سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال دهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷
Vol.10, No.3, Autumn 2018 Iranian Remote Sensing & GIS

۱۰۵-۱۲۲

توسعه و کاربرد شاخص‌های محصول و وضعیت مزرعه با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2

حامد نعمت اللهی[۱و۴]، داود عاشورلو[۲*]، عباس علیمحمدی [۳]، الهام خدابنده لو[۴]، سهیل رادیوم[۵]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور وGIS ، دانشگاه شهید بهشتی
۲. استادیار مرکز مطالعات سنجش از دور وGIS ، دانشگاه شهید بهشتی
۳. استاد گروهGIS ، دانشکده نقشه برداری (ژئودزی و ژئوماتیک)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۴. مرکز تحقیقات فضایی، پژوهشگاه فضایی ایران
۵. استادیار پژوهشگاه فضایی ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۲/۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۸/۱۴

چکیده

یکی از اهداف مهم در کشاورزی پایدار، حفظ اکوسیستم های سالم با تاکید بر مدیریت منابع زمینی، آبی و طبیعی به منظور تحقق امنیت غذایی در سطوح محلی تا جهانی است. داده های سری زمانی سنجش از دور به عنوان منبعی وسیع و ارزشمند از اطلاعات طیفی و زمانی، توانسته محققان را در پیشبرد اهداف مدیریت مزرعه کمک کند. مدیریت مزرعه همیشه با چالش‌هایی همراه بوده و عدم دسترسی به اطلاعات کمی و کیفی محصولات زراعی از مشکلات این حوزه به شمار می‌رود. هدف از این تحقیق، توسعه و کاربرد شاخص‌های وضعیت محصول و مزرعه با استفاده از داده‌های سری زمانی NDVI ماهواره (Sentinel-2) و نقشه نوع محصول مزارع شرکت کشت و صنعت مغان در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ و شرکت کشت و صنعت شهید رجایی دزفول در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷ است تا به وسیله آن، مناطقی که توسط عواملی همچون بیماری، هجوم آفات و علف های هرز و همچنین مشکلات خاک و عدم توزیع نامناسب آب آبیاری در مزرعه، دچار تغییر فنولوژیکی در طول زمان شده اند، شناسایی شوند. برای این منظور، داده های سری زمانی شاخص NDVI برای ۴ نوع محصول (گندم، ذرت، یونجه و چغندرقند) و در مزارع مختلف محاسبه شد و برای نشان دادن وضعیت مزرعه و محصول در هر مزرعه و مزارع نسبت به هم، دو شاخص وضعیت مزرعه و محصول توسعه داده شد. ارزیابی نتایج این شاخص‌ها با مشاهدات زمینی، حاکی از آن است که محصول یونجه در کشت و صنعت مغان و گندم در کشت و صنعت شهید رجایی دزفول به ترتیب ۸۸/۸۸ و ۹۴/۱۱ درصد، بالاترین دقت (صحت کلی) را در بین محصولات منطقه داشتند.

کلیدواژه‌ها: سری زمانیNDVI، شاخص وضعیت مزرعه، شاخص محصول، مدیریت مزرعه، Sentinel-2

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS

Email: D_Ashourloo@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

کشاورزی، یکی از منابع کلیدی در تامین نیاز غذایی و همچنین از ارکان اقتصاد هر کشور است. بنابراین دسترسی به اطلاعات کمی و کیفی محصولات کشاورزی، در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در راستای تحقق کشاورزی پایدار، پایش وضعیت گیاه، ارزیابی مراحل رشد آن، یافتن استرس گیاه، تعیین ظرفیت فتوسنتز و تولید محصول، اموری اجتناب ناپذیر است. از طرف دیگر، گیاهان به عنوان یکی از اساسی‌ترین مؤلفه های سطح زمین، تأثیر مهمی در تبادل انرژی بین سطح زمین و اتمسفر دارند. علم سنجش از دور، یکی از علوم پیشرو در حوزه مطالعه پوشش‌های گیاهی، به‌ویژه محصولات زراعی و باغی، توانسته قدم مهمی در بهبود شرایط ویژه کشاورزی ایفا کند (Shoshany et al., 2013). در هر حال، پژوهش روی شاخص‌های پوشش-گیاهی، یکی از مهمترین و پرکاربردترین روش‌های رایج بررسی وضعیت کمی و کیفی پوشش گیاهی اعم از زراعی، باغی و مراتع محسوب می‌شود.

مطالعات سنجش از دور بر روی وضعیت کیفی محصولات مختلف زراعی و همچنین تنش‌های زیستی و غیرزیستی گیاهان زراعی که سبب کاهش عملکرد و تولید می‌شوند، را می توان در سه بخش خلاصه کرد: سنجش از دور زمینی، هوایی و ماهواره‌ای. مهمترین موضوع در این‌گونه مطالعات، توجه به دقت‌های تفکیک مکانی و طیفی سنجنده‌های مختلف است (Sakamoto et al., 2005; Mishra and singh, 2011). یکی از مشکلاتی که در مواجه با مطالعات سنجش از دور زمینی با آن روبرو هستیم، عدم دسترسی کامل به مزارع و هزینه بالای کاربرد سنجنده‌های زمینی، به منظور شناسایی این تنش‌ها است. در عین حال سنجنده‌های هوایی یا ماهواره‌ای، به دلیل دید وسیع و همچنین دقت تفکیک مکانی بالا می‌توانند به عنوان ابزار مناسبی برای پایش مستمر محصولات کشاورزی، مورد استفاده قرار گیرند. تغییرات اکوسیستم‌های مختلف را می‌توان با داده‌های سری زمانی NDVI[1] تحلیل و تفسیر کرد. در واقع، همبستگی بالای شاخص NDVI به‌عنوان یکی از بهترین شاخص‌ها از لحاظ کاربرد، با پارامترهای وضعیت رشد محصولات زراعی (مانند بایومس، کلروفیل برگ و سهم تابش فعال فتوسنتزی جذب شده) به اثبات رسیده است (lillesand et al, 2014). برای مثال، مقدار شاخص NDVI حداکثر یا میانگین سالانه، می‌تواند دید وسیعی از فعالیت فتوسنتزی گیاه را فراهم کند (Myneni et al., 1995; Song et al., 2012). فیشر (۱۹۹۴)، فرمولی نیمه‌تجربی برای نمایش‌دادن تغییرات زمانی NDVI، با استفاده از اندازه‌گیری‌های ماهواره NOAA/AVHRR به دست آورد. این مدل، از توابع دوگانه لجستیکی به منظور نشان‌دادن پروفایل زمانی NDVI در مزارع بهره می-گرفت. مهمترین نتیجه این پژوهش، امکان ایجاد همبستگی بالا بین نتایج این مدل با برخی پارامترهای گیاهی نظیر شاخص سطح برگ و میزان تولید بود (Fischer., 1994). در تحقیق دیگری، پان و همکاران (۲۰۱۵)، به منظور پایش مستمر و روزانه فنولوژی گیاهان زراعی، از داده های سری زمانی NDVI ماهواره پایش زمینی HJ-1 A/B بهره گرفتند. یکی از نتایج این پژوهش، ارائه داده‌های روزانه از وضعیت فنولوژیکی محصولات مختلف زراعی و روابط آنها با

[1] Normalized Difference Vegetation Index

شرایط محدودکننده محیطی به منظور مدیریت هرچه بهتر مزرعه بود (Pan et al., 2015). همچنین، وئو و همکاران (۲۰۱۸)، برای پایش بیماری پوسیدگی ریشه پنبه از شاخص پوشش گیاهی NDVI، به صورت سری زمانی و از تصاویر ماهواره ای Sentinel استفاده کردند. در این پژوهش، به منظور افزایش دقت زمانی از روش ادغام داده زمانی و مکانی بهبود یافته[1] (ISTDFA) برای داده‌های ماهواره MODIS[2] و Sentinel استفاده کردند.

تحقیقات متعددی در زمینه کاربرد سری‌های زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی به انجام رسیده که نشان داده، بین تغییرات زمانی ماهانه، فصلی و سالانه NDVI و متغیرهای اقلیمی، روابط همبستگی وجود دارد (Zhihui et al., 2007;Eastman et al., 2013). برای مثال پیائو و همکاران (۲۰۰۳)، با استفاده از داده‌های سالانه NDVI و داده‌های اقلیمی در سال‌های بین ۱۹۸۲-۱۹۹۹، روند ماهانه و فصلی NDVI، ارتباط آنها با اقلیم و فعالیت‌های انسانی را در فلات چین بررسی کردند. این تحقیق نشان داد، افزایش دما و بارندگی در بیشتر مناطق با افزایش NDVI رابطه مستقیم دارد. بدین ترتیب با کاهش بارندگی، فعالیت فتوسنتزی گیاه، کاهش و در اثر آن مقادیر NDVI کاهش یافته و در طول سالهای متوالی، تاثیر منفی در روند رشد اکوسیستم منطقه خواهد گذاشت (Piao et al., 2003). از آنجا که شاخص‌های پوشش گیاهی، اطلاعات با ارزشی را از وضعیت رشد گیاهان زراعی و همچنین عوامل محدود کننده رشد در اختیار ما قرار می‌دهند، لذا، بکارگیری سری زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی، این امکان را به وجود آورده است تا بررسی‌های دقیق‌تری با استفاده از این شاخص‌ها و درنظر گرفتن دوره رشد محصول، به منظور مدیریت صحیح مزرعه صورت گیرد. در مطالعات قبلی (Piao et al., 2003, Song et al., 2012, Pan et al., 2015)، بیشترین توجه، مربوط به عوامل اقلیمی تاثیرگذار روی پوشش گیاهی و بررسی تغییرات آن‌ها در طول چندین سال بوده است؛ لذا تاکنون پژوهشی در زمینه کاربرد سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای در طول یک سال زراعی و بررسی مشکلات و محدودیت‌های مزارع مختلف در یک زمان خاص صورت نگرفته است. این مسئله از این جهت، می‌تواند مهم باشد که چنانچه مزرعه‌ای در دوره رشد اولیه خود، دچار کمبودها یا مشکلاتی باشد، در همان مراحل اولیه رشد، شناسایی شده تا مدیریت صحیح و بهینه‌ای به منظور رفع این محدودیت‌ها و جلوگیری از کاهش عملکرد و تولید محصول صورت گیرد. در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از نقشه سطح زیرکشت محصولات زراعی و داده‌های سری زمانی NDVI ماهواره Sentinel-2، دو شاخص مزرعه و محصول به منظور ارزیابی کیفی مزارع در طول سال زراعی گیاه ارائه شود تا با استفاده از آن‌ها بتوان به بررسی وضعیت هر مزرعه در هر محصول (شاخص وضعیت مزرعه) به تنهایی و همچنین وضعیت هر مزرعه نسبت به مزارع با محصول مشابه (شاخص وضعیت محصول) پرداخت.

۲- مواد و روش‌ها

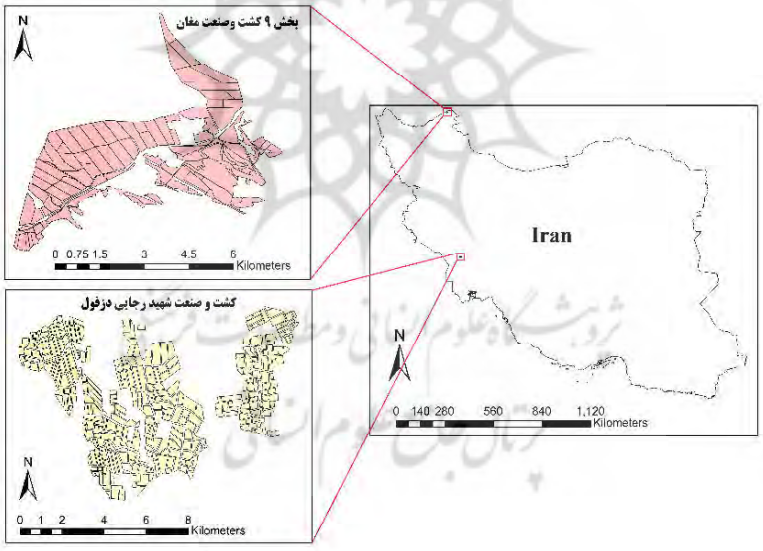
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، دو منطقه با اقلیم‌های متفاوت انتخاب شد. شرکت کشت و صنعت مغان، واقع در استان اردبیل و شهرستان پارس آباد و کشت و صنعت شهید رجایی دزفول واقع در استان خوزستان و شهرستان دزفول به عنوان مناطق مطالعاتی این تحقیق انتخاب شدند.

[1] Improved Spatial and Temporal Data Fusion

[2] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

شکل۱، موقعیت مناطق مطالعاتی را نشان می‌دهد. شرکت کشت و صنعت مغان، حدفاصل عرض جغرافیایی ۲۷` ۳۹° تا ۳۶` ۳۹° شمالی و طول جغرافیایی ۳۲` ۴۷° تا ۰۱` ۴۸° شرقی قرار گرفته است. این شرکت یکی از بزرگترین شرکت‌های کشت و صنعت در ایران محسوب می‌شود که اراضی زراعی، به مساحت تقریبی ۲۰ هزار هکتار در اختیار دارد. آب و هوای این منطقه، نیمه‌خشک معتدل و میانگین بارندگی سالیانه حدود ۲۹۲ میلیمتر است. خاک‌های منطقه از جنس لوم، سیلت و رس هستند. بیش از ۹۰٪ اراضی در این منطقه آبی و بقیه دیم هستند. محصولات عمده منطقه، شامل گندم، جو، یونجه، کلزا، پنبه، ذرت، چغندرقند و آفتابگردان است. همچنین یکی دیگر از مناطق مورد مطالعه در این پژوهش، شرکت کشت و صنعت شهید رجایی دزفول است. این مجموعه کشت و صنعت، بین عرض جغرافیایی ۱۰` ۳۲° تا ۱۴` ۳۲° شمالی و طول جغرافیایی ۲۲` ۴۸° تا ۳۱` ۴۸° شرقی قرار گرفته است. این شرکت در منطقه بیاتیان در۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان دزفول در جوار شهر دزآب قرار دارد و در حال حاضر زیر نظر اتحادیه مرکزی تعاونی های روستایی وکشاورزی ایران فعالیت می کند. این شرکت به عنوان یکی از تولید کنندگان بذر در کشور محسوب می شود. عمده تولیدات بذر این مجموعه شامل بذر شبدر، یونجه، چغندرقند، ذرت دانه ای، ذرت بذری، گندم، کلزا، سبزی و صیفی است.



شکل ۱. مناطق مورد مطالعه (بخش ۹ کشت و صنعت مغان – کشت و صنعت شهید رجایی دزفول)

۲-۲- داده های مورد استفاده

۲-۲-۱- داده های ماهواره ای مورد استفاده

در این تحقیق از تصاویر ماهواره Sentinel-2، به منظور ارزیابی کیفی محصولات زراعی در منطقه استفاده شد. این تصاویر از سایت مرکز دسترسی رایگان برنامه کوپرنیکوس[1] وابسته به سازمان فضایی اروپا اخذ شد.

[1] The Copernicus Open Access Hub

ماهواره Sentinel-2A به عنوان بخشی از برنامه فضایی کوپرنیکوس اتحادیه اروپا (نظارت جهانی بر محیط زیست و امنیت)، در تاریخ ۲۳ ژوئن ۲۰۱۵ به فضا فرستاده شد. این ماهواره، مجهز به یک سنسور چند طیفی MSI است که در محدوده‌های طیفی مرئی و مادون قرمز و با دقت‌های تفکیک مکانی ۱۰ تا ۶۰ متر و در ۱۳ باند از زمین تصویربرداری می‌کند. ماهواره Sentinel-2B در تاریخ ۷ مارس ۲۰۱۷ به منظور پشتیبانی و بهبود زمانی تصویربرداری این سری از ماهواره‌ها به فضا پرتاب شد. تا قبل از پرتاب ماهواره دوم، بازه زمانی هر جفت تصویر متوالی ۱۰ روز بود که با ارسال ماهواره دوم، این بازه به ۵ روز تقلیل پیدا کرد. در این پژوهش، ۱۱ تصویر ماهواره Sentinel-2 در سال زراعی ۹۵-۹۶ برای کشت و صنعت مغان و همچنین ۱۳ تصویر ماهواره ای در سال زراعی ۹۶-۹۷ برای کشت و صنعت شهید رجایی دزفول دریافت شده و پردازش-های اصلی روی آنها بر اساس تقویم زراعی هر محصول انجام گرفت (جدول ۲). همچنین پیش پردازش‌های اولیه (تصحیح اتمسفری و حذف خطای هندسی زیرپیکسلی) بر روی همه تصاویر اعمال شد.

جدول ۲. داده های ماهواره ای مورد استفاده و تقویم زراعی محصولات مختلف

داده مورد استفاده	نوع محصول	تاریخ کاشت محصول	تاریخ برداشت محصول	تعداد تصویر
تصاویر ماهواره ای Sentinel-2 کشت و صنعت مغان	ذرت	خرداد ۹۶	شهریور ۹۶	۷
	یونجه	شهریور ۹۵	چند بار برداشت *	۱۱
	چغندرقند	فروردین ۹۶	آبان ۹۶	۱۱
تصاویر ماهواره ای Sentinel-2 کشت و صنعت شهید رجایی دزفول	گندم	آبان ۹۶	خرداد ۹۷	۱۳
	یونجه	شهریور ۹۶	چند بار برداشت *	۱۳
	چغندرقند	اسفند ۹۶	خرداد ۹۷	۹

* گیاه یونجه با توجه به چندساله بودن آن، در طول هر سال زراعی، چند بار به صورت متوالی با فواصل زمانی متفاوت برداشت می‌شود.

۲-۲-۲- داده های زمینی مورد استفاده

زمینهای زراعی قابل کشت در هر دو منطقه، دارای مساحت‌های مختلف، معمولا از ۴ تا ۲۵ هکتار بوده و بر اساس اقلیم متفاوت هر منطقه، محصولات متنوع زراعی در آنها کشت می‌شود. بررسی هر محصول، در مزارع مختلف، نیازمند داشتن اطلاعات نوع کشت منطقه است، برای این‌منظور از نقشه نوع محصول و سطح زیر-کشت هر دو شرکت استفاده شد. این نقشه‌ها در هر سال زراعی با توجه به سابقه کشت مزارع و همچنین تناوب زراعی هر مزرعه تهیه می‌شود. در ادامه، به منظور ارزیابی دقت و صحت‌سنجی شاخص‌های مزرعه و محصول و تطابق مشاهدات زمینی با نوسانات این شاخص‌ها، اقدام به تعیین موقعیت و برداشت تعداد ۵۷ نقطه GPS از نقاط بحرانی با مشکلاتی از قبیل بیماری و آفات، زمین‌های زهدار، گسترش علف هرز، شیب‌دار بودن اراضی و غیره و همچنین نقاطی که وضعیت بهتری نسبت به نقاط اطراف خود داشتند، شد. طبق مشاهدات زمینی در هر یک از این نقاط، عوامل محیطی

[1] GMES (Global Monitoring for Environment and Security)

سبب بروز محدودیت و در نتیجه کاهش عملکرد محصول شده که در زمان برداشت نقاط، این کاهش عملکرد کاملا مشهود بود. موقعیت هر نقطه در مزارع و محصولات مختلف با ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاص هر محصول و کمبود هایی که ناشی از عوامل محیطی بوده، توسط دستگاه GPS دستی برداشت شد. سپس این نقاط، که شامل نقاط با وضعیت‌های خوب و بد هستند با توجه به منطقه مورد مطالعه با مقادیر شاخص‌های وضعیت مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۲-۳- ارزیابی وضعیت مزرعه

شاخص‌های پوشش گیاهی، اغلب جهت ارزیابی وضعیت کمی و کیفی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شاخص‌های گیاهی نظیر RVI[1] و NDVI برای کاهش اثر عبور اتمسفر، تابش آسمانی، تابش خورشید و محاسبه مقدار پوشش گیاهی ارائه شدند (Calvão and Palmeirim., 2011). در میان شاخص‌های مختلف گیاهی موجود، شاخص NDVI بیشتر از سایر شاخص ها بکارگرفته شده است. شاخص NDVI، توسط Rouse و همکاران (۱۹۷۳) ارائه شده اما پس از آن شاخص‌های مختلفی ارائه شده‌اند و هریک سعی در حداکثر سازی حساسیت شاخص مورد نظر، به یک متغیر خاص از تاج پوشش یا برگ، و کمینه‌کردن اثر بازتاب پس زمینه، اتمسفر و سایر ویژگی های تاج پوشش داشته اند. در این تحقیق، شاخص NDVI برای تصاویر موجود در بازه مطالعه محاسبه و تحلیل‌ها بر مبنای تغییرات سری زمانی شاخص NDVI انجام شده است. از معایب عمده شاخص NDVI می‌توان به نقطه اشباع شدگی پایین آن اشاره کرد. به‌عنوان مثال، هنگامی‌که پوشش گیاهی منطقه بسیار متراکم باشد، این شاخص به نقطه اشباع رسیده و تغییرات میزان پوشش گیاهی منطقه را به خوبی نشان نمی‌دهد (Gitelson, A.A., 2004). در این پژوهش و تحقیقات قبلی، به سبب سازگاری بالای این شاخص با تنوع گیاهی و سری زمانی بودن تصاویر ماهواره ای در طول دوره رشد گیاه، به میزان قابل ملاحظه ای مشکل اشباع شدگی شاخص NDVI حل شده است.

در مقایسه با سطوح غیرگیاهی، بازتابندگی پوشش گیاهی در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس اختلاف شدیدی دارند (Bannari et al., 1996 ; Elvidge and Chen., 1995). شاخص NDVI با استفاده از این اختلاف، پوشش گیاهی را نسبت به سایر عوارض زمین مشخص می‌کند. رابطه (۱)، نحوه محاسبه شاخص NDVI را نشان می‌دهد؛ در این شاخص نسبت بین اختلاف باندهای مادون قرمز و قرمز و جمع این باندها محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{Red})} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه ρ_{NIR} و ρ_{Red} به ترتیب مقدار بازتابندگی رسیده در محدوده باند مادون قرمز و قرمز طیف الکترومغناطیس است. مقدار شاخص NDVI با خواص فیزیکی تاج پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ[2] (LAI)، درصد پوشش گیاهی، شرایط پوشش گیاهی و بایومس ارتباط دارد (Bannari et al., 1995). برای بررسی وضعیت کیفی محصولات مختلف زراعی، ترکیبات مختلف شاخص پوشش گیاهی NDVI مورد مطالعه قرار گرفته است که هر یک تفسیر ویژه‌ای دارد. در ادامه این شاخص‌ها معرفی شده‌است.

بخش اول این پژوهش پس از گردآوری تقویم زراعی محصولات مختلف، انتخاب تصاویر متناسب با تقویم زراعی هر محصول بود. برای این منظور تصاویر با بازه

[1] Ratio Vegetation Index

[2] Leaf area index

زمانی کاشت تا برداشت انتخاب و سپس برای هر محصول، به‌طور جداگانه شاخص پوشش گیاهی NDVI ، در تاریخ های مختلف محاسبه شد. در ادامه با توجه به تقویم زراعی هر محصول، دو شاخص مزرعه و محصول معرفی می‌شوند که هرکدام، به ترتیب وضعیت مزرعه نسبت به بهترین پیکسل داخل مزرعه و وضعیت مزرعه نسبت به مزارع، با محصول مشابه سنجیده می‌شود. در ادامه، نتایج هر یک از شاخص‌ها در محصولات مختلف با مشاهدات زمینی ارزیابی می‌شوند. شکل (۲)، مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

شکل ۲- مراحل انجام پژوهش

۲-۳-۱- شاخص محصول (I_{crop})

با توجه مطالب گفته شده در بخش‌های قبل، چنانچه شرایط محیطی مانند بیماری و آفات و سایر شرایط مثل مشکلات خاک و زهدار بودن زمین وجود نداشته باشد، مقدار شاخص‌های پوشش گیاهی متناسب با فیزیولوژی هر گیاه و دوره رشد آن خواهد بود. بر این اساس می‌توان برای سال‌های زراعی مختلف مقدار شاخص پوشش گیاهی را بررسی کرد. چنانچه در مزارع، شرایط محدودکننده رشد وجود داشته باشد، با بررسی روند تغییرات NDVI، در زمانهای مختلف و نرمال کردن منحنی، می‌توان میزان تاثیرپذیری هر یک از عوامل را

در طول مدت سال زراعی هر محصول بدست آورد. مهم‌ترین نشانه‌های این تغییرات، می‌تواند کاهش بایومس و تولید، کاهش میزان کلروفیل یا سبزینگی برگ و ساقه گیاه، کاهش میزان آب برگ، آلوده شدن به بیماری و هجوم آفات و علف‌های هرز باشد. یکی از مزیت‌های شاخص‌های گیاهی، آشکارسازی این تغییرات در زمان وقوع یا تاثیرپذیری از این عوامل است (Barton., 2012). در این تحقیق، ابتدا وضعیت کیفی مزارع را براساس محصول بررسی نموده و شاخص جدیدی با عنوان شاخص کیفی وضعیت محصول ارائه شد. مهمترین ویژگی این شاخص این است که مزرعه‌ای از یک محصول در بهترین وضعیت کیفی را با وضعیت بقیه مزارع با محصول مشابه بررسی می‌کند. در رابطه (۲)، هر پیکسل مزرعه‌ای از یک محصول، نسبت به بهترین پیکسل از حیث مجموع مقادیر NDVI آن محصول، مورد ارزیابی کیفی قرار می‌گیرد. رابطه (۲)، نحوه محاسبه این شاخص را نشان میدهد.

رابطه (۲)

$$I_{crop} = \frac{\sum_{i=1}^{n} NDVI_{based\ on\ crop\ calender}}{global \max \sum_{i=1}^{n} NDVI_{based\ on\ crop\ calender}}$$

که در آن $\sum_{i=1}^{n} NDVI$ مجموع مقدار شاخص NDVI در طول فصل رشد محصول در سری زمانی با (n) تصویر ماهواره‌ای، $global \max \sum_{i=1}^{n} NDVI$ حداکثر مقدار مجموع NDVI مربوط به هر نوع محصول است. شاخص I_{crop} نشان دهنده وضعیت یک مزرعه از هر محصول، نسبت به مزارع با محصول مشابه خود است. هر چه مقدار این شاخص، در یک مزرعه با یک محصول مشخص، به عدد یک نزدیک‌تر باشد، وضعیت این مزرعه، مشابه بهترین مزرعه از این محصول در کل منطقه است.

۲-۳-۲- شاخص یکنواختی مزرعه ($\mathbf{I_{field}}$)

در شاخص قبلی، مطالعه بر روی وضعیت محصول متمرکز بود و یکنواختی هر محصول را داخل مزرعه بازگو نمی‌کرد. لذا به منظور نشان دادن وضعیت هر مزرعه (یکنواختی)، شاخص I_f با تمرکز روی تغییرات شاخص NDVI در هر مزرعه ارائه شد.

رابطه (۳)

$$I_{field} = \frac{\sum_{i=1}^{n} NDVI_{based\ on\ crop\ calender}}{\max \sum_{i=1}^{n} NDVI_{based\ on\ crop\ calender}\ (\text{farm})}$$

در رابطه (۳)، $\sum_{i=1}^{n} NDVI$ مجموع مقدار شاخص NDVI در طول فصل رشد محصول در سری زمانی با (n) تصویر ماهواره‌ای، $\max \sum_{i=n} NDVI\,(\text{farm})$ حداکثر مقدار مجموع NDVI مربوط به هر مزرعه است. شاخص I_{field} نشان دهنده وضعیت یک پیکسل داخل مزرعه است. هرچه مقدار این شاخص به یک نزدیکتر باشد، پیکسل شرایط بهتری دارد. هر چه به مقدار صفر نزدیکتر باشد، بدین معنی است که وضعیت این قسمت از مزرعه نامناسب است. نتایج آماری تمامی مزارع با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شده و نتایج بالاترین و پایین‌ترین شاخص مزرعه (یکنواختی) به صورت مجزا محاسبه شده است.

رابطه (۴)

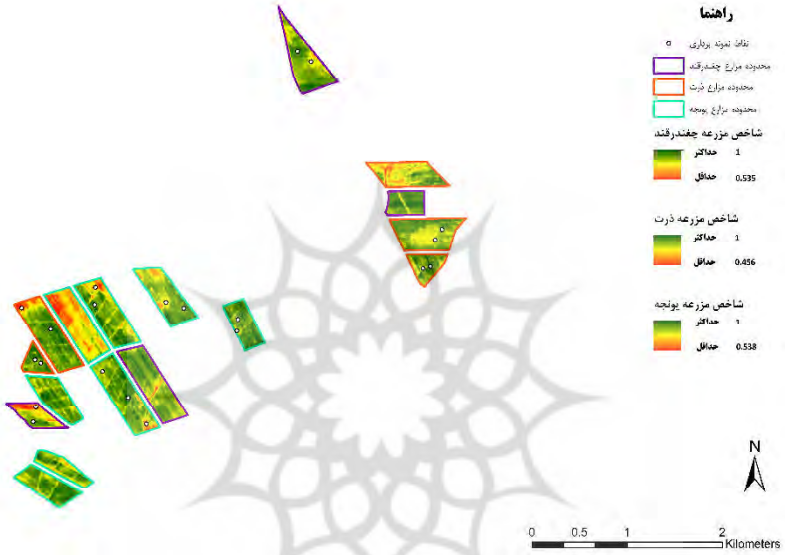
$$M = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right) = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} I_f\right)_{farm}$$

رابطه (۵)

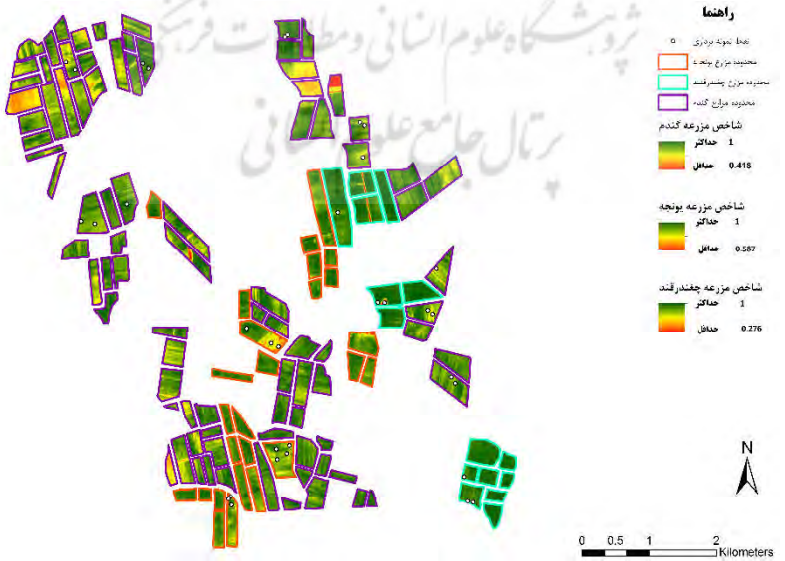
$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (I_f - M)^2}{n-1}}$$

۳- نتایج

ابتدا شاخص یکنواختی مزرعه با توجه به نوع محصول در مزارع مختلف محاسبه شد. بر این اساس یکنواختی هر مزرعه از هر محصول، در سال زراعی جاری با توجه به سری زمانی NDVI به‌دست آمد. نتایج آماری شاخص یکنواختی مزرعه در همه مزارع، مشخص شد همچنین مزارع با بالاترین و پایین‌ترین میزان یکنواختی مزرعه در هر محصول نیز آشکار شد. برای مثال در محصول چغندرقند، نقاطی از مزرعه که با گسترش بیماری و آفات یا زهدار بودن زمین مواجه بود، شاخص یکنواختی مزرعه نیز در آن نقاط، عدد پایین‌تری را نشان داد. شکل (۳) و شکل (۴)، نتیجه محاسبه این شاخص ها را در مزارع گندم، ذرت، یونجه و چغندرقند نشان می‌دهد.



شکل ۳. شاخص کیفی مزرعه (ذرت، یونجه و چغندرقند)، شرکت کشت و صنعت مغان



شکل ۴. شاخص کیفی مزرعه (گندم، یونجه و چغندرقند)، شرکت کشت و صنعت شهید رجایی دزفول

محاسبات آماری مربوط به این مزارع، با توجه به اینکه در مزارع، یکنواختی بالا یا پایین است، محاسبه شده است. در هر کدام از این مزارع، میزان حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار به صورت مجزا محاسبه و مقادیر آن در جدول (۳) و (۴) آورده شده است.

جدول ۳. نتایج آماری شاخص مزرعه (یکنواختی) به تفکیک محصولات زراعی (بالاترین و پایین ترین یکنواختی) شرکت کشت و صنعت مغان

	چغندرقند		یونجه		ذرت	
	یکنواختی زیاد	یکنواختی کم	یکنواختی زیاد	یکنواختی کم	یکنواختی زیاد	یکنواختی کم
حداقل	۰/۶۳۴	۰/۶۱۲	۰/۷۸۹	۰/۵۹۸	۰/۸۳۰	۰/۴۵۶
حداکثر	۱	۱	۱	۱	۱	۱
میانگین	۰/۹۰۲	۰/۸۱۸	۰/۹۳۱	۰/۸۸۶	۰/۹۳۱	۰/۸۹۶
انحراف معیار	۰/۰۴۸	۰/۰۸۶	۰/۰۳۳	۰/۰۶۷	۰/۰۳۳	۰/۰۷۴

جدول ۴. نتایج آماری شاخص مزرعه (یکنواختی) به تفکیک محصولات زراعی (بالاترین و پایین ترین یکنواختی) شرکت کشت و صنعت شهید رجایی دزفول

	چغندرقند		یونجه		گندم	
	یکنواختی زیاد	یکنواختی کم	یکنواختی زیاد	یکنواختی کم	یکنواختی زیاد	یکنواختی کم
حداقل	۰/۹۴۳	۰/۲۷۶	۰/۹۳۷	۰/۶۵۵	۰/۸۵۵	۰/۴۱۸
حداکثر	۱	۱	۱	۱	۱	۱
میانگین	۰/۹۷۸	۰/۹۴۵	۰/۹۸۵	۰/۹۲۲	۰/۹۴۸	۰/۷۷۵
انحراف معیار	۰/۰۰۷	۰/۱۲۹	۰/۰۰۷	۰/۰۵۸	۰/۰۱۷	۰/۱۹۸

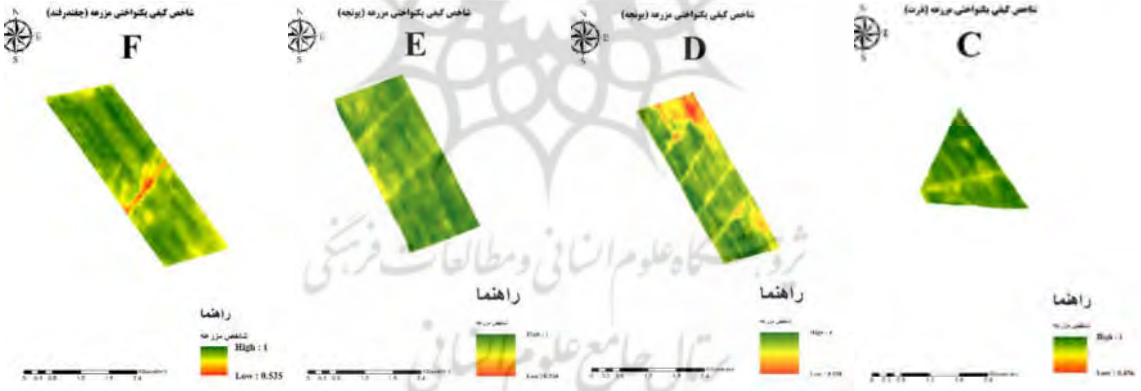
در ادامه شاخص یکنواختی مزرعه، در برخی از مزارع مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج آماری فوق، مزارعی که یکنواختی پایینی[1] داشتند، شرایط محدودکننده رشد در اکثر نقاط مزرعه، باعث کاهش یکنواختی شده بود که این نقاط با بررسی‌های میدانی و نقاط چک زمینی برداشت شده، موردتایید قرار گرفت. لذا با بررسی نقاط مختلف در هر مزرعه، می‌توان گفت که شاخص مزرعه به خوبی توانسته مزرعه را با توجه به بهترین وضعیت مزرعه بر اساس شاخص پوشش گیاهی (NDVI) مورد ارزیابی قرار دهد.

بررسی شاخص مزرعه (یکنواختی) در یکی از مزارع ذرت (A) که پایین ترین یکنواختی را داشت، نشان داد که عوامل محدود کننده رشد، مثل زهدار بودن زمین و یا عدم توزیع نامناسب آب آبیاری در بخش‌هایی از مزرعه سبب کاهش رشد محصول شده بود که در نتیجه این عدم رشد محصول، مقدار شاخص مزرعه در این نواحی با کاهش همراه بوده است. به‌طورکلی به دلیل اینکه چنین مزرعه‌هایی، هم نقاط پربازده و هم نقاط کم بازده دارند می‌بایست بیشتر مورد توجه قرار گرفته و با مدیریت صحیح مزرعه، سعی در حذف یا کاهش عوامل محدودکننده رشد در چنین مزرعه هایی شود (شکل ۴-A). یکی دیگر از مواردی‌که در این پژوهش موردتوجه قرار گرفت، شاخص مزرعه (یکنواختی) در مزارع چغندرقند بود. به دلیل این‌که بین شاخص سطح برگ و میزان تولید غده در گیاه چغندرقند ارتباط مستقیم وجود دارد، افزایش عوامل محدودکننده رشد می‌تواند رشد گیاه را تحت تاثیر قرار داده و باعث کاهش تولید محصول شود

[1] Low uniformity

(Clevers J.G.P.W., 1997). همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است، درمزرعه (B)، یکنواختی مزرعه نسبت به بقیه مزارع پایین‌تر بوده و یک سمت مزرعه به دلیل زهدار بودن زمین و رشد نامناسب گیاه، باعث کاهش میزان سطح برگ و درنتیجه کاهش میزان تولید، شده است. نتیجه این کاهش رشد را در عکس سمت راست شکل (B)، به خوبی می‌توان دید که اندازه غده، کوچک‌تر از سایر نقاط مزرعه شده است.

شکل ۵. شاخص وضعیت مزرعه (یکنواختی) محصول ذرت (A)؛ همانطور که در شکل مشخص است ناحیه ای از مزرعه که با رنگ قرمز مشخص شده به دلیل توزیع نامناسب آب آبیاری و سنگین بودن بافت خاک، گیاه ذرت به خوبی نتوانسته رشد کند. شاخص مزرعه گیاه چغندرقند (B)؛ قسمتهایی از زمین که با رنگ قرمز مشخص است با مطالعات میدانی مشخص شد که اراضی این ناحیه زهدار بوده و ساختمان خاک از بین رفته و مبادلات آب بین خاک و گیاه به خوبی انجام نمی پذیرد.

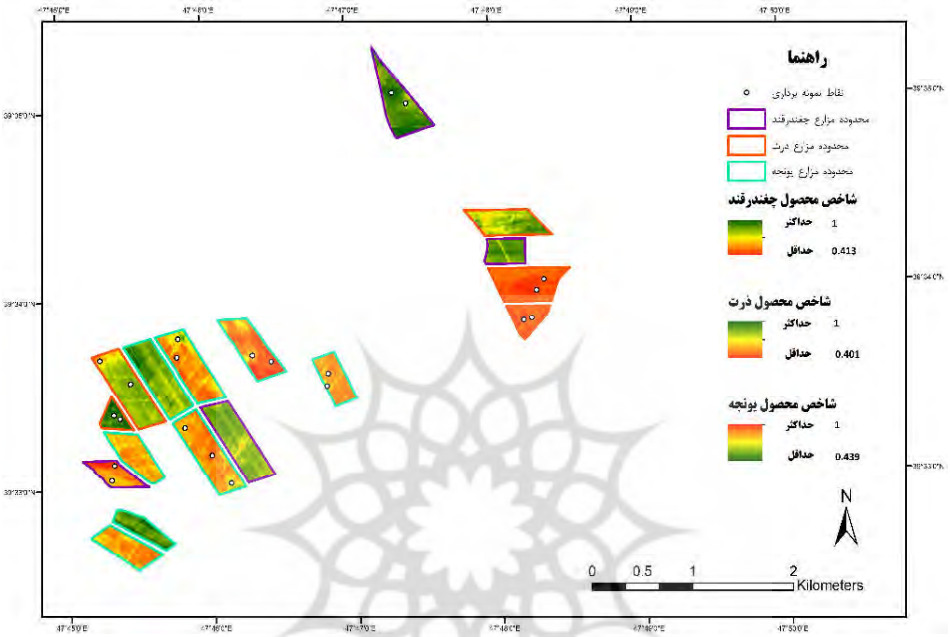


شکل ۶. نقشه های شاخص وضعیت مزرعه (یکنواختی) برای محصولات مختلف در بخش ۹ شرکت کشت و صنعت مغان، همانطور که در شکل ۴ و ۵ مشخص است برای هر محصول دو مزرعه با پایین ترین و بالاترین میزان یکنواختی درنظر گرفته شد. در این شکل هر یک از مزارع به طور جداگانه آورده شده است. مزرعه (D) پایین‌ترین میزان یکنواختی و مزارع (C)، (E) و (F) بالاترین میزان یکنواختی مزرعه را دارد.

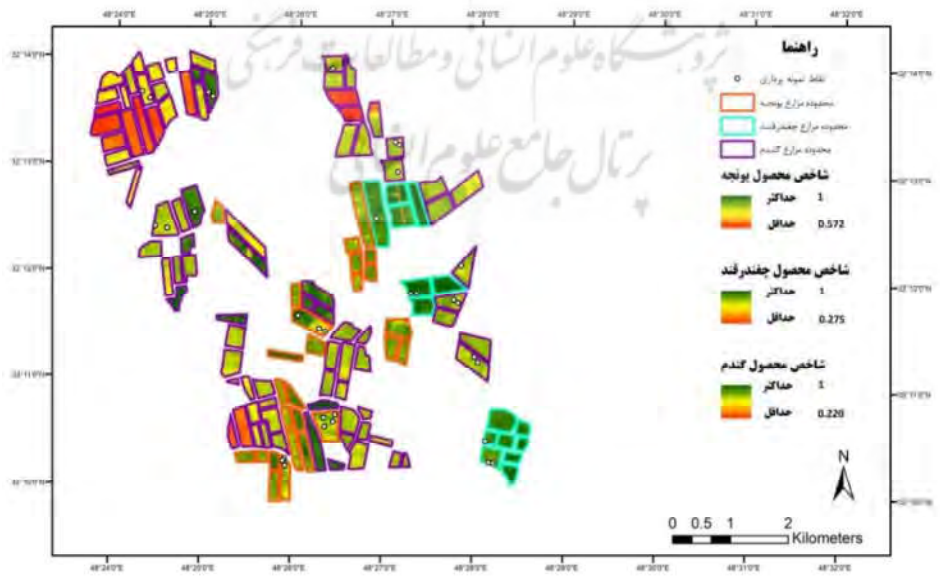
بقیه مزارع نیز با محصولات مختلف زراعی مورد ارزیابی قرارگرفته و هریک از وضعیت‌ها (بالاترین و پایین‌ترین یکنواختی) در هر محصول بررسی شد؛ شکل (۶)، برخی از این مزارع را نشان می‌دهد.

در ادامه شاخص کیفی محصول، برای همه مزارع منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. این شاخص که نشان دهنده وضعیت کیفی محصول در نقاط مختلف مزارع محصولات زراعی است و می‌تواند به عنوان شاخصی نیمه تجربی بیانگر وضعیت تک تک پیکسل های مزرعه نسبت به بهترین پیکسل از حیث مجموع NDVI باشد. به منظور

اثبات وجود نقاط با کمترین کیفیت محصول، از تصاویر گرفته شده داخل مزرعه در نقاط مختلف مزرعه استفاده شد. این نقاط شامل مناطقی با شرایط وجود بیماری و آفات و همچنین علف های هرز در مزارع بود. نتایج شاخص کیفی محصول ذرت، یونجه و چغندرقند شرکت کشت و صنعت مغان (شکل ۷)، همچنین نتایج شاخص کیفی محصول گندم، یونجه و چغندرقند شرکت کشت و صنعت شهد رجایی دزفول (شکل ۸) در زیر آمده است.



شکل ۷. شاخص کیفی محصول (ذرت، یونجه و چغندرقند)، شرکت کشت و صنعت مغان



شکل ۸. شاخص کیفی محصول (گندم، یونجه و چغندرقند)، شرکت کشت و صنعت شهید رجایی دزفول

همانطور که در جدول ۳، مشخص است مقادیر حداقل و حداکثر، دامنه، میانگین و انحراف معیار شاخص وضعیت محصول برای محصولات مختلف زراعی در هر دو شرکت به دست آمده است. با توجه به این نتایج، محصول ذرت در منطقه مغان و محصول گندم در منطقه دزفول خوزستان، دارای بیشترین انحراف معیار و تغییرپذیری بر اساس معیار محصول در مزارع مختلف هستند. به عبارتی ساده‌تر، در کشت و صنعت مغان، مزارع ذرت نسبت به همدیگر و مزارع یونجه نسبت به همدیگر به ترتیب بیشترین و کمترین تغییرپذیری را بر اساس شاخص محصول دارا هستند. همچنین در کشت و صنعت شهید رجایی دزفول، مزارع محصول گندم نسبت به همدیگر و مزارع یونجه نسبت به همدیگر به ترتیب بیشترین و کمترین تغییرپذیری را بر اساس شاخص محصول دارند.

جدول۳. نتایج آماری شاخص محصول در مناطق مورد مطالعه

نوع محصول	حداقل	حداکثر	دامنه	میانگین	انحراف معیار
ذرت (کشت و صنعت مغان)	۰/۴۰۱	۱	۰/۵۹۸	۰/۸۱۰	۰/۱۶۸
یونجه (کشت و صنعت مغان)	۰/۴۳۰	۱	۰/۵۶۰	۰/۷۸۷	۰/۱۱۵
چغندرقند (کشت و صنعت مغان)	۰/۴۱۳	۱	۰/۵۸۶	۰/۸۱۳	۰/۱۲۲
گندم (کشت و صنعت شهید رجایی دزفول)	۰/۲۲۰	۱	۰/۷۴۹	۰/۶۳۵	۰/۱۶۴
یونجه (کشت و صنعت شهید رجایی دزفول)	۰/۵۷۲	۱	۰/۴۲۷	۰/۹۲۲	۰/۰۳۷
چغندرقند (کشت و صنعت شهید رجایی دزفول)	۰/۲۷۵	۱	۰/۷۲۴	۰/۹۴۰	۰/۰۶۳

در ادامه نتایج شاخص‌های توسعه داده شده و مشاهدات زمینی در نقاط مختلف مزارع کشاورزی (اراضی با وضعیت بد یا یکنواختی کم و اراضی با وضعیت خوب یا یکنواختی زیاد)، مورد ارزیابی قرار گرفت. همانطورکه قبلا هم گفته شد، در هر مزرعه، دو نقطه با ویژگی های متفاوت، یکی از نقاط با وضعیت خوب (شرایط ایده ال محیطی و بدون محدودیت، تراکم و یکنواختی بالا) و دیگری نقاطی با وضعیت بد (شرایط نامناسب محیطی و با محدودیت، تراکم و یکنواختی پایین) انتخاب شده و در بازرسی زمینی مورد بررسی قرار گرفت. هر یک از این مشاهدات با تقسیم بندی‌های شاخص وضعیت مزرعه (نقطه خوب با رنگ قرمز و نقطه بد با رنگ سبز) مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج آنها در جدول ۴ و ۵ جداگانه و بر اساس محصول و منطقه به دست آمد. بر این اساس، در کشت و صنعت مغان، میزان دقت مقادیر شاخص‌های وضعیت محصول و مزرعه در شناسایی نقاط با تولید عملکرد پایین و محدودیت‌های زراعی با ضریب کاپای ۰/۷۳، و صحت‌کلی ۸۶/۹۵ گزارش شد. همچنین در کشت و صنعت شهید رجایی دزفول با شرایط متفاوت اقلیمی نسبت به منطقه مغان، میزان دقت تقریبا برابر، با ضریب کاپای ۰/۸۱ و صحت کلی ۹۱/۱۷ درصد به دست آمد.

جدول ۴. جدول نتایج ارزیابی دقت (شرکت کشت و صنعت مغان)

		وضعیت بد (یکنواختی کم)	**وضعیت خوب (یکنواختی زیاد)**	**ضریب کاپا**	**صحت کلی ٪**
ذرت	مقادیر کم شاخص	۳	۱	۰/۷۵	۸۷/۵
	مقادیر زیاد شاخص	۰	۴		
		وضعیت بد (یکنواختی کم)	وضعیت خوب (یکنواختی زیاد)	ضریپ کاپا	صحت کلی ٪
یونجه	مقادیر کم شاخص	۴	۰	۰/۷۸	۸۸/۸۸
	مقادیر زیاد شاخص	۱	۴		
		وضعیت بد (یکنواختی کم)	وضعیت خوب (یکنواختی زیاد)	ضریپ کاپا	صحت کلی ٪
چغندرقند	مقادیر کم شاخص	۲	۱	۰/۶۶	۸۳/۳۳
	مقادیر زیاد شاخص	۰	۳		
	ضریب کاپا (کل شرکت)	۰/۷۳	صحت کلی (کل شرکت)	۸۶/۹۵	

جدول ۵. جدول نتایج ارزیابی دقت (شرکت کشت و صنعت شهید رجایی دزفول)

		وضعیت بد (یکنواختی کم)	**وضعیت خوب (یکنواختی زیاد)**	**ضریپ کاپا**	**صحت کلی ٪**
گندم	مقادیر کم شاخص	۷	۰	۰/۸۸	۹۴/۱۱
	مقادیر زیاد شاخص	۱	۹		
		وضعیت بد (یکنواختی کم)	وضعیت خوب (یکنواختی زیاد)	ضریپ کاپا	صحت کلی ٪
یونجه	مقادیر کم شاخص	۳	۱	۰/۷۸۲	۹۰
	مقادیر زیاد شاخص	۰	۶		
		وضعیت بد (یکنواختی کم)	وضعیت خوب (یکنواختی زیاد)	ضریپ کاپا	صحت کلی ٪
چغندرقند	مقادیر کم شاخص	۱	۱	۰/۵۸	۸۵/۷۱
	مقادیر زیاد شاخص	۰	۵		
	ضریب کاپا (شرکت)	۰/۸۱	صحت کلی (شرکت) ٪	۹۱/۱۷	

۴- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله سعی شده تا با بهره‌گیری از ویژگی‌ها و مراحل فنولوژیکی (تقویم زراعی) هر محصول و اطلاعات طیفی داده‌های ماهواره‌ای سری زمانی، شاخص‌هایی به منظور ارزیابی وضعیت محصول و مزرعه توسعه داده شود. در این راستا، به کمک شاخص‌های پوشش گیاهی، نوسانات وضعیت رشد محصولات زراعی در مزارع، شناسایی و نقشه نهایی آنها تهیه شده است. در قدم‌های بعدی، می‌توان با بررسی‌های دقیق‌تر، عوامل ایجاد-کننده این تغییرات را که عمدتاً عوامل محدودکننده رشد مانند گسترش بیماری و هجوم آفات و علف‌های هرز، زهدار بودن زمین و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، عدم توزیع مناسب آب آبیاری و همچنین مشکل خاک است، مشخص کرد. نتایج این پژوهش، نشان می‌دهد که شاخص‌های وضعیت محصول و مزرعه در شرایط مختلف اقلیمی می‌تواند وضعیت تک‌تک مزارع و محصولات مختلف زراعی را در طول هر سال زراعی، مورد ارزیابی قرار دهد. از دیگر قابلیت‌های این شاخص-ها، می‌توان به شناسایی نقاطی با محدودیت‌های رشد یا نقاطی با عملکرد پایین به دلایل مختلف محیطی یا

انسانی اشاره کرد که با بررسی‌های زمینی با دقت بالایی مورد تایید قرار گرفت. با مشخص‌شدن نواحی با محدودیت زراعی و بازدهی کم در مزرعه، به منظور مدیریت و اصلاح شرایط محدودکننده رشد، این اطلاعات در اختیار کارشناسان و کشاورزان مربوطه قرار گرفته تا با استفاده از تجربیات و دانش، مدیریت مزرعه را به‌شکل صحیح و کاربردی با کمترین هزینه و نیروی انسانی در جهت افزایش محصول و تولید به انجام رسانند.

در مطالعات قبلی، به دلیل پایین بودن دقت مکانی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین بدون در نظر گرفتن نوع محصول و تقویم زراعی هر یک از محصولات کشاورزی، شناسایی مناطقی که دچار کاهش عملکرد بودند، با دقت مکانی بالایی همراه نبود (Piao et al., 2003, Song et al., 2012, Pan et al., 2015)؛ درحالی‌که هدف اصلی این پژوهش، شناسایی مزارع و نواحی دارای محدودیت رشد و عملکرد پایین در طول سال زراعی و با استفاده از تقویم زراعی هر یک از محصولات و تصاویر ماهواره ای با دقت مکانی و زمانی بالا مورد توجه بوده است. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی، تناوب زراعی هر مزرعه با ویژگی‌های مختص آن مزرعه و محصول در نظر گرفته شود تا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سری زمانی در سال‌های مختلف، برآورد دقیق‌تری از مشکلات و شرایط نامساعد زمینی که موجب کاهش عملکرد و تولید می‌شود بدست آید. همچنین می‌توان با بکارگیری پارامترهای بیوفیزیکی و بیوشیمیایی گیاهان زراعی و مدل‌سازی این پارامترها با خصوصیات فنولوژیکی محصولات زراعی، شیوه کارآمد-تر و دقیق‌تری در زمینه مدیریت مزرعه، توسعه داده شده و در اختیار کارشناسان و کشاورزان قرار گیرد.

۵- منابع

Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., Huete, A.R., 1995, **A review of vegetation indices**, Remote Sensing Reviews. (13): 95– 120.

Bannari, A., Huete, A.R., Morin, D., Zagolski, F., 1996, **Effets de la couleur et de la brillance du sol sur les indices de végétation**, International Journal of Remote Sensing. (17): 1885 – 1906.

Barton, C.W.M., 2012, **Advances in remote sensing of plant stress**, Plant and Soil (354): 41–44.

Bastiaanssen, W.G.M., Ali, S., 2003, **A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan**, Agriculture, Ecosystems and Environment, 94:321-340.

Calvão, T., Palmeirim, J.M., 2011, **A comparative evaluation of spectral vegetation indices for the estimation of biophysical characteristics of Mediterranean semi-deciduous shrub communities,** International Journal of Remote Sensing, 32(8): 2275-2296

Clevers J.G.P.W., 1997, **A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data**, Remote Sensing of Environment, 61(2): 221-228

Copernicus Open Access Hub, https://scihub.copernicus.eu/

Eastman, J.R., Sangermano, F., Machado, E.A.,

Different Vegetation Index (NDVI) difference series and climate variables in the Xilingole steppe, China from 1983 to 1999, Frontiers in Biology (2): 218-228.

Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J., 2015, **Remote Sensing and Image Interpretation**, 7th Edition, John Wiley And Sons Inc.

Mishra, A.K., Singh, V.P., 2011, **Drought modeling – A review**, Journal of Hydrology.403(1):157-175

Myneni, R.B., Hall, F.G., Sellers, P.J., Marshak, A.L., 1995, **The interpretation of spectral vegetation indexes. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, (33): 481–486.

Pan, Z., Huang, J., Zhou, Q., Wang, L., Cheng, Y., Zhang, H., Blackburn, G.A., Yan, J., Liu, J., 2015, **Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A/B data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, (34):188-197

Piao, S., Fang, J., Zhou, L., Guo, Q., Henderson, M., Ji, W., Li, Y., Tao, S., 2003, **Interannual variations of monthly and seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999**, Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 108(D14): 4401

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Rogan, J., Anyamba, A., 2013, **Global Trends in Seasonality of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**, 1982–2011. Remote Sensing, 5(10):4799-4818.

Elvidge, C.D., Chen, Z., 1995, **Comparison of broad-band and narrowband red and near-infrared vegetation indices**, Remote Sensing of Environment, (54): 38 – 48.

Fensholt, R., Hostert, P., Pflugmacher, D., Udelhoven, T., Yin, H., 2012, **How Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Trends from Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) and Système Probatoire d'Observation de la Terre VEGETATION (SPOT VGT) Time Series Differ in Agricultural Areas: An Inner Mongolian Case Study**, Remote Sensing, (4): 3364-3389.

Fischer, A., 1994, **A model for the seasonal variations of vegetation indices in coarse resolution data and its inversion to extract crop parameters. Remote Sensing of Environment**, 48(2): 220-230.

Gitelson, A.A., 2004, **Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation**, Journal of Plant Physiology. 161: 165-173.

Gu, Z., Chen, J., Shi, P., Xu, M., 2007, **Correlation analysis of Normalized**

Deering, D.W., 1973, **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**, In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309–317.

Sakamoto, T., Yokozawa, M., Toritani, H., Shibayama, M., Ishitsuka, N., Ohno, H., 2005, **A crop phenology detection method using time-series MODIS data**, Remote Sensing of Environment. 96(3): 366–374.

Shoshany, M., Long, D., Bonfil, D., 2013, **Remote Sensing for sustainable agriculture. International Journal of Remote Sensing**, (34):6021–6023.

Song, X., Zhao, C., Chen, L., Huang, W., Cui, B., 2012, **Winter Wheat Growth Uniformity Monitoring Through Remote Sensed Images**, International Society of Precision Agriculture proceedings.

Wessels, K.J, Prince, S.D, Reshef I., 2008, **Mapping land degradation by comparison of vegetation production to spatially derived estimates of potential production**, Journal of Arid Environments, 72(10):1940-1949.

Wu, M., Yang, C., Song, X., Hoffmann, W.C., Huang, W., Niu, Z., Wang, C., Li, W., Yu, B., 2018, **Monitoring cotton root rot by synthetic Sentinel-2 NDVI time series using improved spatial and temporal data fusion**, Scientific Reports.

Zhihui, G.U., Chen, J., Shi, P. and Ming, X.U., 2007, **Correlation analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) difference series and climate variables in the Xilingole steppe, China from 1983 to 1999**, Frontiers in Biology (2): 218-228.

سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال دهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷
Vol.10, No.3, Autumn 2018 Iranian Remote Sensing & GIS

105-122

Development and application of crop and field condition indices using time-series satellite images of Sentinel-2

Nematollahi H.[1,4], Ashourloo D.[2*], Alimohammadi A.[3], Khodabandehloo E.[4], Radiom S.[5]

1. M.Sc. of RS & GIS, Shahid Beheshti University
2. Assistant Prof., Dept. of RS & GIS, Shahid Beheshti University
3. Professor., Dept. of GIS Engineering, Faculty of Geodesy & Geomatic Engineering, K.N. Toosi Uniersity of Technology
4. Space Research Institute, Iranian Space Research Center
5. Assistant Prof., Iranian Space Research Center

Abstract

One of important objectives in sustainable agriculture is preservation of healthy ecosystems with focus on natural aquatic and terrestrial resources management in order to accomplish food security at local and global scales. Time-series remotely sensed datasets are precious and valuable resource of temporal and spectral information that could support researchers to access field management goals. Farm management have been always encountered some challenges such as lack of access to quantitative and qualitative information of agricultural crops. This research aims to develop crop and field condition indices using time-series of NDVI (Sentinel-2) and crop type maps of Moghan Agro-Industry (MAI) in 2016-2017 and also Shahid Rajaei Agro-Industry (SRAI) in 2017-2018. Then we tried to identify parts of the fields that are affected by Environmental factors such as disease, pest, weed, soil-related deficiencies and uneven distribution of water due to Inefficient irrigation system. To this end, Time-series of NDVI for four crops (wheat, maize, alfalfa and sugar beet) in various fields was provided. Finaly, field and crop condition indices were developed to show the variations of crop in each field and also the fields in comparison with each other. Finally, the proposed indices showed high accuracy with ground observations. The results were 88.88% for Alfalfa fields in MAI, and 94.11% for wheat fields in SRAI. After evaluation of the results of indices with ground observations, it was revealed that where field (homogeneity) index is low, growth limiting factors are activated.

Keywords: NDVI time-series, field condition index, crop condition index, farm management, Sentinel-2

Correspondence Address: Remote Sensing & GIS Research Center, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
Email: D_Ashourloo@sbu.ac.ir