نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دوازدهم، شماره نخست، بهار ۱۴۰۳

Vol.12, No.1, Spring 2024

۱۷ – ٤۱

مقاله پژوهشی

توسعه یک روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی دانش‌مبنا جهت تولید نقشه اراضی کشاورزی بر مبنای سیستم زراعت در گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: شهرکرد)

علیرضا طاهری دهکردی[1*]، روح الله گودرزی[2] ، محمد جواد ولدان زوج[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- کارشناس ارشد گروه سنجش از دور و فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استاد گروه سنجش از دور و فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

چکیده

کشاورزی به‌عنوان یکی از ارکان اصلی تامین امنیت غذایی جامعه، از اهمیت ویژه‌ای در تصمیم‌گیری‌های کلان کشور به ویژه در زمینه‌های مربوط به وضع سیاست‌های مربوط به واردات و صادرات برخی محصولات برخوردار است. لذا تعیین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در هر سال زراعی امری حیاتی به نظر می‌رسد. تقسیم‌بندی اراضی کشاورزی برمبنای سیستم زراعت در طول سال زراعی، می‌تواند برآورد دقیق‌تری از سطح زیرکشت محصولات پاییزه و بهاره در اختیار قراردهد؛ چراکه در این نقشه‌ها، مساحت اراضی دوکشت با دو محصول پیاپی پاییزه و بهاره متوالی، دو مرتبه در نظر گرفته می‌شوند. این تحقیق با هدف طبقه‌بندی اراضی کشاورزی به کلاس‌های تک‌کشت بهاره، پاییزه، یونجه و اراضی دوکشت، به توسعه یک روش تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی‌دانش‌مبنا پرداخته است. در روش توسعه داده شده، با اعمال حدآستانه‌های متفاوت در سری‌زمانی شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (*NDVI*) مستخرج از تصاویر سنتینل-۲، اراضی کشاورزی در چندین مرحله به‌صورت سلسله‌مراتبی به کلاس‌های هدف طبقه‌بندی می‌شوند. کلیه روند پیشنهادی، با استفاده حداکثری از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش‌های برخط، در سامانه گوگل ارث انجین و متناسب با قابلیت‌های برنامه‌نویسی این بستر، پیاده‌سازی شده است. روش پیشنهادی در یک منطقه مطالعاتی واقع در شهرستان شهرکرد مورد بررسی قرارگرفته که در نهایت با دقت کلی ۹۷٫۲۷٪ در مقایسه با دو روش نزدیکترین همسایگی با دقت کلی ۹۳٫۷۶ ٪ و درخت‌تصمیم‌گیری با دقت کلی ۹۴٫۳۲ ٪ عملکرد بهتری از خود ارائه داده است. همچنین نتایج نهایی حکایت از مشابهت بالای نقشه تولید شده توسط روش پیشنهادی و روش ماشین‌بردارپشتیبان دارند. هرچند که روش ماشین‌بردارپشتیبان با دقت کلی ۹۷٫۸۴٪ با اختلاف جزئی، دقت بالاتری از روش ارائه شده بدست آورده، اما روش ارائه شده در عین سادگی، قابل درک بودن و استفاده از ویژگی‌های منحنی رفتار زمانی اراضی کشاورزی، در سال‌های زراعی متفاوت بدون نیاز به آموزش مجدد قابلیت به‌کارگیری دارد.

کلیدواژه‌ها : طبقه‌بندی، گوگل ارث انجین، اراضی کشاورزی، سیستم زراعت، سنجش از دور.

[*] نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، روبروی ساختمان اسکان، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی .

تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۷۷۰۷۱

Email: Alireza.tahery@email.kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

۱- مقدمه

بخش کشاورزی در کشورهای در حال توسعه به‌عنوان یکی از ارکان اصلی تامین امنیت غذایی جامعه شناخته می‌شود. این بخش با رشد روز افزون خود و با برقراری ارتباطات گسترده با سایر بخش‌های اقتصادی، می‌تواند زمینه تولید ثروت، ارزآوری و رشد صنعت را فراهم نماید. امروزه کشورهای در حال توسعه به‌منظور گذر از بحران‌های اقتصادی و خودکفایی، درصدد تلفیق هر چه بیش‌تر بخش کشاورزی با دانش و تکنولوژی‌های پیشرفته برآمده و توانسته‌اند پیشرفت‌های قابل‌توجهی را در این زمینه کسب نمایند *[۱]*. با وجود محدودیت-های موجود در منابع آبی و زمین‌های قابل کشت و هم-چنین رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای منابع و مواد غذایی، مدیریت زمین‌های قابل کشت و در حال کشت و هم‌چنین نوع کشت در زمین‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. از این‌رو رسیدن به این اهداف مستلزم برنامه‌ریزی مناسب و بهره‌مندی از داده‌های معتبر در این زمینه خواهد بود.

تخمین و تعیین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به‌عنوان یکی از کاربردهای مطرح در حوزه کشاورزی، از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان منطقه‌ای برخوردار می‌باشد. از میان روش‌های متعدد جمع‌آوری داده، روش سنتی جمع‌آوری اطلاعات از وضعیت و سطح زیرکشت محصولات کشاورزی بسیار زمان‌بر و پرهزینه بوده و از قابلیت اجرا در مناطق وسیع برخوردار نیستند *[۲]*. حال آن‌که داده‌های حاصل از تکنیک سنجش از دور، بدون نیاز به حضور فیزیکی در منطقه و با استفاده از انواع تصاویر هوایی و ماهواره‌ای اخذ شده با دقت‌های مختلف مکانی، طیفی و زمانی، امکان تشخیص نوع و تعیین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و اطلاعات موردنیاز متخصصان کشاورزی را فراهم می‌نمایند *[۳، ۴ و ۵]*

با توجه به روند متغیر سبزینگی اراضی کشاورزی در طول زمان، مطالعات بسیاری استفاده تصاویر سنجش از دوری را به‌صورت سری زمانی دنبال نموده‌اند *[۳، ۴ و ۵]*. روش‌های به‌کار گرفته شده جهت طبقه‌بندی اراضی کشاورزی در مطالعات مختلف را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود: ۱-استفاده از طبقه‌بندی‌کننده-های پیکسل‌مبنا و ۲- استفاده از روش‌های دانش‌مبنا مبتنی بر شناخت فنولوژی و رفتار زمانی محصولات مختلف *[۶]* . مطالعات دسته اول در سال‌های اخیر با توسعه تکنولوژی و سخت‌افزارهای کامپیوتری، به سمت استفاده از روش‌های یادگیری عمیق رفته‌است؛ به-نحوی‌که از انواع شبکه‌های عصبی عمیق از جمله شبکه‌های عصبی پیچشی[۱] *[۷ و ۸]* و شبکه‌های عصبی بازگشتی[۲] *[۷، ۹ و ۱۰]* در این حوزه استفاده شده است.

دسته دوم مطالعات یعنی به‌کارگیری روش‌های دانش-مبنا نیز در مطالعات مختلفی جهت طبقه‌بندی محصولات کشاورزی پیشنهاد شده است. عاشورلو (۲۰۲۰) با توسعه یک روش جدید، به شناسایی اراضی سیب‌زمینی با استفاده از سری زمانی تصاویر سنتینل-۲[۳] پرداخت *[۶]* . همچنین سدانو (۲۰۱۹) نقشه پوشش زمینی یک منطقه مطالعاتی وسیع با استفاده یک روش دانش‌مبنا و سری زمانی متراکم تصاویر ماهواره‌ای لندست را با تاکید بر اراضی کشاورزی و پوشش‌های گیاهی تولید نمود *[۱۱]*. ژیانگ (۲۰۲۰) نیز با طراحی یک روش دانش‌مبنا مبتنی بر سری زمانی شاخص‌های گیاهی مختلف تصاویر سنتینل-۲، نقشه محصولات اصلی کشاوزی (جو، برنج، لوبیا و غیر) را در منطقه‌ای مطالعاتی واقع در چین تهیه کرد *[۱۲]*. همچنین چانگ (۲۰۲۱) تولید نقشه‌های محصول برنج را با استفاده از سری زمانی تصاویر راداری سنتینل-۱[۴] دنبال کرد؛ به‌نحوی که با استخراج پارامترهای مختلف فنولوژیکی از نمودار سری زمانی اراضی کشاورزی تحت

---

[۱] *Convolutional Neural Networks*

[۲] *Recurrent Neural Networks*

[۳] *Sentinel-2*

[۴] *Sentinel-1*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

کشت محصول برنج و اعمال حدآستانه‌های مختلف، نقشه اراضی کشاورزی تحت کشت محصول برنج در منطقه‌ای مطالعاتی در تایوان ارائه شد [۱۳].

مطالعات مرور شده پتانسیل‌های بالقوه استفاده از تصاویر سنجش از دوری به‌صورت سری زمانی را به اثبات می‌رسانند. اما در استفاده از تصاویر سنجش از دوری به صورت سری زمانی، باید به مواردی از جمله نحوه اخذ تصاویر، نیاز به حافظه‌های ذخیره‌سازی با حجم بالا و سخت‌افزارهای قدرتمند پردازشی به‌خصوص در مناطق مطالعاتی وسیع توجه ویژه نمود. امروزه متخصصان کامپیوتر و سنجش از دور با توسعه فضاهای ابری محاسباتی برخط، تا حدودی به رفع مشکلات مذکور پرداخته‌اند. سامانه پردازشی گوگل ارث انجین[۱](*GEE*) نیز از جمله این فضاهای محاسباتی به‌شمار می‌رود که امکان اجرای پردازش‌های مختلف را به‌صوت برخط به‌صورت یک رابط کاربری با قابلیت برنامه نویسی ایجاد نموده است [۱۴] . در ادامه به مرور برخی از مطالعات انجام گرفته در حوزه کاربردهای سنجش از دوری این سامانه پرداخته می‌شود.

گوما (۲۰۲۰) به تولید نقشه اراضی کشاورزی جنوب آسیا با استفاده از روش جنگل تصادفی[۲](*RF*) در سامانه *GEE* پرداخت [۱۵] . همچنین در تحقیقی دیگر، با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست ۸[۳] نقشه زراعی کل قاره آفریقا تولید شد [۱] .در این مطالعه از تلفیق نتایج روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا در سامانه *GEE* و نتایج قطعه‌بندی تصاویر روی سامانه‌های ابرکامپیوتری سازمان فضایی آمریکا بهره برده شده است. لیو (۲۰۲۰) نیز با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مختلف، تولید نقشه‌های زراعی در مناطق مطالعاتی وسیع را دنبال نمود [۱۶] . البته استفاده از سامانه *GEE* تنها به کاربردهای مربوط به حوزه کشاورزی محدود نمی‌شود. تولید نقشه‌های پوشش زمینی چند کلاسه [۱۷ و ۱۸] ، پایش کیفیت آب دریا و دریاچه‌ها [۱۹] ، تولید نقشه‌های نواحی جنگلی و پایش مستمر آنها [۲۰] ، تولید نقشه‌های جهانی مناطق شهری [۲۱] ، نمونه‌ای دیگر از مقالات انجام‌شده در این بستر می‌باشند. لازم به ذکر است، علی‌رغم توانایی‌های این سامانه در کاربردهای مختلف، تنها برخی از روش‌های ساده و رایج پردازشی در سنجش از دور در این سامانه در دسترس عموم قرار گرفته و موجب محدودیت پتانسیل این ابزار شده است. روش ارائه شده در این مطالعه نیز برمبنای ابزارهای پردازشی فراهم شده در این سامانه طراحی شده است.

در عمده مطالعات بررسی شده سیستم زراعت اراضی کشاورزی، تک کشت پاییزه یا بهاره فرض شده است. حال آنکه در یک سال زراعی، ممکن است دو کشت متوالی پاییزه و بهاره در یک زمین زراعی استحضال شود. این مورد سبب ایجاد خطای غیرقابل چشم‌پوشی در تخمین سطح زیرکشت محصولات خواهد شد. چراکه سطح زیرکشت در اراضی دو کشت، می‌بایست به هر دو سطح زیرکشت محصولات پاییزه و بهاره اضافه گردد. لذا در این مطالعه، با توسعه یک روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی دانش‌مبنای نوین برمبنای رفتار فنولوژیک، اراضی کشاورزی به سیستم‌های زراعت مختلف (تک کشت پاییزه، بهاره و دوکشت) طبقه‌بندی می‌شوند. در این فرآیند از بستر موتور گوگل ارث انجین به دلیل سرعت و سادگی در اجرا و همچنین در دسترس بودن تصاویر بدون نیاز به دانلود آنان استفاده شده است. کلیه فرآیند توسعه داده شده در بستر *GEE* و متناسب با قابلیت‌های برنامه‌نویسی در این بستر پیاده‌سازی شده است.

در روش پیشنهادی، با استفاده از سری زمانی شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شدهٔ (*NDVI*) مستخرج از تصاویر

[۱] *Normalized Difference Vegetation Index*

[۵] *Google Earth Engine*

[۶] *Random Forest*

[۷] *Landsat 8*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

سنتینل-۲، نقشه اراضی کشاورزی در چهار کلاس تک کشت بهاره، تک کشت پاییزه، دو کشت و یونجه تولید می‌گردد. روش دانش‌مبنای توسعه داده شده یک روش ساده، قابل فهم و مبتنی بر رفتار فنولوژیک اراضی کشاورزی است. روش پیشنهادی در یک منطقه مطالعاتی واقع در شهرستان شهرکرد، با استفاده از داده‌های واقعیت زمینی بدست آمده طی عملیات‌های میدانی وسیع، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. همچنین مقایسه روش پیشنهادی با سه روش K-نزدیک‌ترین همسایگی[۱] (KNN)، درخت تصمیم‌گیری[۲] (DT) و ماشین‌بردار پشتیبان[۳] (SVM)، به‌واسطه استفاده از داده‌های آموزشی و ارزیابی یکسان، انجام پذیرفته است. روش‌های مذکور از جمله روش‌های پرکاربرد، رایج و توانمند در تولید نقشه اراضی کشاورزی می‌باشند. به‌طور کلی می‌توان ویژگی‌های اصلی این تحقیق را در موارد زیر خلاصه نمود:

۱- توسعه یک روش نوین تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی دانش‌مبنا جهت تولید نقشه اراضی کشاورزی بر مبنای سیستم زراعت. روش پیشنهادی برمبنای ویژگی‌های منحنی رفتار زمانی اراضی مختلف کشاورزی بر مبنای سیستم زراعت تک کشت و دو کشت در طول سال زراعی عمل می‌نماید.

۲- به‌کارگیری بستر پردازشی *GEE* به‌منظور استفاده حداکثری از تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده در طول سال زراعی و اجرای پردازش‌های مختلف با سرعت بالا به‌صورت برخط.

۳- ارزیابی روش پیشنهادی در یک منطقه مطالعاتی واقع در شهرستان شهرکرد با استفاده از داده‌های واقعیت زمینی بدست آمده از عملیات‌های میدانی.

پس از مقدمه، در بخش دوم این مقاله منطقه مورد مطالعه و تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده معرفی می‌شوند. در بخش سوم، جزئیات روش پیشنهادی به‌طور مبسوط شرح داده شده است. در بخش چهارم نیز نتایج روش پیشنهادی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت نیز نتیجه‌گیری پایانی این مطالعه و پیشنهاداتی برای مطالعات آتی مطرح شده است.

۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

در این بخش به صورت مبسوط منطقه مورد مطالعه از نقطه نظر جغرافیا، اقلیم و دیگر شرایط محیطی تشریح شده است. همچنین در ادامه این بخش داده‌های سنجش از دوری مورد استفاده و داده‌های واقعیت زمینی جمع‌آوری شده معرفی می‌گردند.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، بخش وسیعی از شهرستان شهرکرد، مرکز استان چهارمحال و بختیاری، به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده است. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی نسبت به محدوده استان و ترکیب رنگی بدون ابر تصویر سنتینل-۲ در اوایل تیرماه ۱۳۹۹ نشان داده شده است. درصد قابل توجهی از سهم محصولات کشاورزی این استان، به شهرستان شهرکرد اختصاص دارد. این ناحیه با ارتفاع میانگین ۱۸۰۰ متر بالاتر از سطح دریا، به‌عنوان یکی از مرتفع ترین نقاط ایران، دارای اقلیم آب و هوایی نیمه مرطوب معتدل با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد می باشد. عمده اراضی کشاورزی منطقه مطالعاتی بر مبنای سیستم زراعت به دو دسته کلی تک کشت و دو کشت تقسیم بندی می‌شوند. محصولات غالب کشاورزی این منطقه نیز گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی، یونجه چندساله و کلزا می‌باشند. به‌دلیل شرایط آب و هوایی و نوع بذر مورد استفاده، کشت محصولات گندم، جو و کلزا به‌صورت پاییزه و کشت سایر محصولات نظیر ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی به صورت بهاره رواج دارد.

---

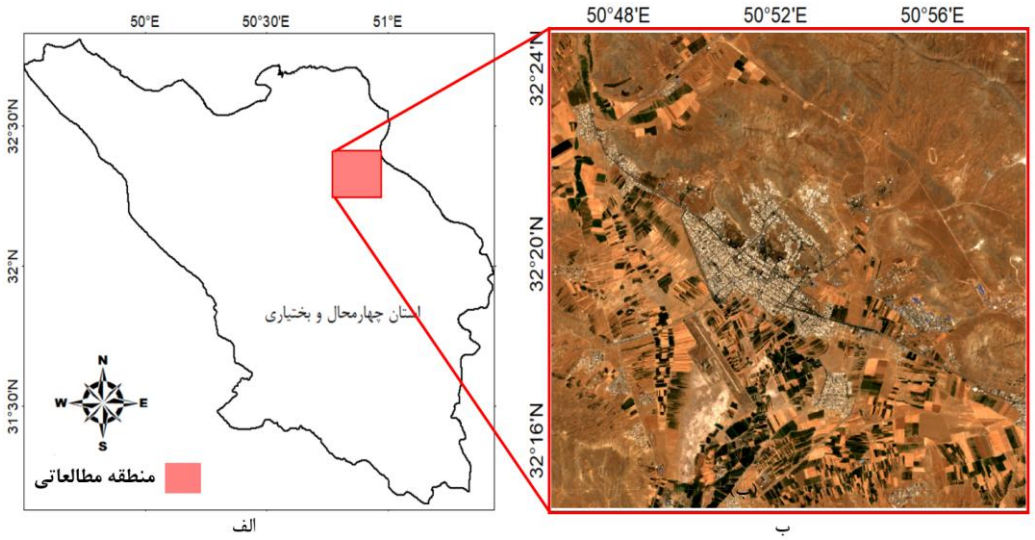
[۲] *K-Nearest Neighbors*

[۳] *Decision Tree*

[۴] *Support Vector Machine*

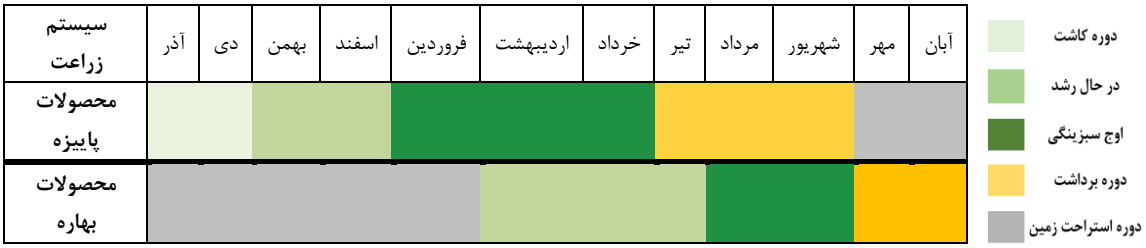
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]



شکل ۱: معرفی منطقه مطالعاتی: الف) موقعیت جغرافیایی، ب) ترکیب رنگی حقیقی بدون ابر تصویر سنتینل-۲ (تیر ۱۳۹۹)

براساس تقویم زراعی منطقه و مطابق با نظر کارشناسان خبره در حوزه فنولوژیک گیاهان و همچنین طی پرسش و پاسخ از کشاورزان منطقه، در شکل (۲) تقویم زراعی منطقه مطالعاتی بر مبنای نوع محصول (پاییزه و بهاره) نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، کاشت محصولات پاییزه از آذر ماه هر سال آغاز شده و تا پایان دی ماه ادامه دارد. برداشت محصول پاییزه به‌طور کلی از تیر ماه لغایت شهریور ماه هر سال انجام می‌پذیرد. البته در اراضی که کشاورز قصد کاشت محصول بهاره پس از محصول پاییزه را دارد، برداشت محصول پاییزه زودتر انجام می‌پذیرد تا زمان کافی برای رشد محصول بهاره بدون همزمانی با فصل سرما وجود داشته باشد. در مورد محصولات بهاره نیز، کشت در بازه زمانی اردیبهشت لغایت تیر ماه هر سال انجام شده و برداشت محصول تا پایان آبان ماه ادامه دارد.



شکل ۲: تقویم زراعی محصولات پاییزه و بهاره در منطقه مطالعاتی

۲-۲- داده‌های مورد نیاز

در این بخش داده‌های مورد نیاز این مطالعه معرفی شده است. در این پژوهش علاوه بر تصاویر ماهواره‌ای از داده‌های واقعیت زمینی، جهت آموزش و اعتبار سنجی روش پیشنهادی استفاده شده است که به صورت جداگانه هریک تشریح شده است.

۲-۲-۱- تصاویر ماهواره‌ای سنتیل-۲

در این مطالعه از سری زمانی تصاویر سنتینل-۲ جهت تولید نقشه اراضی کشاورزی استفاده شده است. پروژه سنتینل-۲ شامل دو ماهواره A و B بوده که دو سنجنده کاملاً یکسان با توانایی اخذ داده در ۱۳ باند طیفی مختلف را حمل می‌کنند. تصاویر این پروژه،

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

علاوه بر رایگان بودن، به‌دلیل قدرت تفکیک زمانی ۵ روز، فرصت ایده‌آلی را جهت مطالعه پدیده‌های دینامیک در طول زمان نظیر اراضی کشاورزی پدید آورده است. این تصاویر در دو سطح *1C* و *2A* در اختیار عموم قرار می‌گیرد که در این مطالعه از تصاویر سطح *2A* استفاده شده است. تصاویر سطح *2A* با اعمال تصحیحات مختلف روی تصاویر *1C*، مقادیر بازتابندگی سطح را در اختیار قرار می‌دهند [۲۲].

به منظور تولید نقشه زراعی مبتنی بر سیستم زراعت منطقه مورد مطالعه، بازه زمانی آذرماه سال ۱۳۹۸ الی آذر ماه ۱۳۹۹ جهت فراخوانی تصاویر سنتینل-۲ استفاده شد. از تصاویر فراخوانی شده، پس از تولید تصاویر بدون ابر، سری زمانی شاخص گیاهی *NDVI* تولید می‌گردد. سری زمانی تولید شده جهت تولید نقشه مورد نظر با استفاده از روش طراحی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۲-۲- داده‌های واقعیت زمینی

داده‌های واقعیت زمینی این مطالعه طی بازدیدهای میدانی گسترده در مقاطع مختلف زمانی سال زراعی ۹۸ جمع‌آوری گردید. طی عملیات میدانی انجام گرفته، بیش از ۱۵۰ زمین زراعی در سطح منطقه مطالعاتی با کلاس‌های مختلف بررسی گردید. داده‌های واقعیت زمینی در ۷ کلاس مختلف ۱- اراضی کشاورزی تک کشت بهاره، ۲- اراضی تک کشت پاییز، ۳- اراضی دو کشت، ۴- اراضی تحت کشت یونجه، ۵- خاک لخت و اراضی بایر، ۶- سایر پوشش‌های گیاهی (باغ، فضای سبز، مراتع) و ۷- عوارض ساختمانی و شهری جمع‌آوری شدند. لازم به ذکر است، کلاس‌های هدف این مطالعه تنها کلاس‌های ۱ تا ۴ می‌باشند و از کلاس‌های ۵، ۶ و ۷ در حین آموزش و ارزیابی روش پیشنهادی جهت جداسازی اراضی کشاورزی از سایر پوشش‌های زمینی استفاده می‌شود.

از آنجایی که روش پیشنهادی این مطالعه، یک روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی دانش‌مبنا است، از ۱۰ درصد داده‌های واقعیت زمینی به‌عنوان داده آموزشی جهت تعیین حد آستانه‌های موجود در روش پیشنهادی استفاده می‌گردد. ۹۰ درصد مابقی داده‌های واقعیت زمینی به‌عنوان داده‌های ارزیابی استفاده خواهد شد. در جدول (۱)، تعداد پیکسل‌های نمونه‌های آموزشی و ارزیابی در هر کلاس گزارش شده است. لازم به‌ذکر است، جهت مقایسه روش طراحی‌شده با سایر روش‌های طبقه‌بندی، از داده‌های آموزشی و ارزیابی کاملا یکسان استفاده می‌گردد.

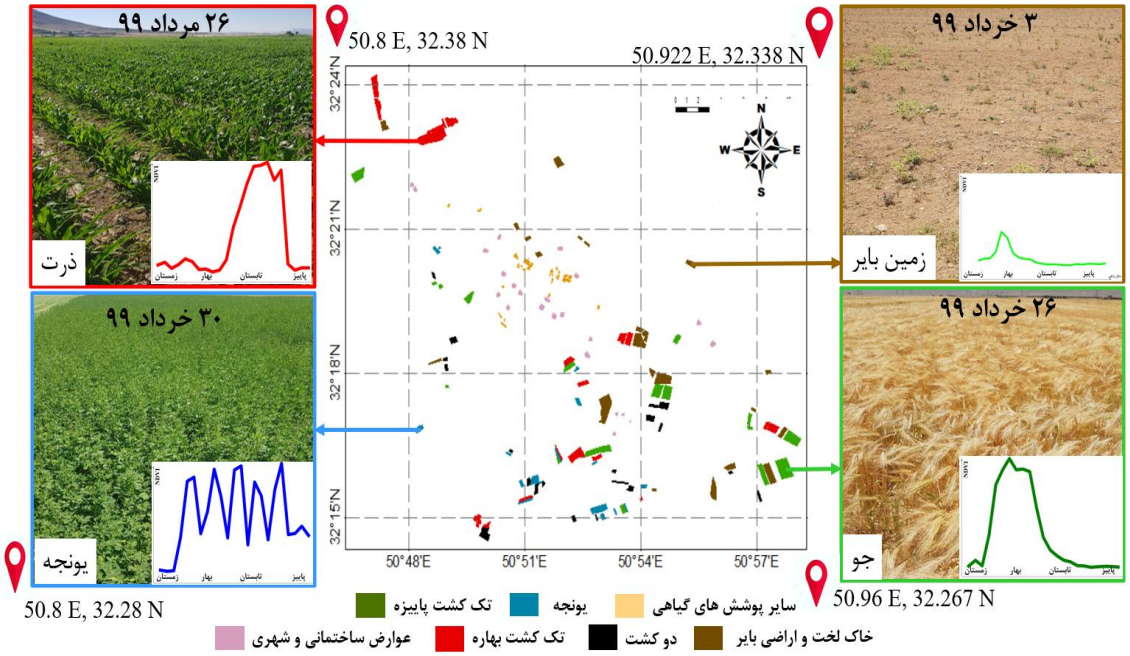
جدول ۱: تعداد پیکسل‌های نمونه‌های آموزشی و تست به تفکیک هر کلاس

کلاس	کشت بهاره	کشت پاییزه	دو کشت	یونجه	خاک لخت	سایر پوشش‌های گیاهی	ساختمان و عوارض شهری
تعداد نمونه‌های آموزشی	۲۶۲۱	۲۷۸۱	۱۰۵۸	۱۰۰۹	۲۶۸۰	۴۰۸	۴۸۲
تعداد نمونه‌های ارزیابی	۲۳۵۹۳	۲۵۰۳۰	۸۹۰۹	۸۰۱۸	۲۴۱۲۵	۲۷۷۳	۳۴۴۴

در شکل (۳) نیز توزیع و موقعیت جغرافیایی داده‌های جمع آوری شده، نمایش داده شده است. همچنین تصاویری از برخی کلاس‌های جمع‌آوری شده در عملیات‌های میدانی در این شکل به نمایش گذاشته شده است. نمودار سری زمانی شاخص *NDVI* هر تصویر نیز به همراه مختصات محل و تاریخ اخذ تصویر، در شکل (۳) مشخص شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]



شکل ۳: توزیع مکانی کلاس‌های مختلف داده واقعیت زمینی

۳- روش پیشنهادی

بدیهی است مدیران بخش کشاورزی به آمار دقیق سطح زیر کشت محصولات کشاورزی از هر منطقه جهت مدیریت و سیاست‌گذاری نیاز مبرم دارند؛ از طرفی عمده اراضی تحت کشت محصولات کشاورزی بر مبنای سیستم زراعت در یک سال زراعی، به دو دسته کلی تک کشت و دو کشت تقسیم‌بندی می‌شوند. البته در برخی نواحی، اراضی کشاورزی با سه و چهار کشت پیاپی نیز وجود دارد که با توجه به عدم حضور چنین سیستم زراعتی در منطقه مطالعاتی، از آن‌ها صرف‌نظر می‌گردد. بنابراین تعیین اراضی تک کشت و دو کشت در تخمین نهایی سطح زیر کشت از اهمیت بالایی برخودار است؛ چرا که مساحت اراضی دو کشت دو برابر خواهد شد و این مورد در عمده نقشه‌های تولید شده از تصاویر ماهواره‌ای درنظر گرفته نشده است *[۸ و ۱۳]* . براین اساس در این مطالعه یک روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی دانش‌مبنای نوین جهت طبقه‌بندی اراضی کشاورزی برمبنای سیستم زراعت[۱] در *GEE* توسعه داده شده است.

سیستم زراعت تک کشت به اراضی کشاورزی اطلاق می‌شود که در یک سال زراعی کامل، تنها یک محصول در آن‌ها استحصال می‌شود. بدین معنی که در یک زمین زراعی در طول سال زراعی، تنها محصول پاییزه یا محصول بهاره کشت می‌شود. بنابراین اراضی تک کشت خود به دو دسته اراضی تک کشت پاییزه و اراضی تک کشت بهاره تقسیم‌بندی می‌شوند. اراضی تحت کشت محصول یونجه نیز، جزء اراضی تک کشت محسوب می‌شوند. چرا که در کل سال زراعی، زمین کشاورزی مربوطه، تنها تحت کشت این تک محصول می‌باشد. به‌سبب تفاوت محصول یونجه با سایر محصولات پاییزه و بهاره از حیث برداشت چندباره آن در طول سال زراعی و همچنین دارا بودن سبزینگی در کل فصل زراعی همانند اراضی باغات، در این مطالعه اراضی تحت کشت محصول یونجه به‌عنوان یک کلاس مجزا در نظر گرفته

[۱] *Cropping System*

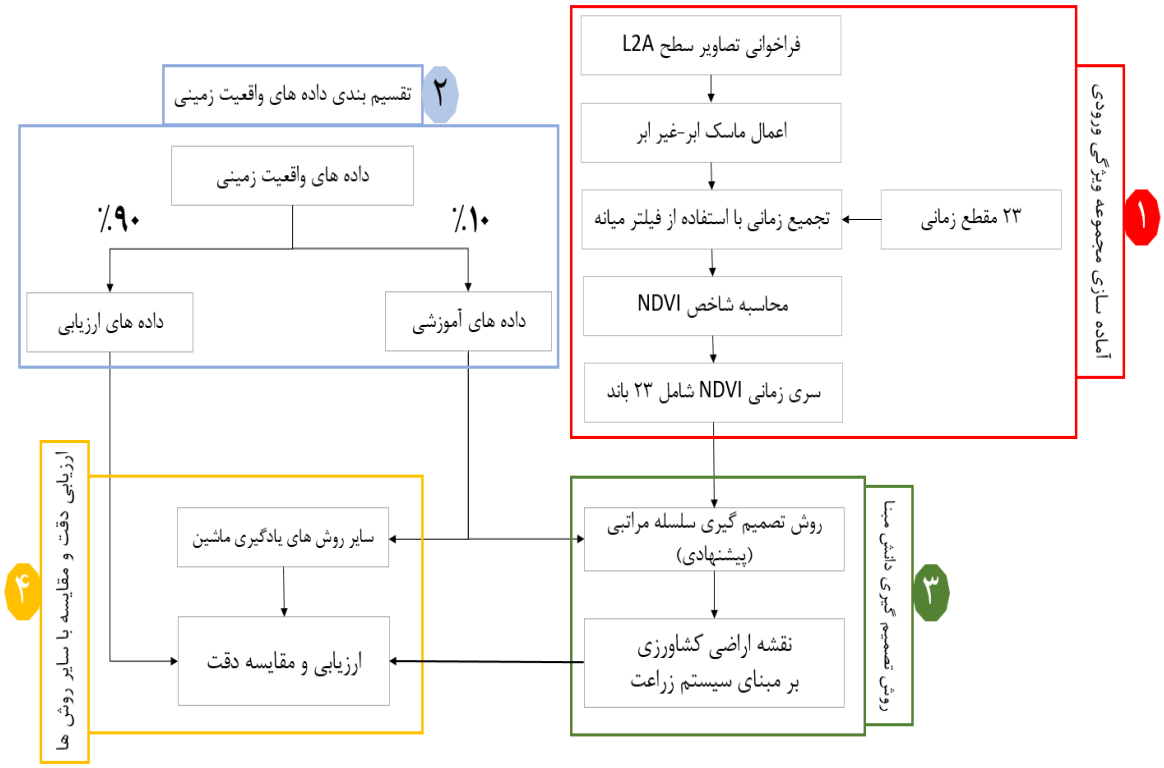
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

می‌شوند. لازم به ذکر است، در زمین‌های با سیستم زراعت دو کشت، دو محصول متوالی پاییزه و بهاره در یک سال زراعی کامل کشت می‌گردد. به‌نحوی‌که پس از برداشت محصول پاییزه، پس از مدتی کوتاه محصول بهاره مناسب در زمین مورد نظر کاشت می‌گردد.

در این بخش به معرفی کامل روش پیشنهادی پرداخته شده است. روندنمای روش پیشنهادی این مطالعه در شکل (۴) نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است، روش پیشنهادی شامل ۴ گام کلی است:

۱) آماده‌سازی مجموعه ویژگی ورودی، ۲)تقسیم‌بندی داده‌های واقعیت زمینی، ۳) استفاده از روش تصمیم-گیری سلسله مراتبی دانش‌مبنا جهت تولید نقشه اراضی کشاورزی برمبنای سیستم زراعت و ۴) ارزیابی دقت و مقایسه با سایر روش‌های یادگیری ماشین. در ادامه هر یک از مراحل به‌طور کامل تشریح شده است.



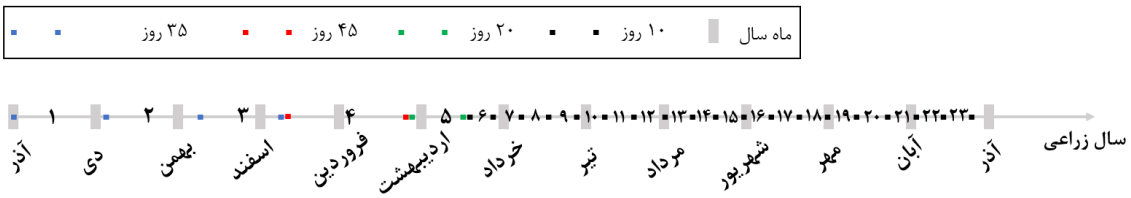
شکل ۴: روند نمای روش پیشنهادی جهت تولید نقشه اراضی کشاورزی

۳-۱-آماده‌سازی مجموعه ویژگی ورودی

در این مرحله از تصاویر سنتینل-۲ در یک سال زراعی، سری زمانی شاخص *NDVI* در ۲۳ زمان مختلف جهت تولید نقشه اراضی کشاورزی آماده‌سازی و مهیا می-گردد. وجود ابر، یکی از چالش‌های اصلی به‌کارگیری تصاویر نوری است. به‌خصوص آنکه به دلیل شرایط ارتفاعی و آب و هوایی منطقه مطالعاتی، به‌خصوص در فصول سرد سال، عملاً امکان به‌کارگیری سری زمانی تک تک تصاویر به‌صورت متراکم وجود ندارد. از تکنیک تجمیع زمانی به کمک فیلتر میانه به‌دلیل اثرپذیری کمتر از نویز جهت تولید تصاویر بدون ابر استفاده شده است *[۲۳]* . بدین منظور، سال زراعی به ۲۳ مقطع زمانی مختلف تقسیم‌بندی شده که در شکل(۵) نمایش داده شده است. هر مقطع زمانی کوتاهترین بازه زمانی که امکان تولید تصاویر بدون ابر در آن وجود داشته باشد را پوشش می‌دهد. همان‌طور که مشخص است،

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

بازه‌های زمانی فصول سرد سال به‌دلیل ابر بیشتر، طولانی‌تر در نظر گرفته می‌شوند. پس از اعمال نقشه ابر-غیر ابر که در کنار هر تصویر سنتینل-۲ در گوگل ارث انجین با نام *QA60* وجود دارد *[۱۸]* ، مقدار میانه تصاویر موجود در هر مقطع زمانی در هر باند، تصویری بدون ابر را در اختیار قرار می‌دهد *[۲۳]* . این اقدام علاوه بر حذف نویزهای احتمالی روشن و تیره در تصاویر، تصاویری خالی ابر از منطقه مطالعاتی بدست می‌دهد *[۱۵، ۱۸ و ۲۳]* . در مجموع ۲۳ تصویر بدون ابر از منطقه مطالعاتی در طول فصل زراعی تولید می‌گردد. تصاویر بدون ابر، به‌واسطه به‌کارگیری بیش از ۷۰ تصویر، به‌صورت برخط و بدون نیاز به اخذ، در گوگل ارث انجین تولید می‌گردند. به‌کارگیری تمامی تصاویر موجود در یک سال زراعی و تولید تصاویر بدون ابر از منطقه به روش مطرح شده، تنها به واسطه استفاده از سامانه‌های پردازشی ابری نظیر *GEE* میسر است.



شکل ۵: ۲۳ مقطع زمانی جهت تولید تصاویر بدون ابر از منطقه مطالعاتی

از دو باند قرمز (باند ۴) و مادون قرمز نزدیک (باند ۸) تصاویر تولید شده با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، جهت محاسبه شاخص *NDVI* برمبنای رابطه (۱) استفاده می‌شود *[۲۴]* . این شاخص یکی از معروف‌ترین و پراستفاده‌ترین شاخص‌های گیاهی در مطالعات سنجش از دوری بوده و توانایی آن در مطالعات مربوط به حوزه طبقه‌بندی محصولات کشاورزی و تولید نقشه اراضی کشاورزی به اثبات رسیده است *[۶، ۱۰ و ۱۵]* . همچنین، سری زمانی شاخص *NDVI* با در اختیار گذاشتن منحنی زمانی رشد هر زمین زراعی، امکان استفاده از اطلاعات فنولوژیکی دوره رشد را فراهم می‌نماید. در نهایت، سری زمانی مهیا شده که شامل ۲۳ شاخص *NDVI* در زمان‌های مختلف یک فصل زراعی است، مجموعه ویژگی ورودی روش سلسله مراتبی دانش‌مبنای این مطالعه را تشکیل می‌دهد.

$$NDVI=\frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$ رابطه(۱)

در رابطه (۱)، *NIR* باند نزدیک مادون قرمز و *RED* باند قرمز تصاویر سنتینل ۲ می‌باشد.

۳-۲- تقسیم‌بندی داده‌های واقعیت زمینی

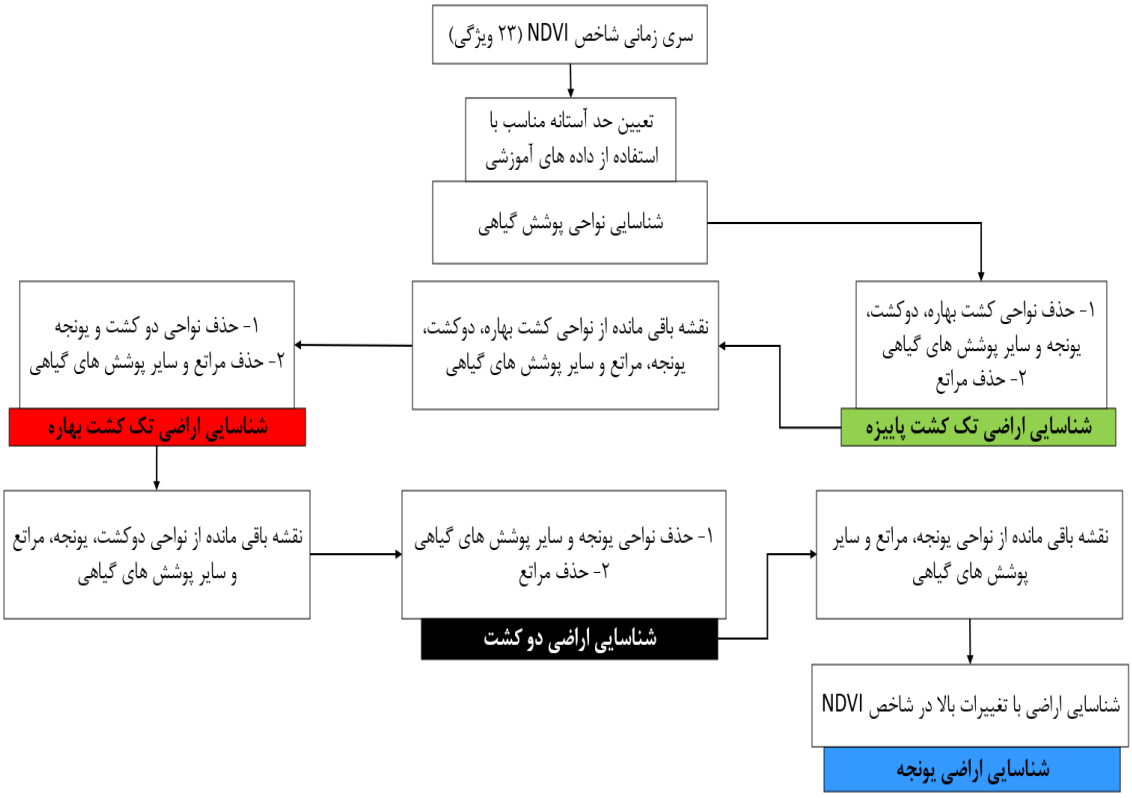
به منظور آموزش الگوریتم به ویژه تعیین حد آستانه‌های مناسب برای تفکیک کلاس‌های مختلف، در این مرحله داده‌های واقعیت زمینی به دو دسته آموزشی و ارزیابی تقسیم‌بندی می‌شوند. به‌نحوی که ۱۰ درصد از کل داده‌ها به داده‌های آموزشی (در مجموع ۱۱۰۳۹ نمونه) و مابقی به داده‌های ارزیابی (در مجموع ۹۵۸۹۲ نمونه) اختصاص می‌یابد. سهم قابل توجه داده‌های ارزیابی، امکان سنجش و ارزیابی هرچه بهتر روش پیشنهادی را فراهم می‌آورد. دسته‌بندی داده‌ها در این مرحله به صورت کاملاً تصادفی انجام می‌پذیرد. لازم به ذکر است که داده‌های تست به منظور ارزیابی نتایج حاصل شده از روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۳- روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی دانش‌مبنا

در این مطالعه از یک روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی دانش‌مبنا جهت تولید نقشه اراضی کشاورزی بر مبنای سیستم زراعت استفاده شده است. بدیهی است از تجمیع کلاس‌های هدف، نقشه اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه بدست می‌آید. در شکل (۶) روش

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

پیشنهادی ارائه شده است. این روش ۴ گام کلی را شامل شده که هر یک به‌ترتیب انجام می‌پذیرد:
۱) تولید نقشه اراضی کشاورزی تک‌کشت پاییزه، ۲) تولید نقشه اراضی کشاورزی تک‌کشت بهاره، ۳) تولید نقشه اراضی کشاورزی دو کشت و ۴) تولید نقشه اراضی کشاورزی یونجه. در ادامه هر یک از مراحل مذکور به تفصیل شرح داده شده است. ذکر این نکته الزامی است که اراضی باغات در این مطالعه در کنار سایر پوشش‌های گیاهی از جمله درخت و فضای سبز، در کلاسی مجزا در نظر گرفته می‌شوند. لذا امکان ارائه نقشه اراضی کشاورزی فارغ از اراضی باغات وجود دارد. در مجموع اراضی کشاورزی برمبنای سیستم زراعت در این مطالعه به ۴ کلاس اراضی کشاورزی تک کشت بهاره، اراضی کشاورزی پاییزه، اراضی کشاورزی دوکشت و اراضی کشاورزی یونجه تقسیم‌بندی شده‌اند.



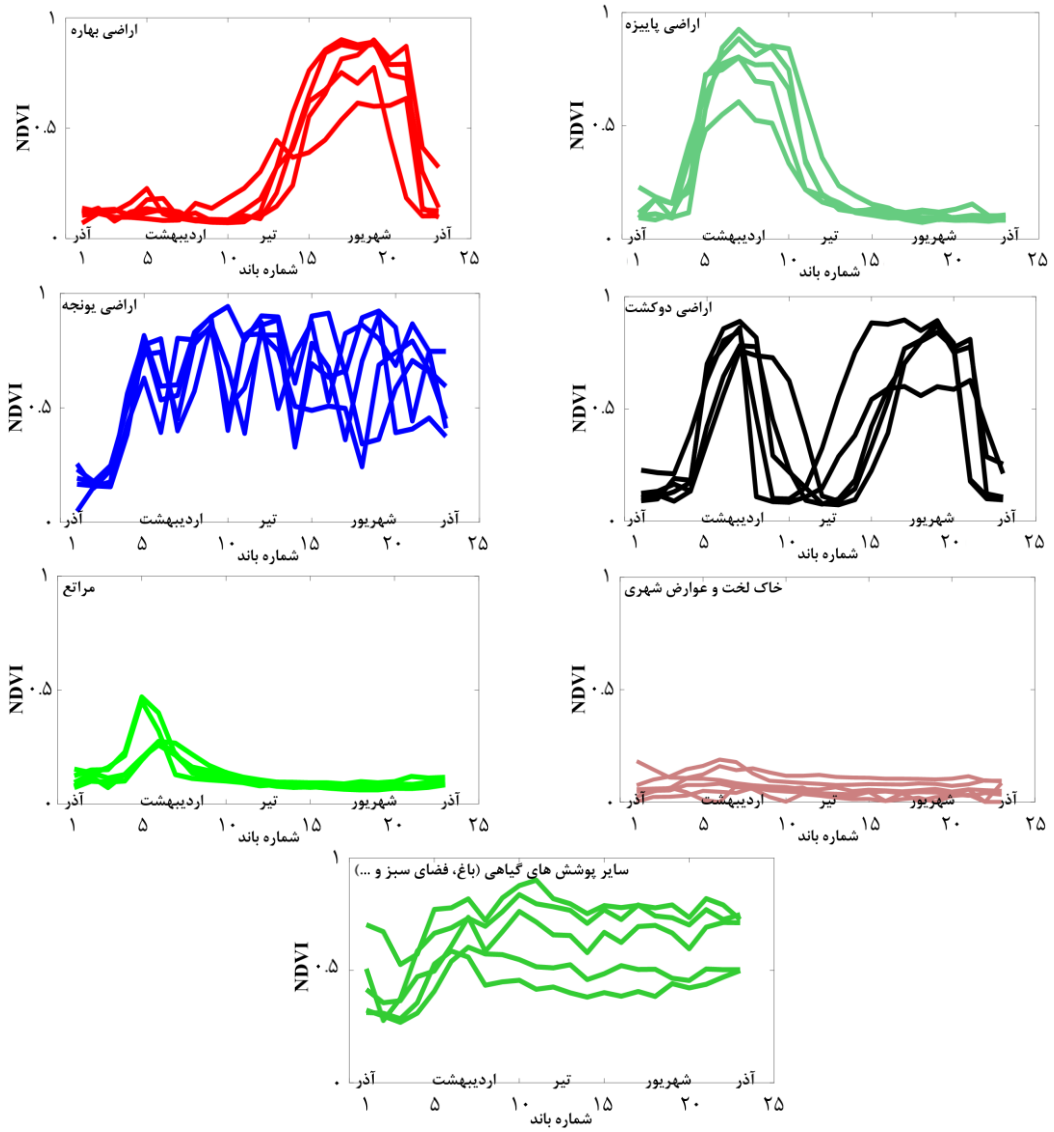
شکل ۶ : روندنمای روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی دانش مبنا جهت طبقه‌بندی اراضی کشاورزی برمبنای سیستم زراعت

همچنین به‌منظور درک هرچه بهتر مراحل مختلف روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی، رفتار زمانی ۵ نمونه مختلف آموزشی از کلاس‌های مختلف که به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب شده‌اند، در شکل (۷) ترسیم شده است. این شکل در تفسیر ساده‌تر روش ارائه شده، کمک شایانی می‌نماید. همچنین از بررسی نمودارهای رفتار زمانی ۴ کلاس هدف این مطالعه می‌توان گذاره‌های زیر را نتیجه‌گیری نمود:

- اراضی کشاورزی تک کشت تنها از یک قله سبزینگی در طول فصل زراعی برخوردار می‌باشند. اوج سبزینگی اراضی کشاورزی تک کشت پاییزه در میانه اول سال زراعی (در فصل بهار) در حالی که اوج سبزینگی در اراضی کشاورزی تک کشت بهاره در میانه دوم (در فصل تابستان) واقع شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

- نمودار سری زمانی محصول یونجه نیز در طول فصل زراعی، یک رفتار نوسانی از خود نشان می‌دهد. همان‌طور که اشاره شد، این نوسانات به‌دلیل تفاوت محصول یونجه با سایر محصولات کشاورزی در برداشت چندباره آن در طول فصل زراعی است.
- همچنین اراضی دو کشت، از دو قله سبزینگی در طول فصل زراعی برخوردار هستند. این اراضی نیز پس از برداشت محصول پاییزه، در یک مقطع زمانی کوتاه رفتاری مشابه با خاک لخت از خود نمایش می‌دهند.



شکل ۷: بررسی رفتار زمانی نمونه‌هایی مرجع از کلاس‌های مختلف

به‌منظور تسهیل در تفکیک کلاس‌های مورد نیاز پژوهش، دو فاز اصلی در نظر گرفته شده است. فاز اول حذف کلاس نواحی غیر پوشش گیاهی و تولید نقشه باینری مستعد مناطق زراعی و پوشش گیاهی است و فاز دوم تفکیک پیکسل‌های نقشه باینری تولیده شده در فاز اول به کلاس‌های هدف تحقیق می‌باشد. در ادامه هر یک از این مراحل شرح داده می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

۳-۳-۱- حذف نواحی غیر پوشش گیاهی

اولین فاز اجرای الگوریتم، تفکیک مناطق با پوشش گیاهی (مناطق مستعد زمین زراعی) از مناطق غیر پوشش گیاهی و فاقد سبزینگی است. مناطق فاقد سبزینگی شامل کلاس‌های عوارض شهری و ساختمانی، خاک لخت، آب و سایر می‌باشند. شاخص سبزینگی $NDVI$ مقداری بین ۱- و ۱ خواهد داشت و برای مناطق گیاهی مقدار این شاخص به سمت یک میل می‌نماید؛ در مقابل برای مناطق فاقد پوشش گیاهی مقداری به مراتب پایین و نزدیک صفر خواهد داشت. این مورد به‌طور واضح در نمودارهای شکل (۷) قابل مشاهده است. بر اساس این نتیجه‌گیری در رابطه با رفتار شاخص سبزینگی برای مناطق فاقد پوشش گیاهی، حذف پیکسل‌های کاندید کلاس‌های غیر پوشش گیاهی دنبال شده است. افزایش دقت نهایی، کاهش حجم محاسبات، بالا بردن سرعت اجرا و کاهش اطلاعات اضافی از نقشه نهایی دلایل اصلی تفکیک کلاس غیر زراعی از نواحی زراعی منطقه محسوب می‌شوند.

به‌منظور حذف پیکسل‌های غیر پوشش‌گیاهی، با استفاده از داده‌های آموزشی حد آستانه مناسب روی مقدار بیشینه شاخص $NDVI$ در طول سال زراعی (مطابق با رابطه (۲))، تعیین می‌گردد. حد آستانه بهینه با جست و جو در مقادیر مختلف با شرط ایجاد بیشینه دقت تفکیک دو کلاس پوشش گیاهی و غیر پوشش گیاهی نمونه‌های آموزشی تعیین می‌گردد. باید توجه داشت که داده‌های آموزشی کلاس پوشش گیاهی در بردارنده کلاس‌های تک کشت پاییزه و بهاره، دو کشت، یونجه و سایر پوشش‌های گیاهی بوده در مقابل داده آموزشی فاقد پوشش گیاهی مشمول کلاس‌های خاک لخت و عوارض ساختمانی و شهری در داده واقعیت زمینی خواهد بود.

رابطه(۲) $$Max\left(NDVI\right) < Th_1$$

۳-۳-۲- شناسایی اراضی کشاورزی تک کشت پاییزه

در راستای اجرای فاز دوم؛ همان‌طور که اشاره شد، کلاس پوشش‌گیاهی خروجی مرحله قبل را می‌توان تجمیعی از اراضی کشاورزی (تک کشت پاییزه و بهاره، دوکشت، یونجه) و سایر پوشش‌های گیاهی نظیر مراتع، باغات، فضای سبز درون شهری و درخت‌ها دانست. جهت تفکیک پیکسل‌های مربوط به اراضی کشاورزی تک کشت پاییزه از نقشه گیاهی تولید شده در بخش قبل، از روش حذفی پیکسل‌های تک کشت بهاره، دوکشت، یونجه و سایر پوشش گیاهی، دو شرط مختلف روی سری زمانی مورد نظر اعمال شده است. با بررسی نمودارهای شکل (۷) مربوط به سری زمانی ۴ کلاس هدف، قابل مشاهده است که قله اراضی تک کشت پاییزه در فصل بهار (نیمه اول سری زمانی شامل زمان ۱ تا ۱۱ مصادف با ابتدای آذرماه لغایت نیمه مردادماه) واقع شده است. در مقابل سه کلاس تک کشت بهاره، دو کشت، یونجه و سایر پوشش‌های گیاهی در نیمه دوم سال زراعی (مطابق با زمان‌های ۱۲ تا ۲۳ مصادف با اواسط مردادماه تا آذرماه) حتما دارای سبزنگی قابل توجه می‌باشند. بنابراین برای تفکیک پیکسل‌های زراعی تک کشت پاییزه از سایر کلاس‌ها، شرط اول مطابق با رابطه (۳) ارائه شده است. در این رابطه حد آستانه با برقراری شرط حداکثر دقت برای داده‌های آموزشی تعیین می‌گردد. رابطه (۳) بیان می‌نماید چنانچه میزان شاخص سبزینگی یک پیکسل در حد فاصل زمانی ۱۶ الی ۲۰ (مصادف با ابتدای شهریور لغایت اواسط مهرماه) کمتر از حد آستانه بهینه گردد؛ این پیکسل به عنوان کاندید کلاس تک کشت پاییزه در نظر گرفته خواهد شد و در صورتی که خلاف این شرط برقرار باشد حتما به عنوان ناحیه مربوط به سایر کلاس‌ها، حذف می‌گردد.

رابطه(۳) $$Max\ \left(NDVI\ \ (16:20)\right) \le Th_2$$

یکی از مشکلات مهم در تفکیک کلاس‌های زراعی از سایر پوشش‌های گیاهی، وجود مراتع بوده که رفتاری

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

مشابه با کشت پاییزه دارند. بنابراین شرط دوم به منظور حذف پیکسل‌های مراتع اعمال خواهد شد. با مشاهده و مقایسه نمودارهای کلاس تک کشت پاییزه و مراتع (شکل (۷))، قله و همچنین دوره سبزینگی مراتع به نسبت کشت پاییزه کمتر می‌باشد. بدین منظور با بررسی رفتار سری زمانی داده‌های آموزشی، شرط دوم مطابق با رابطه (۴)، اعمال می‌گردد. مطابق با رابطه، چنانچه در بازه زمانی نیمه اول سال به خصوص زمان‌های ۱ تا ۸ (مصادف با ابتدای آذرماه لغایت اواسط خردادماه)، حداقل ۳ زمان دارای سبزینگی بیش از حد آستانه بهینه باشند؛ به عنوان کشت پاییزه حفظ و در غیر این صورت پیکسل به عنوان کلاس مرتع حذف می‌گردد. حد آستانه بهینه و همچنین دوره زمانی ۱ تا ۸ (مصادف با ابتدای آذرماه لغایت اواسط خردادماه) با برقراری شرط بیشترین دقت روی داده‌های آموزشی در دو کلاس هدف و سایر تعیین می‌گردند.

$$num\ (NDVI(1:8) > Th_3)\ \geq\ 3 \qquad \text{رابطه(۴)}$$

در رابطه (۴)، پارامتر num بیانگر تعداد زمان می‌باشد؛ از اشتراک نتیجه حاصل از روابط (۳) و (۴) نقشه باینری کلاس تک‌کشت پاییزه بدست خواهد آمد.

۳-۳-۳- شناسایی اراضی کشاورزی تک کشت بهاره

با توجه به روند سلسله مراتبی الگوریتم پیشنهادی، پس از تولید نقشه باینری کلاس تک کشت پاییزه، به منظور تهیه ماسک باینری کلاس تک کشت بهاره می‌بایست دو اقدام صورت پذیرد. در گام اول با انجام عملیات جبری تفریق، نقشه باینری پاییزه می‌بایست از نقشه باینری مناطق پوشش گیاهی اولیه تفکیک گردد. بدیهی است پیکسل‌های باقیمانده در بردارنده کلاس‌های تک کشت بهاره، دوکشت، یونجه و سایر پوشش‌های گیاهی خواهند بود. مشابه روند تولید نقشه پاییزه، با اعمال دو قید، نقشه اراضی تک کشت بهاره با روش حذفی تهیه می‌گردد.

با عنایت به نمودارهای شکل (۷)، تفاوت عمده اراضی کشت بهاره و دو کشت، عدم وجود قله سبزینگی در نیمه اول سال زراعی برای کشت بهاره می‌باشد. بر این اساس، پیکسل‌هایی که در نیمه اول سال زراعی دارای سبزینگی قابل توجهی می‌باشند، قطعا کاندید کلاس کشت بهاره نخواهند بود. با این توضیحات رابطه (۵)، شرط لازم برای حذف کلاس ۲ کشت از ماسک باینری تولید شده از مرحله قبل می‌باشد. مطابق با این شرط و با بررسی رفتار سری زمانی داده‌های آموزشی، چنانچه تعداد مقاطع سری زمانی یک پیکسل در بازه زمانی ۱ تا ۸ (مصادف با ابتدای آذرماه لغایت اواسط خردادماه) دارای مقادیر سبزینگی بالای حد آستانه بهینه باشند به عنوان کلاسی غیر از کشت بهاره حذف خواهد شد. با اعمال این شرط اراضی کشاورزی دو کشت نیز به‌سبب دارا بودن سبزینگی قابل توجه در بازه مذکور جدا می‌شوند. همچنین به دلیل سبزینگی مداوم اراضی کشاورزی یونجه و سایر پوشش‌های گیاهی نظیر باغات و یونجه، این نواحی نیز جداسازی می‌شوند. با اعمال این قید، می‌توان ادعا نمود نواحی باقیمانده تنها شامل اراضی مرتع و اراضی با کشت بهاره می‌باشند.

$$num\ (NDVI(1:8) > Th_3)\ \leq\ 2 \qquad \text{رابطه(۵)}$$

همانطور که بیان شد همواره مراتع به عنوان یک کلاس مزاحم برای تفکیک گونه‌های پوشش گیاهی محسوب می‌شوند. بنابراین مشابه آنچه که در بخش قبل بیان شد، به منظور حذف کلاس مراتع رابطه (۶) اعمال می‌گردد. طبق این رابطه، چنانچه پیکسلی، در بازه زمانی ۱۶ تا ۲۰ (ابتدای شهریورماه لغایت اواسط مهرماه) از سال زراعی دارای سبزینگی بالای حد آستانه بهینه باشد به عنوان کلاس کشت بهاره حفظ می‌گردد، در غیر این صورت به عنوان کلاس مرتع از نقشه باینری حذف خواهد شد.در این مرحله نیز حد آستانه‌های اعمال شده به‌نحوی انتخاب شده‌اند تا حداکثر دقت بین کلاس هدف (اراضی کشاورزی تک کشت بهاره) با سایر کلاس‌های موجود در نمونه‌های آموزشی بدست آید.

$$Max\left(NDVI(16:20)\right) \geq Th_2 \qquad \text{رابطه(۶)}$$

از اشتراک نتایج حاصل از روابط (۵) و (۶)، انتظار تولید ماسک باینری کلاس تک‌کشت بهاره وجود دارد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

۳-۳-۴- شناسایی اراضی کشاورزی دو کشت

به‌منظور شناسایی اراضی کشاورزی دو کشت، مشابه دو کلاس قبلی، استراتژی حذفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین در گام اول، نقشه باینری حاصل از تجمیع دو کلاس کشت بهاره و پاییزه از نقشه باینری پوشش گیاهی با عملیات جبری تفریق حذف می‌گردند. بدیهی است پیکسل‌های باقیمانده تجمیعی از کلاس‌های اراضی دو کشت، یونجه و سایر پوشش‌های گیاهی خواهد بود. با بررسی نمودار ارائه شده در شکل (۷)، اراضی دو کشت دارای دو اوج سبزینگی، یکی در میانه اول سال زراعی (مشابه رفتار محصولات پاییزه) و دیگری در میانه دوم سال زراعی (مشابه رفتار محصولات بهاره) هستند. لازم به ذکر است طی تحقیقات صورت گرفته از کارشناسان کشاورزی، غالبا نحوه کشت دوم در این اراضی به گونه‌ای است که در فاصله زمانی اندکی پس از برداشت محصول پاییزه، کاشت محصول بهاره انجام می‌پذیرد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که در یک بازه زمانی کوتاه، رفتار سبزینگی زمین، مشابه با خاک لخت داشته که از سبزینگی پایینی برخوردار می‌باشد.

در این بخش برای تفکیک کلاس ۲ کشت نیز می‌بایست شرط مربوط به مراتع بر روی پیکسل‌های باقی مانده اعمال گردد؛ رابطه (۷) شرط لازم برای این منظور را نشان می‌دهد. بنابراین پیکسل‌هایی که دارای حداقل ۳ دوره[۱] زمانی با سبزینگی بالای حد آستانه بهینه در بازه زمانی ۱ تا ۸ (مصادف با ابتدای آذرماه لغایت اواسط خردادماه) باشند؛ به عنوان پیکسل کلاس ۲ کشت حفظ خواهند شد.

$$num\ (NDVI\ (1:8) > Th_3) \geq 3 \qquad \text{رابطه(۷)}$$

همانطور که بیان شد، اراضی ۲ کشت در بین دو قله سبزینگی رفتاری مشابه با خاک لخت از خود نشان می‌دهند؛ لذا شرط دوم تفکیک این کلاس از سایرین در رابطه (۸) ارائه شده است. مطابق با رابطه (۸)، چنانچه مقدار مینیمم سبزینگی پیکسلی در بازه زمانی ۹ تا ۱۳ (اواسط خردادماه تا ابتدای مردادماه) از سال زراعی کمتر از حد آستانه بهینه گردد؛ به عنوان کلاس ۲ کشت حفظ خواهد شد. این قید منجر به حذف کلاس‌های یونجه و سایر پوشش‌های گیاهی نظیر باغات و درخت‌ها می‌گردد. چرا که این کلاس‌ها در ویژگی‌های مورد نظر، دارای سبزینگی قابل توجهی می‌باشند.

$$Min\left(NDVI\left(9:13\right)\right) \leq Th_4 \qquad \text{رابطه(۸)}$$

از اشتراک قیدهای مندرج در روابط (۷) و (۸) ، ماسک باینری کلاس ۲ کشت تولید خواهد شد.

۳-۳-۵- شناسایی اراضی تحت کشت محصول یونجه

تفکیک کلاس‌های مطرح شده در بخش‌های قبلی به صورت مستقیم از سری زمانی سبزینگی یک سال زراعی تصاویر سنتینل ۲ صورت پذیرفت. یونجه یکی از گونه‌های زراعی با رفتاری بسیار پیچیده در روند فنولوژیک می‌باشد. از آنجایی که هدف اصلی مقاله تشخیص اراضی زراعی می‌باشد، تفکیک این کلاس از سایر کلاس‌های پوشش گیاهی به ویژه باغات از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. چرا که هر دو کلاس یونجه و اراضی باغ، عمدتاً در طول سال زراعی سبزینگی بالایی دارند. البته برای هر دو کلاس یونجه و باغات احتمال کاهش سبزینگی در برخی فصول سال نظیر پاییز و زمستان وجود دارد.

اولین قدم جهت شناسایی پیکسل‌های کلاس یونجه، استفاده از استراتژی حذف کلاس‌های تک کشت بهاره و پاییزه و همچنین دو کشت می‌باشد. بدین منظور با عملیات جبری تفریق، نقشه باینری حاصل از تجمیع کلاس‌های کشت پاییزه ، بهاره و دو کشت از نقشه باینری پوشش گیاهی حذف می‌گردد. بدیهی است که پیکسل‌های باقیمانده در بردارنده کلاس‌های یونجه ، باغات و مراتع می‌باشد. برای تشخیص آسان یونجه از باغات و مراتع ضروریست تا رفتار فنولوژیک آن مورد بررسی قرار گیرد. همانطور که در بخش مقدمه اشاره

[۱] *Epoch*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

شد، یونجه در طول سال زراعی چندین مرتبه برداشت می‌شود که این ویژگی سبب بوجود آمدن نوسانات قابل توجه در نمودار رفتار زمانی شاخص *NDVI* این محصول می‌گردد (مطابق با نمودار شکل (۷)). البته با توجه به اینکه همواره مقدار سبزینگی این محصول مشابه باغات از سطح بالایی برخودار است؛ بنابراین جداسازی آن با استفاده مستقیم از سری زمانی پیچیدگی‌های بالایی دارد. بنابراین استفاده از مشتقات مرتبه دوم سری زمانی که بیانگر تغییرات و نوسانات یک منحنی می‌باشد؛ پتانسیل بالایی در تفکیک این گونه از کلاس باغ خواهد داشت.

جهت محاسبه مشتق دوم سری زمانی، ابتدا مشتق اول با تفاضل مقادیر شاخص گیاهی در زمان i و $i+1$ انجام می‌پذیرد که i مقادیر صحیح بین ۱ تا ۲۲ را اختیار می‌کند. سپس مشتق دوم، از تفاضل مقادیر مشتق اول در زمان j و $j+1$ صورت می‌پذیرد. که j مقادیر صحیح بین ۱ تا ۲۱ را اختیار می‌کند. شرط لازم برای تفکیک یونجه، در رابطه (۹) از اشتراک دو شرط و با اعمال دو حد آستانه بیان شده است. مطابق با این شرط، چنانچه مقدار ماکزیمم مشتق دوم سری زمانی یک پیکسل در کل سال زراعی از حدی مشخص تجاوز نماید و همچنین مقدار مینیمم مقدار مشتق دوم سبزینگی در طول سال زراعی از حد آستانه بهینه کمتر گردد، آن پیکسل به عنوان کلاس یونجه در نظر گرفته خواهد شد. این شرط به‌تنهایی می‌تواند منجر به حذف کلاس سایر پوشش‌های گیاهی نظیر باغات و فضای سبز که دارای سبزینگی یکنواختی می‌باشند، گردد. بنابراین اعمال این قید به تولید نقشه اراضی تحت کشت محصول یونجه می‌انجامد. در این گام نیز حد آستانه‌های اعمال شده به‌نحوی انتخاب شده‌اند تا حداکثر دقت بین کلاس هدف (اراضی کشاورزی تحت کشت یونجه) با سایر کلاس‌های موجود در نمونه‌های آموزشی بدست آید.

رابطه(۹)

$$Max\,(NDVI'') > Th_5 \;\; and \;\; Min\,(NDVI'') < Th_6$$

لازم به ذکر است، به منظور تعیین حد آستانه بهینه در مراحل مختلف از روش پیشنهادی، با توجه به عدم در دست بودن روش‌های بهینه سازی در محیط گوگل ارث انجین، از روش جست‌وجوی شبکه‌ای (*Grid Search*) در یک بازه منطقی (مطابق با مشاهده نمودارها سری زمانی کلاس‌های مختلف) استفاده شده است. به‌نحوی‌که بهترین حد آستانه از بین مقادیر کاندید، حد آستانه‌ای با بیشترین دقت کلی روی نمونه‌های آموزشی خواهد بود. در جدول(۲) بازه درنظر گرفته شده برای هر مقدار حد آستانه با نرخ تغییر ۰/۰۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲: مقادیر حدآستانه‌های مختلف تعیین شده

حد آستانه	Th_1	Th_2	Th_3	Th_4	Th_5	Th_6
بازه	$[۰/۱,۰/۳]$	$[۰/۱,۰/۴]$	$[۰/۱,۰/۴]$	$[۰/۱,۰/۴]$	$[۰/۱,۰/۴]$	$[-۰/۳,-۰/۱]$
گام			۰/۰۲			

۳-۴- ارزیابی دقت و مقایسه با سایر روش‌ها

در این مرحله ارزیابی نقشه‌های تولید شده با استفاده از داده‌های تست انجام می‌پذیرد. همانطور که اشاره شد، روش پیشنهادی چهار نقشه اراضی کشاورزی تک کشت پاییزه، تک کشت بهاره، دوکشت و یونجه را تولید می‌نماید. ارزیابی دقت به‌واسطه بررسی جداگانه هر نقشه در دو کلاس هدف و سایر صورت می‌پذیرد. ماتریس ابهام طبقه‌بندی و معیارهای دقت، سنجش عملکرد روش ارائه شده را بر عهده خواهند داشت. در حالت دو کلاسی (هدف و زمینه) ماتریس ابهام طبقه-

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

بندی به‌صورت جدول (۳) خواهد بود. در این جدول p_{ij} تعداد نمونه‌های متعلق به‌کلاس j می‌باشند که در حالی که به‌کلاس i برچسب داده شده‌اند. N نیز تعداد کل نمونه‌های ارزیابی است. همچنین p_{i+} و p_{+i} تعداد نمونه‌های نسبت داده شده به کلاس i ام می‌باشند.

جدول ۳: ماتریس ابهام طبقه‌بندی

		کلاس واقعی		
		هدف	زمینه	**مجموع**
پیش بینی	هدف	p_{11}	p_{21}	$\boldsymbol{p_{+1}}$
	زمینه	p_{12}	p_{22}	$\boldsymbol{p_{+2}}$
	مجموع	$\boldsymbol{p_{1+}}$	$\boldsymbol{p_{2+}}$	$\boldsymbol{N}$

با استفاده از معیارهای مختلف دقت، ارزیابی نتایج ارائه شده انجام می‌پذیرد. این معیارها به‌ترتیب دقت کلی[۱] (*OA*)، دقت کاربر[۲] (*UA*)، دقت تولیدکننده[۳] (*PA*) و ضریب کاپا (*Kapp*) می‌باشند. روابط ریاضی معیارهای مورد استفاده در روابط (۱۰) تا (۱۳) ارائه شده است.

رابطه(۱۰)
$$User\ accuracy = \frac{P_{kk}}{P_{k+}}$$

رابطه(۱۱)
$$producer\ accuracy = \frac{P_{kk}}{P_{+k}}$$

رابطه(۱۲)
$$Overall\ accuracy = \frac{\sum_{k=1}^{n} P_{kk}}{N}$$

رابطه(۱۳)
$$kappa = \frac{N\sum_{k=1}^{n}(P_{kk}) - \sum_{k=1}^{n}(P_{+k}P_{k+})}{N^2 - \sum_{k=1}^{n}(P_{+k}P_{k+})}$$

به‌منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی، از سه روش نزدیکترین همسایگی (*KNN*)، درخت تصمیم‌گیری (*DT*) و ماشین بردار پشتیبان (*SVM*) نیز استفاده شده است. طبقه‌بندی‌کننده نزدیکترین همسایگی که جزء ساده‌ترین و در عین حال رایج‌ترین روش‌های طبقه‌بندی است، برمبنای شمارش کلاس‌های نزدیکترین نمونه‌های آموزشی به نمونه مجهول، عمل می‌نماید. بدین منظور برای انتخاب تعداد نمونه‌های تاثیر گذار بهینه، مقدار خطای طبقه‌بندی بر روی داده‌های تست به ازای تعداد نمونه‌های تاثیر گذار از ۱ تا ۱۰ محاسبه و K = ۸ به‌عنوان بهترین حالت در نظر گرفته شد. درخت تصمیم‌گیری نیز به واسطه تعریف قوانین مختلف روی داده‌های آموزشی، کلاس نمونه‌های مجهول را تعیین می‌نماید. در روش درخت تصمیم-گیری، پارامتر عمق درخت با مقادیر بین ۱ تا ۱۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. عمق درخت بهینه نیز مقدار ۹ تشخیص داده شد. طبقه‌بندی‌کننده *SVM* که در سال-های اخیر، در تحقیقات متعددی مورد استفاده قرار گرفته، به‌واسطه قرار دادن یک ابرصفحه بین نمونه‌های آموزشی، تفکیک کلاس‌های مختلف را میسر می‌سازد. همچنین دو پارامتر نوع کرنل (خطی[۴] و شعاعی[۵]) و همچنین مقدار ضریب C (مقادیر ۰,۰۰۱، ۰,۱، ۱، ۱۰ و ۱۰۰) در این روش مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت کرنل شعاعی با مقدار C برابر ۱۰ به‌عنوان پارامترهای بهینه انتخاب شدند.

از نمونه‌های آموزشی و ارزیابی کاملا مشابه با نمونه‌های

[۱] *Overall Accuracy*
[۲] *User Accuracy*
[۳] *Producer Accuracy*
[۴] *Linear*
[۵] *Radial Basis Function*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

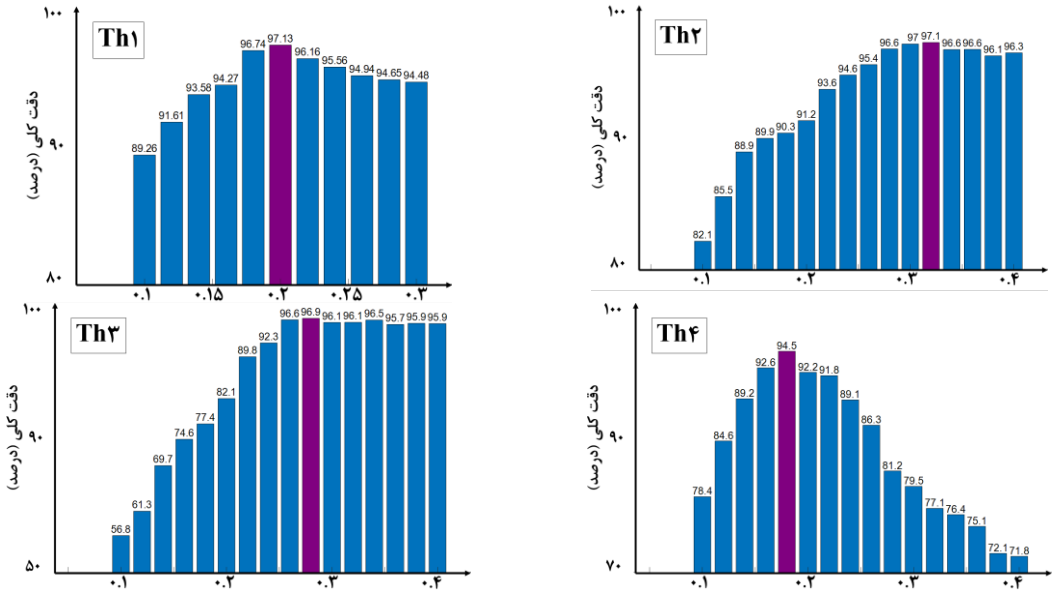
استفاده شده جهت آموزش و ارزیابی روش پیشنهادی استفاده شده است. لازم به ذکر است، روش‌های یادگیری ماشین مورد بررسی، پارامترهای ورودی مختلفی داشته و به‌ازای هر پارامتر، دقت‌های مختلفی را بدست می‌دهند. به‌منظور انتخاب پارامترهای بهینه هر روش، از جست و جوی شبکه‌ای استفاده شده است.

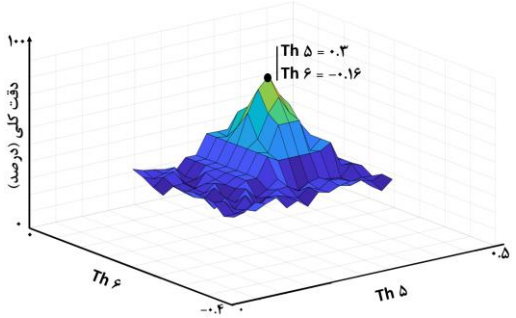
۴-تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش از مقاله، به بررسی نتایج مختلف روش پیشنهادی پرداخته می‌شود. در گام اول، مقادیر مختلف حدآستانه‌های تعیین شده در روش پیشنهادی مشخص می‌گردند. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی دقت و مقایسه با سایر روش‌ها، در این بخش ارائه شده است.

۴-۱- تعیین مقادیر حد آستانه‌های روش پیشنهادی

به‌منظور تعیین حدآستانه‌های بهینه، پیکسل‌های تصویری به روش تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی دانش-مبنای پیشنهادی و مقادیر مختلف برای هر حد آستانه طبقه‌بندی می‌شوند. لذا به‌ازای هر حد آستانه، نموداری از روند تغییرات دقت کلی برحسب مقادیر مختلف حدآستانه موردنظر بدست می‌آید. از نقطه بیشینه نمودار به‌دست آمده جهت تعیین حد آستانه بهینه استفاده می‌شود. در شکل (۹)، نمودارهای دقت بر حسب مقادیر مختلف هر حد آستانه نمایش گذاشته شده است.





شکل ۸: مقادیر دقت به‌ازای حد آستانه‌های مختلف (جست و جوی شبکه‌ای)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

لازم به ذکر است، جهت تعیین اراضی تحت کشت محصول یونجه از دو قید همزمان روی مقدار بیشینه و کمینه مشتق دوم استفاده گردید. لذا به‌منظور تعیین همزمان هر دو حدآستانه، جست و جوی شبکه‌ای با تغییر همزمان هر دو پارامتر میسر شده که در نهایت یک نمودار سه‌بعدی بدست داده است. دو بعد این نمودار مربوط به حد آستانه‌های پنجم و ششم روش پیشنهادی و بعد سوم نمودار بیانگر دقت کلی است. مطابق با توضیحات مندرج در بخش روش پیشنهادی، اجرایی شدن الگوریتم روش پیشنهادی، نیازمند ۶ حد آستانه بهینه بوده که با توجه به نمودارهای موجود در شکل (۸) و روند تغییر دقت کلی روش به ازای گام‌های ۰٫۰۲ در هر حد آستانه، مقادیر بهینه در جدول (۴) به‌ازای بهترین دقت، منعکس شده است.

جدول ۴: مقادیر حدآستانه‌های مختلف تعیین شده

حد آستانه	Th_1	Th_2	Th_3	Th_4	Th_5	Th_6
مقدار	۰٫۲	۰٫۳۲	۰٫۲۸	۰٫۱۸	۰٫۳	-۰٫۱۶

۴-۲- ارزیابی دقت روش پیشنهادی با استفاده از داده تست

با اعمال حد آستانه‌های بهینه تعیین شده در مرحله قبل، دقت طبقه‌بندی هریک از ۴ کلاس هدف به صورت مجزا نسبت به سایر کلاس‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. ماتریس ابهام ارزیابی هریک از کلاس‌ها شامل دقت کلی، دقت تولید کننده، دقت کاربر و ضریب کاپا بوده که در شکل (۹)، نمایش داده شده است.

	واقعیت زمینی		
دقت کاربر	سایر	بهاره	پیش بینی
۹۲.۸۰٪	۱۷۱۸	۲۲۱۵۵	بهاره
۹۸.۰۰٪	۷۰۵۸۱	۱۴۳۸	سایر
	۹۷.۶۲٪	۹۳.۹۰٪	دقت تولیدکننده
۰.۹۱۲	ضریب کاپا	۹۶.۷۱٪	دقت کلی

	واقعیت زمینی		
دقت کاربر	سایر	پاییزه	پیش بینی
۹۲.۳۸٪	۱۹۶۵	۲۳۸۲۳	پاییزه
۹۸.۲۸٪	۶۸۸۹۷	۱۲۰۷	سایر
	۹۷.۲۳٪	۹۵.۱۸٪	دقت تولیدکننده
۰.۹۱۵	ضریب کاپا	۹۶.۶۹٪	دقت کلی

	واقعیت زمینی		
دقت کاربر	سایر	یونجه	پیش بینی
۸۹.۲۲٪	۹۰۶	۷۴۹۷	یونجه
۹۹.۴۰٪	۸۶۹۶۸	۵۲۱	سایر
	۹۸.۹۷٪	۹۳.۵۰٪	دقت تولیدکننده
۰.۹۰۵	ضریب کاپا	۹۸.۵۱٪	دقت کلی

	واقعیت زمینی		
دقت کاربر	سایر	دو کشت	پیش بینی
۷۹.۸۶٪	۲۰۹۳	۸۲۹۵	دو کشت
۹۹.۲۹٪	۸۴۸۹۰	۶۱۴	سایر
	۹۷.۶۰٪	۹۳.۱۱٪	دقت تولیدکننده
۰.۸۴۴	ضریب کاپا	۹۷.۱۷٪	دقت کلی

شکل ۹: ارزیابی دقت نقشه‌های تولید شده

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

براساس ماتریس‌های ابهام موجود در شکل (۹)؛ نتایج ذیل قابل حصول است:

۱-دقت کلی کلیه کلاس‌ها بالای ۹۶ درصد به ازای داده‌های تست می‌باشد؛ بنابراین روش پیشنهادی قابلیت بالایی در شناسایی کلاس‌های هدف برمبنای سیستم زراعت از خود نشان می‌دهد. ۲- با توجه به دقت‌های کلی، یونجه با دقت کلی ۹۸٫۵۱ درصد شناسایی شده است. بنابراین در کنار پیچیدگی رفتار فنولوژیک این محصول، استفاده از مشتق دوم منحنی سری زمانی روش مناسب برای شناسایی این محصول می‌باشد. ۳-مطابق با ماتریس‌های شکل (۹)، عناصر قطر اصلی (سلول‌هایی با رنگ سبز) بیانگر پیکسل‌هایی است که به درستی طبقه‌بندی شده و عناصر غیر قطر اصلی (سلول‌های نارنجی رنگ)، پیکسل‌های به‌اشتباه طبقه‌بندی‌شده می‌باشند. همانطور که در ماتریس‌های ابهام مشخص است، علی‌رغم رفتار پیچیده محصول یونجه، به‌دلیل سلسله‌مراتبی بودن روش ارائه شده و کنارگذاری سیستم‌های زراعت ساده تک کشت پاییزه، تک کشت بهاره و دو کشت در ابتدای امر، دقت کلی تشخیص یونجه از سایر محصولات بیشتر تخمین زده شده است. دقت بالای تولیدکننده و کاربر کلاس سایر در ماتریس ابهام یونجه-سایر، بدان معنی است که تشخیص سایر کلاس‌ها به‌خوبی انجام شده است. البته ذکر این نکته الزامی است، علی رغم کنارگذاری همه کلاس‌های هدف جهت تفکیک باغ و یونجه، کلاس یونجه پس از اراضی دو کشت، همچنان از دقت تولیدکننده و کاربر کمتری برخوردار است. اختلاط بالای اراضی تک کشت بهاره به‌دلیل سبزینگی موجود در فصل بهار، سبب کاهش دقت تشخیص اراضی دوکشت شده است. ۴- معیار دقت کلی تفاوت بین تعداد نمونه‌های ارزیابی در کلاس‌های مختلف را در نظر نمی‌گیرد. به‌علاوه همانطور که از جدول (۱) مشخص است، توزیع و تعداد کلاس‌های یونجه و دو کشت نسبت به سایر کلاس‌ها کمتر می‌باشد. چرا که کشت غالب اراضی منطقه شهرکرد، گندم و جو بوده که به صورت تک کشت استحصال می‌شوند. بنابراین ضریب کاپا می‌تواند معیاری بهتر برای ارزیابی در نظر گرفته شود. در کلاس‌های هدف، کشت پاییزه به دلیل تعداد بیشتر داده تست از ضریب کاپا ۰٫۹۱۵ برخوردار است. مقدار بدست آمده نشان می‌دهد نتایج طبقه‌بندی کشت پاییزه ۹۱٫۵ درصد نسبت به طبقه بندی تصادفی از دقت بالاتری برخودار است. به عبارت دیگر ۸٫۵ درصد از پیکسل‌های این کلاس به صورت شانسی طبقه‌بندی شده‌اند و نمی‌توان به صحت آنان اطمینان نمود. ۵- بدیهی است دقت کلی نمی‌تواند به تنهایی پارامتری مناسب برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی در یک مطالعه باشد. لذا دو دقت کاربر و تولید کننده دقت طبقه‌بندی کننده به ازای کلاس‌های مجزا نیز نمایش داده شده است. دقت تولیدکننده، بیانگر دقت طبقه-بندی پیکسل‌های مربوط به یک کلاس خاص نسبت به پیکسل‌های واقعیت زمینی متناظر می‌باشد. یونجه با دقت تولید کننده ۹۳٫۵۰ درصد بیان می‌نماید که از تعداد ۸۱۰۸ پیکسل واقعیت زمینی محصول یونجه، ۵۲۹ پیکسل با نقشه تولید شده همخوانی ندارد؛ در واقع خطای تولید نقشه معادل ۶٫۵ درصد بوده که معروف به خطای نوع دوم[۱]می‌باشد. ۶- علاوه بر دقت تولید کننده که خطای نوع دوم در طبقه‌بندی پیکسل-ها را نشان می‌دهد؛ دقت کاربر بیان می‌نماید که از بین پیکسل‌های صحیح موجود در تصویر چه تعداد با واقعیت زمینی همخوانی دارد. در بین کلاس‌های هذف، اراضی ۲ کشت از خطای نوع اول[۲]به مراتب بیشتری برخوردار است که معادل ۲۰٫۲ درصد می‌باشد. در واقع ۲۰٫۲ از پیکسل‌های تصویر که در کلاس ۲ کشت بوده پس از طبقه‌بندی در مقایسه با واقعیت زمینی به کلاسی دیگر تعلق گرفته است.

[۱] *Omission*

[۲] *Commission*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

۴-۳- مقایسه دقت روش پیشنهادی با سایر روش‌های یادگیری ماشین

همانطور که اشاره شد، از سه روش نزدیکترین همسایگی، درخت تصمیم‌گیری و ماشین بردار پشتیبان جهت مقایسه عملکرد روش پیشنهادی استفاده شده است. در جدول (۵)، مقادیر دقت کلی و ضریب کاپای روش‌های مورد بررسی نشان داده شده است. در بین روش‌های مورد بررسی روش نزدیکترین همسایگی با دقت کلی ۹۱٫۷۶ درصد بدترین دقت را بدست آورده است. روش دوم نیز با دقت کلی ۹۴٫۳۲ درصد، روش درخت تصمیم‌گیری بوده است. روش پیشنهادی این مطالعه دقت ۹۷٫۲۷ درصد را بدست آورده است. این در حالی است که روش ماشین بردار پشتیبان با دقت ۹۷٫۸۴ درصد با اختلافی جزئی نسبت به روش ارائه شده بهترین عملکرد را از خود نشان داده است.

جدول ۵: مقایسه دقت با سایر روش‌ها

روش	نزدیکترین همسایگی	درخت تصمیم‌گیری	ماشین بردار پشتیبان	روش پیشنهادی
دقت کلی (درصد)	۹۳٫۷۶	۹۴٫۳۲	۹۷٫۸۴	۹۷٫۲۸
ضریب کاپا	۰٫۸۳۹	۰٫۸۵۸	۰٫۹۰۳	۰٫۸۹۴

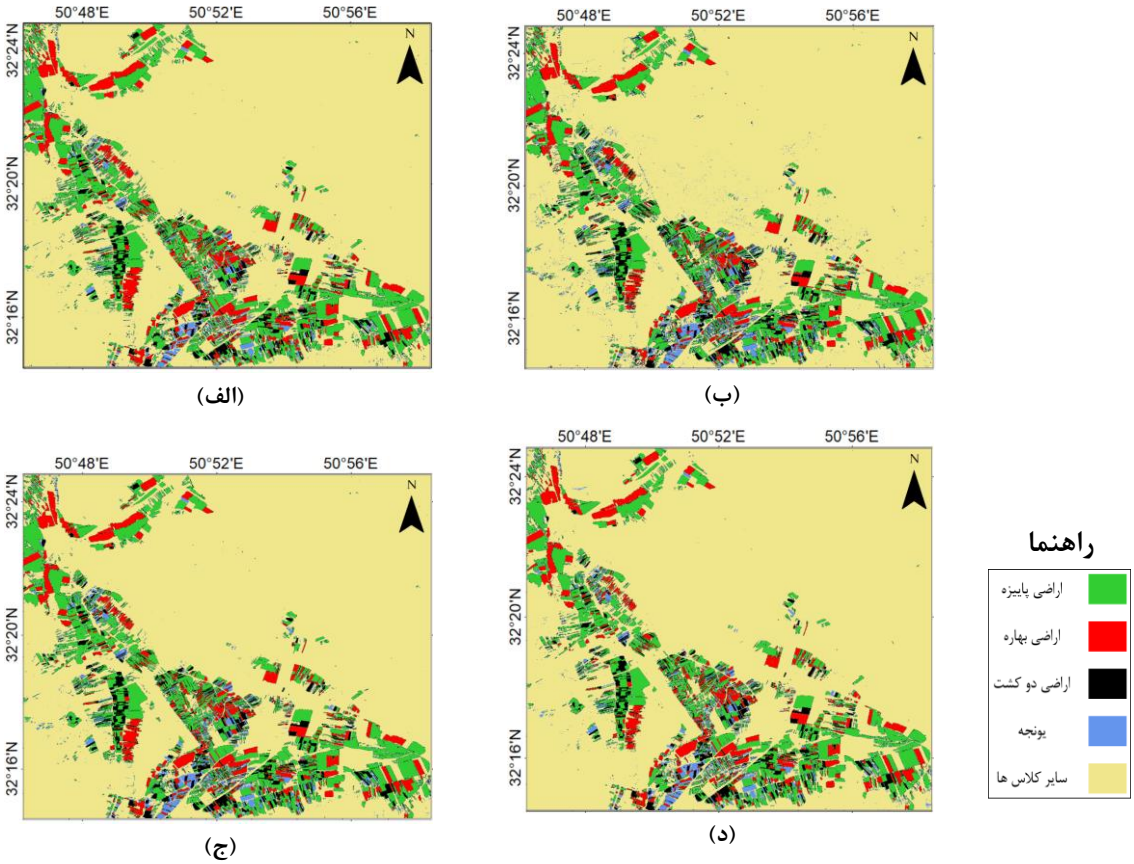
با بررسی نتایج بدست آمده از جدول (۵) دستاوردهای زیر بدست آمده است:

۱- روش پیشنهادی نسبت به دو روش درخت تصمیم‌گیری و همچنین نزدیکترین همسایگی از دقت به مراتب بالاتری برخوردار است. ۲- درخت تصمیم‌گیری به دلیل استفاده از پارامتر عمق بهینه معادل ۹، از سطح پیچیدگی بالایی برخوردار بوده که تفسیر آن کاری بسیار سخت و پیچیده می‌باشد، در مقابل روش پیشنهادی از سادگی و فهم کاربری بالایی برخودار بوده و قابلیت انطباق با فیزیک مسئله را دارد چرا که مدلی دانش مبنا مبتنی بر نظر کارشناس خبره در رابطه با رفتار فنولوژیک گیاهان بوده لذا تفسیر آن ساده و از درصد اطمینان به مراتب بالاتری برخودار است. ۳- روش پیشنهادی نسبت به روش نزدیکترین همسایگی نیز از دقت به مراتب بالاتری برخودار می‌باشد، دلیل این امر این است که در این روش مبنای تصمیم گیری مینیمم شدن فاصله اقلیدسی بین بردار سری زمانی با سری زمانی مرجع می‌باشد که پارامتر فاصله نمی‌تواند به تنهایی عامل شناسایی کلاس‌ها باشد، در حالی که روش پیشنهادی مبتنی بر شباهت رفتار فنولوژیک بوده و از اطمینان بالاتری برای تصمیم‌گیری در رابطه با برچسب دهی پیکسل‌ها برخوردار است. ۴- مدل ماشین بردار پشتیبان، از سایر طبقه‌بندی کننده ها دقت بیشتری داشته هرچند اختلاف دقت بدست امده به روش پیشنهادی نسبت به این طبقه‌بندی کننده ناچیز است. پیاده‌سازی الگوریتم‌های ماشین یادگیری غالبا به تعداد نمونه‌های آموزشی زیاد و متناسب با زمان تصویر برداری دارد در حالی که برای اجرای الگوریتم پیشنهادی که براساس دانش و رفتار فنولوژیک گیاه می‌باشد نیاز به داده آموزشی کاهش خواهد یافت. سادگی، قابل درک بودن و همچنین قابلیت استفاده از روش ارائه شده بدون نیاز به داده‌های آموزشی در سال‌های زراعی بعد، از دیگر ویژگی‌های مهم روش ارائه شده است.

شکل(۱۰)، نقشه توزیع ۴ کلاس هدف تحقیق را برای هر ۴ روش طبقه‌بندی نشان می‌دهد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]



شکل ۱۰: نتایج روش‌های مورد بررسی (الف: نزدیک‌ترین همسایگی، ب: درخت تصمیم‌گیری، ج: ماشین بردار پشتیبان و د: روش ارائه شده پژوهش کنونی)

همانطور که از شکل (۱۰) مشاهده می‌شود؛ دو نقشه تولید شده از روش *SVM* و روش پیشنهادی دانش مبنا از مشابهت بالایی با یکدیگر برخوردار می‌باشند. در حالی که نقشه تولید شده به دو روش دیگر خصوصا روش درخت تصمیم‌گیری، نویزی است. این نویز به‌خصوص در نواحی فضای سبز درون‌شهری که به اشتباه در روش درخت تصمیم‌گیری، کلاس یونجه برچسب داده شده‌اند، بیشتر قابل توجه است.

همانطور که مشاهده شد، دو روش *SVM* و روش پیشنهادی، در بین روش‌های مورد بررسی از دقت بالاتری برخوردار بوده و نتایج با شباهت بالایی را بدست آورده‌اند. در این مرحله، با عنایت به مسئله اصلی بخش کشاورزی در تعیین سطح زیر کشت محصولات زراعی، مساحت سطح زیر کشت ۴ کلاس هدف این مطالعه به‌ازای دو روش پیشنهادی و *SVM* در جدول (۶) نشان داده است.

مشابه با نتایج بصری، مساحت و سهم از اراضی کشاورزی هر ۴ کلاس هدف در دو روش پیشنهادی و *SVM* نیز از شباهت بالایی برخوردار است. به‌نحوی‌که روش پیشنهادی مجموع مساحت‌های اراضی کشاورزی در منطقه مطالعاتی را تنها با اختلاف ۴۰ هکتاری نسبت به روش *SVM* پیش‌بینی نموده است. همانطور که مشخص است، در بین اراضی کشاورزی، اراضی کشاورزی با کشت پاییزه نظیر گندم، جو و کلزا بیش از نیمی از اراضی کشاورزی را در بر می‌گیرند. اراضی بهاره حدود ۲۳ درصد، اراضی دو کشت حدود ۱۴ درصد و اراضی تحت کشت محصول یونجه نیز حدود ۹ درصد از کل اراضی را شامل می‌شوند. نزدیکی نتایج روش

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

پیشنهادی ساده، قابل درک و مبتنی بر منحنی فنولوژیک اراضی کشاورزی، با نتایج روش *SVM*، عملکرد قابل قبول این روش را تایید می‌نماید.

آنچه که در تولید نقشه‌های سنجش از دوری در تعیین سطح زیرکشت محصولات کشاورزی مورد توجه قرار بگیرد، اراضی دوکشت می‌باشد. این اراضی با دو کشت متوالی پاییزه و بهاره، به‌طور مستقیم در سطح زیرکشت این محصولات اثرگذارند. به‌نحوی‌که عدم در نظرگیری این اراضی در منطقه مطالعاتی باعث بروز خطای قابل توجه ۱۴۰۰ هکتاری در منطقه مطالعاتی می‌شود، زیرا اگر اراضی دو کشت تنها در کلاس اراضی بهاره طبقه‌بندی شوند، سطح زیر کشت اراضی پاییزه حدود ۱۴۰۰ هکتار کمتر تخمین زده می‌شود. اگر این اراضی در کلاس اراضی پاییزه طبقه‌بندی شوند، سطح زیرکشت محصولات بهاره ۱۴۰۰ هکتار تخمین زده می‌شود. این مورد به‌خصوص در مناطق مطالعاتی وسیع‌تر و در بررسی‌های ملی، باعث بروز یک خطای قابل توجه در تخمین سطح زیر کشت محصولات مختلف خواهد شد.

جدول ۶: مقایسه آماری سطح زیرکشت اراضی کشاورزی بر مبنای سیستم زراعت

روش	کلاس	اراضی پاییزه	اراضی بهاره	اراضی دو کشت	یونجه	مجموع
پیشنهادی	سهم از اراضی کشاورزی (درصد)	۵۳٫۲۷	۲۳٫۲۹	۱۴٫۴	۹٫۰۴	۱۰۰
	مساحت (هکتار)	۵۱۷۲٫۷۴	۲۲۶۱٫۹۶	۱۳۹۸٫۸۳	۸۷۷٫۴۶	۹۷۱۰٫۹۹
SVM	سهم از اراضی کشاورزی (درصد)	۵۳٫۲۹	۲۳٫۴۶	۱۴٫۵۵	۸٫۷	۱۰۰
	مساحت (هکتار)	۵۱۹۵٫۹۳	۲۲۸۷٫۳۲	۱۴۱۸٫۴۸	۸۴۸٫۹۳	۹۷۵۰٫۶۶

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

همانطور که در متن مقاله بیان شد، حوزه کشاورزی به عنوان یک موتور اصلی رشد اقتصادی از اهمیت ویژه ای در برنامه ریزی و تصمیم‌گیری کلان کشور به ویژه در وضع سیاست‌های مربوط به واردات و صادرات محصولات کشاورزی برخوردار است. به منظور تسهیل در این سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌ها، تعیین سطح زیر کشت محصولات در هر سال زراعی امری بدیهی است. این مورد به دلیل احتمال کاشت دو محصول زراعی پاییزه و بهاره در برخی اراضی کشاورزی، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. هدف مقاله توسعه روشی تصمیم‌گیری سلسله مراتبی دانش مبنا براساس بررسی رفتار فنولوژیک سری زمانی شاخص سبزینگی *NDVI* می‌باشد. روش پیشنهادی مبتنی بر بررسی فیزیک و رفتار طبیعی پوشش گیاهی بنا شده است.

در این تحقیق سعی شد از پتانسیل و قابلیت گوگل ارث انجین (*GEE*) برای تولید نقشه اراضی کشاورزی برمبنای سیستم زراعت استفاده گردد. از جمله ویژگی‌های منحصر به فرد این ابزار تحت وب، سرعت بالایی پیاده‌سازی الگوریتم و عدم نیاز به دانلود تصاویر با حجم زیاد است. به‌خصوص آنکه از کلیه تصاویر موجود در یک سال زراعی، رد ۲۳ مقطع زمانی با استفاده از تکنیک تجمیع زمانی به کمک فیلتر میانه، تصاویر بدون ابر از منطقه مطالعاتی تولید گردید. همچنین از دیگر قابلیت‌های این ابزار در اختیار دادن تصاویر سنجش‌از دوری مختلف در سطوح پردازشی بالا بوده که حجم عملیات پردازش تصاویر در زمینه هندسی و رادیومتریک را کاهش خواهد داد. البته لازم به ذکر

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

است که این محیط از محدودیت‌هایی برای کدنویسی برخودار می‌باشد که انتظار می‌رود در آینده‌ای نه‌چندان دور این مشکل نیز به صورت کامل رفع گردد. روش پیشنهادی نیز برمبنای قابلیت‌های موجود در *GEE* پیاده‌سازی شده است. مطابق نتایج بدست آمده روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش پیشنهادی با اختلاف جزئی عملکرد بهتری از خود به نمایش گذاشته است. اما روش *SVM* به علت نیاز به تعداد نمونه آموزشی بالا از پتانسیل اجرایی کمتری برخودار می‌باشد و استفاده از روش ارائه شده در کاهش هزینه و زمان برداشت اطلاعات میدانی کمک شایانی می‌نماید.

به منظور بهبود نتایج، پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی می‌توان استفاده نمود. از آنجایی که همواره یکی از مشکلات اصلی استفاده از روش‌های طبقه‌بندی پیکسل مبنا، وجود نویزهای نقطه‌ای در نتایج طبقه‌بندی است؛ می‌توان از روش‌های شی گرا با استفاده از داده‌های کاداستر زراعی استفاده کرد. همچنین تعیین سطح زیر کشت محصولات زراعی به تفکیک نوع و ارقام نیز می‌تواند موضوع بعدی تحقیقات آتی قرار گیرد. بنابراین با مشخص شدن اراضی تک‌کشت و دو کشت به راحتی می‌توان محصولات هر منطقه را متناسب با الگو کشت و تقویم زراعی شناسایی نمود. این اقدام می‌تواند در دقیق‌تر نمودن آمارنامه‌های تدوین شده توسط بسیاری از ارگان‌های مدیریتی و برنامه‌ریز کشور در سطح کلان کمک شایان توجهی نماید.

مراجع

[1] Xiong, J., Thenkabail, P.S., Tilton, J.C., Gumma, M.K., Teluguntla, P., Oliphant, A., Congalton, R.G., Yadav, K. and Gorelick, N., "Nominal 30-m cropland extent map of continental Africa by integrating pixel-based and object-based algorithms using Sentinel-2 and Landsat-8 data on Google Earth Engine," Remote Sensing, vol. 9(10), p. 1065, 2017.

[2] Forkuor, G., Conrad, C., Thiel, M., Landmann, T. and Barry, B., "Evaluating the sequential masking classification approach for improving crop discrimination in the Sudanian Savanna of West Africa," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 118, pp. 380-389, 2015.

[3] Vuolo, F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C. and Ng, W.T., "How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification?," International journal of applied earth observation and geoinformation, pp. 122-130, 2018.

[4] Aghighi, H., Azadbakht, M., Ashourloo, D., Shahrabi, H.S. and Radiom, S., "Machine learning regression techniques for the silage maize yield prediction using time-series images of Landsat 8 OLI," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 11(12), pp. 4563-4577, 2018.

[5] Niazmardi, S., omayouni, S., Safari, A., McNairn, H., Shang, J. and Beckett, K., "Histogram-based spatio-temporal feature classification of vegetation indices time-series for crop mapping," International journal of applied earth observation and geoinformation, vol. 72, pp. 34-41, 2018.

[6] Ashourloo, D., Shahrabi, H.S., Azadbakht, M., Rad, A.M., Aghighi, H. and Radiom, S., "A novel method for automatic potato mapping using time series of Sentinel-2 images," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 175, p. 105583, 2020.

[7] Zhong, L., Hu, L. and Zhou, H., "Deep learning based multi-temporal crop classification," Remote sensing of environment, vol. 221, pp. 430-443, 2019.

[8] Zhou, Z., Li, S. and Shao, Y., "Crops classification from sentinel-2A multi-spectral remote sensing images based on convolutional neural networks," IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 5300-5303, 2018.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

[9] Ndikumana, E., Ho Tong Minh, D., Baghdadi, N., Courault, D. and Hossard, L., "Deep recurrent neural network for agricultural classification using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, France," Remote Sensing, vol. 10(8), p. 1217, 2018.

[10] Sharma, A., Liu, X. and Yang, X., "Land cover classification from multi-temporal, multi-spectral remotely sensed imagery using patch-based recurrent neural networks," Neural Networks, vol. 105, pp. 346-355, 2018.

[11] Sedano, F., Molini, V. and Azad, M., "A mapping framework to characterize land use in the Sudan-Sahel Region from dense stacks of Landsat Data," Remote Sensing, vol. 11(6), p. 648, 2019.

[12] Jiang, Y., Lu, Z., Li, S., Lei, Y., Chu, Q., Yin, X. and Chen, F., "Large-scale and high-resolution crop mapping in China using Sentinel-2 satellite imagery," Agriculture, vol. 10(10), p. 433, 2020.

[13] Chang, L., Chen, Y.T., Wang, J.H. and Chang, Y.L., "Rice-Field Mapping with Sentinel-1A SAR Time-Series Data," Remote Sensing, vol. 13(1), p. 103, 2021.

[14] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and Moore, R., "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone," Remote sensing of Environment, vol. 202, pp. 18-27, 2017.

[15] Gumma, M.K., Thenkabail, P.S., Teluguntla, P.G., Oliphant, A., Xiong, J., Giri, C., Pyla, V., Dixit, S. and Whitbread, A.M., "Agricultural cropland extent and areas of South Asia derived using Landsat satellite 30-m time-series big-data using random forest machine learning algorithms on the Google Earth Engine cloud," GIScience & Remote Sensing, vol. 57(3), pp. 302-322, 2020.

[16] Liu, X., Zhai, H., Shen, Y., Lou, B., Jiang, C., Li, T., Hussain, S.B. and Shen, G., "Large-scale crop mapping from multisource remote sensing images in google earth engine," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 13, pp. 414-427, 2020.

[17] Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Gong, P., Yang, J., Bai, Y., Zheng, Y. and Zhu, Z., "Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine," Remote Sensing of Environment, vol. 202, pp. 166-176, 2017.

[18] Ghorbanian, A., Kakooei, M., Amani, M., Mahdavi, S., Mohammadzadeh, A. and Hasanlou, M., "Improved land cover map of Iran using Sentinel imagery within Google Earth Engine and a novel automatic workflow for land cover classification using migrated training samples," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 167, pp. 276-288, 2020.

[19] Nyaga, J.W., Markert, K.N., Thomas, A.B., Mugo, R.M., Wahome, A.M. and Irwin, D., "Water Quality Monitoring of In-Land Lakes in East Africa: How Open Source Tethys and Google Earth Engine Platforms are Improving Water Quality Data Analysis, Visualization and Decision Making," In AGU Fall Meeting Abstracts, pp. IN11B-20, 2019.

[20] Chen, B., Xiao, X., Li, X., Pan, L., Doughty, R., Ma, J., Dong, J., Qin, Y., Zhao, B., Wu, Z. and Sun, R., "A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 131, pp. 104-120, 2017.

[21] Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S., Pei, F. and Wang, S., "High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform," Remote sensing of environment, vol. 209, pp. 227-239, 2018.

[22] Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S.,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P. and Meygret, A., "Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services," Remote sensing of Environment, vol. 120, pp. 25-36, 2012.

[23] Carrasco, L., O'Neil, A.W., Morton, R.D. and Rowland, C.S., "Evaluating combinations of temporally aggregated Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 for land cover mapping with Google Earth Engine," Remote Sensing, vol. 11(3), p. 288, 2019.

[24] Tucker, C.J., "ed and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation," Remote sensing of Environment, vol. 8(2), pp. 127-150, 1979.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.12, No.1, Spring 2024

Research Paper

Development of a Knowledge-based Hierarchical Decision Tree Method for Classification of Croplands based on Cropping System in Google Earth Engine (case study: Shahrekurd)

Alireza Taheri Dehkordi [1*], Rouhollah Goodarzi [2], Mphammad Javad Valadan Zoej [3]

1- M.Sc student, Department of Remote Sensing, Faculty of Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of technology.
2- Ms.c in remote sensing, Department of Remote Sensing, Faculty of Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of technology.
3- Professor in Department of Remote Sensing, Faculty of Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of technology.

Abstract

Agriculture, as one of the main factors in ensuring food security of the society, is of special importance in decision making, especially in making policies related to the import and export of certain agricultural products. Hence, determining crop acreage is essential for each agricultural year. The division of croplands based on the agricultural system during the cropping year can provide us with more accurate area estimation for autumn and spring cultivation . Because the area of lands with double crops (autumn and spring cultivation) is also talking into consideration in in two times. This study uses the time series of sentinel2 vegetation index (NDVI) and a knowledge-based decision tree method for classifying agricultural lands into four classes (autumn, spring, alfalfa cultivation, and double-crop fields). All parts of the method have been implemented in the Google earth engine (GEE) programming interface. The performance of the proposed method is evaluated in a study area in Shahrekord city using ground truth data gathered by extensive field surveys and eventually, the proposed method with an overall accuracy of 97.27 % has outperformed the Nearest Neighbor (overall accuracy = 93.76%) and the Decision Tree (overall accuracy = 94.32%) classifiers. The final result also shows a high similarity of the map produced by the proposed method and the Support Vector Machine (SVM) classifier. Although, the SVM with an overall accuracy of 97.84% is slightly more accurate than the proposed method, the simplicity, understandablity and the direct use of the crop phenology features in the various crop years without the need for retraining, are the unique advantages of the proposed method.

Key words: *Classification, Google Earth Engine, Croplands, Cropping system, Remote Sensing.*

Correspondence Address: *Remote Sensing Group, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, KNToosi University of Technology, Tehran, Iran.*
Tel : *021-88877071*
Email : *Alireza.tahery@email.kntu.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61186/jgit.12.1.17]