

ارائه روشی دانش مبنا برای تمییز محصولات زراعی و برآورد سطح زیر کشت (مطالعه موردی: دشت مغان)

سعید مهری^۱، نوید هوشنگی^{۲*} و میررضا غفاری رزین^۲

۱. کارشناسی ارشد مهندسی GIS، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
۲. استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران.

* نویسنده مسئول، Email: hooshangi@arakut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳ شهریور ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۱۴ دی ۱۴۰۰

چکیده

مقدمه: نظارت و اطلاع از آمار دقیق و بهنگام سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و برآورد میزان تولیدات کشاورزی نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های صحیح اقتصادی، واردات و صادرات دارد. امروزه به دلیل هزینه‌ی پایین و سرعت بالای روش‌های سنجش‌ازدوری، میزان استفاده از این علم برای تولید آمار به هنگام سطح زیر کشت محصولات زراعی در حال گسترش می‌باشد.

هدف: هدف اصلی پژوهش حاضر توسعه‌ی روشی دانش مبنا مبتنی بر مفاهیم شیء‌گرایی با لحاظ نمودن شروط مکانی و زمانی به منظور بهبود دقت تمییز محصولات زراعی و همچنین کاهش تعداد نمونه‌برداری‌های زمینی می‌باشد.

روش شناسی: تحقیق حاضر در سه مرحله اصلی انجام می‌شود: مرحله‌ی اول شامل ایجاد ساختار شیء‌گرایی (استخراج ویژگی‌های هر مزرعه و ذخیره آن)، مرحله‌ی دوم ایجاد پایگاه دانش بر اساس استخراج امضای طیفی محصولات زراعی مختلف و شروط مکانی-زمانی و مرحله‌ی سوم شامل تمییز و تعیین نوع محصولات کاشته شده در هر مزرعه بر روی تصاویر ماهواره ای جدید (مجهول) با استفاده از دانش و اطلاعات ذخیره‌شده در هر مزرعه (شیء) می‌باشد.

قلمرو جغرافیایی پژوهش: روش پیشنهادی به دلیل اهمیت و تنوع محصولات دشت مغان با استفاده از اطلاعات (مکانی و طیفی) سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در این دشت پیاده‌سازی شد. همچنین به منظور بررسی قابلیت روش از پایگاه دانش ایجاد شده برای سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و بدون نمونه‌برداری‌های زمینی، استفاده شد.

یافته‌ها و بحث: روش پیشنهادی در سه تاریخ مختلف (اواخر فروردین، اواخر اردیبهشت‌ماه و اواسط خردادماه) از یک سال زراعی پیاده سازی شد. دقت کلی روش برای تمییز محصولات در تاریخ‌های بیان شده به ترتیب ۹۴/۶۶، ۹۱/۵ و ۹۵/۱۲ درصد محاسبه شد که نسبت به روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت بهبودی بیش از ۱۰ درصد را نشان می‌دهد. دقت کلی تمییز محصولات در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نیز در شرایط بدون استفاده از داده‌های زمینی به منظور به روز رسانی و تغییر پایگاه دانش روش، برای تاریخ‌های اول و دوم به ترتیب ۹۲/۳ و ۹۰/۶ درصد بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد استفاده از شروط پایگاه دانش که با استفاده از شرایط مکانی-زمانی و رفتار طیفی محصولات زراعی تعیین و تدوین می‌شوند، موجب افزایش دقت تمییز محصولات زراعی در مقایسه با روش‌های عادی مانند طبقه‌بندی بیشترین شباهت می‌شود. همچنین طبق نتایج تا زمانی که قیود پایگاه دانش ایجاد شده سازگار باشد، می‌توان بدون نیاز به نمونه‌برداری زمینی در سال‌های زراعی بعدی به منظور به روز رسانی پایگاه دانش، از آن برای تمییز محصولات زراعی استفاده نمود.

کلیدواژه‌ها: روش دانش مبنا، سنجش‌ازدور، تمییز محصولات، آمار زراعی، آنالیز مکانی-زمانی.

مقدمه

کشاورزی به عنوان اصلی‌ترین رکن تأمین نیازهای غذایی یک جامعه به شمار می‌آید. پیش‌بینی میزان عملکرد محصولات مختلف زراعی و تنوع مکانی و زمانی برداشت محصولات یک اقدام اساسی برای مدیریت محصولات و اهداف سیاست‌گذاری می‌باشد (Ahmad, et al., 2020: 1). تهیه اطلاعات دقیق و به روز در مورد کاربری اراضی، پوشش زمین و تعیین مقدار سطح زیرکشت محصولات به منظور مدیریت فعالیت‌های زمین و منابع آبی در سراسر جهان بسیار مهم است (Nguyen, et al., 2020: 1؛ ریاحی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۴۸). مدیریت بهینه بخش کشاورزی نیازمند آگاهی از آمار دقیق سطح زیرکشت و برآورد دقیق میزان تولید محصولات مختلف می‌باشد (رحیم زادگان و پورغلام، ۱۳۹۵: ۹۸). این آمار و اطلاعات ابزار مهمی برای درک روند تولید غذا، سیاست‌گذاری‌های خرد و کلان بخش کشاورزی و پایه و اساس برنامه‌ریزی‌های صحیح اقتصادی مانند صادرات و واردات می‌باشد (یونسی، ۱۳۹۸: ۱۱۶).

تهیه و تولید آمار زراعی به سه طریق تخمین کارشناسی، فهرست‌برداری و استفاده از فناوری‌های جدید از جمله بهره‌گیری از سنجش‌ازدور^۱ (RS) و سامانه اطلاعات مکانی^۲ (GIS) انجام می‌گیرد. دقت حاصل از روش تخمین کارشناسی که وابسته مشاهدات زمینی می‌باشد، بسیار اندک است (Nguyen et al., 2020: 1؛ ضیائیان فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۶) و از نتایج آن در تصمیم‌گیری‌های مختلف نمی‌توان استفاده کرد. در روش فهرست‌برداری برآوردها بر اساس آماری مانند میزان بذر و کود مصرفی شرکت‌های خدماتی انجام می‌شود، که به دلیل مکانیزه نبودن و عدم تمایل کشاورزان به همکاری با شرکت‌های خدماتی عموماً کاری زمان‌بر، پرهزینه و غیرقابل اطمینان می‌باشد (علی زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۲؛ یونسی، ۱۳۹۸: ۱۱۶). مواردی همچون هزینه‌ی بالای نیروی انسانی استفاده‌شده و طولانی بودن زمان جمع‌آوری و پردازش آمار، از جمله معایب روش فهرست‌برداری است (ضیائیان فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۶؛ علیپور و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۴۴). در روش فهرست‌برداری با وجود تخمین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، پراکندگی مکانی محصولات برآورد نمی‌شود (ریاحی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۴۸). هر ساله طرح‌های مختلف آمارگیری در بخش کشاورزی اجرا می‌گردد که معمولاً به‌صورت سنتی و با آمارگیری نمونه‌ای از سراسر کشور همراه است (حاتمی و همکاران، ۱۳۹۳) که با توجه به مشکلات ذکرشده در شیوه‌ها سنتی، آمار به هنگام تولید نمی‌شود و عموماً این روش‌ها دارای خطاهای زیادی هستند (Ahmad et al., 2020: 2؛ فرزادمهر و تباکی بجستانی، ۱۳۹۷: ۵۰). افزون بر اینکه آمارهای تولیدشده‌ی کاربردی باید دارای مقیاس بالا باشند تا بتوان از آن‌ها به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری استفاده کرد (Yu, et al., 1996). امروزه استفاده از فناوری‌های جدید مانند سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات مکانی از جمله روش‌های در حال گسترش برای تخمین میزان سطح زیر کشت محصولات زراعی می‌باشد (Yusoff, et al., 2017: 433؛ علی زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۲). داده‌های حاصل از فناوری سنجش‌ازدور به دلیل ویژگی‌هایی مانند اخذ و انتشار رقمی، قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی مناسب و هزینه پایین به‌عنوان ابزاری مهم برای کسب اطلاعات به هنگام از سطح محصولات کشاورزی محسوب می‌شود (Deng, et al., 2008: 4823; Hussain, et al., 2013: 91; Lu, et al., 2004: 2365). تشخیص پدیده‌های کشاورزی با پایش متناوب سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا و هزینه پایین، امکان‌پذیر است (Nguyen et al., 2020: 1؛ یونسی، ۱۳۹۸: ۱۱۶). مطالعه مکان‌های زیرکشت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای موجود و تهیه نقشه‌ی اراضی زیر کشت آن در هر سال در مدیریت بهینه‌ی اراضی و برنامه‌ریزی برای توزیع محصولات نقش اساسی ایفا می‌کند (رحیم زادگان و پورغلام، ۱۳۹۵: ۹۸؛ ریاحی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۴۹).

در طول دهه‌ی گذشته، تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یک منبع داده‌ی مهم برای تشخیص کاربری زمین و تغییرات پوشش زمین بوده‌اند (Chen, et al., 2021: 2). در حال حاضر سنجنده‌ها با قابلیت‌های متفاوتی در ماهواره‌ها قرار دارند و در باندهای مختلف قادر به گرفتن تصاویر از سطح زمین هستند (فروغی منش و عبدالهیان نوقایی، ۱۳۹۳: ۲۰۹). از

¹ Remote sensing

² Geographic Information System

تصاویر ماهواره‌ای مختلف از جمله تصاویر چند زمانه ماهواره لندست ۸ در ناحیه لنجان استان اصفهان برای محاسبه-ی سطح زیر کشت گندم و جو، برنج، و سیب‌زمینی و علوفه (ریاحی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۴۷)، در تخمین سطح زیر کشت زعفران در شهرستان تربت‌حیدریه (رحیم زادگان و پورغلام، ۱۳۹۵: ۹۷؛ فرزادمهر و تباکی بجستانی، ۱۳۹۷: ۴۹)، در برآورد تغییرات سطح زیرکشت گندم و سویا در غرب استان گلستان (علی زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۱)، مطالعه آفات محصولات زراعی (Jafari Jozani et al., 2020: 1)، در تشخیص گروه‌های گیاهی در منطقه‌ی گلول و سرانی در استان خراسان شمالی (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۷)، در سیستم کاشت سبز^۱ در یولانگاب چین (Chen et al., 2021: 1)، برآورد سطح زیر کاشت ذرت در فیصل آباد پاکستان (Ahmad et al., 2020: 5)، تخمین مناطق زیر کشت برنج (Nguyen et al., 2020: 2)، شناسایی مزارع برنج با تلفیق داده‌های لندست ۸ و تصاویر راداری (Parvesh Shengbo et al., 2020: 2) و از تصاویر ماهواره IRS در برآورد سطح زیرکشت باغات در اراضی دشت شاریان شهرستان مهاباد (یونسی، ۱۳۹۸: ۱۱۸) و در محاسبه سطح زیر کشت گندم در استان قزوین (عباس زاده تهرانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۷) استفاده شده است. در مطالعاتی به صورت محدود از تصاویر ماهواره‌ی GeoEye و سنجنده‌ی TM ماهواره لندست در تعیین سطح زیرکشت و تراکم بوته مزارع چغندرقد در استان قزوین (فروغی منش و عبدالهیان نوقابی، ۱۳۹۳: ۲۰۷)، از ماهواره Spot در شناسایی زمین‌های نخل‌های روغن آرهاشده در مالزی (Yusoff et al., 2017: 432) استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای تفکیک و تمییز محصولات کشاورزی مختلفی از جمله برنج (ریاحی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۴۷)، زعفران (رحیم زادگان و پورغلام، ۱۳۹۵: ۹۷؛ فرزادمهر و تباکی بجستانی، ۱۳۹۷: ۴۹)، جو و گندم و سویا (علی زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۱) و ذرت (Ahmad et al., 2020: 1) استفاده شده است. به علت قدرت تفکیک زمانی و مکانی نسبتاً مناسب ماهواره‌ی لندست ۸، در دسترس و رایگان بودن آن‌ها و پراکنش زمانی مناسبی با دوره رشد گیاه گندم در مطالعات مختلفی تأیید شده و برای تعیین سطح زیر کشت با دقت نسبتاً مناسب در مقیاس منطقه-ای توصیه شده است (Chen et al., 2021: 2).

به موازات پیشرفت‌های صورت گرفته در ویژگی‌های ماهواره‌ها و سنجنده‌های اخذ تصاویر، تکنیک‌های پردازش تصویر به ویژه روش‌های کلاسه‌بندی نیز توسعه زیادی یافته‌اند (El-Kawy, et al., 2011: 484; Yusoff et al., 2017: 434). در این زمینه روش‌های مختلفی از جمله روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) (ریاحی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۵۸)، روش ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی (علی زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۸)، طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی، فاصله ماکسیمی، حداکثر احتمال و متوازی‌السطوح (رحیم زادگان و پورغلام، ۱۳۹۵: ۹۷)، ماشین‌های بردار پشتیبان (Ahmad et al., 2020: 1)، شبکه عصبی یادگیری عمیق مکانی-زمانی طیفی (Nguyen et al., 2020: 2) و روش شیء‌گرایی نظارت‌شده (Sonmez & Sari, 2007: 1325) در تمییز محصولات زراعی استفاده شده است. بر اساس مطالعات پیشین روش غالب و بهینه‌ی کلی برای تمییز سطح کشت وجود نداشته و مقایسه‌ی نتایج روش‌ها با یکدیگر نتایج مختلفی را داشته است (Ahmad et al., 2020: 2). در مطالعه‌ی روش شاخص NDVI در قیاس با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، برتری نشان داده (ریاحی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶۶)، در تحقیقی روش حداکثر احتمال در قیاس با روش حداکثر فاصله از میانگین و روش متوازی‌السطوح (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۷؛ یونسی، ۱۳۹۸: ۱۱۵)، در تحقیقی روش بردار پشتیبان (رحیم زادگان و پورغلام، ۱۳۹۵: ۱۱۱) و در تحقیقی دیگر روش شیء‌گرایی نسبت به روش بردار پشتیبان (Sonmez & Sari, 2007: 1325) به عنوان روش برجسته انتخاب شده است. از بین روش‌های مورد استفاده در تحقیقات مختلف، روش غالبی ارائه نشده و دقت این روش‌ها علاوه بر ساختار روش، به موارد مختلفی از جمله کیفیت داده‌های آموزشی، نحوه آموزش الگوریتم‌ها،

¹ Green Depressing Cropping System (GDSCS)

² Oil Palm

میزان تجربه و تخصص کاربر وابسته است. رویکرد شیء‌گرایی از جمله روش‌های جدید و مناسب در این زمینه می‌باشد که در آن مبنای محاسباتی شیء است که با توجه به هدف تعریف می‌گردد. در هنگام استفاده از روش‌های سنجش‌ازدوری به منظور تمییز محصولات کشاورزی، داده‌های جمع‌آوری‌شده به دلیل ماهیت پویای پدیده‌های کشاورزی، صرفاً برای همان سال زراعی معتبر بوده و برای تمییز محصولات، در سال‌های زراعی بعدی نیاز است تا هر سال داده‌ی زمینی جدید جمع‌آوری شود. بررسی تحقیقات پیشین در حوزه برآورد سطح زیر کشت و سیستم‌های دانش‌پایه نشان می‌دهد که استفاده صحیح از رویکرد دانش‌مبنا در این حوزه می‌تواند موجب افزایش دقت تفکیک محصولات زراعی و تخمین محصولات شود (Zhu, et al; Rodriguez-Bachiller & Glasson, 2003; al, 2014: 10)؛ در این راستا کیفیت و جامعیت دانش استفاده شده، دارای نقش کلیدی است (Akerkar & Sajja, 2012; Zhu, et al, 2014: 2). در سیستم‌ها و روش‌های دانش‌مبنا سازگاری دانش استفاده شده در پایگاه دانش با واقعیت‌ها باید به‌طور مداوم مورد بازبینی قرار گرفته و به‌روزرسانی شود تا دقت نهایی تأمین‌شده و کارایی روش دانش-پایه حفظ و خروجی آن صحت کافی داشته باشد (Freitas & Tagliani, 2009: 2071).

هدف اصلی این تحقیق توسعه روشی دانش‌مبنا برای تمییز محصولات زراعی با بهره‌مندی از ویژگی‌های شیء‌گرایی و استفاده از داده‌های مکانی-زمانی (شیوه کاشت، آب‌وهوا، سابقه زراعی منطقه و تقویم زراعی) و رفتار طیفی محصولات زراعی از زمان کاشت تا برداشت است. پایگاه دانش این روش، شامل واقعیت‌هایی است که بر مبنای شرایط، داده‌های مکانی و رفتار طیفی محصولات مختلف استخراج‌شده‌اند. در روش ارائه شده هر مزرعه یک شیء با ویژگی‌ها و خصوصیات مخصوص خود از جمله مساحت، شیوه آبیاری و سابقه محصولات کشت‌شده در آن، لحاظ می‌شود. انتظار می‌رود استفاده از روش شیء‌گرایی به همراه این واقعیت‌ها در روند تمییز محصولات علاوه بر بهبود دقت تمییز و به تبع آن بهبود دقت برآورد سطح زیر کشت هر محصول، بتوانند میزان نیاز به نمونه‌برداری‌های زمینی مورد نیاز برای پیاده‌سازی روش‌های موجود تمییز محصولات زراعی (الگوریتم‌های کنترل‌شده سنجش‌ازدوری) را کاهش دهد. نوآوری اصلی تحقیق استفاده از روش شیء‌گرایی به منظور ترکیب شرایط مکانی-زمانی با رفتار طیفی محصولات مختلف در قالب قیود پایگاه دانش به منظور بهبود دقت تمییز محصولات و برآورد سطح زیر کشت (فرضیه‌ی اول) و کاهش نیاز به نمونه‌برداری‌های زمینی (فرضیه‌ی دوم) است.

روش‌شناسی

این تحقیق در سه مرحله اصلی انجام می‌شود که به صورت بصری در شکل ۲ نمایش داده شده است: مرحله‌ی اول ایجاد ساختار شیء‌گرایی (استخراج ویژگی‌های هر مزرعه و ذخیره آن)، مرحله‌ی دوم ایجاد پایگاه دانش بر اساس استخراج امضا طیفی و شروط مکانی زمانی و مرحله‌ی سوم یافتن محصولات در تصاویر جدید با استفاده از دانش و اطلاعات ذخیره‌شده‌ی هر مزرعه می‌باشد. در ادامه روند پیاده‌سازی هر مرحله تشریح می‌شود.



شکل ۲. روند نمای تحقیق

داده‌ها و نحوه آماده‌سازی آن‌ها

اطلاعات طیفی مورد نیاز در این تحقیق از سری تصاویر سنجنده‌ی OLI^۱ ماهواره لندست ۸ مربوط به سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (جهت پیاده‌سازی و آزمون فرضیه اول) و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (جهت آزمون فرضیه دوم تحقیق) استخراج شده است. این تصاویر از طریق سایت <http://earthexplorer.usgs.gov> دانلود گردیده است. با توجه به وسعت بالای محدوده مطالعاتی، این محدوده در دو نوار مختلف (در مجموع سه منظر) از تصاویر ماهواره لندست ۸ قرار دارد، که مربوط به مسیرهای (Path) ۱۶۴ و ردیف (Row) ۳۷ است.

برای تعیین محدوده و مساحت مزارع، ابتدا نقشه حدنگاری (کاداستر) موجود که دارای مقیاس ۱:۲۰۰۰ بود (شکل ۱.ب)، اسکن شد. سپس نقشه اسکن شده با برداشت نقاط کنترل زمینی (مارک‌های آبی‌رنگ در شکل ۱.ب) زمین مرجع و سپس رقومی سازی شد. محدوده مطالعاتی شامل ۱۴۴ مزرعه است که کمینه، بیشینه و میانگین مساحت مزارع به ترتیب برابر است با ۴، ۶۸ و ۱۹ هکتار است.

سایر اطلاعات مکانی-زمانی استفاده شده در این تحقیق علاوه بر نقشه کاداستر مزارع، شامل سابقه کشت مزارع و تقویم زراعی محصولات (جدول ۱) می‌باشد. سابقه کشت شامل محصول کاشته شده مزارع در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، شیوه‌ی کاشت (کشت آبی یا دیم)، کاشت اول یا دوم بودن چ است که برای هر مزرعه به تفکیک جمع‌آوری شده است.

جدول ۱. تقویم زراعی محصولات زراعی در دشت مغان

محصول	کاشت	نوع کاشت	زمان برداشت	آبی یا دیم
گندم	نیمه دوم آبان ماه الی اوایل دی‌ماه	کشت اول	اواخر خردادماه	آبی
جو	اوایل آبان الی اوایل دی‌ماه	کشت اول	اواخر خردادماه	دیم
ذرت	اوایل اردیبهشت‌ماه	کشت اول	اواخر شهریورماه	آبی
ذرت	اواسط تیرماه	کشت دوم	اواخر مهرماه	آبی
کلزا	اواخر شهریورماه	کشت اول	اوایل خردادماه	آبی
چغندر	اواخر اسفندماه	کشت اول	اواخر شهریورماه	آبی
پنبه	اواخر فروردین‌ماه	کشت اول	اوایل مهرماه	آبی

¹ Operational Land Imager

ایجاد ساختار شیء‌گرایی

با توجه به ویژگی‌های مختلف هر مزرعه (به عنوان کوچک‌ترین واحد زراعی) و امکان استفاده از آن ویژگی‌ها در تحلیل‌ها از روش شیء‌گرایی استفاده شد. در این راستا و با هدف استخراج ویژگی‌های هر مزرعه، هر مزرعه به عنوان یک شیء مستقل در نظر گرفته شد. طبق اصول شیء‌گرایی، هر شیء خصوصیات و رفتاری مستقل از بقیه اشیا دارد. لذا استفاده از روش شیء‌گرایی این امکان را فراهم می‌کند تا هر مزرعه به صورت جداگانه مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. طبق اطلاعات جمع‌آوری شده، در هر مزرعه صرفاً یک نوع محصول کاشته می‌شود. لذا کاشت محصول هر مزرعه مستقل از مزارع دیگر است و با اصول شیء‌گرایی و مستقل بودن اشیا از هم، کاملاً سازگار است. طبق اصول شیء‌گرایی، هر شیء (مزرعه) دارای ویژگی‌های مختلفی است و می‌توان اطلاعات مختلفی را در قالب این ویژگی‌ها ذخیره‌سازی کند. در این تحقیق موارد ذکر شده در جدول ۲ به عنوان ویژگی‌های هر مزرعه ذخیره‌شده است. از پیکسل‌های خالص هر مزرعه، به منظور تولید امضای طیفی محصولات، تهیه کتابخانه طیفی مرجع و در نهایت برای تمییز محصولات مختلف از هم دیگر استفاده خواهد شد (Mehri, et al., 2015: 112).

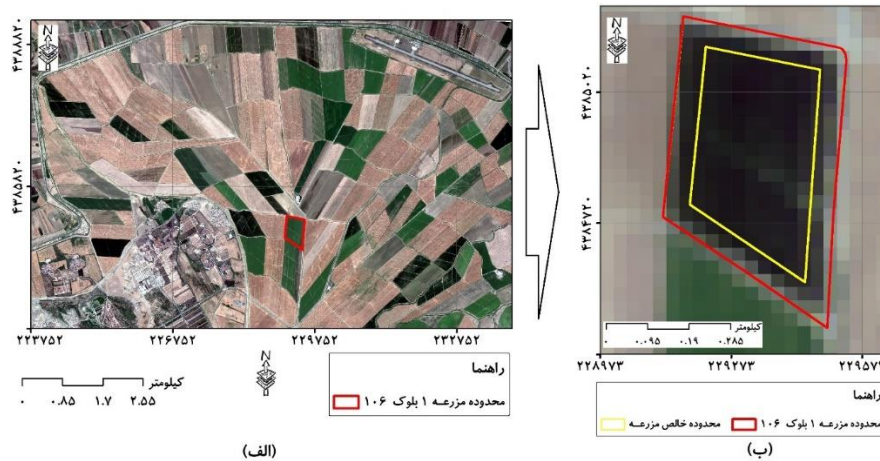
جدول ۲. ویژگی‌اشیا

ردیف	ویژگی	نحوه استخراج	نوع ذخیره‌سازی	مثال
۱	شماره بلوک	رقمی سازی	Integer	۱۰۶
۲	شماره قطعه	رقمی سازی	Integer	۲
۳	محدوده	رقمی سازی	Feature class	نقشه
۴	مساحت	نقشه	Double	۱۰ هکتار
۵	شیوه کاشت	نمونه‌برداری زمینی	String	آبی (گندم، ۹۶-۱۳۹۵)
۶	سابقه زراعی	نمونه‌برداری زمینی	Array	(کلزا، ۹۵-۱۳۹۴)
۷	تاریخ		Date	۱۳۹۹/۰۶/۳۰
۸	سطر و ستون پیکسل - های خالص	محاسبات	Array	برداری شامل آدرس پیکسل‌های خالص تصویر در مزرعه مانند [(104, 100), (104, 101), (104, 102), (105, 100)]

به منظور محاسبه موقعیت پیکسل‌های خالص یک مزرعه ابتدا پیکسل‌هایی که دارای مقادیر طیفی مخلوط هستند (مثلاً پیکسل‌هایی که در مرز مزارع باشند)، حذف می‌شوند (Mehri, et al., 2015: 117). اندازه‌ی زمینی پیکسل‌های ماهواره لندست ۸، برابر با ۳۰ متر است. این امر باعث ایجاد پیکسل‌های مخلوط^۱ در نزدیکی مرز مزرعه می‌شود. شکل شماره ۳-الف، نقشه‌ی محدوده‌ی مرز مزرعه شماره ۳ از بلوک ۱۰۶ را در منطقه مطالعاتی و شکل ۳-ب، همپوشانی مزرعه مذکور (محدوده قرمز رنگ) با تصویر ماهواره‌ی لندست مربوط به تاریخ خردادماه ۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. مقادیر طیفی پیکسل‌های مخلوط مربوط به شیء مورد نظر (محصول کاشته شده در مزرعه ۱ از بلوک ۱۰۶) نبوده و میانگینی از مقادیر اشیا همسایه (مزارع همسایه) است، لذا این امر باعث تغییر امضا طیفی شیء می‌گردد (Mehri, et al., 2015: 117). برای حل این مشکل از روشی نظارت‌شده برای حذف این پیکسل‌ها استفاده شد. در این روش محدوده‌ای به عرض d از قسمت داخلی مزرعه حذف می‌شود. مقدار پارامتر d با استفاده از رابطه‌ی (۱) که رابطه‌ای تجربی است، محاسبه می‌شود، که در آن a قدرت تفکیک مکانی (اندازه پیکسل) تصویر ماهواره‌ای است.

$$d \geq [a + \sqrt{2}a] \quad (1)$$

¹ Mix pixels



پایگاه دانش بر اساس استخراج امضا طیفی و شروط مکانی زمانی

در این مرحله پایگاه دانش روش پیشنهادی بر اساس واقعیت‌های موجود ایجاد می‌شود (Mehri, et al., 2015: 114). در این راستا ابتدا کتابخانه‌ی طیفی برای محصولات زراعی موجود در محدوده‌ی مطالعاتی ایجاد شده و سپس با استفاده از شرایط و واقعیت‌های مکانی و زمانی منطقه‌ی مطالعاتی، قیدهایی تعریف می‌شود که انتظار می‌رود استفاده از آن‌ها در روند تمییز محصولات زراعی موجب بهبود دقت تمییز محصولات زراعی گردد. در ادامه هر مرحله به تفصیل تشریح می‌شود.

ایجاد کتابخانه طیفی

به دلیل خطاهای مؤثر در مرحله‌ی اخذ تصاویر ماهواره‌ای، مقادیر ذخیره‌شده برای هر پیکسل در روی تصویر خام^۱ با مقادیر طیفی بازتابش شده از شیء^۲ متناظر آن پیکسل متفاوت است. در صورت دسترسی به داده‌های دقیق اتمسفری در زمان اخذ تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان با اعمال تصحیحات رادیومتریکی، مقادیر پیکسلی تصویر را به مقادیر بازتابش زمینیتبدیل نمود. سپس می‌توان از کتابخانه‌های طیفی استاندارد موجود که قبلاً تهیه شده اند، برای شناسایی نوع محصولات بر روی تصاویر استفاده نمود، زیرا در این حالت کتابخانه‌های طیفی موجود و تصاویر پالایش‌شده هر دو در فضای طیفی زمینی هستند. عملاً محدودیت‌های مالی و تجهیزاتی مانع از اندازه‌گیری مقادیر اتمسفری دقیق مورد نیاز برای اعمال تصحیحات دقیق رادیومتریکی در لحظه تصویربرداری می‌شود. علیرغم در دسترس نبودن داده‌های دقیق اتمسفری برای انجام تصحیحات رادیومتریکی، در صورتی که تصاویر ماهواره‌ای و کتابخانه طیفی تهیه‌شده در فضای طیفی یکسان باشند، می‌توان با مقایسه‌ی مقادیر طیفی تصویر و کتابخانه طیفی، نوع عارضه را تمییز و تشخیص داد. بنابراین نیاز هست تا کتابخانه طیفی جدیدی از منطقه تولید شود. به منظور تولید کتابخانه طیفی محصولات زراعی مختلف از زمان کاشت تا برداشت، باید تمامی تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده از محصول از زمان کاشت تا برداشت، در یک فضای طیفی یکسان باشند. در این راستا و به منظور کاهش (حذف) اثر اتمسفر در فرآیند اخذ تصاویر و انتقال تمامی تصاویر به فضای طیفی یکسان، می‌توان از روش نرمال‌سازی رادیومتریکی^۳ استفاده نمود. در این صورت می‌توان تغییرات موجود بر روی تصاویر نرمال‌سازی شده را ناشی از تغییر در ماهیت پدیده دانست (Michener & Houhoulis, 1997). نرمال‌سازی رادیومتریکی شامل دو مرحله‌ی (۱) مشخص کردن مجموعه پیکسل‌های بدون تغییر طیفی^۴ در سری زمانی تصاویر

¹ Digital numbers

² Ground reflectance

³ Radiometric normalization

⁴ Pseudo-invariant features

ماهواره‌ای و ۲) تعیین پارامترهای تبدیل خطی موردنیاز برای نرمال‌سازی می‌باشد. ایده‌ی موجود در فرآیند نرمال‌سازی ناشی از این واقعیت است که مقدار طیفی ذخیره شده در سری زمانی تصویر ماهواره‌ای برای عوارضی که در طول زمان تغییر طیفی نداشته‌اند، باید یکسان باشد. لذا با استفاده از این واقعیت، یکی از تصاویر موجود در سری زمانی به عنوان تصویر مرجع انتخاب شده و با استفاده از یک تبدیل خطی مقادیر طیفی سایر تصاویر موجود در سری زمانی به گونه‌ای تغییر می‌یابد که مقادیر طیفی پیکسل‌ها در تمام تصاویر با مقدار طیفی متناظر در تصویر مرجع، برابر باشد. در این تحقیق و به منظور نرمال‌سازی رادیومتریکی سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای، با بررسی منطقه‌ای مجموعه نقاطی که در گذر زمان فاقد تغییر بودند مانند سقف انبارها و باند فرودگاه، انتخاب شد.

چالش دیگری که در رابطه با تولید کتابخانه طیفی محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ وجود دارد، عبارت است از قدرت تفکیک زمانی پایین این سنجنده است. به طوری که به صورت متوسط هر ۱۴ روز یک تصویربرداری انجام می‌گردد. لذا امضا طیفی محصولات با استفاده از تصاویر لندست ۸، به صورت گسسته تولید خواهد شد که شامل مقادیر طیفی محصول در بازه‌های زمانی حدوداً ۱۴ روزه است. همچنین تاریخ‌های تصویربرداری از یک منطقه در سال‌های مختلف الزاماً ثابت نیست. برای نمونه اگر در روز t_1 در سال ۱۳۹۸ از منطقه تصویربرداری شده باشد، الزاماً در سال ۱۳۹۹ نیز همان روز از منطقه تصویربرداری صورت نمی‌گیرد. لذا به منظور ایجاد امکان استفاده از کتابخانه طیفی ایجاد شده در سال‌های بعدی، امضا طیفی گسسته با استفاده از رابطه ۲، به امضا طیفی پیوسته تبدیل شد. فرض کنید در تاریخ‌های t_1 و t_2 تصویربرداری انجام شده است. در تاریخ t_n به شرطی که $t_2 < t_n < t_1$ می‌توان برای تقریب مقدار باند k -ام از تقریب خطی بر مبنای رابطه‌ی (۲) استفاده نمود.

$$e_{t_n}^k = \left(\frac{e_{t_2}^k - e_{t_1}^k}{t_2 - t_1} \right) \cdot t_n + \left[e_{t_1}^k - \left(\frac{e_{t_2}^k - e_{t_1}^k}{t_2 - t_1} \right) \cdot t_1 \right] \quad (2)$$

در رابطه‌ی فوق $e_{t_n}^k$ مقدار برآورد شده باند k -ام در زمان t_n و $e_{t_1}^k$ و $e_{t_2}^k$ مقدار باند k -ام در زمان‌های t_1 و t_2 است. بدین روش برای تمامی محصولات کاشته شده در منطقه مطالعاتی به انضمام اراضی آیش امضا طیفی پیوسته در طول ماه‌های فروردین تا شهریور تهیه می‌شود.

استخراج دانش مکانی-زمانی

شیوه کاشت، زمان کاشت، بازه رشد و زمان برداشت محصولات زراعی وابسته به ویژگی‌های مکانی مزرعه (موقعیت، آب‌وهوا، کیفیت آب‌وخاک و غیره) است (Mehri, et al., 2015: 112). این واقعیت پایه‌ی اساسی استخراج شروط مکانی-زمانی می‌باشد. برای نمونه بررسی شیوه کشت محصولات زراعی در مزارع انتخاب شده به عنوان مزارع مطالعاتی، نشان می‌دهد که در اراضی دیم صرفاً جو کاشته می‌شود و در صورتی که مزرعه در دوره آیش نباشد، حتماً محصول موجود در آن، جو دیم است. لذا می‌توان با ترکیب این واقعیت و خصوصیتی که برای شیء مزرعه ذخیره شده است، نوع محصول کاشته شده در مزرعه را با سرعت بیشتری تعیین کرد. این واقعیت به صورت شبه کد نشان داده شده در جدول ۳ در پایگاه دانش ذخیره شده است.

جدول ۳. شبه کد دانش

ردیف	منبع تأمین اطلاعات	شرط
۱	خصوصیات شیء	اگر شیوه کاشت مزرعه دیم باشد،
	خصوصیات شیء	و مزرعه در آیش نباشد،
	شرایط مکانی-زمانی (واقعیت‌های حاکم در منطقه) آنگاه در مزرعه جو دیم کاشته شده است	

در صورتی که بنا باشد با استفاده از روش‌های سنجنش‌از دوری موجود محصول مزرعه‌ای مشخص گردد، باید امضا طیفی مزرعه با همه‌ی امضا‌های طیفی موجود در کتابخانه طیفی مقایسه گردد. اما در این تحقیق با اتکا به واقعیت‌های

مکانی- زمانی تعداد حالات محتمل برای مقایسه کاهش می‌یابد که این امر به نوبه‌ی خود باعث افزایش سرعت و کاهش خطای تمییز می‌گردد. برای نمونه در مثال فوق، برای تعیین نوع محصول با استفاده از روش پیشنهادی، در مزرعه‌ای که به شیوه دیم کاشته می‌شود، طیف مزرعه با توجه به شروط مکانی با دو امضا طیفی (جو و زمین بایر) مقایسه می‌شود. لذا با توجه به تفاوت رفتار طیفی زمین بایر و مزرعه دارای محصول جو، انتظار می‌رود دقت تمییز نسبت به حالتی که از شروط مکانی استفاده نشده و امضا طیفی مزرعه با تمام امضاهای موجود (مثلاً امضا طیفی گندم) مقایسه می‌شود، بالاتر باشد.

برای ایجاد شروط زمانی نیز از تقویم زراعی محصولات (جدول ۱) استفاده می‌شود. هر محصول بازه زمانی مشخصی برای کاشت و آبیاری دارد. مقایسه زمان اخذ تصویر ماهواره‌ای با شروط زمانی حاصل از تقویم زراعی می‌تواند به سرعت و دقت تمییز محصول کمک کند. برای نمونه در منطقه مغان گندم در خردادماه برداشت می‌شود، لذا برای تمییز محصولات بر روی تصویری که در خردادماه اخذ شده است، نیازی به بررسی وجود مزرعه گندم (با مقایسه طیف هر مزرعه با امضا طیفی گندم از داخل کتابخانه طیفی) نیست. بنابراین استفاده از شرط‌های مکانی- زمانی که بر اساس دانش کشاورزی و واقعیت‌های حاکم بر منطقه استخراج شده‌اند، علاوه بر کاهش میزان محاسبات انتظار می‌رود که دقت محاسبات را بالاتر ببرد.

یافتن محصولات در تصاویر جدید با استفاده از دانش و اطلاعات ذخیره شده‌ی هر مزرعه

در مراحل قبل اطلاعات هر مزرعه در قالب شیء ذخیره و پایگاه دانش ایجاد می‌شود. در این مرحله برای تشخیص محصولات از روی تصاویر ماهواره‌ای مراحل زیر طی می‌شود:

۱) انتقال تصویر جدید به فضای طیفی کتابخانه طیفی: برای اینکه بتوان از کتابخانه طیفی تشکیل شده در مرحله-ی قبل استفاده کرد، باید تصویر جدید به فضای طیفی کتابخانه طیفی منتقل شود. لذا با روش نرمال‌سازی رادیومتریکی، تصویر جدید به فضای طیفی تصویر مرجع (که در مرحله ساخت کتابخانه طیفی انتخاب شده بود) منتقل می‌شود.

۲) بررسی شروط مکانی: برای هر مزرعه و با استفاده از ویژگی‌های آن و پایگاه دانش ایجاد شده شروط مکانی برای هر مزرعه بررسی می‌شود. مثلاً در این مرحله کنترل می‌شود که آیا نوع کاشت به صورت دیم است یا به صورت آبی. اگر دیم باشد فقط محصول جو برای مزارع در ادامه کنترل خواهد شد.

۳) بررسی شروط زمانی: بر اساس زمان تصویر جدید و تقویم زراعی هر محصول و خروجی مرحله قبل جست‌وجو در کتابخانه طیفی محصولات انجام می‌شود تا در کمترین زمان محصول مزرعه و مرحله آن تخمین زده شود. در انتها نیز بعد از مشخص شدن محصول تمام مزارع و با استفاده از مساحت هر مزرعه که به صورت مشخصه‌ای از مزرعه ذخیره شده است، سطح زیر کشت هر محصول در منطقه محاسبه می‌شود.

نحوه ارزیابی روش

به منظور بررسی دقت تمییز محصولات و برآورد سطح زیر کشت (فرضیه‌ی اول) و بررسی امکان کاهش نیاز به نمونه‌برداری‌های زمینی (فرضیه‌ی دوم)، چهار پیاده‌سازی انجام شد. برای بررسی فرضیه‌ی اول، از مجموع اطلاعات مکانی- زمانی و تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده در طول سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ استفاده شد. همچنین برای بررسی فرضیه‌ی دوم از پایگاه دانش تشکیل شده بدون تغییر و به روز رسانی برای تمییز محصولات زراعی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ استفاده شد.

جهت محاسبه دقت روش از پارامتر دقت کلی استفاده می‌شود. دقت کلی یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که بر مبنای ماتریس خطا محاسبه می‌شود. این پارامتر دقت محاسبات را بر اساس تعداد پیکسل‌هایی که محصول آن‌ها به

¹ Overall accuracy

درستی تشخیص داده شده است بیان می‌کند. به عبارت دیگر نسبت تعداد پیکسل‌هایی که محصول آن‌ها به درستی تشخیص داده شده است، به کل پیکسل‌ها محاسبه می‌شود. در این روش مقدار خطا با ارزیابی خطای commission و خطای omission محاسبه می‌شود. با استفاده از این پالایه می‌توان به دقت کلی نقشه تولید شده پی برد. با توجه به اینکه دقت روش در زمان‌های مختلف ممکن است متفاوت باشد، دقت روش در سه تاریخ مختلف از تقویم زراعی منطقه شامل ۲۸ فرودین، ۲۶ اردیبهشت و ۱۲ خرداد محاسبه شد. دلیل بررسی دقت روش پیشنهادی در این زمان‌ها، پوشش حالت‌های مختلف مزارع و محصولات بود.

به منظور مقایسه دقت روش پیشنهادی با روش‌های رایج موجود، از روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت^۲ (MLC) نیز برای تمییز محصولات در تاریخ‌های ذکر شده استفاده می‌شود. طبقه‌بندی بیشترین شباهت یکی از روش‌های پرکاربرد و دقیق در سنجش‌ازدور است (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳: ۸۲). در این روش احتمال تعلق یک پیکسل به کلاس‌های مختلف محاسبه می‌شود (رابطه‌ی ۳).

$$L_k = P(k/x) = P(k) \times P(k/x) / \sum P(i) \times P(X/i) \quad (3)$$

در رابطه فوق احتمال تعلق پیکسل x به کلاس k می‌باشد. مقدار احتمال $P(k)$ معمولاً برای تمامی کلاس‌ها برابر در نظر گرفته می‌شود؛ همچنین مقدار $\sum P(i) \times P(X/i)$ نیز برای کلاس‌های مختلف معمولاً برابر است؛ بنابراین مقدار L_k به مقدار P وابسته است. در صورتی که از توزیع نرمال استفاده شود رابطه‌ی فوق (رابطه طبقه‌بندی کننده بیشترین شباهت با توزیع نرمال) به صورت رابطه‌ی ۴ خواهد بود.

$$L_k(X) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_k|^{\frac{1}{2}}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(X-\mu_k)\Sigma_k^{-1}(X-\mu_k)^t\right\} \quad (4)$$

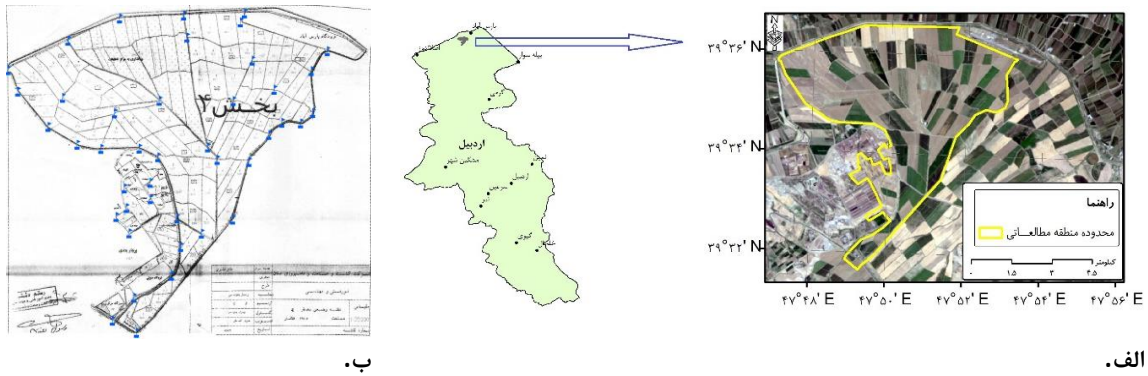
که در آن n تعداد باندهای تصویر، X مقدار طیفی پیکسل در n باند، μ_k بردار میانگین کلاس k ، Σ_k ماتریس واریانس کوواریانس و $|\Sigma_k|$ دترمینان ماتریس Σ_k می‌باشد.

قلمرو جغرافیایی پژوهش

به منظور پیاده‌سازی روش پیشنهادی از داده‌ها و اطلاعات اراضی زراعی دشت مغان واقع در شمال استان اردبیل، در مجموع به وسعت ۲۷۰۰ هکتار، به عنوان منطقه مورد مطالعه استفاده شد (شکل ۱. الف). دشت مغان در شمال غربی ایران و در محدوده جغرافیایی ۲۰' ۳۹° تا ۴۲' ۳۹° مدار شمالی و ۳۰' ۴۷° تا ۴۸° نصف‌النهار شرقی واقع شده است. این دشت یکی از آبادترین و حاصلخیزترین مراکز مهم کشاورزی استان اردبیل و کشور بوده یکی از قطب‌های تولید غلات در کشور محسوب می‌شود. محصولات زراعی متنوعی از جمله گندم، جو، ذرت، چغندر قند، یونجه و کلزا در این دشت کاشته می‌شود.

¹ Confusion matrix

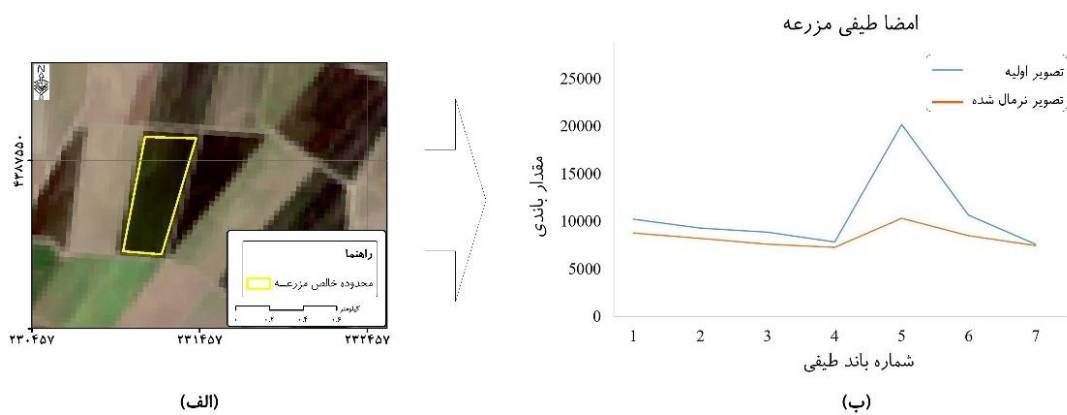
² Maximum-likelihood Classification



شکل ۱. محدوده‌ی منطقه مطالعاتی: الف. موقعیت جغرافیایی، ب. تصویر اسکن شده نقشه کاداستر مزارع و محل مشاهده نقاط کنترل GPS (مارک‌های آبی‌رنگ) به منظور زمین مرجع کردن تصویر

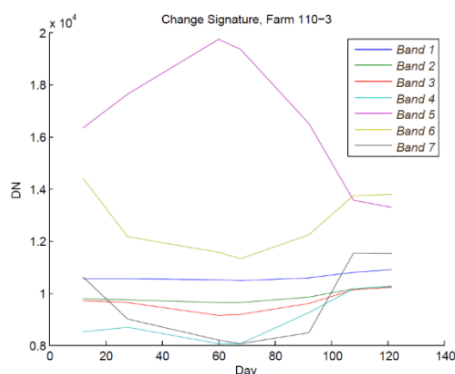
یافته‌ها و بحث

برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی ابتدا اطلاعات هر مزرعه (شیء) از منابع مختلف استخراج و ذخیره‌سازی شد. در ادامه جهت ایجاد کتابخانه طیفی محصولات زراعی و فراهم کردن امکان مقایسه‌ی مقادیر طیفی مزارع در تاریخ‌های یکسان از سال‌های زراعی مختلف، نرمال‌سازی رادیومتریکی انجام شد. به منظور نرمال‌سازی رادیومتریکی تصاویر، در این مرحله ابتدا یکی از تصاویر فاقد ابر یا مه به عنوان تصویر مرجع انتخاب شد. سپس با استفاده از پدیده‌هایی که در گذر زمان فاقد تغییر رادیومتریکی هستند و با اعمال یک انتقال خطی ریاضیاتی، مقادیر رادیومتریکی تصاویر به فضای طیفی تصویر مرجع منتقل شدند. شکل ۴ امضا طیفی یک مزرعه را قبل و بعد از نرمال‌سازی رادیومتریکی نشان می‌دهد.



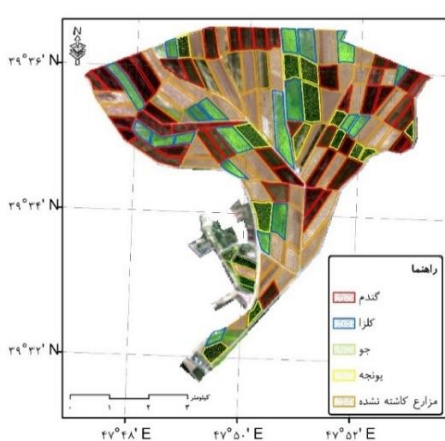
شکل ۴. مقادیر جدید به دست آمده از نرمال‌سازی رادیومتریکی مزرعه

بعد از نرمال‌سازی رادیومتریکی، برای تمامی محصولات کاشته شده در منطقه مطالعاتی به انضمام اراضی آیش امضا طیفی پیوسته تهیه شد. شکل ۵، امضا طیفی پیوسته شده‌ی مزرعه‌ی گندم را نشان می‌دهد. در صورتی که در تاریخ خاص از تقویم زراعی، تصویری از منطقه اخذ نشده باشد، با استفاده از رابطه ی (۲) می‌توان طیف محصول در آن تاریخ را تقریب زد.

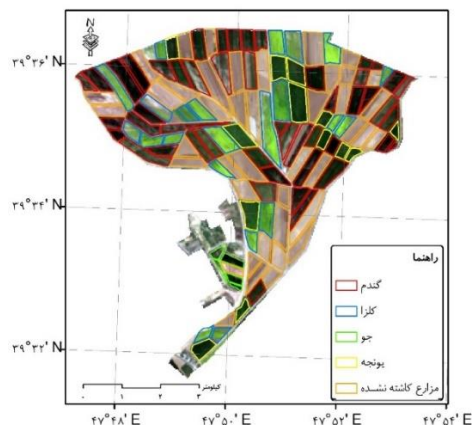


شکل ۵. امضا طیفی مزرعه گندم از اول فروردین ماه تا خردادماه، دشت مغان

طبق نمونه برداری زمینی وضعیت کشت مزارع همانند شکل ۶ الف است. در ۲۸ فرودین در مجموع ۴۹ مزرعه با مساحت کل ۸۵۰ هکتار کاشت گندم داشته‌اند. این مقادیر برای کلزا، جو و یونجه به ترتیب ۲۲، ۵ و ۱۳ مزرعه بوده با مساحت‌های ۴۳۵، ۳۴ و ۲۲۹ هکتار می‌باشد.



ب.



الف.

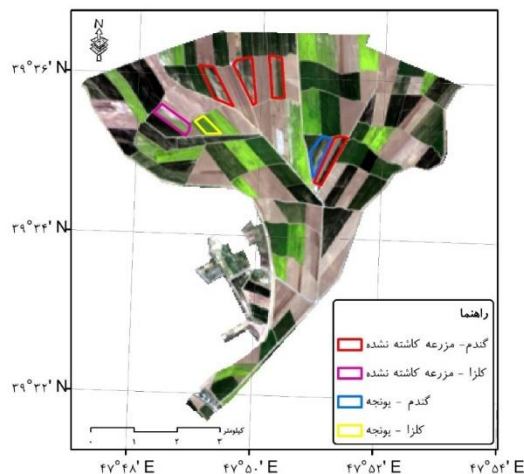
شکل ۶. کشت مزارع در ۲۸ فروردین: الف. وضعیت واقعی، ب. استخراج نوع محصول با روش شیء‌گرایی دانش مبنا

خروجی اجرای روش دانش مبنا پیشنهادی برای استخراج نوع محصول بر اساس تصویر ماهواره‌ای ۲۸ فرودین همانند شکل ۶ ب می‌باشد. دقت روش در جدول ۴ مشخص شده است.

جدول ۴. اطلاعات omission و commission در ۲۸ فرودین برای روش شیء‌گرایی دانش مبنا

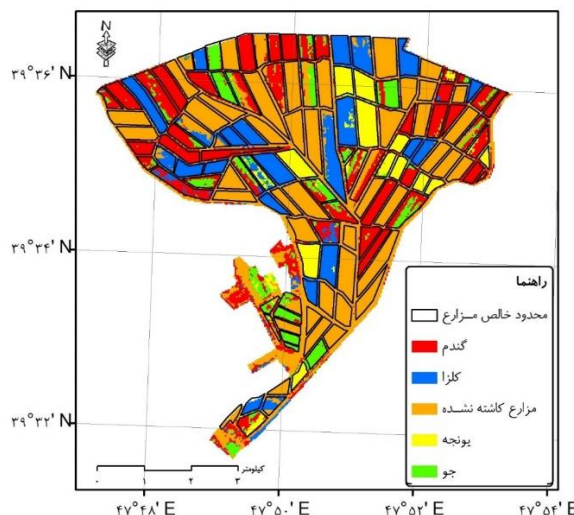
	گندم	کلزا	جو	یونجه	نکاشت	جمع	Om Error
گندم	۴۴	۰	۰	۱	۴	۴۹	۱۰/۲۰
کلزا	۰	۲۰	۰	۱	۱	۲۲	۹/۰۹
جو	۰	۰	۵	۰	۰	۵	۰
یونجه	۰	۰	۰	۱۳	۰	۱۳	۰
نکاشت	۰	۰	۰	۰	۴۲	۴۲	۰
جمع	۴۴	۲۰	۵	۱۵	۴۷	۱۳۱	
Com Error	۰	۰	۰	۱۳/۳۳	۱۰/۶۴		
Overall Accuracy			۹۴/۶۶				

دقت کلی بر اساس جدول ۴ برای تاریخ ۲۸ فرودین برابر با ۹۴/۶۶ می‌باشد. دقت روش در ۲۶ اردیبهشت و ۱۲ خرداد نیز محاسبه شد که برابر بود با ۹۱/۵ و ۹۵/۱۲ درصد بود. همان‌گونه که از جدول مشخص است میزان علت تفکیک‌پذیری گندم و جو ۱۰۰ درصد می‌باشد که دلیل اصلی این امر استفاده از شروط مکانی-زمانی است؛ زیرا در منطقه مطالعاتی محصول جو صرفاً در زمین‌های دیم کاشته می‌شود. در صورتی که در روش‌های پیشین تمییز بین گندم و جو صرفاً با اتکا به اطلاعات طیفی ذخیره شده در کتابخانه طیفی انجام می‌شد. اما استفاده از دانش در این روش باعث افزایش دقت روش در تمییز بین گندم و جو، علیرغم شباهت‌های طیفی این دو محصول شد. بر اساس جدول ۴، در دو مورد محصولات گندم- یونجه و کلزا- یونجه به درستی از هم تفکیک نشده‌اند، این امر ناشی از شباهت طیفی بالای این محصولات است. همچنین با توجه به اینکه یونجه در طول یک سال زراعی در چند نوبت برداشت می‌شود عملاً امکان استفاده از شرط زمانی برای جلوگیری از مقایسه طیف‌های یونجه با گندم و کلزا وجود ندارد. همچنین با توجه به جدول، چهار مزرعه گندم و یک مزرعه کلزا به عنوان مزرعه بایر برچسب‌گذاری شده‌اند. به این منظور مزارع مورد نظر مجدد بررسی شدند (شکل ۷). بررسی وضعیت این مزارع نشان داد که بخشی کوچکی از مزارع کشت شده و بر اساس امضا طیفی این مزارع، با توجه به غالب بودن بخش کاشته نشده، شباهت بیشتری به اراضی بایر داشته است. در روش پیشنهادی در صورتی که مرز مزارع دچار تغییر شود (در اثر تفکیک مزرعه یا کاشت بخشی از مزرعه)، می‌بایست در مرحله محاسبه امضا طیفی مزرعه مرز مزارع بر اساس مرزبندی جدید اصلاح شود.



شکل ۷. بررسی موارد خطا در روش پیشنهادی

نتایج صحت‌سنجی برای سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ که با استفاده از روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت مقایسه شد در شکل ۸ و جدول ۵ ارائه شده است.



شکل ۸. استخراج نوع محصول در ۲۸ فروردین با روش بیشترین احتمال شباهت (MLC)

جدول ۵. اطلاعات omission و commission در ۲۸ فروردین برای روش MLC

	گندم	کلزا	جو	یونجه	نکاشت	جمع	Om Error
گندم	۶۳۷۰	۳۷۱	۱۷۸۶	۳۲۷	۵۶۷	۹۴۲۱	۲۳/۳۹
کلزا	۳	۴۲۷۲	۵	۶۵	۴۶۰	۴۸۰۵	۱۱/۰۹
جو	۷۸	۱	۲۴۹	۱۱	۳۸	۳۷۷	۳۳/۹۵
یونجه	۱۳۵	۱۱	۲۳۷	۲۱۴۰	۱۰	۲۵۳۳	۱۵/۵۲
نکاشت	۳۶	۲	۰	۰	۹۸۶۴	۹۹۰۲	۰/۳۸
جمع	۶۶۲۲	۴۶۵۷	۲۲۷۷	۲۵۴۳	۱۰۹۳۹	۲۷۰۳۸	
Com Error	۳/۸۱	۸/۲۷	۸۹/۰۶	۱۵/۸۵	۹/۸۳		
Overall Accuracy			۸۴/۶۸				

دقت کلی بر اساس جدول ۵ برای تاریخ ۲۸ فروردین برابر با ۸۴/۶۸ بوده و برای ۲۶ اردیبهشت و ۱۲ خردادماه به ترتیب برابر با ۸۱/۲ و ۸۴/۷ درصد بود. این روش در تمییز مرحله شخم‌زنی و سطح سبز دارای دقت پایینی است، زیرا این روش برای تمییز بین کلاس‌های مختلف فقط از اطلاعات طیفی استفاده می‌کند و به دلیل شباهت طیفی بین محصولات مختلف در این دو مرحله، دقت تمییز محصولات زراعی، در این روش پایین‌تر از روش پیشنهادی است. در روش‌های پیکسل‌مبنا، پیکسل تصویر ماهواره‌ای واحد محاسباتی است. با توجه به شکل ۸، این امر باعث شده است تا در داخل برخی از مزارع چند نوع محصول تمییز داده شود که این امر با واقعیت حاکم بر منطقه (کشت یک نوع محصول در هر مزرعه) تطابق نداشته باشد. در روش پیشنهادی استفاده از روش شیء‌گرایی باعث حل این مشکل شده است.

به منظور بررسی فرضیه‌ی دوم، پایگاه دانش ایجاد شده، بدون هیچ‌گونه تغییر و به‌روزرسانی، برای سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ استفاده شد. تصاویر جدید بر مبنای تصاویر مرجع استفاده شده نرمال‌سازی رادیومتریکی شدند تا تمام تصاویر استفاده شده (برای تدوین شروط و استنتاج) در یک فضای طیفی قرار داشته باشند. در زمان پیاده‌سازی روش در سال زراعی ۹۹-۱۴۰۰ و با توجه به تصاویر در دسترس صرفاً تفکیک‌پذیری محصولات تا اردیبهشت‌ماه بیان شد. نتایج حاصل برای این سال زراعی با مراجعه به منطقه مطالعاتی صحت‌سنجی شد که مقدار دقت کلی در روش پیشنهادی برابر با ۹۲/۳ و ۹۰/۶ شد. مقدار این دقت برای روش MLC برابر با ۷۸/۶ و ۷۴ شد. نتایج نشان می‌دهد در صورتی که ترکیب محصولات موجود در منطقه تغییر نکند، از پایگاه دانش تشکیل‌شده می‌توان برای سال‌های متمادی استفاده

کرد. در روش‌های پیکسل مبنا، به دلیل اتکا روش به اندازه زمینی هر پیکسل^۱ برای محاسبه‌ی آمار، دقت آمار وابسته به اندازه زمینی هر پیکسل تصویر است و با توجه به وجود پیکسل‌های مخلوط در مرز مزارع، ممکن است خروجی از دقت مناسبی برخوردار نباشد. اما در روش پیشنهادی، استفاده از شروط مکانی باعث افزایش دقت آمار می‌شود. دقت آمار تولید شده در این روش فقط به دقت تعیین نوع محصول وابسته است.

نتیجه گیری

اطلاعات و خروجی‌های نهایی حاصل از تخمین سطح زیر کشت در گستره‌ی وسیع از ابزارهای اساسی برای مدیریت بوده و می‌تواند کمک شایانی در تعیین میزان تولید خالص و میزان کمبود و یا مازاد تولیدات داشته باشد. با تولید آمار بهنگام محصولات زراعی، به خصوص محصول استراتژیکی مانند گندم، می‌توان برآورد دقیقی از تجهیزات و زیرساخت‌های مورد نیاز برای برداشت محصول داشت و همچنین با توجه به میزان محصول قابل استحصال از سطوح زیر کشت، برنامه‌ریزی‌های صحیح اقتصادی جهت ثبات بازار انجام داد. در این راستا روشی دانش مبنا بر اساس اصول شیء‌گرایی و تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین سطح زیر کشت محصولات زراعی ارائه شد. قابلیت روش پیشنهادی در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که این روش در تمییز محصولات زراعی مختلف موجود در منطقه دارای دقت بالایی می‌باشد. روش پیشنهادی در سه تاریخ از سال زراعی شامل اواخر فروردین (شروع رویش سبز گندم)، اواخر اردیبهشت‌ماه و اواسط خردادماه (قبل از برداشت گندم) مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر در این تاریخ‌ها روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت، به عنوان یک روش پرکاربرد و قدیمی، نیز در منطقه پیاده‌سازی و از نتایج آن به منظور مقایسه‌ی عملکرد روش پیشنهادی استفاده شد. طبق نتایج، در سه تاریخ بیان شده دقت روش پیشنهادی نسبت به روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت به ترتیب ۹/۹۸، ۱۰/۳ و ۱۰/۴۲ درصد بهتر است.

همچنین نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی بدون تغییر و بدون به‌روزرسانی پایگاه دانش آن برای سال زراعی بعدی که به منظور آزمون فرضیه‌ی دوم انجام شد، ضمن تایید این فرضیه نشان داد تا زمانی که واقعیت‌هایی که شروط پایگاه دانش بر مبنای آن‌ها تدوین شده است تغییر نکند، می‌توان از پایگاه دانش ایجادشده، بدون محدودیت زمانی و در سال‌های زراعی بعدی، استفاده کرد. در صورتی که به منظور پیاده‌سازی روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی تصاویر در سال‌های زراعی بعدی، نیاز است تا از تمامی کلاس‌های عوارض موجود در تصاویر ماهواره‌ای، نمونه‌ی زمینی برداشت گردد.

میانگین دقت کلی روش پیشنهادی برابر با ۹۳/۷۶ محاسبه شد که نشان می‌دهد روش پیشنهادی، راهکاری مطمئن برای تفکیک محصولات زراعی (جو، گندم، کلزا و یونجه) است. در مقایسه با روش پیشنهادی، میانگین دقت کلی روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت برای سه مرحله پیاده‌سازی فوق‌الذکر در یک سال زراعی، برابر با ۸۳/۵۶ درصد شد. بنابراین استفاده از دانش مکانی و اتکا به واقعیت‌های مکانی منطقه باعث بهبود ۱۰/۲۳ درصدی روش پیشنهادی شده است. همچنین نتایج نشان داد که داده‌های ماهواره‌ی لندست ۸ برای تمییز محصولات زراعی و محاسبه‌ی سطح زیرکشت محصولات با دانش مکانی علاوه بر کاهش هزینه و زمان مورد نیاز برای نمونه‌برداری اولیه، دارای دقت بسیار مناسبی نیز می‌باشد. همچنین نتایج کلی نشان می‌دهد که استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور، به دلیل فراهم آوردن داده‌های به‌نگام و همچنین امکان مطالعه در یک محدوده‌ی وسیع و با دقت قابل‌قبول، می‌تواند کمک شایانی در تهیه آمار به‌نگام ایفا نماید.

برای جامعیت شروط پایگاه دانش پیشنهاد می‌گردد که در مرحله تشکیل پایگاه دانش، تابع تغییرات طیفی برای محصولات مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اخذشده توسط سنجنده‌های مختلف و به‌صورت جداگانه تهیه و ذخیره‌سازی گردد؛ در این صورت در مرحله استنتاج محدودیتی برای استفاده از تصاویر یک سنجنده‌ی خاص وجود

^۱Ground Pixel size

نخواهد داشت. پیشنهاد می‌گردد پایگاه دانش تشکیل شده برای یک منطقه در مناطق دیگر اعمال شده و دقت کار برآورد گردد. همچنین برای تخمین دقیق میزان محصول تولیدی پیشنهاد می‌گردد تا عملکرد هر مزرعه با توجه به محصول کاشته شده در آن در شروط مکانی ذخیره گردد.

منابع

- احمدپور، امیر؛ سلیمانی، کریم؛ شگری، مریم و قربانی، جمشید. (۱۳۹۳). مقایسه میزان کارایی سه روش رایج طبقه بندی نظارت شده داده های ماهواره ای در مطالعه پوشش گیاهی. *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۵(۳)، ۷۷-۸۹.
- رحیم زادگان، مجید و پورغلام، مصطفی. (۱۳۹۵). تعیین سطح زیر کشت گیاه زعفران با استفاده از تصاویر لندست (مطالعه موردی: شهرستان تربت حیدریه). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)*. ۷(۴)، ۹۷-۱۱۵.
- ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ صیاد بیدهدی، لیلا و اسکندری نوده، محمد. (۱۳۸۸). تهیه نقشه و تخمین سطح زیرکشت برنج در شهرستان ساری با استفاده از تصاویر ماهواره ای رادارست. *پژوهش های جغرافیای طبیعی*. ۶۸، ۴۵-۵۸.
- عباس زاده تهرانی، نادیا؛ بهشتی فر، محمدرضا و مری، محمد. (۱۳۹۰). برآورد سطح زیر کشت محصول در استان قزوین با به کارگیری IRS-LISS III تصاویر چند زمانه. *پژوهش های محیط زیست*. ۳(۳)، ۸۷-۹۶.
- علی زاده، پریسا؛ کامکار، بهنام؛ شتایی، شعبان و کاظمی، حسین. (۱۳۹۷). برآورد تغییرات سطح زیرکشت گندم و سویا با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در غرب استان گلستان. *پژوهش های کاربردی زراعی*. ۳۱(۳)، ۴۱-۶۱.
- علیپور، فریده؛ آق خانی، محمدحسین؛ عباس پورفرد، محمدحسین و سپهر، عادل. (۱۳۹۳). تفکیک محدوده و تخمین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به کمک تصاویر ماهواره ای. *ماشین های کشاورزی*. ۴(۲)، ۲۴۴-۲۵۴.
- فرزادمهر، جلیل و تباکی بجستانی، کاظم. (۱۳۹۷). تعیین قابلیت تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در تخمین سطح زیر کشت زعفران (نمونه موردی: شهرستان تربت حیدریه). *علمی پژوهشی زراعت و فناوری زعفران*. ۱(۱)، ۴۹-۶۰.
- فروغی منش، فروغی و عبدالهیان نوقابی، محمد. (۱۳۹۳). تعیین سطح زیر کشت و تراکم بوته مزارع چغندرقد با پردازش داده های ماهواره ای. *مجله چغندرقد*. ۳۰(۲)، ۲۰۷-۲۲۲.
- حاتمی، فرشاد؛ رفیعی، مریم؛ کاظمیان، آرزو؛ احمدی، کریم؛ قلی‌زاده، حشمت‌اله؛ فضلی، بهروز؛ حسین‌پور، ربابه و عبادزاده، حمیدرضا. (۱۳۹۳). آمارنامه محصولات زراعی سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
- ریاحی، وحید؛ ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ فرهاد، عزیزپور و پرستو، دارویی. (۱۳۹۸). تعیین و بررسی سطح زیرکشت محصولات زراعی در ناحیه لنجانان با استفاده از تصاویر ماهواره ای. *فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۱۹(۵۲)، ۱۴۷-۱۶۹.
- یونسی، بیژن؛ احمدی ثانی، ناصر و شرفی، سوران. (۱۳۹۸). ارزیابی تصاویر IRS-P6 برای برآورد سطح زیر کشت باغات. *سنجش از دور و GIS ایران*. ۱۱، ۱۱۵-۱۲۸.
- Abd El-Kawy, O. R., Rød, J. K., Ismail, H. A., & Suliman, A. S. (2011). Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. *Applied Geography*, 31(2), 483-494.
- Ahmad, I., Singh, A., Fahad, M., & Waqas, M. M. (2020). Remote sensing-based framework to predict and assess the interannual variability of maize yields in Pakistan using Landsat imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105732.
- Akerkar, R., & Sajja, P. (2010). *Knowledge-based systems*, Jones & Bartlett Publishers.
- Chandna, P.K. & Mondal, S. (2020). Analyzing multi-year rice-fallow dynamics in Odisha using multi-temporal Landsat-8 OLI and Sentinel-1 Data. *GIScience & Remote Sensing*, 57(4), 431-449
- Chen, X., An, P., Laakso, K., Arturo Sanchez-Azofeifa, G., Wang, F., Zhang, G. & Pan, Z. (2021). Satellite-based observations of the green depressing cropping system in a farming-pastoral ecotone of northern China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 98, 102312.
- Chen, S., J. Useya, & Mugiyu, H. (2020). Decision-level fusion of Sentinel-1 SAR and Landsat 8 OLI texture features for crop discrimination and classification: case of Masvingo, Zimbabwe. *Heliyon*, 6(11).

- De Freitas, D. M., & Tagliani, P. R. A. (2009). The use of GIS for the integration of traditional and scientific knowledge in supporting artisanal fisheries management in southern Brazil. *Journal of Environmental Management*, 90(6), 2071-2080.
- Deng, J. S., Wang, K., Deng, Y. H., & Qi, G. J. (2008). PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(16), 4823-4838.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., & Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 80, 91-106.
- Jafari Jozani, H., Thiel, M., Abdel-Rahman, E. M., Richard, K., Landmann, T., Subramanian, S., & Hahn, M. (2020). Investigation of Maize Lethal Necrosis (MLN) severity and cropping systems mapping in agro-ecological maize systems in Bomet, Kenya utilizing RapidEye and Landsat-8 Imagery. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1-16.
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2401.
- Lu, X., Shaoqing, Z., Zongyi, H., & Yan, G. (2009). The comparative study of three methods of remote sensing image change detection. 17th International Conference on Geoinformatics.
- Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2006). Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 105(2), 142-154.
- Mehri, S., A.A. Alesheikh, & Helali, H. (2015). Developing a Spatial Knowledge-Based Approach to Detect Changes of Cultivation Fields. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 5(2), 109-118.
- Michener, W. K., & Houhoulis, P. F. (1997). Detection of vegetation changes associated with extensive flooding in a forested ecosystem. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(12), 1363-1374.
- Nguyen, T. T., Hoang, T. D., Pham, M. T., Vu, T. T., Nguyen, T. H., Huynh, Q.-T., & Jo, J. (2020). Monitoring agriculture areas with satellite images and deep learning. *Applied Soft Computing*, 95, 106565.
- Rodriguez-Bachiller, A., & Glasson, J. (2003). Expert systems and geographic information systems for impact assessment. CRC press taylor & francis group.
- Soffianian, A. R., & Khodakarami, L. (2011). Land Use Mapping Using Fuzzy Classification: Case Study in Three Catchment Areas in Hamedan Province. *Town And Country Planning*, 3(4), 95-114.
- Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., & Macomber, S. A. (2001). Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote Sensing of Environment*, 75(2), 230-244.
- Sonmez, N. K., & Sari, M. (2007). Monitoring land use change in the West Mediterranean region of Turkey: A case study on Antalya-Turkey coast. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16, 1325-1330.
- Yu, G., Yan, M., Zen, L., Zhou, H., Zhang, Q., Li, S., & Liu, H. (1996). Agricultural Land Investigation and Change Detection by Incorporating GIS and Satellite Remote Sensing Case Studies in Sichuan Province, China. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31, 811-815.
- Yusoff, N., Muharam, F. M., & Bejo, S. (2017). Towards the use of remote-sensing data for monitoring of abandoned oil palm lands in Malaysia: a semi-automatic approach. *International Journal of Remote Sensing*, 38, 432-449.
- Zhu, A. X., Wang, R., Qiao, J., Qin, C.-Z., Chen, Y., Liu, J., . . . Zhu, T. (2014). An expert knowledge-based approach to landslide susceptibility mapping using GIS and fuzzy logic. *Geomorphology*, 214(0), 128-138.