نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۹
Vol.8, No.1, Spring 2020
۱۰۱ -۱۲۳
مقاله پژوهشی
DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

آشکارسازی زمین‌های زراعی زعفران در سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ به کمک روش تخمین تنک

سید اشکان رزاق منش[۱]، سمیرا اله یاری بک[۲]، علیرضا صفدری نژاد[۳*]

۱- کارشناس ارشد نقشه برداری گرایش فتوگرامتری، دانشگاه تفرش
۲- کارشناس ارشد نقشه برداری گرایش فتوگرامتری، دانشگاه تفرش
۳- استادیار گروه ژئودزی و مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تفرش

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱

چکیده

امروزه مدیریت محصولات کشاورزی از طریق فن‌آوری سنجش از دور جایگاه ویژه‌ای در میان مدیران و تصمیم‌گیران حوزه‌ی کشاورزی پیدا کرده است. زعفران با عنوان طلای سرخ، یکی از محصولات کشاورزی خاص ایران و با ارزش اقتصادی بالا محسوب می‌شود که در حوزه‌های مختلف دارویی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بواسطه‌ی ویژگی‌های کاشت این محصول، در یک زمین زراعی نمی‌توان بطور پایدار زعفران استحصال نمود. بر این اساس، سطح زیرکشت این محصول هرساله متغیر بوده و پیش‌بینی و برآورد سالانه سطح آن می‌تواند برای اهداف مدیریتی کارآمد باشد. در این مقاله با مبنا قرار دادن رفتار فنولوژیکی زمین‌های زراعی زعفران، راهکاری به منظور آشکارسازی این زمین‌های زراعی از طریق الگوریتم‌های آشکارسازی هدف با استفاده از سری زمانی شاخص تفاضلی گیاهی نرمال شده مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ پیشنهاد شده است. رویکرد آشکارسازی زمین‌های زعفران در این تحقیق مبتنی بر تخمین تنک پاسخ زمانی– طیفی سری زمانی از طریق یک واژه نامه متشکل از پاسخ زمانی– طیفی زمین‌های زعفران و نمونه‌های پس‌زمینه می‌باشد. در این روند، ساختار زیرماتریس واژه نامه عناصر پس‌زمینه بصورت اتفاقی و مبتنی بر خوشه‌بندی فضای ویژگی تولید شده و در ادامه به منظور حفظ تفکیک‌پذیری با نمونه‌های هدف، فیلترگذاری شده‌اند. نتایج پیاده‌سازی این ایده در سه منطقه مورد آزمون در شهرستان نیشابور بطور متوسط دقت ۹۳٫۱ درصدی را بدنبال داشته و در مقایسه با روش‌های آشکارسازی *CEM*، *ACE*، *MF* و طبقه‌بندی‌کننده‌های متوازی‌السطوح و *SVM* بطور متوسط بهبود ۴٫۸ درصدی را داشته است.

کلید واژه‌ها : آشکارسازی هدف، تخمین تنک، سری زمانی، گیاه زعفران، شاخص گیاهی.

* نویسنده مکاتبه کننده: استان مرکزی، تفرش، کیلومتر ۵ جاده تهران، دانشگاه تفرش، کد پستی: ۷۹۶۱۱-۳۹۵۱۸
تلفن: ۰۹۱۲۳۲۵۸۸۵۲

Email: safdarinezhad@tafreshu.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه مدیریت منابع کشاورزی به عنوان یکی از پیش شرط‌های توسعه اقتصادی محسوب می‌شود. بدیهی است که برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی در هر دوره‌ی کاشت می‌تواند در بهره‌وری و تنظیم بازار آن محصول اثرگذار باشد. عدم وجود یک سازوکار علمی و اجرایی در این زمینه، همواره مدیریت محصولات کشاورزی کشور را با چالش روبرو ساخته است. هرچند که اقدامات مفیدی همچون توسعه کاداستر زراعی در راستای رسیدن به مدیریت کارآمد منابع و محصولات کشاورزی در دستور کار متولیان این امر قرار دارد؛ اما کماکان در سطوح کلان مدیریتی، نبود سازوکار موثر و اجرایی برای استفاده از فناوری‌های نوینی همچون سنجش از دور احساس می‌شود.

محصولات کشاورزی طیف وسیعی از نیازهای غذایی، درمانی و سلامت محور انسان‌ها را تأمین می‌سازند. امروزه یکی از شاخص‌های امنیت با تضمین تولید محصولات کشاورزی اساسی فراهم می‌شود. سهم زیادی از مبادلات اقتصادی کشورها به خرید و فروش محصولات کشاورزی اختصاص داشته و این امر بازار پر رونقی را برای صنعت کشاورزی فراهم آورده است.

با توجه به دسته‌بندی محصولات کشاورزی ایران بر اساس ارزش اقتصادی و قابلیت صادرات، زعفران به عنوان طلای سرخ یکی از محصولات استراتژیک و با ارزش صادراتی بالا محسوب می‌شود. با اینکه زعفران تأثیر قابل توجهی در زنجیره تولید مواد غذایی اصلی ندارد؛ اما از نظر افزایش تراز تجاری کشور و ارزآوری می‌تواند نقش مؤثری را در اقتصاد کشور ایفا کند. سازوکار کاشت و بهره‌برداری از زمین‌های زعفران ماهیتی نسبتاً پویا داشته و به‌دلیل عدم سیاست‌گذاری‌های مرتبط با خرید تضمینی آن توسط نهادهای حاکمیتی، هرساله مدیریت مؤثری در مورد تأمین سطح زیر کشت مناسب برای این محصول صورت نمی‌پذیرد. کاشت زعفران عمدتاً در زمین‌هایی از جنس شن و رس و همچنین غنی از مواد معدنی صورت می‌پذیرد. این گیاه که عموماً از آن به عنوان گیاه بومی ایران یاد می‌شود؛ در شرق و شمال‌شرق کشور بیشتر و بهتر رشد می‌کند. مدت زمان کشت زعفران در یک زمین کشاورزی به دلیل تغییرات عمده در خواص فیزیکی، شیمیایی، بیوشیمیایی و جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک، محدود است. این محدودیت از نظر کشاورزان هر منطقه متفاوت بوده، اما رایج‌ترین رویکرد کشت آن رهاسازی زمین معادل با دو تا سه برابر زمان زیر کشت اولیه می‌باشد. البته در برخی از مزارع بواسطه تأمین صرفه اقتصادی کشاورز، این زمان تا حداقل معادل با مدت زمان کشت تقلیل می‌یابد. بعبارت بهتر، مدت زمان بهره‌برداری از این گیاه بازه‌ای ۴ تا ۱۰ سال دارد (متداولترین زمان کشت برابر با ۷ سال است)؛ و بعد از این دوره‌ی زمانی به خاطر خستگی زمین، کشت انواع محصولات دیگر به صورت دیم یا آبی انجام می‌شود. بواسطه همین تغییرات مستمر در زمین‌های زیر کشت زعفران، تخمین و برآورد مقدار محصول سالانه برای مدیریت پایدار تولید این محصول استراتژیک ضروری خواهد بود. به همین جهت، به نظر می‌رسد که بتوان با استفاده از فناوری-های نوین مانند سنجش از دور و پرهیز از روش‌های سنتی جمع‌آوری اطلاعات، تخمین دقیقی از سطح زیر کشت این محصول داشت تا با استفاده حداکثری از ظرفیت‌های صادراتی این گیاه، نهایت بهره‌مندی از آن حاصل گردد.

در حوزه تحقیقات مرتبط با زعفران با توجه به ماهیت بومی این محصول، تحقیقات چندانی در حوزه بین‌المللی انجام نشده است. در منابع منتشر شده داخلی می‌توان به پژوهش رحیم‌زادگان و همکاران اشاره نمود[۱]. در این پژوهش با دو رویکرد موازی: ۱- بکارگیری روش‌های مرسوم طبقه‌بندی همچون شبکه عصبی مصنوعی[1]، ماشین‌های بردار پشتیبان[2]، حداقل

[1] *Artificial Neural Networks (ANN)*
[2] *Support Vector Machine (SVM)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

فاصله[1]، حداکثر احتمال[2] و متوازی السطوح[3] و ۲- به کمک آستانه‌گذاری تجربی بر روی شاخص‌های طیفی گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ در دوره اوج سبزینگی گیاه زعفران، این مناطق جداسازی شده است. عملکرد مطلوب طبقه‌بندی‌کننده *SVM* در مقایسه با سایر روش‌های طبقه‌بندی در رویکرد اول و همچنین اهمیت انتخاب زمان‌های مناسب به منظور آستانه‌گذاری در رویکرد دوم از مهمترین نتایج گزارش شده در این تحقیق محسوب می‌شوند. در پژوهشی دیگر نیز، به منظور تعیین قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ در برآورد و ارزیابی سطح زیر کشت محصول زعفران، از رویکرد تولید و مقایسه ترکیبات رنگی کاذب از ویژگی‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ استفاده شده است[۲]. منطقه مورد مطالعه در هر دو تحقیق شهرستان تربت حیدریه بوده که عمده زمین‌های زراعی آن به زعفران اختصاص دارد. بعبارت بهتر، عدم وجود تنوع در محصولات کشاورزی منطقه مورد مطالعه و همچنین فقدان واقعیت‌های زمینی متراکم و سراسری به منظور صحت‌سنجی نتایج این تحقیقات را می‌توان از محدودیت‌های آنها برشمرد.

از آنجاییکه در تکنیک‌های سنجش از دوری، آشکارسازی یک پدیده در مقایسه با مجموعه‌ای از پدیده‌های دیگر در زمره روش‌های آشکارسازی هدف قرار می‌گیرد؛ در این تحقیق روشی مبتنی بر آشکارسازی هدف به منظور برآورد سطح زیر کشت زعفران در سری زمانی شاخص تفاضلی گیاهی نرمال‌شده[4] مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ ارائه شده است. تمایز در رفتار زمانی سبزینگی بعنوان یک شاخص فنولوژیکی گیاه زعفران در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی و عوارض مصنوعی، دلیل انتخاب چنین داده‌ای محسوب شده و نتیجه چنین رویکردی تولید یک نقشه طبقه‌بندی دو کلاسه (هدف و پس‌زمینه) خواهد بود[۳ و ۴].

از نقطه نظر تئوری، دو استراتژی کلی در طراحی روش‌های آشکارسازی هدف وجود دارد. در استراتژی نخست، علاوه بر داده‌های آموزشی مرتبط با کلاس هدف، معرفی نمونه‌های بازگوکننده رفتار کلاس پس‌زمینه ضروری است. روش‌هایی همچون *LSU*[5]، *NCLS*[6]، *SCLS*[7]، *FCLS*[8]، *OSP*[9] و تخمین تنک[10] در زمره چنین روش‌های بشمار می‌روند[۵ و ۶]. در نقطه مقابل روش‌های آماری وجود داشته که به داده‌های آموزشی کلاس زمینه نیاز ندارند. در این روش‌ها رفتار زمینه بکمک محاسبه ماتریس‌های کوواریانس تصویر تخمین زده می‌شود. روش‌هایی همچون *MF*[11]، *ACE*[12]، *CEM*[13] و *LCMV*[14] در این دسته‌بندی قرار داشته که صرفاً با در اختیار قرار داشتن اطلاعات آماری از فضای ویژگی فرایند آشکارسازی هدف را دنبال می‌کنند[۷، ۸ و ۹]. در استراتژی اول در صورت وجود تنوع در رفتار طیفی، معرفی همزمان نمونه‌های آموزشی هدف و زمینه بصورت متعدد با محدودیت مواجه بوده و بعد فضای ویژگی عامل تعیین‌کننده در میزان حضور اعضای انتهایی[15] در روند آشکارسازی خواهد بود. در استراتژی دوم نیز رفتار متمایز و فرض رخداد حداقلی نمونه‌های هدف مبنای توسعه این روش‌ها محسوب شده؛ به نحوی که افزایش سهم حضور هدف در صحنه تصویر و وجود کلاس‌های مشابه، عملکرد این روش‌ها را مختل می‌سازد. بعبارت بهتر، آماره‌هایی همچون

[1] *Minimum Distance (MD)*
[2] *Maximum Likelihood (MLL)*
[3] *Parallelepiped (PP)*
[4] *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

[5] *Linear Spectral Unmixing*
[6] *Nonnegatively Constrained Least Squares*
[7] *Sum-to-one Constrained Least Squares*
[8] *Fully Constrained Least Squares*
[9] *Orthogonal Subspace Projection (OSP)*
[10] *Sparse Representation*
[11] *Matched Filtering*
[12] *Adaptive Coherence Estimator*
[13] *Constrained Energy Minimization (CEM)*
[14] *Linearly Constrained Minimum Variance (LCMV)*
[15] *Endmembers*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

ماتریس کوواریانس تصویر زمانی می‌تواند بازگوکننده رفتار پس‌زمینه باشد که در روند محاسبه آنها حضور حداقلی از نمونه‌های هدف وجود داشته باشد. لازم به ذکر است که در هر دو استراتژی، بطور معمول مباحث مرتبط با کاهش بعد با هدف اجتناب از تکینگی دستگاه معادلات در دستور کار اجرایی قرار دارد.

تاکنون، عمده تحقیقات صورت گرفته در زمینه آشکارسازی هدف، معطوف به استفاده در تصاویر چندطیفی و ابرطیفی[1] تک زمانه بوده است. با توجه به محدودیت دسترسی به تصاویر ابرطیفی با حد تفکیک مکانی بالا در کشور و همچنین در اختیار بودن رایگان تصاویر چندطیفی ماهواره‌ای سنتینل-۲ که از حد تفکیک مکانی متوسطی برخوردارند؛ استفاده از این تصاویر به منظور پهنه‌بندی گیاه زعفران در دستور کار این تحقیق قرار گرفته است. قابل ذکر است که بواسطه حد تفکیک طیفی پایین تصاویر سنتینل-۲ در قیاس با تصاویر ابرطیفی، احتمال عدم وجود تمایز طیفی میان یک گیاه خاص با سایر گیاهان در تصاویر تک‌زمانه وجود خواهد داشت. بر این اساس و در این تحقیق، معیار تمایز گیاهان و سایر پدیده‌های حاضر در صحنه تصویر، تفاوت در فنولوژی و رفتار زمانی شاخص‌های گیاهی انتخاب شده است. بدین ترتیب پاسخ طیفی گیاه در طول زمان جایگزین عدم تفکیک‌پذیری تصاویر تک‌زمانه چندطیفی شده است. با این حال چالش‌هایی همچون: ۱- پیچیدگی و تنوع رفتار کلاس زمینه در صحنه‌های تصاویر ماهواره‌ای، ۲- هزینه‌های اجرایی بالا در تأمین نمونه‌های آموزشی از تمامی کلاس‌های پس‌زمینه، ۳- سهم حضور محسوس کلاس هدف در تصویر و ۴- وجود تنوع در رفتار زمانی سبزینگی محصولات زراعی مشابه در یک پهنه جغرافیایی، ناشی از تمایز در الگو و زمان کشت، زمان آبیاری، ارقام متفاوت یک محصول و تراکم کاشت، باعث شده که بکارگیری هر یک از دو استراتژی آشکارسازی هدف با مشکلاتی روبرو باشد.

حسگری فشرده و به تبع آن بکارگیری روش‌های تخمین تنک اخیراً بعنوان یک رویکرد پردازشی نوظهور در کاربردهای سنجش از دوری مورد استفاده قرار گرفته است[۱۰]. این روش‌ها تاکنون در حوزه آشکارسازی اهداف مختلف طیفی همچون: ۱-عملیات جستجو و نجات در حوادث و تصادفات، ۲-شناسایی اهداف نظامی پنهان (مانند مین‌ها)، ۳-تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی، ۴-آشکارسازی استرس‌های گیاهی در زمین‌های کشاورزی، ۵-آشکارسازی پسماندهای صنعتی و شهری، ۶-آشکارسازی سلول‌های سرطانی در تصاویر ابرطیفی پزشکی و ۷-آلودگی‌های زیست محیطی مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این، از این تکنیک‌ها در تشخیص ناهنجاری‌های طیفی و مکانی بهره گرفته شده است [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵]. بعنوان نمونه، بووانسواری و همکاران با مطالعه جامع در مورد نمایش تنک، بهبود دقت این روش را نسبت به روش‌های سنتی مانند *SVM* نشان دادند[۱۶]. چن و همکاران مدل نمایش تنک مشترک[2] در طبقه‌بندی تصاویر ابرطیفی را با تلفیق اطلاعات مکانی معرفی کردند. در این مدل اطلاعات مکانی به‌صورت مجموعه‌ای از پیکسل‌های همسایه برای پیکسل مرکزی در یک پنجره مربعی با اندازه ثابت تعریف شده است. بعبارت بهتر فرض بر این است که پیکسل‌های مربوط به یک پنجره‌ی کوچک از تصویر به احتمال زیاد متعلق به عناصر خالص مشابه بوده و می‌توان با مجموعه یکسانی از اتم‌ها در یک واژه نامه[3]، اما با مجموعه ضرایب مختلف آنها را بازسازی نمود[۱۷]. صوف باف و همکاران نیز یک روش نوین جهت آشکارسازی ناهنجاری‌ها در تصاویر ابرطیفی بر پایه کدگذاری تنک و با استفاده از پنجره‌های متحرک محلی ارائه نمودند.

[1] *Hyperspectral*

[2] *Joint Sparse Representation Classification (JSRC)*

[3] *Dictionary*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

در این روش، با عبور یک پنجره متحرک، هر پیکسل موقعیت‌های مکانی مختلفی را نسبت به همسایگان مکانی خود تجربه نموده و در هر یک از موقعیت‌های مذکور یک واژه نامه محلی که مبیّن داده‌های پس‌زمینه می‌باشد، به صورت بهینه با استفاده از الگوریتم *K-SVD* تشکیل شده و بازسازی داده‌های موجود به روش تخمین تنک در پنجره متحرک با به کارگیری الگوریتم *SOMP*[1] صورت می‌پذیرد[۶]. با این مقدمه، در این تحقیق نیز استفاده از این رویکرد پردازشی بعنوان راهکار آشکارسازی هدف (زمین‌های زراعی زعفران) در دستور کار قرار گرفته است. از دلایل ایجاد انگیزه در استفاده از رویکرد تخمین تنک می‌توان به: ۱- غیر پارامتریک بودن و عدم وابستگی به آماره‌های مرتبه‌ی دوم مستخرج از تصویر، ۲- امکان لحاظ شدن تنوع بالا در سیگنال‌های پس‌زمینه بدون نگرانی از غیرقابل حل شدن (فرومعین بودن) دستگاه معادلات، ۳- امکان لحاظ شدن چندین سیگنال از یک هدف در روند آشکارسازی و ۴- حساسیت کم به بعد فضای ویژگی (طول بردار سیگنال‌ها) اشاره داشت. به نظر می‌رسد این راهکار پتانسیل فائق آمدن بر مشکلات رایج بکارگیری روش‌های آشکارسازی هدف را برخوردار باشد.

در ایده بکارگرفته شده در این تحقیق، تمامی نمونه‌های آموزشی بدست آمده از سری زمانی شاخص *NDVI* مستخرج از تصاویر سنتینل-۲ به عنوان سیگنال‌های مرتبط با هدف و سیگنال‌های مرتبط با پس‌زمینه از طریق یک روند نمونه‌برداری خوشه‌مبنا و کنترل شده از فضای تصویر (سری زمانی) تأمین شده است. سیگنال‌های هدف و پس‌زمینه ساختار واژه نامه از سیگنال‌ها را تشکیل داده و معیار قضاوت سایر سیگنال‌های مشاهده شده در تصاویر سری زمانی قرار گرفته است. مهمترین جنبه‌های نوآورانه این تحقیق شامل: ۱- بکارگیری تکنیک تخمین تنک در برآورد سطح زیرکشت محصول زعفران با هدف کاهش سطح عدم قطعیت‌های مرتبط با روش‌های رایج آشکارسازی هدف در شناسایی زمین‌های زراعی، ۲- بکارگیری سیگنال‌های زمانی شاخص *NDVI* در ساخت ماتریس واژه نامه بجای استفاده از رفتارطیفی در تصاویر تک‌زمانه، ۳- افزودن تمامی نمونه‌های آموزشی هدف در ساختار واژه نامه به منظور پوشش دامنه تمایز و تنوع رفتار زمانی زمین‌های زراعی زعفران و ۴- تشکیل ساختار اتم‌های مربوط به پس‌زمینه مبتنی بر یک رویکرد خوشه مبنا توام با فیلترگذاری می‌باشند. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق نیز در شهرستان نیشابور قرار داشته که تنوع محصول بیشتری نسبت به شهرهای کلیدی کاشت زعفران همچون شهرستان تربت حیدریه برخوردار است.

ساختار مقاله پیش رو مشتمل بر چهار بخش می‌باشد. بعد از بخش نخست بعنوان مقدمه، بخش دوم به بیان مبانی نظری لازم، داده‌های مورد استفاده، پیش‌پردازش‌ها و تشریح متدولوژی اختصاص دارد. در بخش سوم نتایج حاصل از روش پیشنهادی ارائه و مورد بحث قرار گرفته است. آخرین بخش از مقاله نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات برای کارهای آتی اختصاص دارد.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش توضیحات مختصری از گیاه زعفران، فنولوژی[2] آن و منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. در ادامه بعد از تشریح مبانی نظری روش پیشنهادی، داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش‌های مرتبط با تولید سری زمانی تشریح شده است. آخرین زیربخش نیز به تشریح تفصیلی روش پیشنهادی اختصاص دارد.

۲-۱- معرفی و فنولوژی گیاه زعفران

در شکل(۱) فنولوژی زعفران به صورت یک نمودار مفهومی ارائه شده است.

[1] *Simultaneous Orthogonal Matching Pursuit*

[2] *Phenology*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

نماد	فنولوژی گیاه
	سال اول
	سال اول به بعد

شکل ۱: فنولوژی گیاه زعفران

زعفران با نام علمی کِروکِس ساتیوِس[1] یک گیاه دارویی ارزشمند و گرانبهاست و اغلب به سبب مساعد بودن شرایط رشد در شرق و شمال‌شرق کشور، از آن به عنوان گیاه بومی ایران یاد می‌شود. این گیاه اغلب در اقلیم خشک کشت شده و متعلق به خانواده زنبقیان[2] است. تکثیر آن از طریق کاشت پیاز، گل‌دهی آن در پاییز و در اواخر بهار و تابستان خشک شده و به خواب می‌رود. مطابق با شکل(۱)، این گیاه در سال اول و حتی بعضاً در سال دوم بعد از کاشت پیاز هیچ ثمره‌ای (گل زعفران) ندارد. اما بعد از گذشت نهایتاً دو سال از تاریخ کاشت شروع به تولید محصول نموده و این روند تا پایان عمر پیاز زعفران که به عوامل مختلفی از جمله سطح مواد معدنی خاک، مراقبت صحیح، ژن گیاه و غیره بستگی دارد؛ ادامه خواهد یافت.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش‌ها

امروزه ماهواره‌های سنجش از دوری به صورت گسترده برای انجام تحقیقات در زمینه تخمین محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند. یکی از این ماهواره‌ها، سنتینل-۲ بوده که در دو سکوی A و B به‌ترتیب در ۲۳ ژوئن ۲۰۱۵ و ۷ مارس ۲۰۱۷ توسط آژانس فضایی اروپا[3] به فضا پرتاب شده است. در سال‌های اخیر استفاده از داده‌های این ماهواره‌ها در چندین پژوهش مرتبط با طبقه‌بندی و آشکارسازی زمین‌های کشاورزی استفاده شده است[۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳]. سنجنده چندطیفی نصب شده در سکوی سنتینل دارای ۱۲ کانال طیفی با توان تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر است. این سنجنده به‌سبب برخورداری از سه کانال لبه قرمز[4] با طول موج‌های متفاوت، امکان پایش بهتر گیاهان را فراهم می‌سازد. علاوه بر این، چند کانال مرئی و مادون قرمز در طول موج مادون قرمز کوتاه نیز جهت بررسی و مطالعه ذرات معلق، بخار آب، ابرهای سیروسی و گرد و غبار در این سنجنده تعبیه شده است. قدرت تفکیک زمانی هر کدام از ماهواره‌ها ۱۰ روز

[1] *Crocus stativus L.*
[2] *Iridácea*
[3] *ESA*
[4] *Red Edge*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

بوده که با توجه به یکسان بودن سنجنده بکار رفته در دو سکو، توان تفکیک زمانی به ۵ روز ارتقا یافته است.

پیش‌پردازش تصاویر سنتینل-۲ در سه سطح انجام می‌شود. در سطح صفر، پیش‌پردازش‌های اولیه بر روی تصاویر خام دریافتی از ماهواره توسط ایستگاه‌های زمینی انجام می‌شود. در مرحله بعد، ابتدا تصحیحات رادیومتریکی جهت دسترسی به مقادیر رادیانس بالای اتمسفر[1] اعمال شده و در ادامه تصحیح هندسی (تصحیح ارتو[2] و زمین مرجع سازی) به آن اعمال می‌شود. در آخرین مرحله از پیش‌پردازش‌ها، کاربر با اعمال تصحیحات اتمسفری (متناسب به داده‌های زمینی هواشناسی و با استفاده از مدل‌های رایج تصحیح اتمسفری) به تصویری قائم از سطح زمین و مقادیر بازتاب پایین اتمسفر[3] دست می‌یابد.

داده‌های مورد استفاده برای انجام این پژوهش، ۳۳ تصویر در محدوده زمانی ۲۴ دیماه سال ۱۳۹۶ تا ۴ اسفندماه ۱۳۹۷ می‌باشد. شکل(۲) نمایی از اختلاف زمانی میان تصاویر اخذ شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که در انتخاب این تصاویر، شرط عدم وجود ابر در تصویر لحاظ شده که این عامل عدم ثبات در پیوستگی مقاطع زمانی تصاویر را بدنبال داشته است. همانطور که مشاهده می‌شود تراکم زمانی تصاویر در انتهای فصل بهار و فصل تابستان نسبت به زمان‌های دیگر سال بوده و این امر ناشی از رخداد حداقلی ابر در این مقاطع زمانی می‌باشد. حدفاصل دو تصویر آخر از این سری زمانی مصادف با بارش‌های سیل‌آسای اواخر سال ۹۷ بوده که باعث انقطاع بیشتر در این سری زمانی شده است.

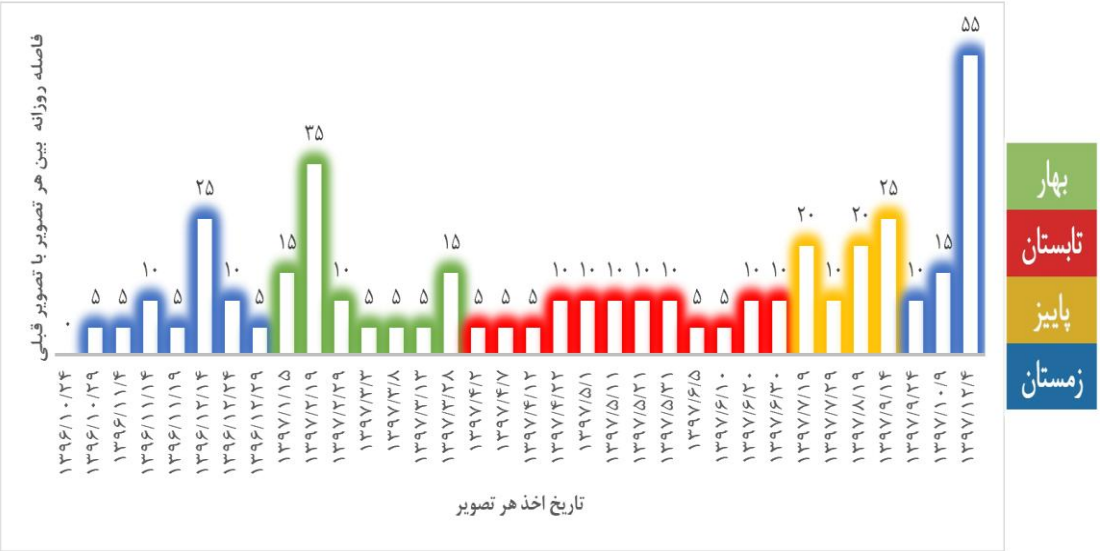
بعد از اعمال عملیات پیش‌پردازش، سری زمانی شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده برای هر مقطع زمانی تولید شده و این سری زمانی بصورت یک فرامکعب متشکل از ۳۴ ویژگی در پردازش‌های آتی مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۳- منطقه مورد مطالعه

همانطور که در بخش مقدمه بدان اشاره شد، مناطق شرق و شمال‌شرق ایران به لحاظ آب و هوایی از شرایط مساعدی برای کشت زعفران برخوردارند. طبق گزارش وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۵ استان خراسان رضوی با مساحت ۸۲۷۱۲ هکتار سطح زیر کشت زعفران، با اختلاف زیاد نسبت به سایر استان‌ها رکورددار تولید این محصول در کشور بوده است. از همین رو، منطقه مورد آزمون برای این تحقیق در این پهنه جغرافیایی انتخاب شده است. بواسطه محدودیت در تأمین هزینه و زمان به منظور تهیه داده‌های واقعیت زمینی برای آموزش و همچنین ارزیابی نتایج در وسعتی معادل یک استان، صرفاً بخش‌های محدودی از شهرستان نیشابور برای آزمون روش پیشنهادی در این مقاله انتخاب شده است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی، نیشابور در دامنه رشته کوه بینالود واقع شده است. ارتفاع میانگین این شهرستان از سطح دریا ۱۲۵۰ متر و در عرض جغرافیایی ′۱۲ °۳۶ و طول جغرافیایی ′۴۷ °۵۸ قرار گرفته است (شکل (۳)). محصولات کشاورزی غالب این شهرستان شامل گندم، جو، یونجه، نخود، ذرت و چغندر بوده و کشت زعفران در این شهرستان سهم کمتری را نسبت به شهرستان‌های معین این محصول همچون قائن یا تربت حیدریه برخوردار است. از این رو در این منطقه، تفکیک زعفران از چالش‌های بیشتری نسبت به شهرستان‌های معین برخوردار است. لازم به ذکر است که میانگین نزولات جوی در این شهرستان ۳۶۶ میلیمتر در سال بوده و دشت‌های پایین دست شهرستان نیشابور به لحاظ قرار گرفتن در مسیر رودخانه‌های سرچشمه گرفته از رشته کوه بینالود، بسیار حاصلخیز و قابل کشت برای انواع محصولات کشاورزی بخصوص زعفران می‌باشند.

[1] *Top-Of-Atmosphere (TOA)*
[2] *Ortho Rectification*
[3] *Bottom-Of-Atmosphere (BOA)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]



شکل ۲: تاریخ اخذ هر تصویر و فاصله روزانه بین هر یک از آنها با تصویر قبلی

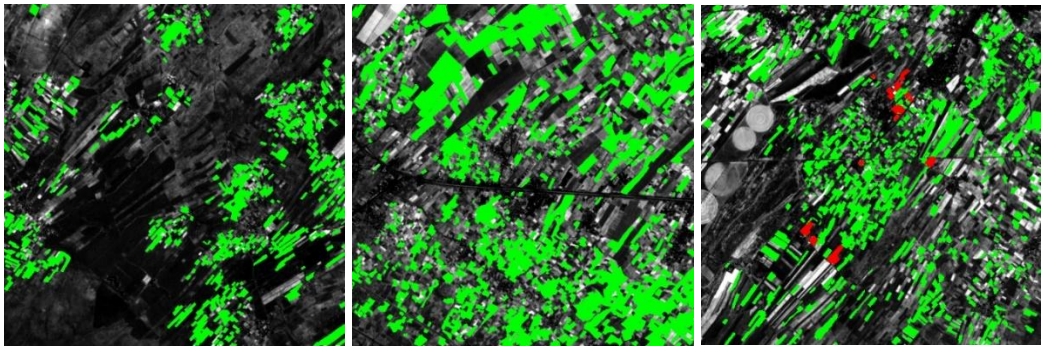
شکل۳: موقعیت جغرافیایی شهرستان نیشابور

در مجموع سه ناحیه در شهرستان نیشابور با در نظر گرفتن تنوع در میزان حضور زمین‌های زعفران برای اهداف این تحقیق انتخاب شده است. وسعت هر ناحیه ۲۵۰۰ هکتار بوده که این نواحی در شکل(۳) نمایش داده شده‌اند. برای هر ناحیه، تمامی زمین‌های زیرکشت زعفران در سال زراعی مرتبط با داده‌های این مقاله از طریق مشاهدات میدانی و تفسیر تصاویر بزرگ مقیاس در محیط گوگل ارث[1] شناسایی و بعنوان واقعیت زمینی در ارزیابی‌های این تحقیق استفاده شده‌اند. داده‌های آموزشی انتخاب شده بعنوان رفتار زمانی زمین‌های زعفران، از تعداد معدودی زمین زراعی از ناحیه شماره یک بصورت دستی انتخاب شده که مجموعاً ۴۳۸ پیکسل را بخود اختصاص می‌دهند. در شکل(۴) تصویر شاخص *NDVI* برای آخرین زمان از

[1] *Google Earth*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

سری زمانی در هر ناحیه به همراه نقشه واقعیت زمینی آن ارائه شده است. موقعیت زمین‌های زراعی مربوط به داده‌های آموزشی در تصویر *NDVI* مربوط به ناحیه یک بصورت پلیگون‌های قرمز مشخص شده است.



(الف) (ب) (ج)

شکل۴: نقشه واقعیت زمینی زمین‌های زعفران (مناطق سبز رنگ) و داده‌های آموزشی (مناطق قرمز رنگ)

لازم به ذکر است که صرفاً پیکسل‌های مرکزی این پلیگون‌ها به منظور کاهش اثرات مربوط به *PSF*[1]، محدودیت ایجاد شده بواسطه حد تفکیک مکانی تصاویر سنتینل و عدم قطعیت‌های مربوط به هم‌مرجع‌سازی تصاویر سری زمانی بعنوان داده‌های آموزشی انتخاب شده‌اند.

۲-۴- مبانی نظری تحقیق

جداسازی یک پدیده در مقابل سایر پدیده‌های حاضر در تصاویر ماهواره‌ای، در زمره روش‌های آشکارسازی هدف قرار می‌گیرد. این روش‌ها در تلاشند که با تولید یک نقشه رستری باینری یا درجه خاکستری، هدف یا اهداف را نسبت به زمینه تصویر جداسازی کنند. تابحال راهکارهای مختلفی اعم از: ۱- بکارگیری روش‌های طبقه‌بندی همچون *ANN*، *SVM* و *PP* و ۲- بکارگیری تکنیک‌های رایج آشکارسازی هدف برای این منظور استفاده شده است. روش‌های طبقه‌بندی به غیر از *PP* علاوه بر داده‌های آموزشی هدف نیازمند نمونه‌های آموزشی پس‌زمینه بوده و یا برای جداسازی هدف نتایجی رستری بصورت گام‌های خاکستری تولید می‌کنند. برخی از این روش‌ها همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی، نیز به داده‌های آموزشی متعدد جهت حصول اطمینان از صحت مدل‌سازی نیازمندند. هزینه‌های اجرایی تأمین نمونه‌های آموزشی کلاس زمینه و همچنین محدودیت در تأمین داده‌های آموزشی کلاس هدف همواره بعنوان چالش‌های پیش‌رو در روش‌های آشکارسازی هدف بشمار می‌روند. از این‌رو، روش‌هایی همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی و به تبع آن یادگیری عمیق بواسطه سیری ناپذیر بودن روند یادگیری آنها به داده‌های آموزشی در اولویت بکارگیری قرار ندارند.

روش‌های رایج آشکارسازی هدف نیز از نظر اجرایی در دو استراتژی متفاوت توسعه یافته‌اند. روش‌های نیازمند به نمونه‌های آموزشی هدف و زمینه همچون انواع روش‌های مبتنی بر تجزیه خطی و راهکارهای مستقل از معرفی نمونه‌های آموزشی کلاس زمینه این دو استراتژی را بخود اختصاص می‌دهند[۲۴]. محدودیت در معرفی عناصر خالص هدف و زمینه و همچنین اهمیت استقلال خطی اعضای انتهایی[2]، الزامات فنی در بکارگیری روش‌های تجزیه خطی بشمار می‌روند. انتظار می‌رود که با توجه به شباهت رفتاری

[1] *Point Spread Function*

[2] *Endmembers*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

(زمانی و یا طیفی) محصولات زراعی به یکدیگر (شباهت‌های بین‌کلاسی) و همچنین بروز تنوع در دامنه و فاز رفتار زمانی محصولات مشابه کشاورزی (تمایزات داخل کلاسی)، بکارگیری ساده‌انگارانه روش‌های سنتی آشکارسازی هدف نتایج مطلوبی را بهمراه نداشته باشد. بعبارت بهتر، ماهیت نسبتاً مشابه در روند زمانی سبزینگی محصولات زراعی منجر به افزایش وابستگی‌های خطی میان سیگنال‌های سازنده اعضای انتهایی در کاربردهای کشاورزی می‌شود و از طرفی معرفی تمامی تمایزات داخل کلاسی مربوط به یک محصول زراعی ناشی از عواملی همچون: ۱- تمایز در تقویم زراعی و زمان‌های آبیاری، ۲- ارقام مختلف یک محصول، ۳- تراکم‌های مختلف کشت و ۴- حاصلخیزی زمین‌های زراعی را نمی‌توان به راحتی در روش‌های رایج تجزیه خطی لحاظ کرد.

از سوی دیگر، استقلال عملکرد روش‌های آماری آشکارسازی هدف به نمونه‌های آموزشی زمینه از طریق برآورد کمیت‌های آماری مرتبه دوم مستخرج از تصویر تأمین می‌گردد. عدم تطابق بعد واقعی داده‌ها با بعد فضای ویژگی، فرض وجود تمایز رفتار کلاس هدف نسبت به زمینه و همچنین فرض رخداد حداقلی اهداف در صحنه تصویر از مواردی بشمار رفته که استفاده از این روش‌ها را در مورد کاربردهای کشاورزی با عدم قطعیت روبرو می‌سازد. بعبارت بهتر، عدم تنوع بالای کلاسی در صحنه‌های تصویر متمرکز بر زمین‌های زراعی، احتمال بروز کاهش رتبه و یا شرایط مریض[1] را در معکوس‌گیری ماتریس‌های کوواریانس بهمراه داشته و این عامل صحت نتایج آشکارسازی را مخدوش می‌سازد. علاوه بر این، راهکارهای صریحی به منظور لحاظ کردن تنوع داخل کلاسی هدف در این روش‌ها وجود نداشته و حضور گسترده کلاس هدف در صحنه تصویر آماره‌های مرتبه‌ی دوم مستخرج از تصویر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در چنین شرایطی، رخداد خطاهای نوع اول در روند آشکارسازی تشدید می‌شود.

با توجه به مطالب مطرح شده، از نقطه‌نظر منطقی راهکاری را می‌توان بعنوان یک روش کارآمد در مورد آشکارسازی محصولات کشاورزی منفرد پیشنهاد داد که: ۱- امکان معرفی نمونه‌های آموزشی متنوع از کلاس هدف بدون نگرانی از احتمال وجود وابستگی خطی بین آنها، ۲- غیرپارامتریک بودن فرایند تعریف پس‌زمینه و ۳- عدم محدودیت در معرفی اعضای انتهایی را برخوردار باشد. این مزایا را می‌توان به طور نسبی در راهکارهای تجزیه خطی مبتنی بر تئوری تخمین تنک یافت.

از نقطه‌نظر تئوری، تخمین تنک یک سیگنال ($[\vec{s}]_{K\times 1}$)، مشابه با فرایند تجزیه خطی، به برآورد سهم تعلق‌های آن سیگنال مشاهده شده به کمک یک واژه نامه ($[D]_{K\times n}$) از سیگنال‌های مرجع اطلاق می‌شود. نکته حائز اهمیت در این زمینه، فرومعین بودن دستگاه معادلات ($K \ll n$) در روش‌های تخمین تنک می‌باشد. مقدار K معادل با بعد فضای ویژگی بوده و n تعداد اتم‌های واژه نامه هستند. به عبارت بهتر، با در نظر گرفتن دستگاه معادلات خطی ارائه شده در رابطه (۱)، برآورد بردار تنک $[\vec{\alpha}]_{n\times 1}$ بعنوان هدف این فرایند مطرح می‌باشد[۱۹].

$$\vec{s}+\vec{v}=\mathbf{D}\vec{\alpha} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱) پارامتر $\vec{v}$بردار باقیمانده‌های تخمین تنک بوده و بردار $\vec{\alpha}$با لحاظ شدن همزمان قیود رابطه (۲) برآورد می‌شود.

$$\begin{aligned}&\|\vec{v}\|_2=\|\mathbf{D}\vec{\alpha}-\vec{s}\|_2<\varepsilon\\&\|\vec{\alpha}\|_0\le \mathrm{LoS}\end{aligned} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه(۲)، $\|\ \|_2$ اپراتور محاسبه نرم دوم یک بردار، $\|\ \|_0$ نرم صفر یک بردار (شمارش تعداد عناصر

[1] *Ill condition*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

غیرصفر) و LoS[1] شاخص تنک بودن یک بردار می‌باشند.

با رویکردی که در روش تخمین‌تنک وجود دارد می‌توان یک واژه نامه از رفتار زمینه و هدف را بدون نگرانی از وجود نمونه‌های همبسته تشکیل داد و تجاوز تعداد اتم‌های سازنده واژه نامه از بعد فضای ویژگی، مشکلات فنی را بدنبال نخواهد داشت. واژه نامه در روش‌های تخمین‌تنک به سه صورت نظارت‌شده، نظارت نشده و نیمه‌نظارت شده تولید می‌شود. در رویکردهای نظارت نشده و نیمه‌نظارت شده به ترتیب کل و یا بخشی از اتم‌های واژه نامه بصورت نظارت نشده شناسایی می‌شوند[۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸]. مفاهیم و تکنیک‌های مرتبط با تئوری نمونه‌برداری و آموزش واژه نامه اقدامات محاسباتی محسوب شده که در رویکردهای نظارت نشده و یا نیمه‌نظارت شده دنبال می‌شوند[۲۹].

بطور کلی راهکار مستقیم ریاضی برای حل مسأله مطرح شده در رابطه (۱) و (۲) وجود نداشته و عمده راهکارهای توسعه یافته برای این منظور مبتنی بر راهکارهای ابتکاری و برنامه‌نویسی پویا است[۳۰]. الگوریتم OMP[2] یکی از راهکارهای‌های موجود بوده، برای حل این مسأله استفاده شده است[۳۱]. در روش OMP، شبیه‌ترین اتم از واژه نامه برای هر سیگنال ورودی شناسایی شده و انتخاب اتم‌های بعدی تا زمان ارضای قیود رابطه(۲) ادامه می‌یابد. این فرایند تکراری در هر تکرار از طریق شناسایی شبیه‌ترین اتم‌های واژه نامه به بردار باقیمانده‌ی مربوط به تخمین سیگنال مشاهده شده به کمک اتم‌های شناسایی شده قبلی، صورت می‌پذیرد.

در این تحقیق با رویکردی نیمه‌نظارت شده، اتم‌های مرتبط پس‌زمینه به کمک یک راهکار نمونه‌برداری خوشه‌مبنا شناسایی شده و بهمراه نمونه‌های آموزشی کلاس هدف، واژه نامه اختصاصی هر تصویر تولید می‌گردد. تخمین تنک هر سیگنال به کمک تکنیک OMP انجام گرفته و در نهایت با اپراتورهای غیرخطی در مورد هدف یا پس‌زمینه بودن هر نمونه قضاوت می‌شود. بخش (۲-۵) به ارائه تشریح تفصیلی روش پیشنهادی اختصاص دارد.

۲-۵- روش پیشنهادی

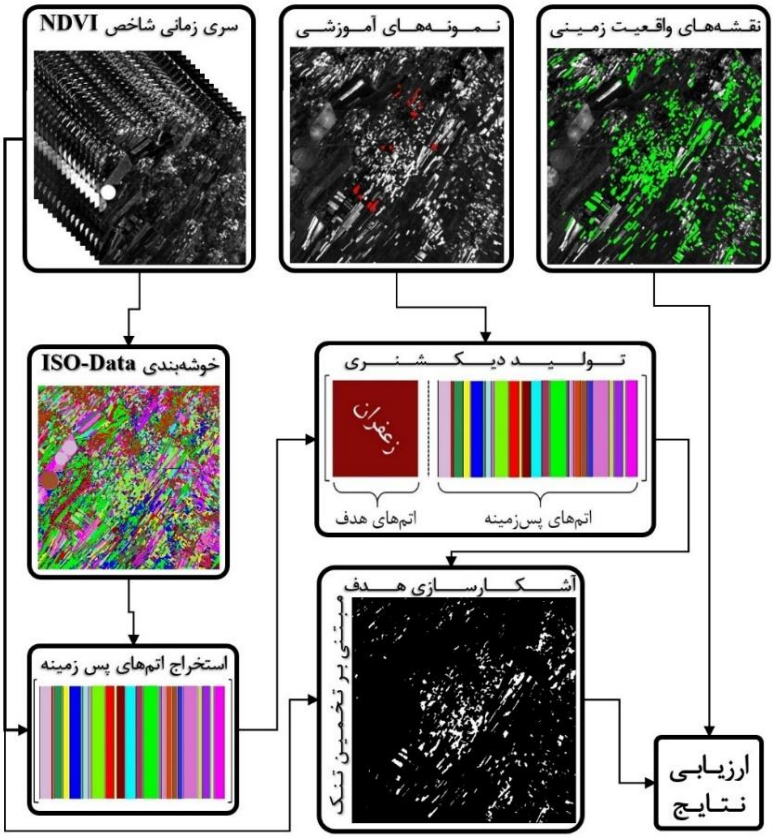
ساختار کلی روش پیشنهاد شده در این مقاله به صورت فلوچارت در شکل(۵) نمایش داده شده است.

مطابق با فلوچارت در شکل(۵)، فرایند روش پیشنهادی و ارزیابی نتایج آشکارسازی زمین‌های زراعی زعفران از پنج مرحله متوالی تشکیل شده است. در مرحله نخست فرامکعب مربوط به سری زمانی شاخص‌های $NDVI$ به کمک روش خوشه‌بندی $ISODATA$ خوشه‌بندی می‌گردد. این روش امکان تنظیم تعداد خوشه‌های فضای ویژگی را متناسب با پیچیدگی توزیع نمونه‌ها فراهم می‌آورد. هدف از این اقدام یافتن خوشه‌های متراکم در فضای ویژگی گسترش یافته از داده‌های فرامکعب می‌باشد. بعد از خوشه‌بندی، درصدی از پیکسل‌های هر خوشه (در تناسبی معکوس با تعداد نمونه‌های واقع در هر خوشه) بطور اتفاقی بعنوان اتم‌های پس‌زمینه استخراج می‌شوند. در این روند، بیشترین درصد مربوط به کوچکترین خوشه و کمترین درصد مربوط به بزرگترین خوشه بوده و سایر خوشه‌های میانی به کمک یک رابطه خطی مبتنی بر چگالی هر خوشه نمونه‌برداری می‌گردند. بازه در نظرگرفته شده برای داده‌های این تحقیق ۳ تا ۶ درصد انتخاب شده است. این اقدام تضمین کننده انتخاب اتم‌های پس‌زمینه از تمامی مراکز تراکم در فضای ویژگی خواهد بود. نمونه‌برداری اتفاقی با تناسب معکوس نسبت به بزرگی اعضای هر خوشه علاوه بر مشارکت تمامی خوشه‌ها در تشکیل ماتریس واژه نامه، مشارکت نسبتاً یکسانی را برای هر خوشه در روند انتخاب نمونه‌های پس‌زمینه فراهم می‌آورد. به عبارت بهتر، این اقدام هم به نحوی تناسب

[1] *Level of Sparsity*
[2] *Orthogonal Mapping Pursuit*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

تعداد نمونه‌های انتخاب شده از هر خوشه را به تراکم آن مرتبط ساخته و هم نسبت به خوشه‌های با تراکم کمتر اجازه‌ی حضور موثرتر و قابل رقابتی در مقابل خوشه‌های متراکم را فراهم می‌آورد.



شکل۵: روند انجام پژوهش

لازم به ذکر است که پس از نمونه‌برداری اولیه، انتخاب نهایی اتم‌های پس‌زمینه بعد از یک فرایند پالایشی صورت می‌پذیرد. این فرایند پالایشی از حضور سیگنال‌های شبیه به نمونه‌های آموزشی در ساختار ماتریس واژه نامه جلوگیری می‌کند. برای این منظور، اتم‌هایی که با حداکثر ۵ درصد از نمونه‌های آموزشی هدف شباهت بیش از ۹۰ درصدی را تأمین ساخته باشند؛ از قرارگرفتن در ساختار زیر ماتریس اتم‌های پس‌زمینه بازداشته می‌شوند. این حدآستانه بصورت تجربی انتخاب شده و رواداری ۵ درصدی بواسطه عدم قطعیت‌های احتمالی در جمع‌آوری داده‌های آموزشی لحاظ شده است. اندازه‌گیری شباهت نیز از طریق محاسبه معیار زاویه طیفی (*SAM*) صورت گرفته است[۳۲].

در مرحله سوم از روش پیشنهادی، نمونه‌های آموزشی مربوط به اهداف (زمین‌های زراعی زعفران) در کنار زیرماتریس اتم‌های پس‌زمینه، ساختار ماتریس واژه نامه را تشکیل می‌دهند. در تشکیل اتم‌های ماتریس واژه نامه، ستون‌های ابتدایی با اتم‌های هدف و باقی ستون‌ها با اتم‌های پس‌زمینه پر می‌شوند[۳۳]. بدین ترتیب ساختار ماتریس واژه نامه بصورت رابطه(۳) خواهد بود.

$$D = \left[\vec{d}_1, \vec{d}_2, \ldots, \vec{d}_t, \vec{d}_{t+1}, \ldots \vec{d}_n\right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

در رابطه (۳)، $\vec{d}i, (i=1,2,...,t)$ اتم‌های مربوط به هدف (زمین‌های زراعی زعفران) و $\vec{d}i, (i=t+1,t+2,...,n)$ اتم‌های مربوط به پس‌زمینه می‌باشند.

بعد از تخمین تنک بردار $\vec{\alpha}$ (رابطه(۱)) برای هر پیکسل از سری زمانی به کمک روش *OMP* سهم تعلق مربوط به هر اتم برآورد می‌شود. در گام آخر از روند آشکارسازی هدف به یافتن موقعیت بیشینه سهم تعلق هر پیکسل از تصویر ورودی در بردار $\vec{\alpha}=[a_1,a_2,a_3,...,a_n]^T$ شناسایی شده اختصاص داشته و در صورتیکه این موقعیت از t (تعداد اتم‌های مرتبط با هدف) کوچکتر بود، آن پیکسل بعنوان هدف انتخاب می‌شود. بعبارت بهتر، عملگر غیرخطی بیشینه‌یابی فرایند برچسب‌دهی به هر پیکسل از سری زمانی را به اتمام می‌رساند. اقدامات صورت گرفته در این روش پیشنهادی برای هر پیکسل از سری زمانی را می‌توان بصورت شبه کد زیر خلاصه نمود.

ورودی‌ها:

سیگنال زمانی مربوط به یک پیکسل از فرامکعب مربوط به سری زمانی *NDVI* ($\vec{s}$)

دیکشنری متشکل از اتم‌های هدف و پس‌زمینه (رابطه (۳))

تعداد نمونه‌های آموزشی (t)

خروجی:

تشخیص هدف بودن یا نبودن سیگنال ورودی

1. $\vec{\alpha}$ --> تخمین تنک سیگنال ورودی به کمک دیکشنری و روش *OMP* (رابطه(۱)و (۲))
2. m--> یافتن موقعیت رخداد بیشینه در بردار $\vec{\alpha}$, $m=\underset{i}{\operatorname{argmax}}(a_i)$
3. اگر $m \le t$ آنگاه سیگنال $\vec{s}$ بعنوان هدف طبقه‌بندی شده و در غیر اینصورت $\vec{s}$ پس‌زمینه لحاظ خواهد شد.

بدیهی است که بواسطه تولید مستقیم نقشه باینری هدف در این رویکرد آشکارسازی (طبقه‌بندی دو کلاسه) و عدم تولید نقشه پاسخ آشکارساز مشابه با روش‌های رایج آشکارسازی هدف، در مرحله آخر از روش پیشنهاد شده، امکان ترسیم منحنی *ROC* وجود ندارد. بر این اساس، ارزیابی دقت صرفاً بر اساس مقایسه نتایج طبقه‌بندی با ماسک واقعیت زمینی در قالب ماتریس ابهام و پارامترهای مستخرج از آن میسر خواهد بود.

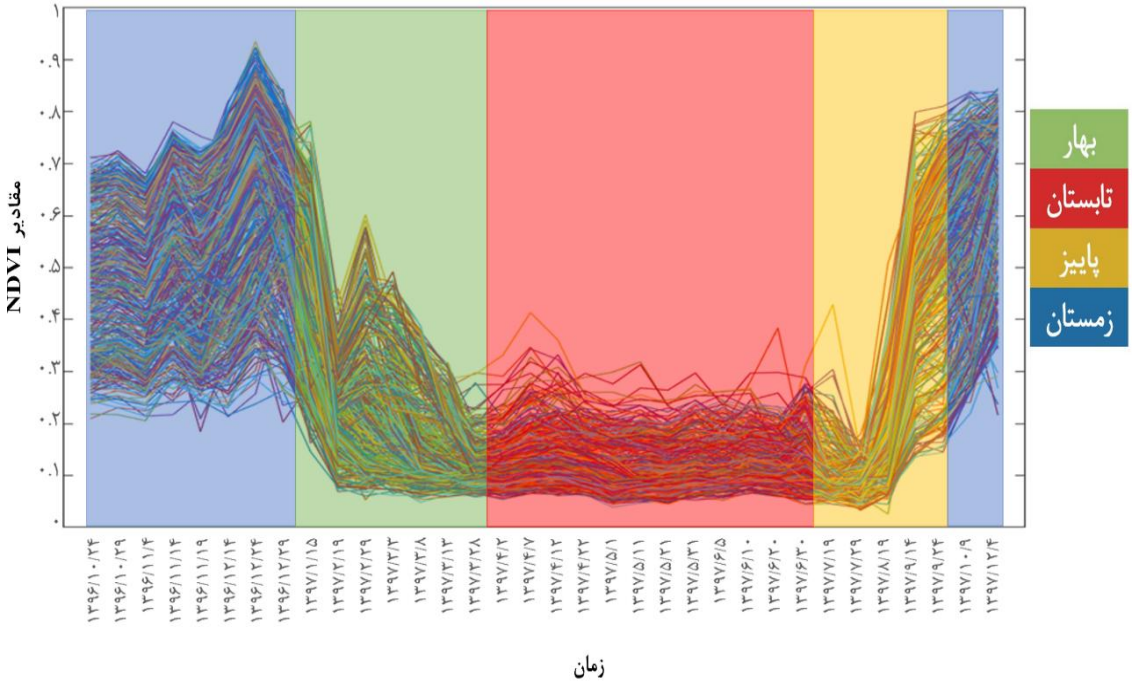
روش‌های مقایسه‌ای مورد استفاده به منظور ارزیابی نتایج این تحقیق از دو دسته روش‌های طبقه‌بندی (*PP* و *SVM*) و همچنین روش‌های آماری آشکارسازی هدف شامل *ACE*، *CEM* و *MF* انتخاب شده‌اند. روش طبقه‌بندی *PP* نیازمند داده‌های آموزشی کلاس زمینه نبوده [۳۴] ولی در مورد روش *SVM*، انتخاب نمونه‌های آموزشی کلاس پس‌زمینه مشابه با رویکرد انتخاب اتم‌های پس‌زمینه در واژه نامه به اجرا رسیده است.

در مورد روش‌های آشکارسازی هدف نیز، میانگین نمونه‌های آموزشی بعنوان رفتار زمانی هدف در نظر گرفته شده و برای تولید نقشه باینری قابل مقایسه با روش پیشنهادی، به نقشه پاسخ آشکارساز، حدآستانه مبتنی بر روش اتسو اعمال شده است[۳۵].

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

۳-نتایج و بحث

با در نظر گرفتن فلوچارت ارائه شده در شکل(۵) و توضیحات مطرح شده در بخش ۲، در این بخش نتایج اجرای روش پیشنهادی در مورد سه مجموعه داده معرفی شده در بخش قبل، ارائه و مورد بحث قرار گرفته است. در ابتدا منحنی رفتار زمانی نمونه‌های آموزشی زمین‌های زعفران که صرفاً از مجموعه داده اول (شکل(۴-الف)) انتخاب شده‌اند در شکل(۶) ترسیم شده است.



شکل۶: منحنی رفتار مقادیر *NDVI* برای هر پیکسل آموزشی در زمان‌های مختلف

همانطورکه درشکل(۶) دیده می‌شود، علیرغم وجود رفتار عمومی مشابه میان نمونه‌های آموزشی، تنوع و دامنه تغییرپذیری محسوسی نیز در آنها مشاهده می‌شود. این تغییرپذیری در زمان سبزینگی گیاه زعفران نسبت به زمان خشک بودن زمین‌ها بیشتر بوده که عدم یکسان بودن تراکم پیازهای کاشته شده زعفران متناسب با قدمت کاشت زعفران در زمین‌های کشاورزی را می‌توان از محتمل‌ترین دلایل بروز تنوع در فصل سبزینگی این گیاه در سری زمانی شاخص *NDVI* دانست. از نکات حائز اهمیت دیگر، انطباق رفتار سبزینگی زعفران با فنولوژی تئوریک ارائه شده در شکل(۱) بوده که مهمترین جنبه تمایز این محصول با سایر محصولات کشاورزی همجوار خود می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شهرستان نیشابور در استان خراسان رضوی است. محصولات کشاورزی غالب در این منطقه گندم، جو، یونجه، نخود، ذرت و چغندر می‌باشند. زعفران الگوی کشت متمایزی را نسبت به سایر محصولات کشاورزی دارد. اما از منظر سبزینگی در طول یک سال زراعی، در بازه‌ی زمانی اواخر زمستان و اوایل بهار سبزینگی مشابه با گندم و جو داشته و در پاییز، شباهت‌هایی را با محصولات کشت بهاره (چغندر) برخوردار است. مواردی همچون عدم تداوم سبزینگی در فصول گرم و همچنین رخداد

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

سبزینگی محسوس در آغاز فصل سرد تمایزات فنولوژیکی این گیاه نسبت به محصولات همسایه است. بطور خاص در شهرستان نیشابور، برداشت چغندر قرابت زمانی بالایی با برداشت زعفران داشته و در صورتیکه کشت پاییزه در این زمین‌های زراعی، گندم یا جو باشد؛ می‌توان شباهت زمانی بیشتری را بین محصول زعفران با چنین زمین‌های زراعی انتظار داشت. با اینحال به طور کلی می‌توان سبزینگی محصول زعفران را در طول یک سال زراعی تاحد زیادی منحصربفرد قلمداد کرد.

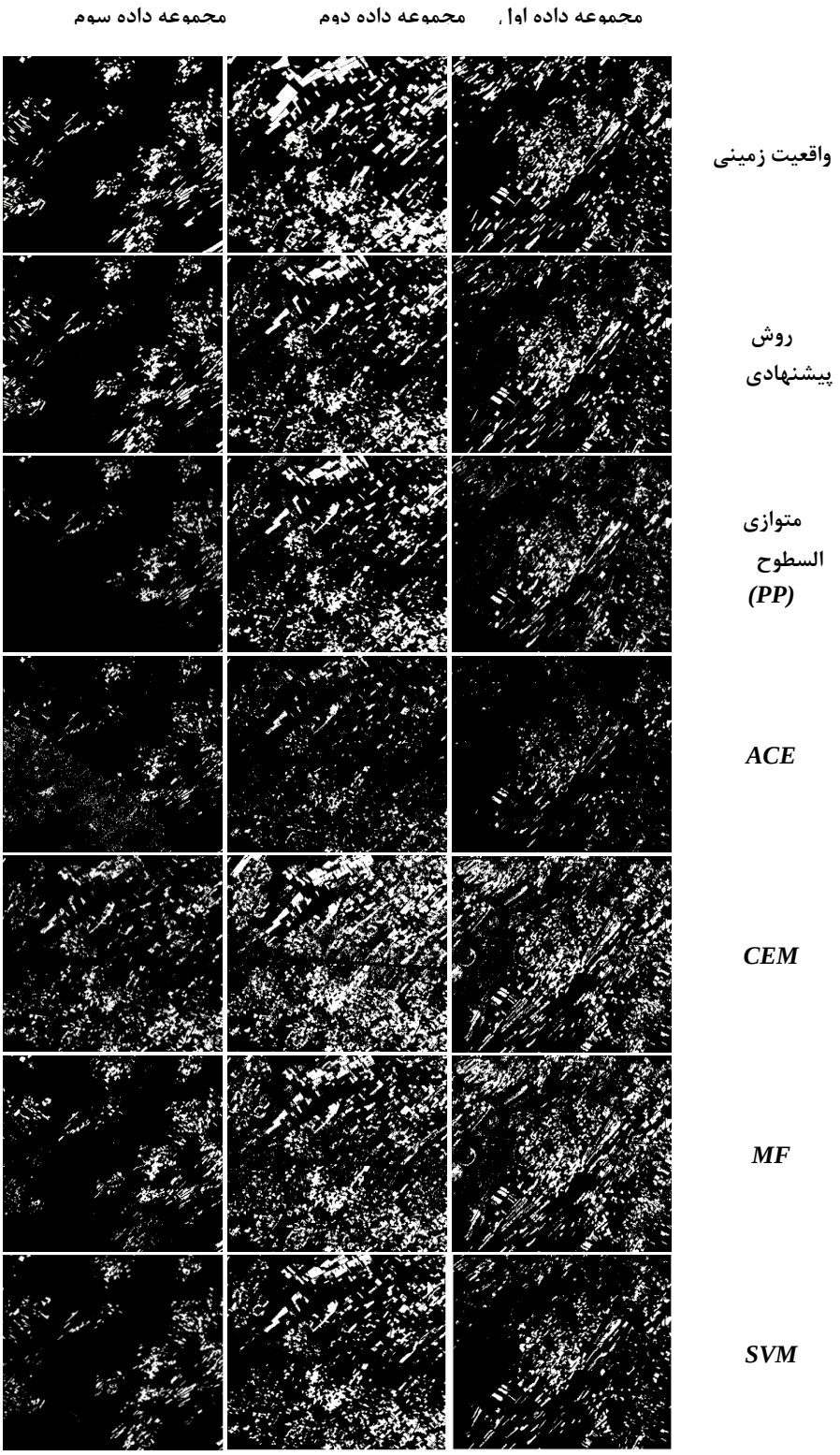
لازم به ذکر است که اوج سبزینگی گیاه زعفران مربوط به زمان گل‌دهی نبوده و در این زمان سبزینگی محسوسی در زمین‌های زعفران مشاهده نمی‌شود. این موضوع را می‌توان از پایین بودن شاخص *NDVI* در زمان‌های مرتبط با گل‌دهی تفسیر نمود. این مسأله می‌تواند اثربخشی روش‌های آشکارسازی زعفران را در فصول گل‌دهی و بر اساس تصاویر تک‌زمانه مخدوش سازد. سبزینگی محصولات زراعی دیگری همچون یونجه و گندم زمستانه نیز از رفتار مشابهی در زمان‌های سبزینگی زمین‌های زعفران برخوردارند. با اینحال تک محصوله بودن زمین‌های زعفران به دلیل حفظ پیازهای آن در طول دوره کشت، وجه تمایز این زمین‌ها با زمین‌های چند محصوله مثل گندم زمستانه محسوب می‌شود. این مسأله نیز مؤید استفاده از سری‌های زمانی به منظور تفکیک این محصول زراعی خواهد بود.

در ادامه این بخش نتایج کسب شده از روش پیشنهادی و سایر روش‌های مقایسه‌ای آشکارسازی زمین‌های زعفران در سه مجموعه داده‌ی این تحقیق ارائه شده است. در شکل(۷) نقشه واقعیت زمینی به همراه آشکارسازی مربوط به روش پیشنهادی، طبقه‌بندی‌کننده‌ی متوازی‌السطوح، *ACE*، *CEM*، *MF* و طبقه‌بندی‌کننده‌ی *SVM* در هر مجموعه داده ترسیم شده است.

مقایسه بصری نتایج در شکل(۷) گویای شباهت بیشتر نتایج روش پیشنهادی با نقشه واقعیت زمینی در مقایسه با روش‌های دیگر می‌باشد. در این میان روش *CEM* عملکرد ضعیف‌تری را از خود نشان داده و این موضوع را می‌توان به سهم حضور محسوس زمین‌های زراعی زعفران در منطقه مورد مطالعه نسبت داد. بعبارت بهتر، تأثیرپذیری ماتریس کوواریانس تصویر از سیگنال‌های هدف بدلیل تعدد حضور آنها در صحنه تصویر عملکرد روش *CEM* را مخدوش کرده و نمونه‌های بیشتری را بصورت خطای نوع اول به نتایج آشکارسازی افزوده است. در مقابل نتایج کسب شده از روش *SVM* قرابت بیشتری با نقشه واقعیت زمینی نشان می‌دهد. بخش زیادی از تمایزات مربوط به نقشه آشکارسازی هدف در روش پیشنهادی و همچنین سایر روش‌های آشکارسازی (صرفنظر از مغایرت‌های مربوط به برچسب‌دهی صحیح به زمین‌های زراعی) به پیکسل-های مختلط واقع شده در مرز زمین‌های زراعی اختصاص دارد. با توجه به حد تفکیک مکانی تصاویر سنتینل-۲ رخداد اختلاط خطی و یا غیرخطی در پیکسل‌های لبه زمین‌های زراعی امری بدیهی بوده که می‌بایست تدابیری برای آنها اندیشید. توسعه ایده‌هایی همچون: ۱- تولید واژه نامه از نمونه‌های پس‌زمینه، نمونه‌های مختلط با هدف و نمونه‌های خالص هدف و طراحی روش‌های برچسب‌دهی در شرایط ذکر شده و ۲- بکارگیری الگوریتم‌های پس‌پردازشی شامل نمونه-برداری از پیکسل‌های مجاور زمین‌های آشکارسازی شده بعنوان زعفران (با در نظر گرفتن حریم یک پیکسلی اطراف هر زمین) و محاسبه سهم تعلق زعفران برای پیکسل‌های مرزی از طریق تجزیه طیفی نمونه-های دو طرف حریم به همراه اجرای تکنیک‌های *SRM*[1] به منظور افزایش حد تفکیک مکانی زمین‌های زعفران در لبه‌ها، در دستور کار تحقیقات آتی نویسندگان این مقاله قرار دارد.

[1] *Super Resolution Mapping*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]



شکل۷: نتایج بدست آمده از اجرای روش پیشنهادی و سایر روش‌های مقایسه‌ای آشکارسازی هدف

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

در ادامه، به منظور ارزیابی و مقایسه کمی نتایج بدست آمده هفت پارامتر آماری: ۱-صحت (*ACC*[1])، ۲- دقت آشکارسازی هدف (*PPV*[2])، ۳- دقت حذف پس‌زمینه (*NPV*[3])، ۴- بازخوانی (*TPR*[4])، ۵- نرخ خطای نوع اول (*FPR*[5])، ۶- نرخ خطای نوع دوم (*FNR*[6]) و ۷- ضریب کاپا[7] انتخاب شده‌اند. با در نظر گرفتن: ۱- *TP*[8] بعنوان تعداد نمونه‌های هدف که به درستی بعنوان هدف تشخیص داده شده‌اند، ۲- *TN*[9] بعنوان تعداد نمونه‌های پس‌زمینه که به درستی بعنوان پس‌زمینه تشخیص داده شده‌اند، ۳- *FP*[10] بعنوان تعداد نمونه‌هایی از پس‌زمینه که به نادرستی هدف تشخیص داده شده‌اند و ۴- *FN*[11] بعنوان تعداد نمونه‌هایی از هدف که به نادرستی بعنوان پس‌زمینه تشخیص داده شده‌اند،هفت شاخص آماری ذکر شده به ترتیب بصورت روابط (۴) تا (۱۰) قابل محاسبه خواهند بود.

رابطه(۴)
$$\mathrm{ACC} = \frac{\mathrm{TP}+\mathrm{TN}}{\mathrm{TP}+\mathrm{TN}+\mathrm{FP}+\mathrm{FN}}$$

رابطه (۵)
$$\mathrm{PPV} = \frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP}+\mathrm{FP}}$$

رابطه (۶)
$$\mathrm{NPV} = \frac{\mathrm{TN}}{\mathrm{TN}+\mathrm{FN}}$$

رابطه(۷)
$$\mathrm{TPR} = \frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP}+\mathrm{FN}}$$

رابطه (۸)
$$\mathrm{FPR} = \frac{\mathrm{FP}}{\mathrm{FP}+\mathrm{TN}}$$

رابطه(۹)
$$\mathrm{FNR} = \frac{\mathrm{FN}}{\mathrm{FN}+\mathrm{TP}}$$

رابطه(۱۰)
$$\mathrm{KAPPA} = \frac{\mathrm{ACC}-\rho_e}{1-\rho_e}$$

ضرایب موجود در رابطه(۱۰) به کمک روابط (۱۱) تا (۱۳) محاسبه می‌شود.

رابطه(۱۱)
$$\rho_e = \rho_{Yes} + \rho_{No}$$

رابطه (۱۲)
$$\rho_{Yes} = \frac{\mathrm{TP}+\mathrm{FP}}{\mathrm{TP}+\mathrm{TN}+\mathrm{FP}+\mathrm{FN}} \times \frac{\mathrm{TP}+\mathrm{FN}}{\mathrm{TP}+\mathrm{TN}+\mathrm{FP}+\mathrm{FN}}$$

رابطه(۱۳)
$$\rho_{No} = \frac{\mathrm{FN}+\mathrm{TN}}{\mathrm{TP}+\mathrm{TN}+\mathrm{FP}+\mathrm{FN}} \times \frac{\mathrm{FP}+\mathrm{TN}}{\mathrm{TP}+\mathrm{TN}+\mathrm{FP}+\mathrm{FN}}$$

جدول(۱) شاخص آماری صحت نتایج آشکارسازی برای سه مجموعه داده این تحقیق را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول(۱) مشاهده می‌شود، بطور متوسط روش پیشنهادی ۴/۸ درصد بهبود دقت را نسبت به سایر روش‌های مقایسه‌ای کسب نموده است. در این بین، صحت روش آشکارسازی *SVM* نزدیکترین نتایج را نسبت به روش پیشنهادی داشته است. در ادامه جدول(۲) دقت آشکارسازی هدف در نقشه‌های تولید شده را از طریق شاخص *PPV* نشان می‌دهد. این شاخص درصد نمونه‌های صحیح از هدف را در نقشه آشکارسازی شده نشان می‌دهد.

مطابق با نتایج ارائه شده در جدول(۲)، علیرغم اختلاف اندک حدود ۱/۳ درصدی میان روش *PP* و روش پیشنهادی، انحراف استاندارد این شاخص در روش پیشنهادی معادل ۳/۵ درصد بوده که در مقایسه با انحراف استاندارد ۹ درصدی روش *PP*، از پایداری بالاتری برخوردار بوده است. این امر قابلیت اعتماد بیشتری را در استفاده از روش پیشنهادی تأمین می‌سازد. کمترین موفقیت این شاخص به روش *CEM* اختصاص داشته که نشان از تشخیص نادرست عناصر پس‌زمینه بعنوان هدف می‌باشد. مقایسه نقشه واقعیت زمینی با پاسخ آشکارساز *CEM* در شکل(۷) نیز نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد. لازم به ذکر است که

[1] *Accuracy*
[2] *positive predictive value*
[3] *Negative Predictive Value*
[4] *True Positive Rate*
[5] *False Positive Rate*
[6] *False Negative Rate*
[7] *kappa Coefficient*
[8] *True Positive*
[9] *True Negative*
[10] *False Positive*
[11] *False Negative*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

روش *SVM* در این شاخص نتایج بهتری را نسبت به روش پیشنهادی کسب کرده است.

جدول ۱: نتایج شاخص آماری صحت (*ACC*) در تمامی مجموعه‌های داده برحسب درصد

	روش پیشنهادی	PP	ACE	CEM	MF	SVM
مجموعه داده اول	۹۳/۷	۹۱/۷	۸۹/۹	۸۶/۷	۹۱/۰	۹۲/۵
مجموعه داده دوم	۸۸/۷	۷۵/۱	۸۰/۹	۷۹/۸	۸۴/۳	۸۶/۹
مجموعه داده سوم	۹۶/۹	۹۰/۷	۹۱/۶	۹۳/۹	۹۴/۳	۹۴/۹
میانگین	۹۳/۱	۸۵/۸	۸۷/۵	۸۶/۸	۸۹/۹	۹۱/۴

جدول ۲: نتایج شاخص آماری دقت آشکارسازی هدف (*PPV*) در تمامی مجموعه‌های داده برحسب درصد

	روش پیشنهادی	PP	ACE	CEM	MF	SVM
مجموعه داده اول	۸۲/۸	۷۷/۰	۹۶/۳	۵۱/۰	۶۸/۷	۸۳/۳
مجموعه داده دوم	۸۹/۸	۹۳/۲	۹۳/۵	۵۸/۲	۷۴/۲	۹۰/۱
مجموعه داده سوم	۸۵/۵	۹۲/۱	۵۹/۸	۶۹/۱	۷۹/۳	۸۸/۴
میانگین	۸۶/۱	۸۷/۴	۸۳/۲	۵۹/۴	۷۴/۱	۸۷/۳

جدول(۳) نتایج شاخص آماری دقت حذف پس-زمینه را برای مجموعه داده‌های این تحقیق نشان می-دهد. این شاخص درصد درستی پیکسل‌های پس‌زمینه را در نقشه‌های آشکارسازی نشان می‌دهد.

همانطور که مشاهده می‌شود، راهکار پیشنهاد شده توانسته بطور متوسط در این شاخص بهترین نتیجه را کسب نماید. آشکارساز *CEM* در این شاخص در رقابت نزدیک با روش پیشنهادی قرار داشته که نشان می‌دهد این آشکارساز درصورت برچسب‌دهی یک نمونه به پس‌زمینه، احتمال هدف بودن آن اندک خواهد بود. این موضوع در مورد برچسب‌دهی هدف به نمونه‌ها مصداق نداشته که جدول(۲) آن را تایید می‌نماید. از سوی دیگر، هرچند که طبقه‌بندی‌کننده *PP* توانست بهبود ۱/۳ درصدی در دقت آشکارسازی هدف نسبت به روش پیشنهادی کسب نماید؛ اما از منظر تشخیص درست پس‌زمینه اختلاف ۳/۵ درصدی را با روش پیشنهادی نشان می‌دهد.

جدول(۴) شاخص آماری بازخوانی، درصد نمونه-های هدف از نقشه واقعیت زمینی که توسط روش‌های آشکارسازی به درستی شناسایی شده‌اند را نشان می-دهد.

جدول ۳: نتایج شاخص آماری دقت حذف پس‌زمینه (*NPV*) در تمامی مجموعه‌های داده برحسب درصد

	روش پیشنهادی	PP	ACE	CEM	MF	SVM
مجموعه داده اول	۹۵/۱	۹۳/۳	۸۹/۷	۹۵/۹	۹۴/۱	۹۳/۵
مجموعه داده دوم	۸۸/۴	۸۳/۱	۸۰/۰	۸۸/۳	۸۶/۷	۸۶/۳
مجموعه داده سوم	۹۷/۲	۹۳/۸	۹۳/۱	۹۶/۲	۹۵/۳	۹۵/۳
میانگین	**۹۳/۶**	۹۰/۱	۸۷/۶	۹۳/۵	۹۲/۰	۹۱/۷

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

جدول ۴: نتایج شاخص آماری بازخوانی (*TPR*) در تمامی مجموعه‌های داده برحسب درصد

	روش پیشنهادی	PP	ACE	CEM	MF	SVM
مجموعه داده اول	۶۸٫۴	۵۵٫۵	۲۷٫۴	۶۹٫۴	۶۲٫۳	۵۶٫۸
مجموعه داده دوم	۶۱٫۱	۳۹٫۳	۲۴٫۸	۶۶٫۱	۵۶٫۵	۵۶
مجموعه داده سوم	۷۲٫۲	۳۵٫۳	۲۹٫۵	۶۲٫۸	۵۲٫۴	۵۲٫۴
میانگین	**۶۷٫۲**	۴۳٫۴	۲۷٫۲	۶۶٫۱	۵۷٫۱	۵۵

کماکان روش پیشنهادی توانسته بیشترین دقت را در مقایسه با روش‌های مقایسه‌ای کسب نماید. عدم - قطعیت‌ها در نمونه‌های مختلط واقع در لبه زمین‌های زراعی عامل کاهش نسبی این شاخص در تمامی روش‌های آشکارسازی شده است. به نظر می‌رسد که پیشنهادات مطرح شده به منظور کاهش عدم قطعیت در برچسب‌دهی نمونه‌های واقع در لبه زمین‌های زراعی بتواند در افزایش این شاخص موثر بوده و کیفیت بالاتری را در آشکارسازی تأمین سازد.

در ادامه ارائه شاخص‌های آماری، دو شاخص نرخ خطای نوع اول و دوم در جداول (۵) و (۶) ارائه شده است. خطای نوع اول به میزان وجود نمونه‌های به اشتباه هدف تشخیص داده شده مربوط بوده و خطای نوع دوم، میزان حضور نمونه‌های به اشتباه پس‌زمینه تشخیص داده شده را نشان می‌دهد.

بهترین نتایج مربوط به خطای نوع اول به روش آشکارسازی *ACE* اختصاص داشته و روش پیشنهادی از این منظر در رده چهارم واقع شده است. با اینحال در مقایسه با روش‌های *CEM* و *MF* نسبت به روش پیشنهادی، *PP*، *SVM* و *ACE* از فاصله معناداری در این خطا برخوردارند. باید توجه داشت که بطور معمول برآورد نرخ خطای نوع اول در آشکارسازهای *ACE*، *CEM* و *MF* از طریق تغییر حدآستانه اعمال شده به نقشه پاسخ آشکارساز و به کمک منحنی *ROC* محاسبه می‌شود. در این بررسی بواسطه تأمین یکنواختی در برآورد حد آستانه آشکارسازی از روش اتسو برای این منظور استفاده شده است.

جدول ۵: نتایج شاخص آماری نرخ خطای نوع اول (*FPR*) در تمامی مجموعه‌های داده برحسب درصد

	روش پیشنهادی	PP	ACE	CEM	MF	SVM
مجموعه داده اول	۲٫۳	۲٫۶	۰٫۲	۱۰٫۶	۴٫۵	۱٫۸
مجموعه داده دوم	۲٫۳	۰٫۱	۰٫۶	۱۵٫۷	۶٫۵	۲٫۱
مجموعه داده سوم	۱٫۲	۰٫۳	۲٫۰	۲٫۹	۱٫۴	۰٫۷
میانگین	۱٫۹	۱	**۰٫۹**	۹٫۷	۴٫۱	۱٫۵۳

جدول ۶: نتایج شاخص آماری نرخ خطای نوع دوم (*FNR*) در تمامی مجموعه‌های داده برحسب درصد

	روش پیشنهادی	PP	ACE	CEM	MF	SVM
مجموعه داده اول	۳۱٫۶	۴۴٫۵	۷۲٫۶	۳۰٫۶	۳۷٫۷	۴۳٫۲
مجموعه داده دوم	۳۸٫۹	۶۰٫۷	۷۵٫۲	۳۳٫۹	۴۳٫۵	۴۴
مجموعه داده سوم	۲۷٫۸	۶۴٫۷	۷۰٫۵	۳۷٫۲	۴۷٫۶	۴۷٫۶
میانگین	**۳۲٫۸**	۵۶٫۷	۷۲٫۸	۳۳٫۹	۴۲٫۹	۴۴٫۹

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

از سوی دیگر، در مورد خطای نوع دوم روش پیشنهادی بطور متوسط گوی سبقت را از سایر روش-های مقایسه‌ای ربوده و با اختلاف معناداری نسبت به روش *ACE* قرار گرفته است. بعبارت بهتر، روش *ACE* علیرغم کمترین خطای نوع اول، بیشترین سطح از خطای نوع دوم را برخوردار بوده که این امر آن را از زمره روش‌های موفق آشکارسازی خارج می‌سازد. جدول(۷) نیز به ارائه شاخص آماری ضریب کاپا اختصاص دارد. از طریق ضریب کاپا می‌توان دقت یک طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه‌بندی شود، مقایسه نمود. دقت کاپا در روش پیشنهادی بطور معناداری از سایر روش‌های مقایسه‌ای بیشتر بوده و روش‌های *SVM* و *MF* با اختلاف در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. در مورد ضریب کاپا بطور متوسط بهبود ۱۹ درصدی در نتایج مشاهده شده که این موضوع انطباق رویکرد پیشنهادی با راه‌حل بهینه آشکارسازی زمین‌های زراعی زعفران را نشان می‌دهد. بطور کلی می‌توان ادعا داشت که روش پیشنهاد شده در این تحقیق از پایداری بیشتر از نظر حفظ دقت در مقایسه با روش‌های مقایسه‌ای برخوردار بوده که بطور همزمان توانسته در مورد تمامی شاخص‌های ارزیابی در رتبه‌های نخست و یا رتبه‌های برتر واقع شود. اگرچه برخی از روش‌های مقایسه‌ای توانستند در چند شاخص برتری خود را نشان دهند؛ اما بطور معمول این برتری در تمامی شاخص‌های آماری مصداق نداشته و این مسأله پایداری آنها را مغشوش ساخته است.

جدول ۷: نتایج شاخص آماری (*KAPPA*) در تمامی مجموعه‌های داده برحسب درصد

	روش پیشنهادی	PP	ACE	CEM	MF	SVM
مجموعه داده اول	۷۱٫۱	۵۹٫۴	۳۶٫۷	۵۰٫۹	۵۹٫۱	۶۳٫۵
مجموعه داده دوم	۶۵٫۵	۴۶٫۶	۳۰٫۸	۴۸٫۱	۵۴	۶۱٫۳
مجموعه داده سوم	۷۵٫۲	۴۶٫۶	۳۳٫۹	۶۱٫۹	۵۸٫۷	۶۳٫۳
میانگین	**۷۰٫۶**	۵۰٫۹	۳۳٫۸	۵۳٫۶	۵۷٫۳	۶۲٫۷

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به اهمیت برآورد سطح زیر کشت زعفران، بمنظور مدیریت و بهره‌برداری بهینه از این محصول ارزشمند، در این مقاله روشی به منظور آشکارسازی زمین‌های زراعی زعفران پیشنهاد شد. این روش مبتنی بر روش‌های آشکارسازی هدف بوده که داده‌های ورودی آن سری زمانی شاخص گیاهی *NDVI* مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ بود. روش آشکارسازی استفاده شده در این تحقیق مبتنی بر تئوری حسگری فشرده و روش‌های تخمین تنک بوده که توانست در مقایسه با پنج روش مقایسه‌ای دیگر عملکرد بهتری را نشان دهد. نتایج این تحقیق در مورد سه منطقه آزمون در شهرستان نیشابور نشان داد که علیرغم کیفیت بهتر روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های طبقه-بندی‌کننده متوازی السطوح و *SVM* و آشکارسازهای هدف *ACE*، *CEM* و *MF*، مشکلاتی در تخمین صحیح لبه زمین‌های زراعی وجود دارد. دو ایده تولید واژه نامه متشکل از نمونه‌های خالص، مختلط و پس‌زمینه و همچنین بکارگیری روش‌های *SRM* در این حوزه پیشنهاد شد که در دستور کار تحقیقات نویسندگان این مقاله قرار دارد. از سوی دیگر، پیشنهاد تولید سری-های زمانی مبتنی بر دانش عامل خبره و همچنین بکارگیری این راهکار در تفکیک سایر محصولات زراعی را می‌توان از افق‌های تحقیقاتی مرتبط با موضوع این مقاله قلمداد نمود. آزمون بکارگیری روش‌های آموزش واژه نامه همانند *KSVD* در مورد اتم‌های استخراج شده

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

کلاس پس‌زمینه و میزان موفقیت آن در طراحی یک واژه نامه کارآمدتر نیز می‌تواند بعنوان پیشنهادات این تحقیق مطرح باشد.

مراجع

[1] M. Rahimzadegan and M. Pourgholam, "Indentification of the area under cultivation of Saffron using Landsat-8 temporal satelite images (Case study: Torbat Heydarieh)," RS & GIS for Natural Resources, vol. 7, no. 4, pp. 97-115, 2017.

[2] j. Farzadmehr and K. Tabaki Bajestani, "Capability of Landsat 8 satellite images to estimate the area under cultivation of saffron (case study:city of Torbat Heydarieh)," Saffron Agronomy & Technology, vol. 6, no. 1, p. 49-60, 2018.

[3] G. Shaw and D. Manolakis, "Signal Processing for Hyperspectral Image Exploitation," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 19, no. 1, pp. 12-16, July 2002.

[4] S. Matteoli, M. Diani, and G. Corsini, "Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification," IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag, vol. 25, no. 7, pp. 5-28, July 2010.

[5] C.-I. Chang and D. C. Heinz, "Constrained subpixel target detection for remotely sensed imagery," IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 38, no. 3, pp. 1144-1159, 2000.

[6] S. Soofbaf, M. Sahebi, and B. Mojaradi, "A sliding window-based joint sparse representation (swjsr) method for hyperspectral anomaly detection," Remote Sensing, vol. 10, no. 3, p. 434, 2018.

[7] L. Ji, X. Geng, K. Sun, Y. Zhao, and P. Gong, "Target Detection Method for Water Mapping Using Landsat 8 OLI/TIRS Imagery," Water, vol. 7, pp. 794-817, 2015.

[8] M. Pieper, D. Manolakis, R. Lockwood, T. Cooley, P. Armstrong, and J. Jacobson, "Hyperspectral detection and discrimination using the ACE algorithm," in Imaging Spectrometry XVI, 2011, vol. 8158: International Society for Optics and Photonics, p. 815807.

[9] C.-I. Chang and H. Ren, "Linearly constrained minimum variance beamforming approach to target detection and classification for hyperspectral imagery," in IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS'99 (Cat. No. 99CH36293), 1999, vol. 2: IEEE, pp. 1241-1243.

[10] R. G. Baraniuk, "Compressive sensing [lecture notes]," IEEE signal processing magazine, vol. 24, no. 4, pp. 118-121, 2007.

[11] M. T. Eismann, A. D. Stocker, and N. M. Nasrabadi, "Automated Hyperspectral Cueing for Civilian Search and Rescue," Proceedings of the IEEE, vol. 97, no. 6, pp. 1031–1055, June 2009.

[12] P. WT Yuen and G. Bishop, "Hyperspectral Algorithm Development for Military Applications: A Multiple Fusion Approach," in 3rd EMRS DTC Technical Conference, Edinburgh, 2006.

[13] C.-I. Chang, "Hyperspectral Data Processing: Algorithm Design and Analysis; ," Wiley: Hoboken, March 2013.

[14] C. Zhao, Y. Wang, B. Qi, and J. Wang, "Global and Local Real-Time Anomaly Detectors for Hyperspectral Remote Sensing Imagery Hyperspectral Remote

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

Sensing Imagery," Remote Sens, vol. 7, pp. 3966–3985, 2015.

[15] B. Du, R. Zhao, L. Zhang, and L. Zhang, "A spectral-spatial based local summation anomaly detection method for hyperspectral images," Signal Processing, vol. 124, pp. 115-131, 2016.

[16] N. Bhuvaneswari and V. Sivakumar, "A comprehensive review on sparse representation for image classification in remote sensing," in 2016 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), 2016: IEEE, pp. 1-4.

[17] Y. Chen, N. M. Nasrabadi, and T. D. Tran, "Hyperspectral image classification using dictionary-based sparse representation," IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 49, no. 10, pp. 3973-3985, 2011.

[18] M. Immitzer, F. Vuolo, and C. Atzberger, "First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe," Remote Sensing, vol. 3, no. 8, p. 166, 2016.

[19] J. Clevers, G, L. Kooistra, and v. d. B. M.MM "Using Sentinel-2 Data for Retrieving LAI and Leaf and Canopy Chlorophyll Content of a Potato Crop," Remote Sensing, vol. 5, no. 9, p. 405, 2017.

[20] W. I. Ng, P. Rima, K. Eimonann, and M. Immitzer, "Assessing the Potential of Sentinel-2 and Pleiades Data for the Detection of Prosopis and Vachellia spp. in Kenya." X 9(1), 74.," Remote Sensing, vol. 1, no. X 9, p. 74, 2017.

[21] X. Song, C. Yang, M. Wu, C. Zhao, G. Yang, and H. W.C, "Evaluation or Sentinel-2A Satellite Imagery for Mapping Cotton Root Rot," Remote Sensing, vol. 9, no. 9, p. 906, 2017.

[22] H. Zheng et al., "Performance Evaluation of Downscaling Sentinel-2 Imagery for Land Use and Land Cover Classification by Spectral-Spatial Features," Remote Sensing, vol. 12, no. 9, p. 1274, 2017.

[23] B. Mariana and C. Ovidiu, "Sentinel-2 Cropland Mapping Using Pixel-Based and Object-Based Time-Weighted Dynamic Time Warping Analysis," Remote Sensing of Environment, vol. 204, pp. 509-523, 2018.

[24] D. Manolakis, C. Siracusa, and G. Shaw, "Hyperspectral subpixel target detection using the linear mixing model," IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 39, no. 7, pp. 1392-1409, 2001.

[25] J. A. Tropp and S. J. Wright, "Computational methods for sparse solution of linear inverse problems," Proceedings of the IEEE, vol. 98, no. 6, pp. 948-958, 2010.

[26] J. Mairal, J. Ponce, G. Sapiro, A. Zisserman, and F. R. Bach, "Supervised dictionary learning," in Advances in neural information processing systems, 2009, pp. 1033-1040.

[27] M. Jian and C. Jung, "Semi-supervised bi-dictionary learning for image classification with smooth representation-based label propagation," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 18, no. 3, pp. 458-473, 2016.

[28] P. Sprechmann and G. Sapiro, "Dictionary learning and sparse coding for unsupervised clustering," in 2010 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing, 2010: IEEE, pp. 2042-2045.

[29] Q. Zhang and B. Li, "Discriminative K-SVD for dictionary learning in face recognition," in 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

and Pattern Recognition, 2010: IEEE, pp. 2691-2698.S

[30] S. F. Cotter, B. D. Rao, K. Engan, and K. Kreutz-Delgado, "Sparse solutions to linear inverse problems with multiple measurement vectors," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 53, no. 7, pp. 2477-2488, 2005.

[31] S. Wu, H. Chen, Y. Bai, Z. Zhao, and H. Long, "Remote sensing image noise reduction using wavelet coefficients based on OMP," Optik, vol. 126, no. 15-16, pp. 1439-1444, 2015

[32] P. Kumar, D. K. Gupta, V. N. Mishra, and R. Prasad, "Comparison of support vector machine, artificial neural network, and spectral angle mapper algorithms for crop classification using LISS IV data," International Journal of Remote Sensing, vol. 36, no. 6, pp. 1604-1617, 2015.

[33] S. Huang, H. Zhang, and A. Pižurica, "A robust sparse representation model for hyperspectral image classification," Sensors, vol. 17, no. 9, p. 2087, 2017.

[34] S. A. El-Rahman, "Performance of spectral angle mapper and parallelepiped classifiers in agriculture hyperspectral image," International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), vol. 7, no. 5, pp. 55-63, 2016.

[35] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.8 No.1, Spring 2020

Research Paper

A Sparse Representation Method to Detect Saffron Agricultural Lands Using Sentinel-II Satellite Images Time

Seyed Ashkan Razaghmanesh[1], Samira Allahyari Bek [2], Alireza Safdarinezhad [3]*

1- M. Sc of photogrammetry, Department of Geodesy and Surveying Engineering, Tafresh University, Tafresh
2- M. Sc of photogrammetry, Department of Geodesy and Surveying Engineering, Tafresh University, Tafresh
3- Assistant professor, Department of Geodesy and Surveying Engineering, Tafresh University, Tafresh

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-02-02]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.6.6]

[DOI: 10.29252/jgit.8.1.101]

Abstract

Nowadays, agricultural management via remote sensing technology has gained a special position among managers and the people who are in charge of this industry. Saffron (Red Gold) is one of specific Iran's agricultural products with a high economic valance which is used in different fields of food and medical industries. Considering the cultivation conditions of the saffron, there has not a persistent condition to plant in farmland, and it could not be recommended to plant saffron on the same land continuously. So, their cultivation area varies every year and the prediction of annual yields could be useful for managing aims. In this paper, considering the phenological behavior of the saffron farmlands, the detection of these farmlands using a novel target detection algorithm is proposed. To do so, a time series of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) extracted from Sentinel-2 satellite images have been used as the indicator of the phenological of cultivation areas. In the proposed method, a sparse representation method is used as the target detector. In this procedure, each pixel of the NDVI time series is reconstructed through a dictionary consists of the spectra-temporal response of the saffron farmland and background samples. The sub-dictionary of the background samples has randomly sampled from a clustered feature space spanned by time series pixels. A filtering step has also been designed to avoid the selection of the target-like samples in the sub-dictionary of the backgrounds. On average, the results achieved in three different datasets in the Neyshabour city have reached 93.1% accuracies. Also, the proposed method in comparison with the well-known target detectors CEM, ACE, MF, and the parallelepiped and SVM classifiers have been indicated, on average, the 4.8% accuracy improvements.

Key words : *Target Detection, Sparse Representation, Similarity Measure, Time Series, Saffron, NDVI.*

Correspondence Address*: Department of Geodesy and Surveying Engineering, Tafresh University, Tafresh, Postal Code: 39518-79611.*
Tel*: : +989123258852*
Email : *safdarinezhad@tafreshu.ac.ir*