوان شاخص مبنا برای ادامه تحقیق شناخته شد. نتایج این تحقیق با نتایج کمالی و همکاران^۱ (۱۳۹۷) که گزارش کردند که شاخص طیفی NDVI با مقدار R^2 برابر ۷۲ درصد بهترین برآورد را برای عملکرد گندم می‌دهد، همخوانی دارد. همچنین با نتایج ثنائی‌نژاد و همکاران^۲ (۱۳۹۲) که گزارش کردند که شاخص طیفی NDVI با مقدار R^2 برابر ۷۹ بهترین شاخص طیفی برای برآورد عملکرد گندم است، نیز مطابقت می‌کند.

ارزیابی تناوب‌ها بعد از اعمال آنها

نتایج تجزیه واریانس میانگین و ضریب پراکنش شاخص طیفی NDVI بعد از اعمال تناوب در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میانگین و ضریب پراکنش شاخص طیفی NDVI تناوب‌ها در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. شکل ۴ مقایسه میانگین شاخص طیفی NDVI بعد از اعمال تناوب زراعی را نشان می‌دهد. به طوری که از نظر

1- Kamali *et al.*

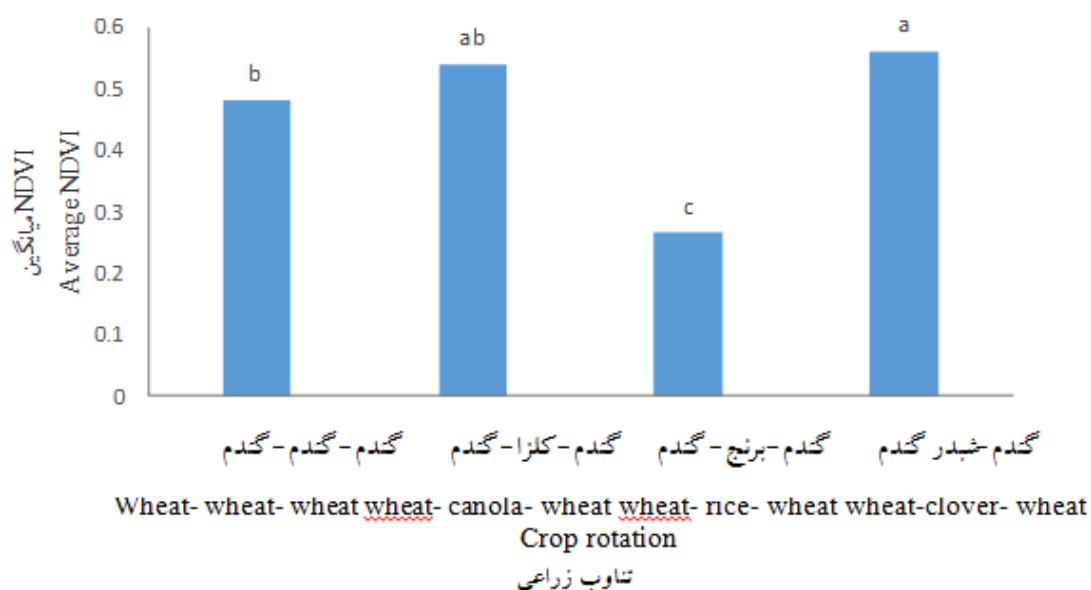
2- Sanai nejad *et al.*

جدول (۲) تجزیه واریانس میانگین و ضریب پراکنش برای شاخص طیفی NDVI بعد از اعمال تناوب زراعی
 Table (2) Variance analysis of average and coefficient of variation for NDVI spectral index after applying crop rotation

میانگین مربعات (MS)		درجه آزادی (df)	منبع تغییرات Source of variation
ضریب پراکنش Coefficient of variation	میانگین Average		
0.0136**	0.0546**	3	تیمار (تناوب) Treatment (Rotation)
0.0009	0.0017	8	اشتباه آزمایشی Error
28.4	8.9		ضریب تغییرات Coefficient of variation

**significant at the 1%

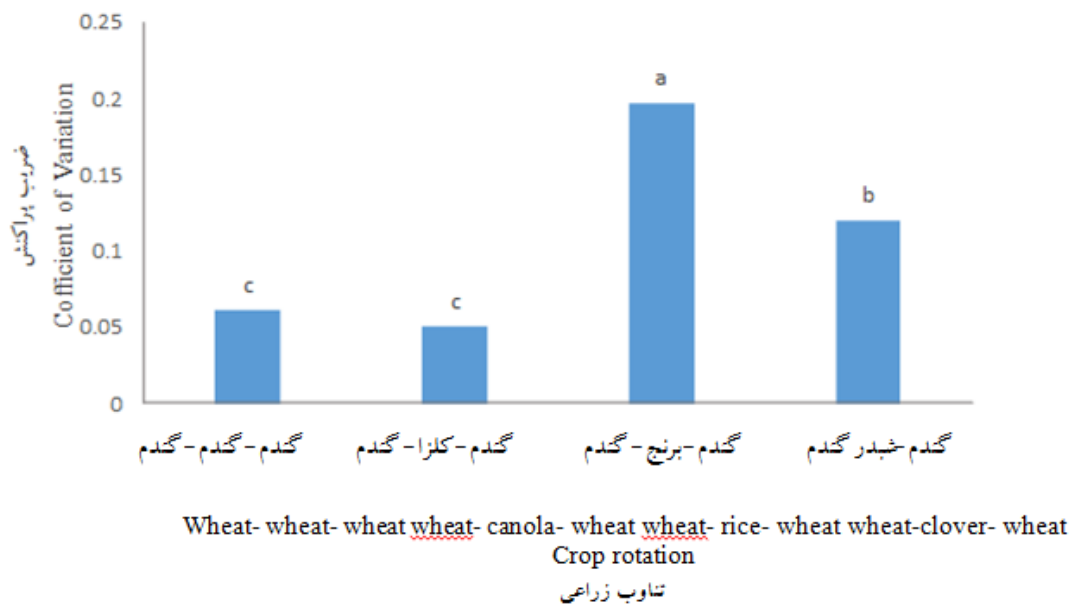
**در سطح ۱ درصد معنی دار است.



شکل (۴) مقایسه میانگین شاخص طیفی NDVI بعد از اعمال تناوب زراعی

Figure (4) Comparison average spectral index NDVI after applying crop rotation

دغلاوی و همکاران: ارزیابی تاثیر تناوب زراعی بر عملکرد...



شکل (۵) مقایسه ضریب پراکنش شاخص طیفی NDVI بعد از اعمال تناوب زراعی

Figure (5) Comparison of coefficient of variation of spectral index NDVI after applying crop rotation

عوامل انتخاب کلزا در تناوب گندم برخوردار از مزیت‌های تغذیه‌ای، زراعی و کنترل علف‌های هرز می‌باشد که منجر به افزایش عملکرد می‌شود (۳۵). در بررسی سایر تحقیقات گزارش گردید که استفاده از کلزا در تناوب ضمن افزایش پوشش گیاهی و عملکرد منجر به افزایش ماده آلی خاک، بهبود ساختار خاک و عمیق شدن خاک سطحی می‌شود (۱۸). شکل ۶-پ نمودارهای مربوط به میانگین NDVI در تناوب گندم-برنج-گندم در دو حالت قبل و بعد از تناوب را نشان می‌دهد، به طوری که میانگین شاخص طیفی NDVI بعد از اعمال تناوب از ۰/۵۲۷۷ به ۰/۲۶۵۰ کاهش یافت. در این بررسی مشخص گردید که استفاده از تناوب برنج در زمین‌های زراعی منجر به کاهش ۵۰ درصد شاخص طیفی NDVI نسبت به قبل از تناوب شده است. به نظر می‌رسد که این کاهش میانگین به دلیل استفاده از تناوب برنج است. برنج منجر به کاهش کربن آلی خاک، تخریب ساختمان خاک و در نتیجه کمتر شدن عملکرد می‌شود (۳۴). استفاده از برنج در تناوب سبب ایجاد ساختار ضعیف برای خاک و تشکیل لایه سخت زیرین

مقایسه متناظر قبل و بعد از اعمال هر تناوب

در شکل ۶ مقایسه متناظر میانگین شاخص طیفی NDVI برای هر تناوب در قبل و بعد از اعمال هر تناوب ارائه شده است. شکل ۶-الف نمودار مربوط به میانگین NDVI در تناوب گندم-گندم-گندم در دو حالت قبل و بعد از اعمال تناوب را نشان می‌دهد، به طوری که میانگین شاخص طیفی NDVI از ۰/۵۲۵۳ به ۰/۴۷۱۷ کاهش یافت. به نظر می‌رسد این کاهش مربوط به کشت مداوم گندم در یک زمین زراعی است (۲). نتایج این بررسی نشان داد که عدم رعایت تناوب و کشت گندم پس از دو سال زراعی منجر به کاهش ۱۰ درصد شاخص طیفی NDVI شده است. شکل ۶-ب نمودار مربوط به میانگین NDVI در تناوب گندم-کلزا-گندم در دو حالت قبل و بعد از تناوب را نشان می‌دهد، به طوری که میانگین شاخص طیفی NDVI بعد از اعمال تناوب کلزا با افزایش جزئی از ۰/۵۳۰۰ به ۰/۵۳۹۷ تغییر یافت. در این بررسی مشخص گردید که استفاده از کلزا در تناوب‌های زراعی منجر به افزایش ۲ درصد شاخص طیفی NDVI نسبت به قبل از تناوب شده است. به نظر می‌رسد که یکی از

این بررسی مشخص گردید که ضریب پراکنش در اثر کشت برنج در تناوب منجر به افزایش ۱۵۲ درصدی شد. شکل ۷-ت نمودارهای مربوط به ضریب پراکنش در تناوب گندم-شیدر-گندم در قبل و بعد از اعمال تناوب را نشان می‌دهد. ضریب پراکنش در اثر اعمال تناوب کمتر شده است. مقدار ضریب پراکنش در این تناوب از ۰/۱۷۶۰ به ۰/۱۱۹۷ کاهش یافت. در این بررسی مشخص گردید که ضریب پراکنش در اثر کشت شیدر در تناوب منجر به کاهش ۳۲ درصدی شد.

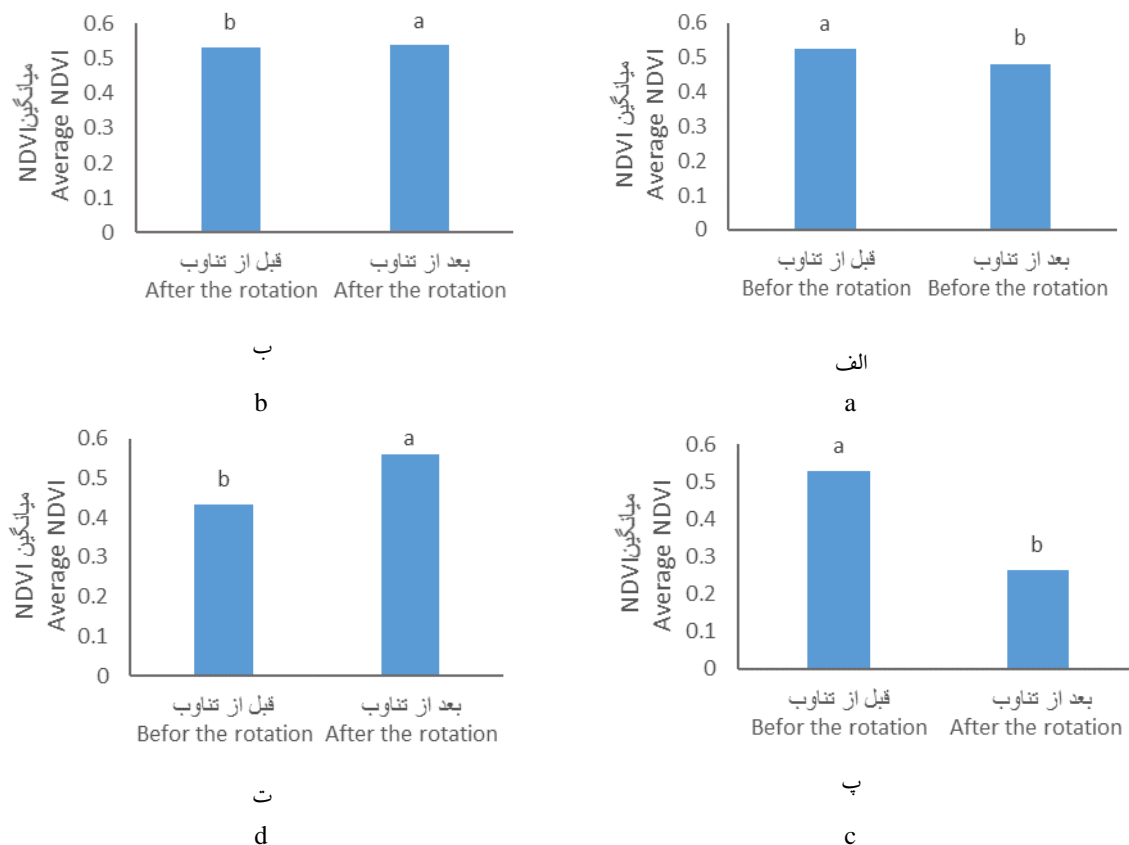
بطور کلی افزایش عملکرد منتج از این است که نقاط ضعیف که در سال قبل از اعمال تناوب مناسب، عملکرد پایینی داشتند، با افزایش عملکرد روبرو شوند. این مسئله در نقاط قوی و با عملکرد بالاتر نیز رخ می‌دهد ولی با توجه به قانون بازده نزولی^۱ درصد این افزایش کمتر است و در نتیجه میزان عملکرد نقاط به هم نزدیک می‌شوند. لذا بطور منطقی افزایش عملکرد در بکارگیری تناوب شیدر و نیز کلزا منجر به کاهش ضریب پراکنش و افزایش یکنواختی عملکرد نقاط در مزرعه شده است. در مقابل و بطور عکس، در استفاده از تناوب برنج و نیز کشت مداوم گندم، با توجه به کاهش عملکرد در آنها، افزایش ضریب پراکنش و کاهش یکنواختی عملکرد در نقاط مزرعه رخ داده است.

می‌گردد (۳۵). شکل ۶-ت نمودارهای مربوط به میانگین NDVI در تناوب گندم-شیدر-گندم در دو حالت قبل و بعد تناوب را نشان می‌دهد، به طوری که میانگین شاخص طیفی NDVI از ۰/۴۳۱۷ به ۰/۵۶۰۳ افزایش یافت. در این بررسی مشخص گردید که استفاده از تناوب شیدر در زمین‌های زراعی منجر به افزایش ۳۰ درصد شاخص طیفی NDVI نسبت به قبل از تناوب شده است. به نظر می‌رسد که این افزایش میانگین به دلیل استفاده از تناوب شیدر است. زیرا شیدر به عنوان گیاه علوفه‌ای و درمان‌گر خاک شناخته می‌شود (۲). استفاده از شیدر در تناوب منجر به بهبود شاخص‌های کیفیت خاک، بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله جرم مخصوص ظاهری خاک، افزایش مواد آلی خاک و در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌شود (۱۸، ۳۵).

در شکل ۷ مقایسه متناظر ضریب پراکنش شاخص طیفی NDVI برای هر تناوب در قبل و بعد از اعمال آن ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شکل ۷-الف نمودارهای مربوط به ضریب پراکنش در تناوب گندم-گندم-گندم در دو حالت قبل و بعد از تناوب را نشان می‌دهد. ضریب پراکنش در قبل و بعد از تناوب به ترتیب ۰/۴۸۱۷ و ۰/۶۱۰۷ بدست آمده است. در این بررسی مشخص گردید که ضریب پراکنش در اثر کشت مداوم گندم، منجر به افزایش ۲۷ درصدی شد. شکل ۷-ب نمودارهای مربوط به ضریب پراکنش در تناوب گندم-کلزا-گندم در قبل و بعد از اعمال تناوب را نشان می‌دهد. ضریب پراکنش در اثر اعمال تناوب کلزا از ۰/۱۱۹۳ به ۰/۰۵۰۵ کاهش یافت. بدین شکل که مقادیر ضریب پراکنش در اثر تناوب کلزا کمتر شد. در این بررسی مشخص گردید که ضریب پراکنش در اثر کشت کلزا در تناوب منجر به کاهش ۵۷ درصد شد. شکل ۷-پ نمودارهای مربوط به ضریب پراکنش در تناوب گندم-برنج-گندم در قبل و بعد از اعمال تناوب را نشان می‌دهد. ضریب پراکنش بعد از اعمال تناوب بیشتر گردید و مقدار آن از ۰/۷۸۹۷ به ۰/۱۹۷۰ تغییر یافت. در

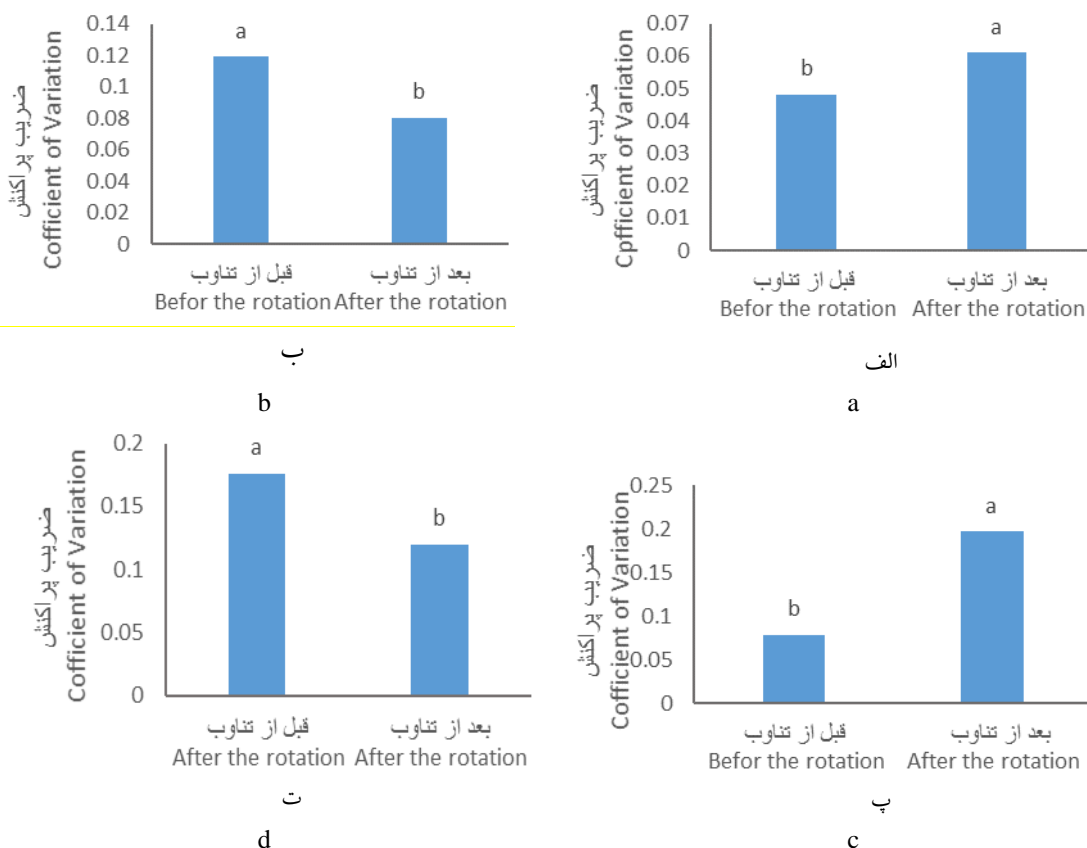
1- The law of diminishing returns)

دغلاوی و همکاران: ارزیابی تاثیر تناوب زراعی بر عملکرد...



شکل (۶) مقایسه میانگین شاخص طیفی NDVI در دو حالت قبل و بعد از اعمال تناوب: الف) تناوب گندم-گندم-گندم ب) تناوب گندم-کلزا-گندم پ) تناوب گندم-برنج-گندم ت) تناوب گندم-شیدر-گندم

Figure (6) Comparison of the average spectral index NDVI in two cases before and after the rotation: a) wheat-wheat-wheat rotation b) wheat-canola-wheat rotation c) wheat-rice-wheat rotation d) wheat-clover-wheat rotation



شکل (۷) مقایسه ضریب پراکنش شاخص طیفی NDVI در دو حالت قبل و بعد از اعمال تناوب: الف) تناوب گندم- گندم- گندم

ب) تناوب گندم- کلزا- گندم پ) تناوب گندم- برنج- گندم ت) تناوب گندم- شبدر- گندم

Figure (7) comparison of the coefficient of variation spectral index NDVI in two cases before and after the rotation: a) wheat-wheat-wheat rotation b) wheat-canola-wheat rotation c) wheat-rice-wheat rotation d) wheat-clover-wheat rotation

میانگین شاخص طیفی NDVI در تناوب گندم-برنج-گندم با میزان ۰/۲۶۵۰ و بیشترین میانگین در تناوب گندم-شبدر-گندم با میزان ۰/۵۶۰۳ می باشد. همچنین از نظر ضریب پراکنش حداقل و حداکثر مقادیر به ترتیب به تناوب گندم-کلزا-گندم با میزان ۰/۰۵۰۵ و گندم-برنج-گندم با میزان ۰/۱۹۷۰ تعلق داشت. نتایج مقایسه شاخص طیفی NDVI بصورت متناظر در هر تناوب در دو حالت قبل و بعد از تناوب نشان داد که کشت مداوم گندم در یک زمین زراعی پس از دو سال زراعی منجر به کاهش ۱۰ درصد شاخص طیفی NDVI و استفاده از برنج در تناوب گندم-برنج-گندم منجر به کاهش ۵۰ درصد شاخص طیفی NDVI گندم می گردد؛ اما استفاده از کلزا و شبدر در تناوب گندم-کلزا-گندم و گندم-شبدر-گندم به ترتیب منجر به افزایش ۲ و ۳۰ درصد شاخص

نتیجه گیری

گندم از جمله محصولات استراتژیک می باشد که ارزیابی تناوب های مختلف در افزایش عملکرد آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این تحقیق پنج شاخص طیفی گیاهی NDVI، GARI، GNDVI، EVI و RVI جهت تشخیص شاخص مبنای برآورد عملکرد گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی این شاخص ها نشان داد که شاخص طیفی NDVI با ضریب تبیین ۷۶ درصد بیشترین میزان همبستگی با عملکرد گندم را دارد. همچنین نتایج تجزیه واریانس میانگین و ضریب پراکنش شاخص طیفی NDVI بعد از اعمال تناوب ها نشان داد که میانگین و ضریب پراکنش شاخص طیفی NDVI تناوب ها در سطح احتمال ۱ درصد با هم اختلاف معنی داری دارند. به طوری که از نظر میانگین، کمترین

یکنواختی پوشش گیاهی و عملکرد در قسمت‌های مختلف مزرعه به ترتیب منجر به کاهش ۵۷ و ۳۲ درصدی گردید. در حالت کلی نتایج ارزیابی مزارع با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که در اثر اعمال تناوب مناسب، مقدار شاخص طیفی NDVI در بعد از اعمال تناوب، بیشتر و ضریب پراکنش آن کمتر می‌شود. همچنین در اثر اعمال تناوب نامناسب، مقدار شاخص طیفی NDVI در بعد از اعمال تناوب، کمتر، و ضریب پراکنش آن بیشتر می‌گردد.

طیفی NDVI شد. همچنین نتایج مقایسه ضریب پراکنش شاخص طیفی NDVI در زمان قبل و بعد از اعمال تناوب نشان داد که در کشت مداوم گندم ضریب پراکنش در اثر کاهش یکنواختی پوشش گیاهی و عملکرد در قسمت‌های مختلف مزرعه، منجر به افزایش ۲۷ درصدی و در تناوب گندم-برنج-گندم نیز ضریب پراکنش در اثر کاهش یکنواختی پوشش گیاهی و عملکرد در قسمت‌های مختلف مزرعه، منجر به افزایش ۱۵۲ درصدی شد. اما ضریب پراکنش تناوب گندم-کلزا-گندم و تناوب گندم-شبدر-گندم در اثر افزایش

References

1. Alavipanah, S., Ehsani, A., Metinfar, H., Rafiei, A., Amiri, R. 2017. Comparison of information content of TM and ETM + sensor bands in desert and urban environments of Iran. *Geography research*. 38 (1): 56_ 65.
2. Akbarimoghadam, H., Ghalavi, M., Ghanbarinajar, A., Rostami, H., Kohkan, S. H. A., Podineh, A., Akbarimoghadam, A. and Lakzaei, M. 2010. Effect of crop rotation systems and levels of nitrogen fertilizer on wheat yield in the Sistan region. *Proceeding of the 11th Iranian Crop Science Congress*. Shahid Beheshti University. 24-26 July, Tehran, Iran.
3. Alizadeh Rabie, H. 2014. *Remote Sensing (Principles and Application)*. Samt Press. Tehran.
4. Aghapour Sabbaghi, M., Rafiei, H. 2019. The effect of optimal crop rotation on farmers income stability and *Agricultural Economics Research Journal*.2(1)
5. Buschmann, C., and E. Nagel. 1993. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing* 14: 711-722.
6. Birth, G. S., and G. R. McVey. 1968. Measuring color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal* 60: 640-649.
7. Fatemi, B., and Rezaei, Y. (2006). *Basic of Remote Sensing*. Azade publication. 257 p.
8. Froughifar H, Jafarzadah AA, Torabi Gelsefidi H and Aliasgharzadah N, 2012. Effect of different landforms on spatial variability and frequency distribution of soil diological dropties in Tabriz plain. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 21(4): 35-52.
9. Franch, B., Vermote, E.F., Becker-Reshef, I., Claverie, M., Huang, J., Zhang, J., Justice, C. and Sobrino, J.A. (2015). Improving the timeliness of winter wheat production forecast in the United States of America, Ukraine and China using MODIS data and NCAR Growing Degree Day information. *Remote Sensing of Environment* 161 (2015): 131- 148.
10. Freebairn, D. M., R. J. Loch and A. L. Cagle. 1993. Tillage methods and soil water conservation in Australia. *Soil and Tillage Research* 27: 303-325
11. Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman, R. Stark, and D. Rundquist. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetative fraction. *Remote Sensing of Environment* 80: 76-87.

12. Ghafari, A. 2012. Studying the rotation of Sardari wheat with oilseed sunflower, chickpea and fallow under dry conditions. *Seedling and Seed Scientific Research Journal*. 18 (2): 143-150.
13. Huete, A. R., C. Justice, and W. Van Leeuwen. 1996. MODIS vegetation index (mod13). Algorithm theoretical basis document. Version 2. NASA Goddard Space Flight Center. Washington D. C.
14. Jafarizadeh, Sh. 2013. Agricultural insurance. Agricultural characteristics of bread wheat varieties in Khuzestan province <http://agribim.blogfa>.
15. Jaranoush, M H., Broumand Nesab, S., Naseri, A A., Pakparvar, M., taghvaian, s. 2018. Application of remote sensing index in estimating crown cover, biomass and wheat cultivation date. *Iran Irrigation and Drainage Journal*. 14 (1): 204-193
16. Kim, D and Kaluarachchi, J. 2015. Validating FAO AquaCrop using Landsat images and regional crop information. *Agricultural Water Management*. 149: 143-155.
17. Kamali, L., Kaviani, A., Nazari, B. and Liaqat, A.M. 2017. Determining wheat yield using Landsat 8 satellite images (case study: Mughan plain). *Iran water and soil research*. 49(1): 1031_1051.
18. Karnieli A, Bayasgalan M, Bayarjargal Y, Agam N, Khudulmur S, Tucker C. 2006. Comments on the use of the vegetation health index over Mongolia. *International Journal of Remote Sensing*, 27(10): 2017-2024.
19. LotfAli Aineh, G A., Asadi, H., Gusheh, M.A, Mousavi fazl, M H., Dehghani, A., Pouradar, R., Gilani, A A., Khawaja Azadeh, Y., Hamuleh Shalal, H. 2013. Agricultural and economic survey of the impact of crop rotation in South Khuzestan. Research institute for improvement and preparation of seedlings and seeds. Karaj. Iran.
20. Lotfa Ali Aineh, G., Asadi, H., Gusheh, M., Mousavifazl, M., Dehghani, A., Pourader, R., Gilani, A., Khajeh Azadeh, Y., Hamuleh Shelal, H. 2013. Agricultural and economic survey of the impact of crop rotation in South Khuzestan. Research institute for improvement and preparation of seedlings and seeds. Karaj. Iran.
21. Languille, F., A. Gaudel1, B. Vidal, R. Binet, V. Poulain, and T. Trémas, 2017. Sentinel-2B Image Quality commissioning phase results and Sentinel2 constellation performances. Conference on Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XXI Location: Warsaw, POLAND Date: SEP 11-14, 2017.
22. Loveimi, N., Asadullah, A., Bagheri, N. and Haji Ahmad, A. 2018. Evaluation of several spectral indices to estimate the yield of rapeseed using Centile_2 sensor images. *Agricultural machinery engineering department. University of Tehran*. 11 (2): 464-480.
23. Mubasheri, M. 2015. Basics of physics in remote sensing and satellite technology. Khwaja Nasiruddin Tusi University.
24. Matinfar, H.R. 2013. Modeling wheat yield estimation base upon spectral data and field measurement, case study: Razan plain, Iran. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*. 17(3): 2123-2130.
25. Mohammadi, E, Kamkar, B., and Abdi, O. (2015). Comparison of geostatistical- and remote sensing data-based methods in wheat yield predication in some of growing stages (A case study: Nemooneh filed, Golestan province). *Electronic journal of crop production*. Vol. 8(2) Page 51-76.
26. Mazaheri, D. and N. Majnonhosseini. 2003. *Fundamental of agronomy*. Tehran University Press. 320 pp.
27. Reynolds, M. P., Delgado, m. I., Gutierrez-Rosriguez, M., Lague-Saavedra, A., 2000. Photosynthesis of Wheat and Warm, irrigated environment. I. genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research*, 66:37-50.

28. Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium, NASA SP-351 I: 309-317. Washington D. C. USA.
29. Siadat, S.A., Sadeghzadeh Hamaiti, S., Fathi, Q.A. and Abdali Mashhadi, AR. 2018. Determining the most suitable crop rotation system for Ahvaz region. *Journal of Agricultural Sciences*: 11 (2): 174-190.
30. Sakamoto, T., Yokozawa, M., Toritani, H., Shibayama, M., Ishitsuka, N. and Ohno, H. 2005, A crop phenology detection method using time-series MODIS data, *Remote Sensing of Environment*. 96(3): 366-374.
31. Solaimani, K., Shokrain, F., Tamartash, R., and Banihashemi, M. 2001. Landsat ETM+ based assessment of vegetation indices in highland environment. *Journal of Advances in Developmental Research*, 4(7): 2_79.
32. Sanai nejad, H., Astarai, A., Mir hosseini, P., Agriculture, A., Ghaemi, M. 2018. Using satellite images for vegetation. Fifth National Congress. Ferdowsi University of Mashhad.
33. Siadat, S A., Sadeghzadeh Hamaiti, S., Fathi, Q E. Abdali Mashhadi, A. 2018. Determining the most suitable crop rotation system for Ahvaz region. *Journal of Agricultural Sciences*: 11 (2): 174-192.
34. Zare Faizabadi, A. and Azizi, M. 2012. The effect of different crop rotations on yield in the cold climate of Razavi Khorasan. *Journal of Seedling and Seed Agriculture*, 261-275: 28.
35. Zare, Sh., Zare Faizabadi, A., Siyohi, M. 2013. Reviewing the yield and economic analysis of wheat-based crop rotation systems. *Seedling and seed cultivation magazine*. 2_30(1): 33_45.
36. Ziloui, N., Ahmadi, A., Bagheri Dehabadi, M., Mohammad Murad Tarem, H., Nouri, J. 2013. Importance of flowering and grain filling stages in increasing wheat yield. The first international congress and the 13th national congress of agricultural science and plant breeding and the third congress of seed science and technology. Karaj.
37. Zahirnia, A., H. R. Matinfar, and M. Zinvand. 2016. Prediction of canola yield base on Landsat-8 in west south of Khouzeestan province. 4th International conference on applied research in agricultural sciences. Tehran.