

Identification and Determination of Wheat Cultivated Farms Using Vegetation Index Reflectance Changes and Spatial Analysis in Western of Iran

SEYED HOSSEIN MIR MOUSAVI¹, KOUHZAD RAISPOUR¹, MOHAMMAD KAMANGAR^{*1}, ALIREZA KARBALAYY²

1- Department of Climatology, Faculty of Humanities, Zanjan University, Zanjan, Iran.

2. Department of Meteorology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

(Received: March. 20, 2021- Revised: May. 3, 2021- Accepted: May. 8, 2021)

ABSTRACT

Mapping and spatial analysis of wheat fields are very important in studying macroeconomic and social issues, including agricultural management. Highly variable crop pattern maps and its preparation using terrestrial data are associated with many problems. The purpose of this study is to implement a practical method for extracting wheat fields by using changes in vegetation index and spatial analysis of wheat fields in western of Iran. Investigation of the changes curve of vegetation index of wheat typical farms showed that the highest amount of reflection index of wheat farms is in June and early July and after harvest the reflectance index decreases extremely. In this regard, Sentinel sensor data was processed in the Earth Engine system and the 12-month vegetation index of 1398 was extracted as a data set. By introducing training data to the data set created by the support vector machine classification method, the land use of the study area was obtained in five classes. By applying altitude filter and removing the extracted fields above 3,000 meters, the distribution map of wheat fields was verified with the remaining 48 ground data. The total accuracy and the kappa coefficient were obtained 0.86 and 0.79, respectively. Since in the proposed method, more training data are given to the algorithm, the overall accuracy of the classification is increased. The spatial pattern of wheat fields with the mean function of the nearest neighbor and P_value <0.05 indicating the cluster dispersion of the fields and the Caripley function indicating the non-random scattering of wheat fields up to distances of 21,000 meters. The results of this research and its output maps can be used to obtain information for agricultural planning as well as the allocation and spatial distribution of resources and facilities.

Keywords: Agriculture, Sentinel Sensor, Support Vector Machine, Clustering, West of Iran.

* Corresponding Author's Email: Moahamad.Kamangar63@gmail.com

شناسایی و تعیین مزارع گندم با استفاده از تغییرات بازتابی شاخص پوشش گیاهی و تحلیل مکانی در غرب ایران

سید حسین میرموسوی^۱، کوهزاد رئیس پور^۱، محمد کمانگر^{۱*}، علیرضا کربلایی^۲

۱. گروه آب و هواشناسی، دانشکده انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۳۰ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۲/۱۸)

چکیده

تهیه نقشه و تحلیل مکانی مزارع گندم در مسائل کلان اقتصادی و اجتماعی از جمله مدیریت کشاورزی دارای اهمیت زیادی است. نقشه‌های الگوی کشت تغییرپذیر هستند و تهیه آن با استفاده از داده‌های زمینی با مسائل زیادی همراه است. هدف از این تحقیق پیاده‌سازی روشی کاربردی برای استخراج مزارع گندم با استفاده از تغییرات شاخص پوشش گیاهی و تحلیل مکانی مزارع گندم در غرب ایران است. بررسی منحنی تغییرات شاخص پوشش گیاهی مزارع نمونه گندم نشان داد بیشترین مقدار بازتاب شاخص مزارع نمونه گندم در ماه‌های خرداد و اوایل تیرماه بوده و پس از برداشت محصول شاخص بازتاب به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. در همین راستا داده‌های سنجنده سنتیل در سامانه Earth Engine پردازش و شاخص پوشش گیاهی ۱۲ ماهه سال ۱۳۹۸ در قالب یک مجموعه داده از آن استخراج گردید. با معرفی نمونه‌های آموزشی به مجموعه داده ایجاد شده به روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان^۱، کاربری زمین محدوده مورد مطالعه در پنج کلاس به دست آمد. با اعمال فیلتر ارتفاعی و حذف مزارع مستخرج شده بالای سه هزار متر نقشه پراکندگی مزارع گندم را با ۴۸ نمونه باقی‌مانده نمونه‌های زمینی صحت‌سنجی شد و صحت کلی ۰/۸۶ و ضریب کاپا ۰/۷۹ به دست آمد. نتایج نشان داد با توجه به اینکه در روش پیشنهادی اطلاعات داده‌های آموزشی بیشتری به الگوریتم داده شد، بنابراین موجب افزایش صحت کلی طبقه‌بندی می‌شود. الگوی مکانی مزارع گندم با تابع میانگین نزدیک‌ترین همسایه و آماره $P_value < 0.05$ نشان‌دهنده خوشه‌ای بودن پراکندگی مزارع و تابع کاربیلی عدم تصادفی بودن پراکندگی مزارع گندم تا فاصله‌های ۲۱ هزار متری را نشان داد. از نتایج این تحقیق و نقشه‌های خروجی‌های آن می‌توان در کسب اطلاعات برای برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و همچنین تخصیص و توزیع مکانی منابع و امکانات استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی، سنجنده Sentinel، ماشین بردار پشتیبان، خوشه‌بندی، غرب ایران.

مقدمه

رشد پایدار کشاورزی به‌طور فراوانی به بررسی فرآیند تحول آن بستگی داشته که به‌نوبه خود با تحقیقات تغییر در الگوهای کشت مرتبط است (Pattanaik & Mohanty, 2017). در سال‌های اخیر با مکانیزه شدن کاشت و برداشت و اصلاح بذرها گندم عملکرد این محصول افزایش یافته است.

اهمیت نظارت بر رشد محصولات زراعی و پیش‌بینی عملکرد در مقیاس وسیع در سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای برجسته شده است زیرا اطلاعات دقیق در مورد رشد و عملکرد محصول برای مقابله به‌موقع با مخاطرات آب‌وهوایی، ارزیابی امنیت غذایی و تدوین راهبردهای مناسب تجارت مواد غذایی ضروری شده است (Chen et al., 2018). بررسی پراکندگی پدیده‌ها و الگوهای غالب به‌منظور سامان‌دهی بهینه فضای انسانی صورت می‌گیرد (Ahmadpour et al., 2014). الگوهای پراکندگی مزارع گندم پدیده‌ای جغرافیایی و نتیجه تقابل انسان و محیط

اساس و بنیاد سیستم غذایی هر جامعه‌ای را تولید غلات و تأمین زنجیره‌های غذایی تشکیل می‌دهد. گندم یکی از مهم‌ترین منابع غذایی دنیا است که با تولید سالانه بیش از ۶۰۰ میلیون تن، سومین محصول غالب در جهان پس از ذرت و برنج به‌عنوان یک منبع ضروری کربوهیدرات برای میلیون‌ها نفر بشمار می‌رود (FAO, 2017). از مهم‌ترین مزیت‌های گندم این است که آب کمی برای کشت نیاز دارد، اگرچه گندم در آب‌وهوا و خاک‌های متنوعی کشت و برداشت می‌شود اما در مناطق معتدل با حداقل بارندگی بین ۳۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر عملکرد بهتری دارد. گندم زمستانه و بهاره دو نوع عمده محصول هستند که شرایط زمستانی منطقه کشت تعیین‌کننده کشت زمستانی یا بهاری است. گندم زمستانه همیشه در پاییز و گندم بهاره معمولاً در بهار کشت می‌شود اما زمانی که زمستان معتدل باشد می‌توان آن را کاشت.

* نویسنده مسئول: Mohamad.Kamangar63@gmail.com

کامل تصادفی با سه تکرار اجرا در نانجینگ چین بررسی شده است که رابطه قوی بین وضعیت پوشش گیاهی و مقدار محصول (همبستگی ۰/۷۹) نشان می‌دهد شاخص‌های سنجش‌ازدور به‌طور بالقوه پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب برای بررسی محتوی پروتئین دانه و کیفیت گندم هستند (Hong *et al.*, 2007). روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان برای استخراج سه کلاس گندم، جو و چغندر قند بر روی تصاویر سنجنده اسپات نشان داد این روش با صحت کلی ۷۶ درصد می‌تواند تصاویر را طبقه‌بندی کند (Foody *et al.*, 2007). با استفاده از شاخص‌های گیاهی و سه روش طبقه‌بندی شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی مزارع گندم در محدوده جیانگ سو چین طبقه‌بندی شده و روش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج ضرایب تبیین روش‌های یادشده به ترتیب ۰/۵۳، ۰/۷۳ و ۰/۷۹ نشان داد که طبقه‌بندی تصاویر به روش جنگل تصادفی، روش اکتشافی مفیدی برای تخمین زیست‌توده گندم است (Wang *et al.*, 2016). تحلیل تشخیص خطی در تفکیک گندم از سایر محصولات بر روی تصاویر ماهواره‌ای اسپات در منطقه بهار همدان با دو روش نزدیک‌ترین همسایه و قطعه‌بندی تصویر نشان داد تحلیل تشخیص پیکسل مینا با در نظر گرفتن پیکسل‌های هر باند به‌عنوان متغیرهای ورودی تحلیل به‌صورت جداگانه انجام می‌گیرد. با مقایسه نتایج هر دو روش مشخص گردید که روش پیکسل مینا در تفکیک گندم از سایر کلاس‌ها از جمله جو دقت بیشتری دارد (Ashourloo *et al.*, 2006). نقشه کشت گندم محصولات را با استفاده از تصاویر چند زمانه سنجنده آویفس^۱ ماهواره آی آر اس هند در همدان با استفاده از اعمال آنالیز جبر بولین نقشه‌ای برآورد شد. نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های الگوی کشت به‌دست‌آمده از اعمال آنالیز جبر بولین و طبقه‌بندی نظارت‌نشده بر روی ترکیب باندی شاخص‌های گیاهی حاصل از سه سری زمانی تصاویر نشان داد که دقت و صحت نقشه‌های الگوی کشت حاصل از اعمال آنالیز جبر بولین بر روی شاخص‌های گیاهی حاصل از دو سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای بیشتر از نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌نشده ترکیب شاخص‌های گیاهی حاصل از سه سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای است؛ اما روش دوم نسبت به روش اول به دلیل صرف زمان کمتر برای تعیین حد آستانه و تفکیک پوشش سبز و غیر سبز و همچنین پیچیدگی کار با جبر بولین، ساده‌تر است (Mojarad and Masoompour, 2013). برآورد تغییرات سطح زیر کشت گندم و سویا با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با دو روش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان در غرب استان گلستان انجام شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی ضریب کاپا و صحت کلی، روش ماشین

است و تهیه نقشه‌های نوع کشت و تحلیل‌های مکانی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها، به‌عنوان پشتیبان تصمیم‌گیری‌های درست در پایداری محیط طبیعی و انسانی بکار آید.

در دسترس نبودن نقشه‌های زراعی کشت گندم و همچنین کیفیت و کمیت آمارها، برنامه‌ریزی‌های محیطی و اجتماعی و تصمیم‌گیری بهینه را برای این محصول راهبردی با محدودیت‌هایی مواجه کرده است. برآورد سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی معمولاً از سه طریق تخمین کارشناسی، برآورد از طریق فهرست برداری و استفاده از فن‌آوری‌های جدید از جمله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام می‌گیرد. اغلب دقت روش تخمین کارشناسی اندک بوده و نمی‌توان نتایج آن را در تصمیم‌گیری‌های مهم کشور به کار گرفت. در روش برآورد از طریق فهرست برداری، هر چند سطح زیر کشت محصول تخمین زده می‌شود، اما پراکندگی آن را به دست نخواهد داد ضمن اینکه هزینه بالای نیروی انسانی عامل مهم و محدودکننده این روش است. در ایران به دست آوردن آمار مربوط به کشاورزی، بیشتر از طریق کارشناسی و روش‌های سنتی صورت می‌پذیرد. بررسی‌ها نشان داده است که این روش‌ها دارای خطاهای زیادی است (Ziaeiian *et al.*, 2009). یکی از روش‌های مناسب، کم‌هزینه و سریع در تکمیل اطلاعات سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است (Zadehdifard, 2002). توسعه فناوری سنجش‌ازدور فرصت‌های مناسبی را جهت حل مسئله نبود نقشه‌های کاربری از جمله اراضی سنجش‌ازدور به شناسایی زمین‌های زیر کشت در طول دوره رشد محصول کمک می‌کند (Wit *et al.*, 2012). تکنیک‌های سنجش‌ازدوری به‌دلیل تناوب در اخذ تصاویر یک ناحیه، تصویربرداری در طول موج‌های مختلف در یک‌زمان و درنهایت پردازش و تفسیر سریع این اطلاعات به‌طور گسترده در تحلیل‌های مختلف مربوط به گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Alipour *et al.*, 2016).

اطلاعات اخذشده از سنجنده‌های چند طیفی به‌صورت شاخص‌های گیاهی و شناسایی غلاتی مانند گندم در تحقیقات زیادی از جمله Aparicio *et al.*, 2000؛ Shanahan *et al.*, 2001؛ Kaswani *et al.*, 2010؛ Foody *et al.*, 2010؛ Khodakarami and Sefyaninan, 2012؛ Alizadeh *et al.*, 2018؛ Alipour *et al.*, 2016؛ و Alipour *et al.*, 2006 گرفته شده است. رابطه بین بازتاب طیفی تاج پوشش و عملکرد گندم زمستانه را در کرت‌های کوچک در قالب طرح بلوک‌های

میزان افزایش دقت طبقه‌بندی با این روش و همچنین تحلیل مکانی مزارع گندم در غرب کشور است. با استفاده از نقشه‌های خروجی و افزایش اطلاعات از جمله برآورد میزان برداشت محصول و همچنین برنامه‌ریزی‌های کشاورزی مانند تخصیص و توزیع مکانی امکانات سم‌پاشی جهت مبارزه با آفات است.

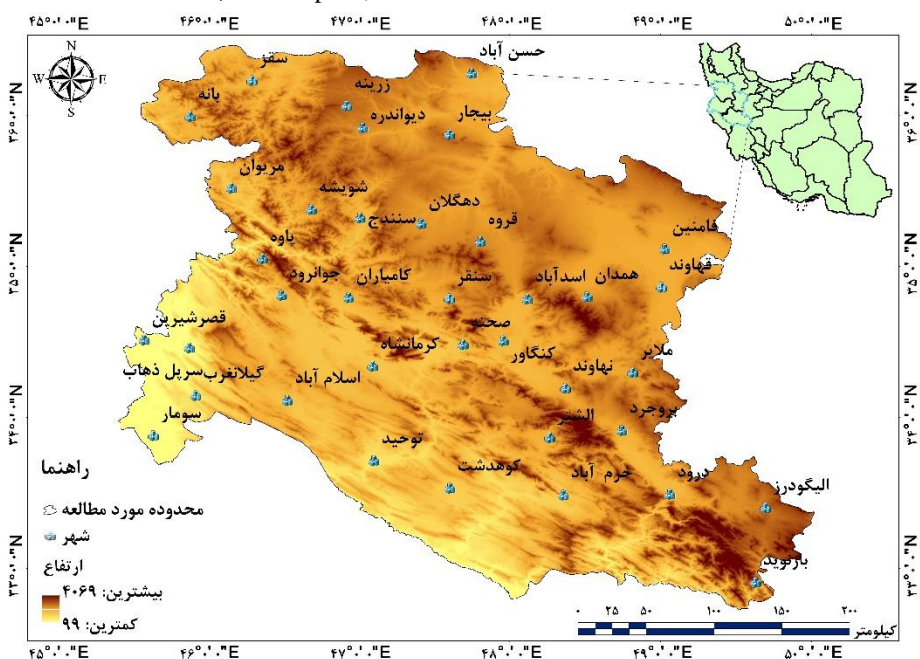
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد بررسی

محدوده مورد مطالعه شامل استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، همدان و لرستان بین $36^{\circ} 31' 51''$ تا $36^{\circ} 49' 45''$ عرض شمالی و $48^{\circ} 18' 18''$ تا $48^{\circ} 27' 26''$ طول شرقی با وسعت $1023693/82$ هکتار است (شکل ۱). بر اساس پهنه‌بندی آب و هوایی ایران در سیستم کوپن که توسط (Ganji, 2003) صورت گرفته است، بخش اعظم زاگرس در شمال کردستان، همدان، کرمانشاه و لرستان دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای است و در نواحی مرتفع زاگرس نیز آب‌وهوای سرد و خشک مشاهده می‌شود. بخش‌های دیگر منطقه از جمله بخش‌های جنوب غربی کرمانشاه و ایلام دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک است (Abrifam, 2001) بر اساس تقسیم‌بندی (Alijani, 2012) نیز غرب ایران به‌طور کلی دارای آب‌وهوای کوهستانی و پایکوهی است. وضعیت حرارتی ناحیه در تابستان همگن‌تر از زمستان است. این محدوده در دوره سرد سال، به علت حاکمیت بادهای غربی و نزدیکی به منبع رطوبتی دریای مدیترانه بارندگی زیادی دارد، اما دوره گرم سال نفوذ پرفشار آزور^۱ باعث کاهش بارندگی می‌شود (Mojarad & Masoompour, 2013).

بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی اراضی کشاورزی و تفکیک محصولات نسبت به روش شبکه عصبی دقیق‌تر بود و در همه تصاویر مقدار صحت کلی محاسبه‌شده و ضریب کاپا به ترتیب بیشتر از 0.80% است که این نشان‌دهنده قابل‌اعتماد بودن نتایج طبقه‌بندی است (Alizadeh *et al.*, 2018). با بررسی تحقیقات گذشته می‌توان دریافت استخراج مزارع گندم با توجه به بازتاب‌های نمونه‌های آموزشی در یک‌زمان خاص و با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی مختلف صورت گرفته است در استفاده از روش‌های نمونه آموزشی و طبقه‌بندی یک تصویر ممکن است گیاه دیگر در آن زمان بازتاب مشابهی داشته باشد و باعث کاهش صحت طبقه‌بندی شود در صورتی که گیاهان از زمان کاشت تا رسیدن به نهایت رشد خود تغییرات را در بازتاب طیفی از خود نشان می‌دهند. برای مثال Collins (۱۹۷۸) نشان داد در زمان بلوغ گیاه جذب طیف الکترومغناطیسی کلروفیل کاهش‌یافته و بازتاب مادون قرمز در گستره 0.7 میکرومتری تا ده برابر افزایش می‌یابد. با توجه به تغییرات بازتاب طیفی گیاه طی دوره رشد و توجه به بازتاب‌های مختلف طی زمان‌های مختلف و مشخص نمودن آن می‌توان گندم را از سایر پدیده‌ها متمایز کرد.

غرب ایران یکی از مراکز عمده تولید گندم در کشور است و قسمت عمده درآمد زراعت مردم روستانشین بر کشت گندم متکی است. با توجه به راهبردی بودن محصول گندم، هدف از این تحقیق افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در استخراج محدوده‌های مزارع گندم با استفاده از اطلاعات جانبی تغییرات بازتاب‌های شاخص طیفی طی دوره رشد گیاه و بررسی



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران

روش بررسی

در این تحقیق از تصاویر سال ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۹ ماهواره Sentinel-2 در بستر رایگان Earth Engine استفاده شد. این ماهواره بخشی از برنامه کوپرنیک آژانس فضایی اروپا است و ادامه‌دهنده مأموریت‌های ماهواره‌های اسپات و لندست به‌منظور پایش زمین و ارائه خدماتی همچون پایش آتش‌سوزی‌های جنگل و یا بررسی تغییرات کاربری زمین بکار می‌رود. این پروژه شامل دو ماهواره یکسان Sentinel-2A از ژوئن سال ۲۰۱۵ و Sentinel-2B از مارس ۲۰۱۷ است. این ماهواره‌ها هر ۱۰ روز یک‌بار با یک ماهواره و ۵ روز با ۲ ماهواره، سطح جهانی زمین را با سنجنده پیشرفته ام‌اس‌آی به‌صورت تصاویر چندطیفی با ۱۳ باند در محدوده طیف مرئی تا فروسرخ از مدار ۵۶ درجه جنوبی تا ۸۴ درجه شمالی با قدرت تفکیک ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر پوشش می‌دهند. داده‌های این ماهواره‌ها به دلیل محدوده وسیع برداشتی، قدرت تفکیک مکانی زمانی بالا و چند بانندی بودن می‌تواند در مطالعات ارزیابی مراحل فنولوژی گیاه مورد استفاده قرار گیرند.

یک شاخص طیفی سنجنش‌ازدوری، با استفاده از محاسبه ریاضیاتی و آماری بین دو یا چند باند طیفی داده‌های سنجنش‌ازدوری به دست می‌آید و به‌واسطه آن یک پدیده یا عارضه بر روی زمین بارز و شناسایی می‌شود. با استفاده از شاخص طیفی می‌توان پوشش گیاهی مانند گندم را به دلیل بازتاب متفاوت در سری زمانی کاشت داشت و برداشت آن از سایر پوشش‌ها را جدا و متمایز ساخت. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده است که به‌عنوان تفاوت بین بازتاب مادون‌قرمز نزدیک و قرمز بر مجموع آن‌ها تقسیم می‌شود. هرچه میزان کلروفیل موجود در گیاه بیشتر باشد به همان میزان این شاخص افزایش پیدا می‌کند. بازه مقادیر در این شاخص بین منفی یک تا مثبت یک متغیر است که طبق (رابطه ۱) به دست می‌آید (Wardlow et al., 2007)

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}) \quad (\text{رابطه ۱})$$

رابطه فوق NIR باند مادون‌قرمز و Red باند قرمز تصاویر ماهواره‌ای است. در این تحقیق پس از استخراج شاخص NDVI ماهیانه در کل سال مجموعه تصاویر داده ۱۲ بانندی ایجاد شد. با معرفی نمونه‌های آموزشی و استفاده از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان مزارع گندم در محدوده مورد مطالعه استخراج شد. در روش ماشین بردار پشتیبان که یک طبقه‌بندی کننده دودویی غیر پارامتریک با مبنای کار دسته‌بندی خطی داده‌ها است و تلاش

می‌کند تا با جستجوی مستقیم برای یافتن مرزهای مناسب (فرا صفحه‌های جداکننده^۱) بین کلاس‌های مختلف آن‌ها را از هم جدا کند. راستای فرا صفحه‌ها جایی است که بیشترین فاصله (جدایی) بین دو کلاس وجود دارد. برای مثال نقاط آموزشی که دارای کمترین فاصله از مرزهای تصمیم‌گیری هستند و درواقع بردارهای پشتیبان نامیده می‌شوند می‌توانند به‌عنوان زیرمجموعه‌ای برای تعریف مرزهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شوند (Foody et al., 2006). اگر دو کلاس به‌طور خطی جدایی‌پذیر باشند، روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان از میان بی‌نهایت جداکننده خطی، خطی را انتخاب می‌کند که خطای تعمیم^۲ کمتری داشته باشد در این روش توابع کرنل مختلفی از جمله کرنل‌های نمایی، چندجمله‌ای و حلقوی می‌توان استفاده نمود. این توابع تلاش می‌کنند تا داخل فضای با ابعاد خیلی زیاد یک سطح جداکننده خطی بین دو کلاس پیدا کنند (Gualtieri et al., 1999). پس از اجرای طبقه‌بندی مدل به‌دست‌آمده با شاخص‌های صحت کلی و ضریب کاپا ارزیابی شد تا از میزان درستی نتایج اطمینان حاصل شود. صحت کلی میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد (رابطه ۲) به‌عبارتی دیگر دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم‌بر تعداد کل پیکسل‌ها به دست می‌آید و ضریب کاپا (رابطه ۲) دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند مقدار صفر برای ضریب کاپا یعنی طبقه‌بندی کاملاً به‌صورت تصادفی انجام شده است (Richards, 2013).

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$k = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در این روابط N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، P_{ii} اعضای قطری ماتریس خطا، θ_1 درستی مشاهده و θ_2 توافق مورد انتظار است. یکی دیگر از معیارهای ارزیابی ضریب تبیین (رابطه ۴) است. این معیار هر چه به یک نزدیک‌تر باشد مناسب‌تر است (Adamowski and Chan, 2011).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum Q_i^2 - \frac{\sum \hat{Q}_i^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در رابطه فوق Q_i مقادیر شبیه‌سازی شده، \hat{Q}_i مقادیر مشاهده‌ای، و n تعداد داده‌ها است. داده‌های زمینی این تحقق شامل مختصات جغرافیایی مزارع گندم برای سال ۹۸-۹۹ بودند که از مرکز تحقیقات کشاورزی استان‌های کردستان، کرمانشاه و لرستان گرفته شد. جهت استفاده در کارهای دیگر، با استفاده از

$$(d) = \frac{\sqrt{A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n k(i, j)}}{\pi n(n-1)} \quad (\text{رابطه ۹})$$

نتایج و بحث

ابتدا برای همراه جداگانه شاخص پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه به صورت میانه تصاویر استخراج شد برای نمونه تصویر میانه تیرماه که تقریباً در غرب کشور ماه اوج رشد گیاه گندم است آورده شده است (شکل ۲). شاخص NDVI بین ۰/۸۲۴۸ تا ۰/۵۶۵۹ - محاسبه شده است کمترین مقادیر مربوط به عارضه های آب و بیشترین مقدار مربوط به پوشش های گیاهی متراکم در محدوده است. حداکثر بازتاب طیفی در مزارع نمونه برداری شده ۰/۷۴ را نشان داد. پس از ترکیب ۱۲ باند استخراجی مجموعه داده ایجاد شده و رخ نما نمونه های آموزشی کلاس آب، جنگل، شهر، زراعت غیر گندم (شکل ۳) و مزارع گندم نمونه های برداشت شده استخراج شد (شکل ۴).

همان گونه که در تصویر رخ نما طیفی گندم مشاهده می شود تقریباً از ابتدای اسفند گیاه شروع به رشد و بازتاب طیفی آن بیشتر می شود و از اوایل تا اواسط مرداد با برداشت گیاه بازتاب طیفی افت شدید پیدا می کند این چرخه طیفی را تقریباً می توان برابر با مراحل رویشی تا برداشت گیاه گندم یکسان دانست. حدود هفتاد درصد نمونه های برداشت شده مزارع گندم (از ۱۵۶ نمونه ۱۰۸ نمونه) به عنوان نمونه های آموزشی به نرم افزار معرفی شد پس از معرفی نمونه های با آموزشی اجرای الگوریتم طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان در سامانه Earth Engine نقشه طبقه بندی کلاس های معرفی شده استخراج شد از آنجایی که کشت گندم در ارتفاعات بالای ۳۰۰۰ متر رواج ندارد با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع محدوده هایی که در نقشه طبقه بندی شده به عنوان مزارع گندم در نظر گرفته شده بود حذف شده و نقشه نهایی مزارع کشت گندم به دست آمد (شکل ۵).

مساحت مزارع استخراج شده ۲۳۵۵۸۷۵/۱۹ هکتار محاسبه گردید که استان کردستان بیشترین مساحت زیر کشت گندم در بازه زمانی مورد مطالعه را داشته است. با استفاده از نمونه های آموزشی برداشت شده دیگر (۴۸ نمونه از مجموع ۱۵۶ نمونه کل) برای صحت سنجی روش بررسی شده و در مقایسه با پیکسل های نقشه نهایی استخراج شده، صحت کلی، ضریب کاپا و ضریب تبیین به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۷۹ و ۰/۷۲ به دست آمد. پس از اعمال تابع میانگین نزدیک ترین همسایه نتایج الگوی خوشه ای و یا پراکنده به صورت نموداری (شکل ۶) استخراج شد. در این شکل نحوه

این لینک^۱ الگوریتم برای کاربران ثبت نام شده در سامانه Earth Engine قابل استفاده است. فرآیند تحلیل مکانی توصیف چگونگی و استدلال چرایی پراکندگی ها را شامل می شود (Alijani, 2015). نتیجه این فرآیند تولید دانش علمی مستند و نهایتاً تبیین پراکندگی است (Harvey, 1996). اندازه گیری های توزیع مکانی داده ها این امکان را به ما می دهد تغییرات توزیع مکانی در راستای مؤلفه های مکان یعنی طول، عرض و ارتفاع را بررسی و مقایسه کنیم. در این تحقیق برای بررسی اینکه مزارع گندم استخراج شده در محدوده مورد مطالعه به صورت پراکنده در فضا توزیع شده اند یا خیر از تابع میانگین نزدیک ترین همسایه (رابطه ۵) استفاده شد. در این رابطه ابتدا فاصله مرکزی هر مزرعه گندم از نقطه مرکزی نزدیک ترین مزرعه همسایه محاسبه می شود و سپس میانگین تمامی مزارع همسایه نیز محاسبه می شود اگر میانگین فاصله محاسبه شده از میانگین توزیع تصادفی فرضی کمتر باشد می توان نتیجه گرفت توزیع مزارع گندم در محدوده مورد مطالعه خوشه ای است.

$$ANN = \frac{\bar{D}_O}{\bar{D}_E} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن \bar{D}_O میانگین فاصله مشاهده شده بین مزرعه گندم مورد نظر و نزدیک ترین مزرعه همسایه است (رابطه ۶) و \bar{D}_E میانگین فاصله بین مزرعه و نزدیک ترین همسایه های آن در صورتی که توزیع مزارع تصادفی باشد و از رابطه ۷ محاسبه می شود.

$$\bar{D}_O = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$\bar{D}_E = \frac{0/5}{\sqrt{n^2/A}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

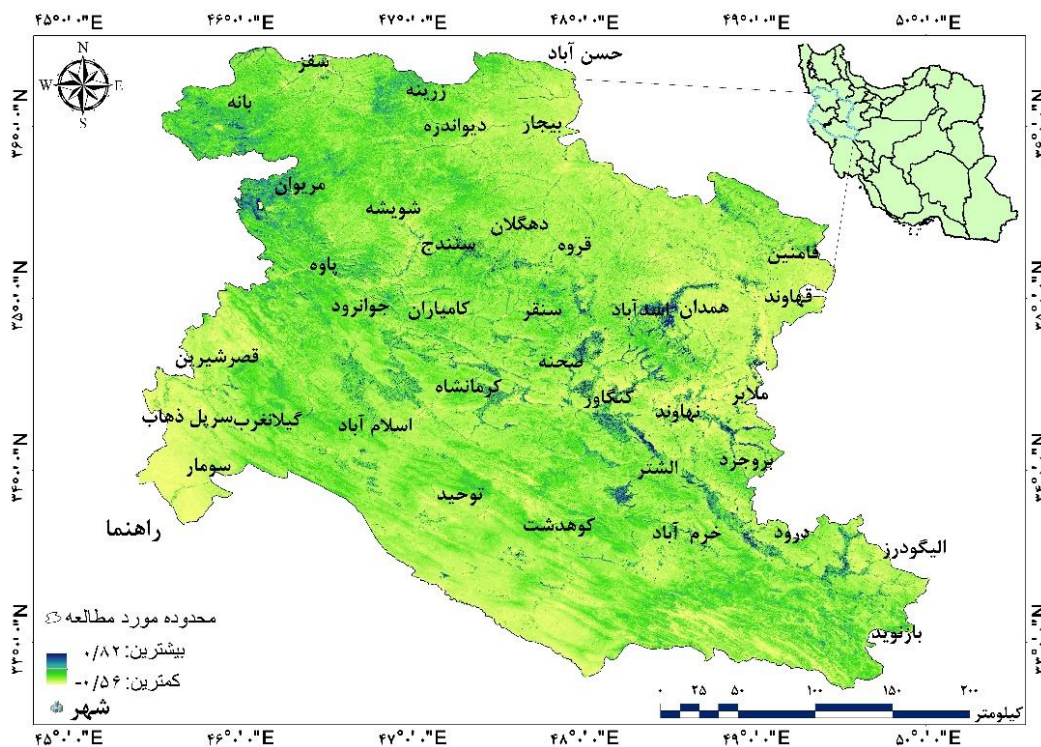
در رابطه های بالا d_i فاصله بین پدیده مورد بررسی و نزدیک ترین همسایه اش و n تعداد کل پیکسل های که به عنوان مزرعه گندم شناخته شده و A نیز مساحت کل محدوده مورد مطالعه است. با آماره جی طبق رابطه ۸ می توان وجود یا عدم وجود خوشه بندی زیاد و کم مزارع گندم را بررسی کرد.

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j} \quad (\text{رابطه ۸})$$

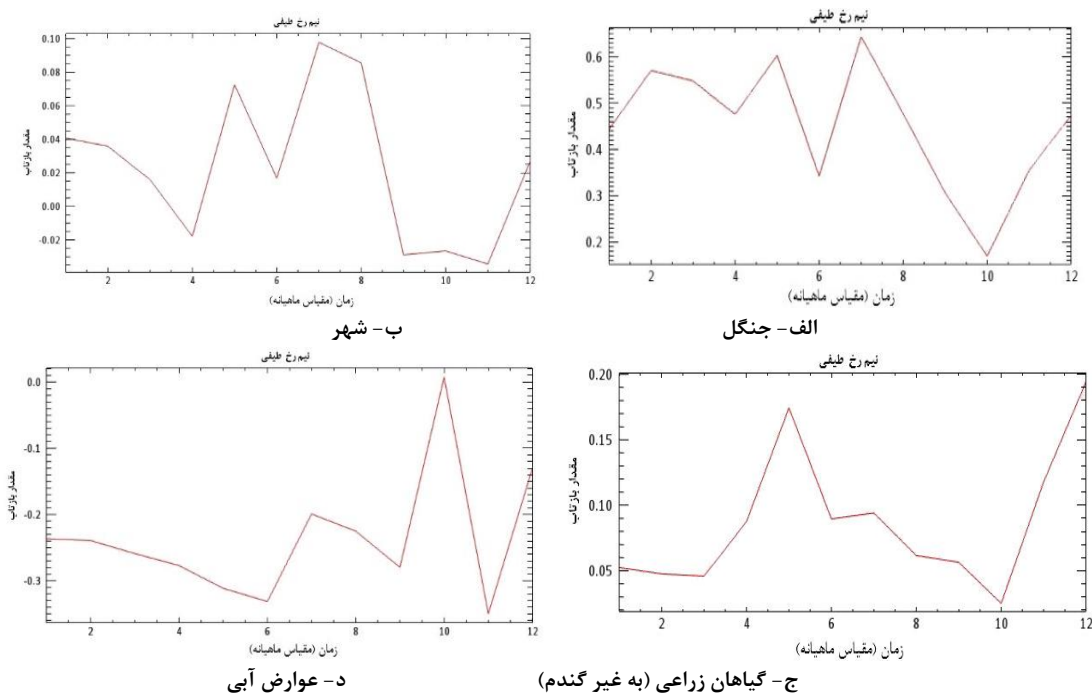
در رابطه فوق x_j مقدار خصیصه برای عارضه z ، وزن فضایی بین عارضه i و z و همچنین n برابر با تعداد کل پیکسل های که به عنوان مزرعه گندم شناخته شده است. دیگر از توابع بررسی توزیع الگوی فضایی پدیده ها تابع کاریلی^۲ است که نشان دهنده وضعیت خوشه بندی پدیده ها در فواصل مختلف جغرافیایی است که با استفاده از رابطه ۹ به دست می آید. در این رابطه d فاصله، n برابر با تعداد کل عوارض موجود که در این تحقیق کل مزارع

خوشه‌بندی در فواصل مختلف نتایج تابع کاربیلی (شکل ۷) نیز محاسبه شد. در این شکل محور افقی فاصله به متر، خط مورب آبی‌رنگ پررنگ الگوی توزیع تصادفی و خط قرمز رنگ نتایج مشاهده را نشان می‌دهد.

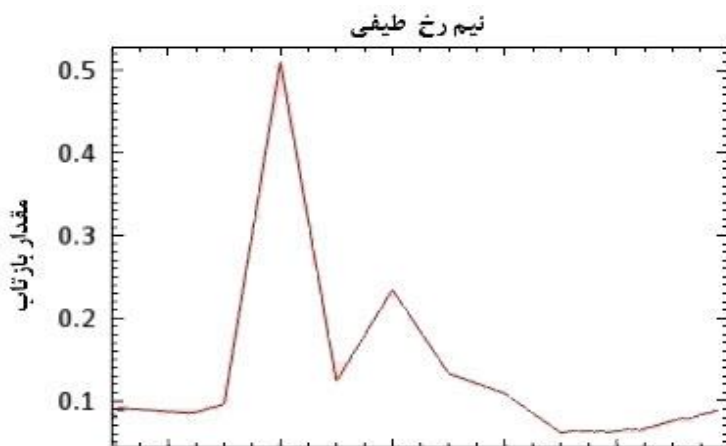
پراکنش تجمع رویدادها از حالت پراکنده تا خوشه‌ای و سطح معنی‌داری آورده شده است. همان‌گونه که در جدول (۱) آورده شده با توجه به آماره $P_Value < 0.05$ خوشه‌بندی مزارع گندم در غرب کشور با درجه اطمینان ۹۵ درصد قابل قبول است. بعد اثبات آماری خوشه‌بندی پراکنده مزارع جهت بررسی وضعیت



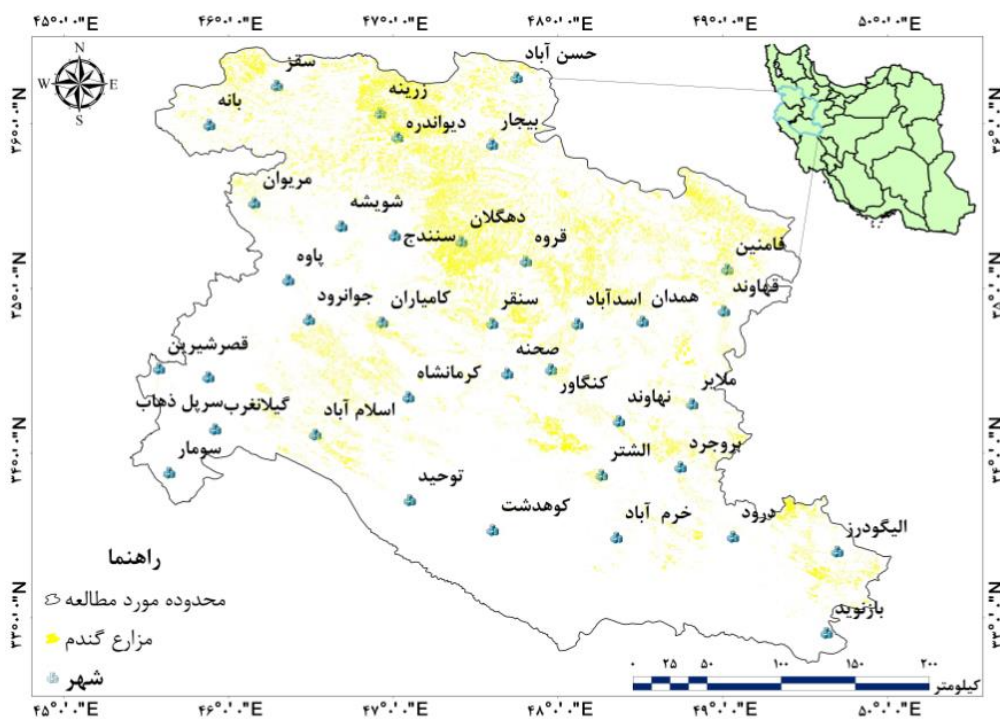
شکل ۲- میان‌شاخص پوشش گیاهی تیرماه



شکل ۳- تغییرات شاخص طیفی پوشش گیاهی نرمال شده کلاس‌های مورد استفاده شده در طبقه‌بندی

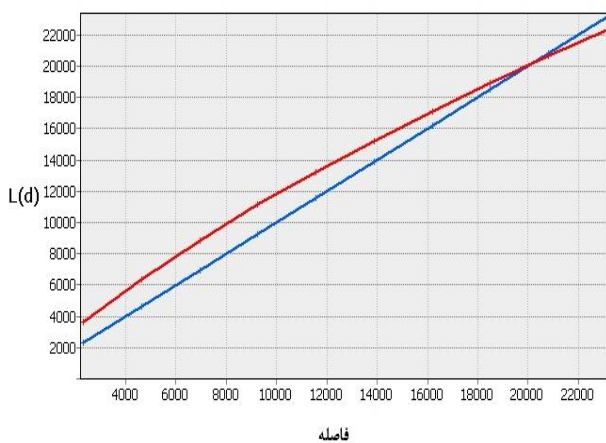


اسفند بهمن دی آذر آبان مهر شهریور مرداد تیر خرداد اردیبهشت فروردین
 شکل ۴- تغییرات زمانی شاخص طیفی پوشش گیاهی نرمال شده کلاس گندم

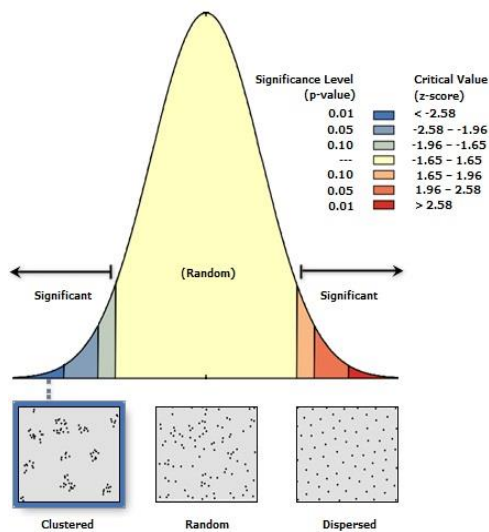


شکل ۵- مزارع کشت گندم غرب کشور

خوشه بندی



شکل ۷- نتایج گرافیکی تحلیل تابع کاربیلی



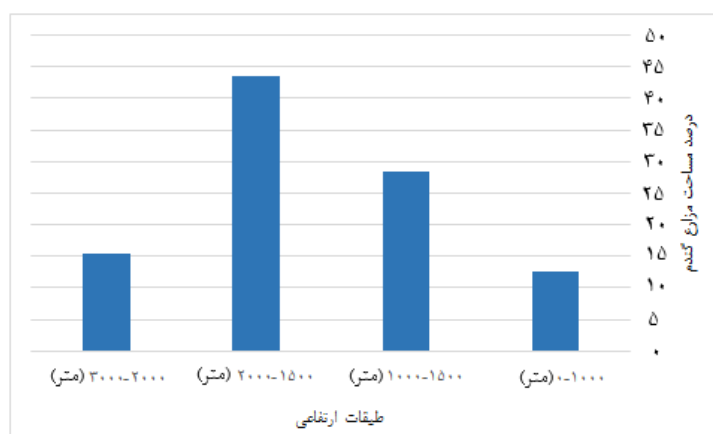
شکل ۶- نتایج تابع میانگین نزدیک ترین همسایه

جدول ۱- خلاصه نتایج تایح میانگین نزدیک‌ترین همسایه

P-value	Z-score	نسبت نزدیک‌ترین همسایه	فاصله میانگین مورد انتظار (متر)	فاصله میانگین مشاهداتی (متر)
۰/۰۱۴	-۹۷۶/۷۷	۰/۷۷	۱۸۹/۵۵	۱۰۰/۶۷

به‌عنوان مزارع گندم شناسایی شده‌اند تا فاصله ۲۱ هزار متری خوشه‌بندی شده‌اند که به لحاظ آماری نیز معنادار است. همپوشانی نقشه مزارع با نقشه ارتفاعی طبقه‌بندی شده (شکل ۸) و لایه شیب (جدول ۲) و همچنین لایه خاک محدوده مورد مطالعه (جدول ۳) آورده شده است.

در شکل (۷) هرچه منحنی نتایج مشاهده شده بالاتر از نتایج مورد انتظار (تصادفی) باشد به معنای آن است که مشاهدات در آن فاصله خوشه‌بندی شده‌اند. برعکس هرچه منحنی نتایج مشاهده شده به رنگ قرمز پایین‌تر از منحنی نتایج مورد انتظار باشد در آن صورت مزارع گندم در آن فاصله از هم پراکنده‌تر هستند با توجه به شکل (۷) در غرب ایران پیکسل‌هایی که



شکل ۸- همپوشانی نقشه مزارع گندم با طبقات ارتفاع

جدول ۲- همپوشانی نقشه مزارع گندم با نقشه طبقات شیب

طبقه شیب	درجه ۵۰-۰	درجه ۲۰-۵	درجه ۵۰-۲۰	درجه ۶۴-۵۰
مساحت (هکتار)	۹۴۹۶۴۱/۸۷	۶۷۷۹۷۳/۱۸	۳۸۰۳۵۸/۴۴	۳۴۷۹۰۱/۶۸
درصد	۴۰/۳۰	۲۸/۷۷	۱۶/۱۴	۱۴/۷۶

جدول ۳- همپوشانی نقشه مزارع گندم با نقشه طبقات خاک

ردیف	رده خاک/عارضه طبیعی	مساحت	درصد
۱	هزار دره (به شدت فرسایشی)	۲۳۰۱۳۵/۸۳	۹/۷۶
۲	انتهی سول / رخ نمون سنگی	۴۰۶۵۲۳/۵۳	۱۷/۲۵
۳	اینسپتی سول / رخ نمون سنگی	۲۸۶۵۵۶/۴۵	۱۲/۱۶
۴	آریدی سول	۲۳۱۵۳۲/۶۶	۹/۸۲
۶	انتهی سول و اینسپتی سول	۳۲۵۲۸۶/۲۱	۱۳/۸۱
۷	اینسپتی سول	۶۰۱۷۸۳/۵۴	۲۵/۵۴
۸	اینسپتی سول و ورتی سول	۲۷۳۹۵۶/۹۳	۱۱/۶۲

شد. بر اساس مبانی علم سنجش از دور گیاه در دوره رشد خود به علت تغییرات مقدار کمی کلروفیل، منحنی بازتاب طیفی متفاوتی از دیگر پدیده‌ها دارد. محققین زیادی از جمله رابطه بین شاخص پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای و رادیومترهای طیفی زمینی را شناسایی و ثابت کرده‌اند و در تحقیقات زیادی هم وارد نمودن این شاخص به‌عنوان باندی اضافی به باندهای سنجنده مورد بررسی شده، باعث بهبود صحت کلی طبقه‌بندی تا

در این تحقیق با استفاده از روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی یک‌ساله در قالب منحنی بازتاب طیفی مستخرج شده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده Sentinel-2 سطح پوشش زمین با صحت کلی ۰/۸۶ و ضریب کاپا ۰/۷۹ طبقه‌بندی شد. در این مطالعه وارد نمودن اطلاعات وردی بیشتر در قالب منحنی بازتاب طیفی زمانی که می‌توان برابر با دوره رشد گیاه در نظر گرفته شود به‌صورت شاخص سنجش از دوری پوشش گیاهی ۱۲ ماهه انجام

انتظار ۱۸۹/۵۵ محاسبه شده است و نسبت نزدیک ترین همسایه ۰/۷۷ اندازه گیری شده است از آنجایی که این نسبت کوچک تر از یک است نتیجه می گیریم پراکندگی مکانی مزارع گندم در غرب ایران به صورت خوشه ای توزیع شده است و با توجه به مقدار $P_value < 0.05$ نتیجه فرض صفر مبنی بر اینکه مزارع گندم به طور بالقوه در هر کجای محدوده غرب کشور قرار گیرند و مانعی برای اینکه عوارض در هر جا باشند رد می شود و خوشه ای بودن پراکندگی مزارع را می پذیریم. روابط همسایگی در ارتفاعات ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر که برای محدوده مورد مطالعه کوهپایه ای محسوب می شود بیشتر از مناطق پست خود را نمایان کرده اند. شکل گیری خوشه ها نیز از جهت ناهمواری ها محدوده مورد مطالعه پیروی می کند. نقشه مزارع گندم با خاک تقاطع داده شد که بیشترین درصد با مقدار حدود ۳۱ درصد با رده انتی سول ها قرار گرفته اند. این خاک هوازدگی کمی داشته، جوان هستند و بیشتر در به صورت کم عمق به روی سنگ بستر هستند یا روی زمین های پر شیب کوهپایه ای واقع شده اند. این خاک در دامنه ی گسترده ای از دما و رطوبت قرار دارند اما بیشتر در مناطق معتدله وجود دارند. به همین دلیل بیشترین کشت دیم گندم احتمالاً در آن ها قرار گرفته است.

نتیجه گیری

تهیه و تحلیل مکانی نقشه های کشت گندم یکی از بررسی های مهم جهت برنامه ریزی های محیطی در بخش کشاورزی است. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات ارزشمند و داده های سنجنده Sentinel-2 در بستر Earth Engine سطح پوشش زمین طبقه بندی و نقشه پراکندگی مزارع گندم در غرب ایران استخراج شد. استفاده از اطلاعات مکانی شاخص پوشش گیاهی زمانمند که تقریباً برابر با دوره رویشی گیاه است نشان داد می توان نقشه هایی با صحت کلی، ضریب کاپا و ضریب تبیین به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۷۹ و ۰/۷۲ به دست آورد. الگوی مکانی مزارع گندم با شاخص میانگین نزدیک ترین همسایه و تابع کارپیلی خوشه ای بودن پراکندگی مزارع و عدم تصادفی بودن آن تا فاصله های ۲۱ هزار متری را نشان داد. در این روش علاوه بر استفاده از الگوریتم مبنی بر یادگیری ماشین، استفاده از منحنی بازتاب طیفی زمانمند باعث شد اطلاعات داده های آموزشی بیشتری به الگوریتم داده شود و در نتیجه نقشه با ضریب اطمینان بیشتری نیز حاصل گردد. با توجه به ضریب تبیین بالای این روش می توان از آن در استخراج زمین های زیر کشت گیاهان زراعی دیگر مانند ذرت، برنج و جو تولید نقشه

حدود ۸۰٪ شده است (Hatfield and Caren *et al.*, 2001؛ Prueger, 2010؛ Wang *et al.*, 2016؛ Alipour *et al.*, 2016). در تحقیقاتی دیگر نیز با ترکیب باندهای نوری و راداری به صحت کلی ۸۷٪ شده است. امواج راداری گرچه توانایی نفوذ به سطح رادارند اما نسبت به شرایط توپوگرافی سطح زمین و پوشش های گیاهی بسیار حساس هستند و در تفکیک گیاهان پیچیدگی های خاص خود رادارند. به طور کلی در مطالعات قبلی از روش های طبقه بندی تصاویر و همچنین تصاویر با قدرت تفکیک متفاوت برای استخراج مزارع گندم استفاده شده است؛ اما در نظر گرفتن بازتاب های متفاوتی به صورت زمانمند در طی مراحل رشد گیاه که می تواند حاوی اطلاعات بسیار ارزشمندی باشد را در نظر نگرفته اند و در عوض پارامترهای مختلف رشد گیاه طی زمان کنترل شده در نظر گرفته اند.

روش های سنجش از دور نوری بر اساس ویژگی های بازتاب طیفی دوره رشد گیاه در قالب سری زمانی شاخص پوشش گیاهی می توان با دقت قابل قبول در الگوریتم های طبقه بندی مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق تفاوت مکانی و زمانی بازتاب طیفی پوشش گیاهی را در نظر گرفته شد و نشان داده شد که تغییرات ماهیانه شاخص پوشش گیاهی بستگی به دوره رشد گیاه گندم دارد برای مثال این شاخص در دی و بهمن در مزارع نمونه گندم منفی سه صدم و در خرداد و تیر که اوج رشد گندم است به حدود ۰/۷ می رسد و سپس این شاخص با زرد شدن گیاه و برداشت آن بازم به حدود صفر می رسد و حتی در فصل زمستان برای مزارع با افزایش رطوبت خاک و یا تنه نشست برف ممکن است به منفی نیز برسد. با توجه به این تغییرات و ایجاد منحنی طیفی می توان نمونه ها یا مزارع را بر روی تصاویر شناسایی کرد.

در بررسی Al-Gaadi *et al.* (2016) همبستگی مقادیر واقعی و استخراج شده از تصویر لندست حدود ۰/۶۴ و با تصاویر Sentinel-2 حدود ۰/۶۵ محاسبه شد اما صحت کلی متوسط ۰/۵ نسبت به میانگین مطالعات قبلی و ضریب تبیین بالاتر حدود ۰/۷۲ روش مورد استفاده در این تحقیق می تواند ناشی از استفاده هم زمان اطلاعات مکانی تصاویر باشد. به طور کلی می توان گفت دلیل افزایش صحت طبقه بندی در این تحقیق نسبت به تحقیقات گذشته استفاده از اطلاعات شاخص پوشش گیاهی به صورت گام های زمانی در الگوریتم طبقه بندی مورد استفاده است. در بررسی توزیع پراکندگی مزارع گندم میانگین فاصله مشاهده شده ۱۰۰/۶۷ است این در حالی است که مقدار میانگین فاصله مورد

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، کرمانشاه و لرستان به خاطر در اختیار قراردادن مختصات جغرافیایی مزارع گندم نمونه اعلام می‌نمایند که بدون در اختیار قراردادن نمونه‌های برداشتی آن‌ها انجام این تحقیق میسر نبود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

کاربری در محدوده‌های بزرگ استفاده نمود. همچنین از نتایج این تحقیق و خروجی‌های آن می‌توان در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی برای تخصیص منابع و امکانات استفاده نمود.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله محققین این مقاله نهایت تشکر و سپاس‌گزاری را از

REFERENCES

- Abrifam, M. (2001). The Synoptic Analysis of Entranced Air Masses to the West of Iran (2004-2005), Supervisor: Gholamreza Barati, Master of Science in Climatology. Razi University of Kermanshah.
- Adamowski, J., and Chan, H. F. (2011) A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting. *Journal of Hydrology*, 407(4): 28-40.
- Ahmadpour, Z., Ghanbari, Q., and Karami, Q. (2014). Political organization of space. Tehran: Geographical Organization Publications Armed Forces. Third edition. 113. (In Farsi)
- Alipour, F., Aq Khani Mohammad, H., Pourfard, A., Mohammadi, H., and Sepehr, A. (2016). Separation of the area and estimation of agricultural crops with satellite images. *Agricultural machines*, 4: 244-254. (In Farsi)
- Al-Gaadi, K.A., Hassaballa, A.A., Tola, E., Kayad, A.G., Madugundu, R., Alblewi, B., and Assiri, F. (2016). Prediction of potato crop yield using Precision agriculture techniques. *PLoS One*, 11,9:1-16.
- Alijani, B., (2012). Synoptic climatology. Tehran: Samt Publications. (In Farsi)
- Alijani, B., (2015). Spatial Analysis. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 2(3): 1-14. (In Farsi)
- Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Araus, J.L. and Royo, C. (2000). ining durum wheat yield. *Agronomic Jurnal*, 92(1): 83-91.
- Alizadeh, P., Kamkar, B., Shatai, SH., and Kazemi. H. (2018). Estimation of changes in wheat and soybean cultivation using satellite image classification in the west of Golestan province. *Applied agricultural research*, 31(3): 41-61. (In Persian)
- Ashourloo, M., Alimohammadi, A., Rezaian, P. and Ashourloo, D. (2006). Separation of wheat from other products on satellite images. *Environmental Sciences*, 4(2): 101-116. (In Farsi)
- Caren, D., David, M., and C. R. Volker. (2001). Phonological difference in tasseled cap indices Improves deciduous forest classification. *Remotesensing of Environment*, 80: 460-472.
- Chen, Y., Zhang, Z., and Tao, F. (2018). Improving regional winter wheat yield estimation through assimilation of phenology and leaf area index from remote sensing data. *European Journal of Agronomy*, 101: 163-173.
- Collins, W. (1978). Remote sensing of crop type and maturity. *Photogrammetric Eng. and Remote Senseing*, 44, 43-55.
- FAO. (2017). FAOSTAT Database. Available online at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Foody, G. M., Mathur, A., Sanchez-Hernandez, C., and Boyd, D. (2006). Training set size requirements for the classification of a specific class. *Remote Sensing of Environment*, 104(1): 1-14.
- Ganji, M. H. (2003). Climatic faults of Iran. *Bulletin of the National Center for Climatology*, 3(1): 41. (In Farsi)
- Gualtieri, J. A., Chettri, S. R., Cromp, R. F. and Johnson, L. F. (1999). Support vector machine classifiers as applied to AVIRIS data.
- Harvey, D. (1996). *Explanation in Geography*. London: Arnold.
- Hatfield, J., Prueger, J. (2010). Value of using different vegetative Indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management Practices, *Remote Sensing*, 2: 562-578.
- Hong, X., CAO Wei-Xing¹, C., and YANG Lin-Zhang, Y. (2007). Predicting Grain Yield and Protein Content in Winter Wheat at Different N Supply Levels Using Canopy Reflectance Spectra. *Pedosphere*, 17(5): 646-653.
- Kaswani, I., Norsaliza, U. and Hasmadi, I. (2010). Analysis of spectral vegetation indices related to soil-line for mapping mangrove forests using satellite imagery. *J. Rem. Sens*, 1(1): 25-31.
- Khodakarami, L. and Sefyaninan, A. (2012). Application of multi-time remote sensing in determining the area under cultivation. *Soil and Water Sciences*, 16(59): 215-231. (In Farsi)
- Mojarad, F., and Masoompour, J. (2013). Estimation of maximum probable precipitation by synoptic method in Kermanshah province. *Geographical studies of arid regions*, 13: 1-14.
- Pattanaik, F., and Mohanty, S. (2017). Changes in Cropping Pattern in Odisha Agriculture in Neo-Liberal Period. *Journal of Rural Development*, 36(1): 121-154.
- Richards, J. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer Berlin Heidelberg DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30062-2>
- Shanahan, J.F., Schepers, J.S., Francis, D.D., Varvel, G.E., Wilhelm, W.W., Tringe, J.M., Schlemmer, M.R. and Major, D.J. (2001). Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agronomic Jurnal* 93: 583-589.

- Wang, L., Zhou, X., Zhua, X., Donga, Z., Guo, W. (2016). Estimation of biomass in wheat using random forest. Regression algorithm and remote sensing data, *The Crop Journal*, 4(3), 212-219.
- Wardlow, B.D., Egbert, S.L., Kastens, J.H. (2007). Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. *Remote Sens. Environ*, 108 (3): 290-310.
- Wit, D., Duveiller, A., and G., Defourny, G. (2012). Estimating regional winter wheat yield with WOFOST through the assimilation of green area index retrieved from MODIS observations. *Agriculture for Meteorological*, 164: 39-52.
- Zadehdifard, N. (2002). Preparation of land use map using satellite data in Baft drainage basin. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran. (In Farsi)
- Ziaeiian Firoozabadi, P. Sayad Bidhendi, L. and Eskandari Nodeh, M. (2009). Rice cultivation in Sari city using RADARSAT satellite images. *Natural Geography*, 41(68): 45-58. (In Farsi)