

برآورد سطح کشت چند محصول انتخابی با استفاده از تصاویر چند زمانه

سنتینل-2 در دشت بسطام

میرناصر نویدی¹، منصور چترنور، محمد جمشیدی و احمد اخیانی

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ nnavidi@swri.ir
دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران؛ m.chatrenor@gmail.com
استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛
mohammadjamshidi@yahoo.com
استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران؛
ahmadakhyani@yahoo.com

دریافت: 1400/1/15 و پذیرش: 1400/4/20

چکیده:

هدف از این پژوهش استفاده از تصاویر چند زمانه سنتینل-2 در تفکیک و تعیین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی منطقه بسطام با کمک دوره فنولوژیکی است. برای این منظور، ابتدا محصولات کشت شده منطقه و دوره فنولوژیکی آنها شامل باغات زردآلو، انگور، گندم و ذرت علوفه‌ای شناسایی گردید. در ادامه با بهره‌گیری از نقاط برداشت زمینی و استفاده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان، و مدل‌های حداکثر تشابه و حداقل فاصله از میانگین، طبقه‌بندی انجام گرفت. سپس نقشه محدوده اراضی کشاورزی در منطقه به دست آمد. مقایسه دقت مدل‌ها نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان بهترین عملکرد را با دقت کلی² و ضریب کاپای³ به ترتیب 0,86 و 0,82 و مدل حداقل فاصله از میانگین، کمترین عملکرد طبقه‌بندی را با دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب 0,69 و 0,61 داشتند. بر اساس مدل ماشین بردار پشتیبان برای گندم بیش‌ترین مساحت (3423 هکتار) و برای ذرت علوفه‌ای کمترین مساحت (738 هکتار) به دست آمد. نتایج حاصله نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و شاخص فنولوژیکی، توانایی قابل قبولی را در تفکیک محصولات زراعی و تعیین مساحت و تهیه نقشه اراضی کشاورزی داشت.

واژه‌های کلیدی: ماشین بردار پشتیبان، مدل حداکثر تشابه، مدل حداقل فاصله، دوره فنولوژیکی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، بخش تحقیقات ارزیابی

اراضی

² Overall Accuracy

³ Kappa Coefficient

مقدمه

تعیین نقشه پوشش اراضی از نیازهای اساسی مدیران در نظارت بر محیط‌زیست بوده و قابلیت استفاده در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌ها را دارد. در این میان استفاده از ابزار سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای با توجه به قدرت تفکیک مکانی، باندی و زمانی مناسبان ابزار خوبی برای تهیه این‌گونه نقشه‌ها و استفاده از آن‌ها برای برنامه‌ریزی الگوی کشت اراضی کشاورزی را فراهم می‌نماید (خلفی و همکاران، 1387). بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای نه تنها خطای انسانی را کاهش می‌دهد بلکه با کاهش مراجعه مستمر به مزرعه، سبب صرفه‌جویی در هزینه و زمان می‌شود (علیپور و همکاران، 1393).

یکی از قابلیت‌های داده‌های سنجش از دور شناسایی نوع محصول است. بر این اساس از تصاویر چند زمانه استفاده می‌شود که به دلیل تناوب اخذ تصاویر، ثبت طول موج‌های مختلف در یک زمان و امکان پردازش و تفسیر سریع داده‌ها، امکان استفاده در انواع پژوهش‌های کشاورزی را دارد (سفیانیان و خداکرمی، 1390). قابلیت تهیه سری‌های زمانی و به روز بودن داده‌ها و اطلاعات، همراه با امکان آشکارسازی سریع تغییرات در روند رشد و نمو گیاهان همانند شناسایی آفات و بیماری‌ها و رفع نیازهای کودی محصولات به کمک این ابزار به کرات در ادبیات علمی جهان گزارش شده است (بارت و کورتیس، 1999).

در زمینه تعیین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی و مشخصات آن‌ها پژوهش‌های گسترده‌ای انجام شده است. رحیم زادگان و پورغالم (1395) طی پژوهشی به منظور تعیین سطح زیر کشت گیاه زعفران از تصاویر لندست 8 در شهرستان تربت‌حیدریه استفاده کرده و مشاهده نموده‌اند که روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان¹ بهترین عملکرد را در تفکیک و تخمین مساحت اراضی تحت کشت زعفران داشته است. رضایی مقدم و همکاران (1398)، پژوهشی را به منظور مقایسه قابلیت روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در استخراج نقشه‌های پوشش اراضی بر اساس شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده² و تجزیه به مؤلفه اصلی³ به انجام رسانده‌اند. آن‌ها برای افزایش دقت طبقه‌بندی شاخص‌های مذکور را به‌عنوان ورودی در کنار دیگر باندها مورد استفاده قرار داده‌اند. بر طبق اظهارات

آن‌ها روش ماشین بردار پشتیبان با ضریب تعیین 0/92 و ضریب کاپای 0/91 و روش شبکه عصبی با ضریب تعیین 0/92 و ضریب کاپای 0/87 دقت قابل قبولی را در طبقه‌بندی داشتند.

کامکار و همکاران (1398)، طی پژوهشی سطح زیر کشت اراضی برنج و سویا را در استان گلستان با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-2 و روش‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و فاصله مایلانوبی برآورد کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد روش حداکثر احتمال که با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب معادل 92 درصد و 95/5 درصد، بهترین عملکرد را داشت. ژانگ و همکاران (2017) در پژوهشی مشابه برای اندازه‌گیری سطح زیرکشت محصولات برنج، سویا و ذرت از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده در تصاویر ماهواره مادیس⁴ استفاده نمودند و به یافتن نقشه‌های پوشش گیاهی حاصل طبقه‌بندی با آمار ارائه شده از سازمان خواربار جهانی⁵ (فائو) برای برنج کمتر از 1/4 درصد، برای ذرت کمتر از 1/6 درصد و برای سویا 9 درصد اختلاف داشت. اصغریان و همکاران (2016)، از تصاویر لندست 8 به منظور نقشه برداری و تعیین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در منطقه نجف آباد با روش ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند و برای درختان میوه، گندم، سیب زمینی و برنج دقت بسیار خوب در حدود 90٪ و برای یونجه دقت کمتر از 0/80 درصد مشاهده کردند که دلیل آن را به تداخل سایر پیکسل‌ها نسبت دادند.

در پژوهش دیگر ویلو و همکاران (2018) از اطلاعات حاصل از تصاویر چند زمانه سنتینل-2 به منظور طبقه‌بندی نوع محصول کشاورزی طی دو سال زراعی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در ابتدای فصل رشد محصول (مارس تا آوریل)، طبقه‌بندی دقت نسبتاً کمی داشته و مدل جنگل تصادفی قادر به پیش‌بینی قابل قبولی برای 9 نوع محصول با دقت کلی 95 درصد بود. خلیک و همکاران، (2018) از تصاویر چند طیفی سنتینل دو برای تعیین مساحت اراضی و طبقه‌بندی محصولات زراعی در منطقه کوچکی از ایتالیا استفاده کردند. در پژوهش آن‌ها از اطلاعات چند زمانی و تک زمانی مقایسه شدند و دقت کلی 0/91 و 0/62 را به دست آوردند. ویلو و همکاران (2018) طی پژوهشی در کشور چین از شاخص فنولوژیک برای ارزیابی وضعیت اراضی کشاورزی استفاده کردند و مشاهده کردند که استفاده از

⁴ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

⁵ Food and Agriculture Organization (FAO)

¹ Support Vector Machine (SVM)

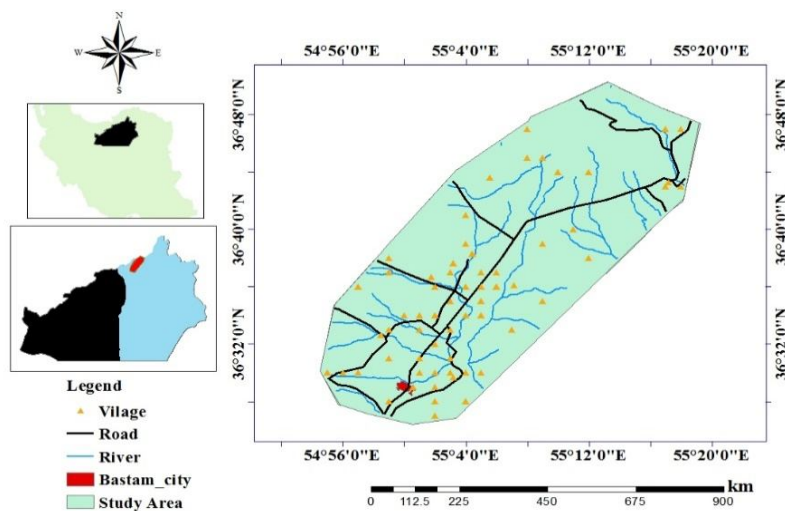
² Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

³ Principal Component Analysis (PCA)

مساحت اراضی کشاورزی منطقه بسطام واقع در استان سمنان با استفاده از تصاویر چند زمانه ماهواره‌ای سنتینل-2 است. به این منظور عملکرد مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، حداکثر تشابه و حداقل فاصله از میانگین مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان سمنان و در محدوده اراضی کشاورزی شهر بسطام واقع در حد فاصل طول جغرافیایی 54 درجه و 56 دقیقه تا 55 درجه و 20 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 36 درجه و 32 دقیقه تا 36 درجه و 40 دقیقه شمالی انجام گرفت (شکل 1). این منطقه دارای اقلیم خشک با زمستان خنک و تابستان گرم است. هم‌چنین به دلیل آب و هوایی مطبوع در تابستان و زمستان سرد و باغات زردآلو سراسر شهر را احاطه کرده‌اند. بسطام از غرب به رشته‌کوه‌های شاهوار و شهر مجن و از شرق به منطقه میامی و دشت کویر و از شمال و شمال غرب به استان گلستان مرتبط است.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

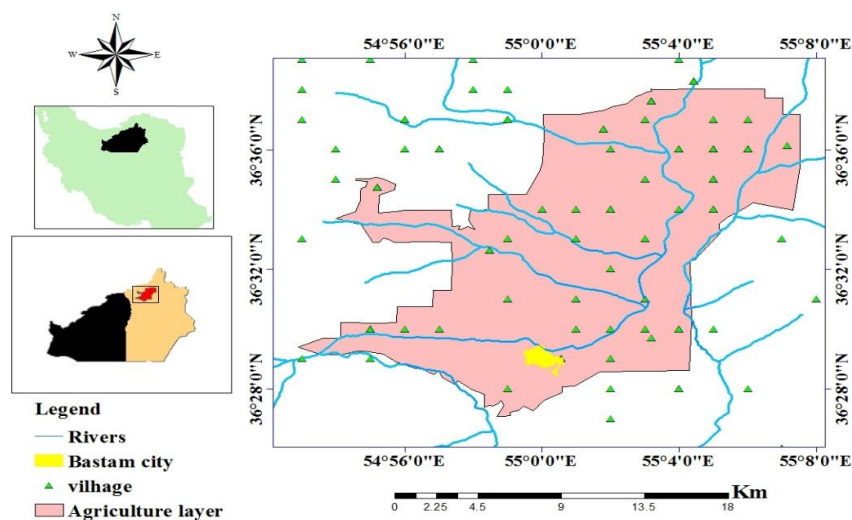
تصاویر مادیس و لندست 8 دقت کلی 0/84 را نشان داد. وی و همکاران (2020) از تصاویر چند زمانه سنتینل 2 برای تعیین سطح زیر کشت اراضی چین استفاده کردند و با انواع ترکیب باندی و مقایسه تصویر در ماه‌های مختلف، اراضی کشاورزی را با دقت کلی 0/90 تفکیک کردند. کارسون و همکاران در پژوهشی مشابه از تصاویر سنتینل 2 برای تفکیک اراضی کشاورزی در آفریقا استفاده کردند و برای انواع اراضی کشاورزی دقت کلی 0/40 تا 0/84 را به دست آوردند.

در اغلب پژوهش‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بررسی سطح زیر کشت محصولات کشاورزی از انواعی از الگوریتم‌های ماشین یادگیری و داده‌های کمکی مانند شاخص‌های گیاهی استفاده شده است. با توجه به تفاوت زمان کاشت و برداشت و روند رشد محصول، در پژوهش‌های کمتری به اهمیت شاخص فنولوژیکی توجه شده است. هم‌چنین در موارد استفاده از شاخص فنولوژی و تصاویر چند زمانه سبب تفکیک دقیق‌تر اراضی کشاورزی شده است. در این راستا هدف از این پژوهش شناسایی، تفکیک و تعیین محدوده و

لایه اراضی کشاورزی

صورت یک لایه جداسازی گردید. جهت اجتناب از خطای حاشیه‌ای در فرایند طبقه‌بندی، فاصله‌ای در اطراف محدوده اراضی مذکور، صورت یک لایه برش داده و سپس وارد مراحل پردازش گردید (شکل 2).

به منظور تفکیک اراضی کشاورزی از سایر کاربری‌ها از سری زمانی شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده ماهواره مادیس در سال 1398 استفاده گردید و اراضی کشاورزی استان سمنان و به ویژه منطقه بسطام به



شکل 2- لایه اراضی کشاورزی اطراف شهر بسطام

پردازش تصاویر ماهواره‌ای در سری زمانی

با فاصله زمانی حداقل یک ماهه در تاریخ‌های مشخص برای منطقه بسطام تهیه شد و شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده برای هر ماه محاسبه گردید (جدول 1).

برای طبقه‌بندی اراضی کشاورزی در لایه اراضی جدا شده منطقه، از تصاویر سری زمانی سنتینل-2 استفاده گردید. تصاویر سنتینل-2 از 1 مهر 1398 تا 1 مهر 1399

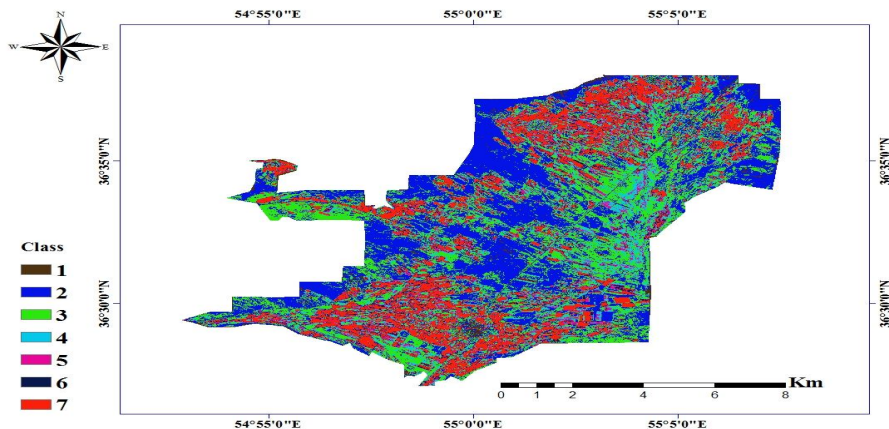
جدول 1- تاریخ تصویربرداری از منطقه

ماه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
تاریخ	98/7/5	98/8/12	98/9/15	98/10/16	98/11/12	98/12/5	99/1/16	99/2/15	99/3/15	99/4/17	99/5/25	99/6/24

ابر کمتر از 5 درصد در تصاویر

در ادامه با استفاده از اطلاعات به دست آمده از این لایه‌ها و همچنین با مراجعه به محل و برداشت پلی گون های زمینی برای هر کشت و کاربری، اطلاعات لازم برای طبقه بندی فراهم شد. و طبقه بندی با روش های ماشین بردار پشتیبان، حداکثر شباهت و حداقل فاصله از میانگین انجام گرفت.

به منظور طبقه بندی اراضی کشاورزی، تصویر سری زمانی شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده در نرم افزار ان وی 1 نسخه 5.3 پردازش شد. برای شناسایی قدرت تصاویر چند زمانه در نشان دادن اراضی و تفکیک لایه‌ها، طبقه بندی نظارت نشده بر روی تصاویر انجام گرفت (شکل 3). بر اساس قابلیت تصویر ماهواره ای در طبقه بندی، هفت لایه قابل تفکیک و دارای خصوصیات متفاوت طیفی در منطقه شناسایی شدند.



شکل 3- تصویر طبقه‌بندی نظارت نشده منطقه مطالعاتی بسطام

نقاط تعلیمی و جدول فنولوژیکی اراضی

با بازدید از منطقه و استفاده از نظر کارشناسان جهاد کشاورزی مشخص گردید که گندم، جو و ذرت علوفه‌ای در قسمت عمده‌ای از منطقه کشت می‌شود، هم‌چنین باغات زردآلو، انگور و باغات جدیدی نیز در حال احداث است. در جدول 2 چرخه فنولوژیکی

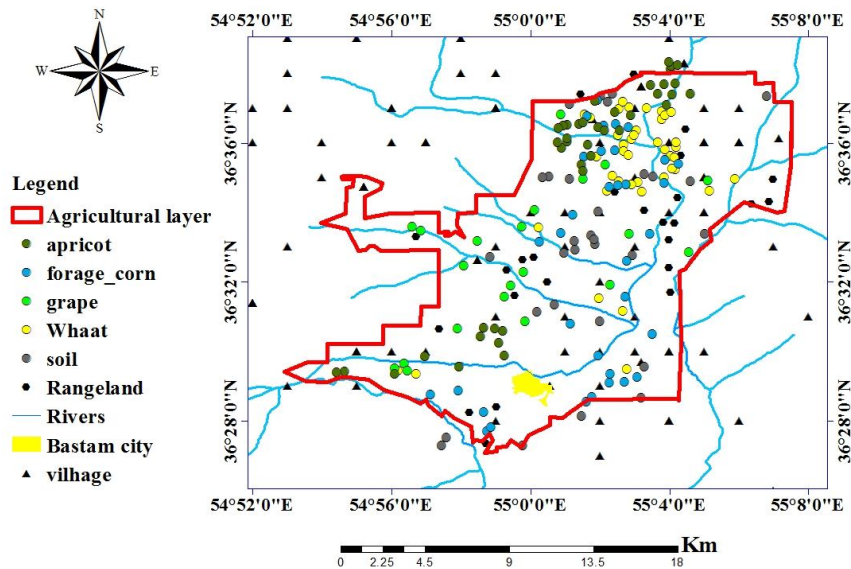
محصولات زراعی ارائه شده است (موسسه تحقیقات خاک و آب، 1398).

مزارع انتخاب شده برای تعیین نمونه تعلیمی

پس از شناسایی مزارع هدف، در مجموع 37 باغ زردآلو، 20 باغ انگور، 39 مزرعه گندم و 33 مزرعه ذرت علوفه‌ای انتخاب گردید شکل (4).

جدول 2- دوره فنولوژی گیاه گندم استان سمنان در پهنه خشک با زمستان خنک و تابستان گرم

تاریخ			مرحله رشد	محصول
روز پایان	ماه پایان	روز شروع		
25	آبان	25	کاشت	گندم
5	اسفند	5	سبزیگی	
25	فروردین	5	گل‌دهی	
25	خرداد	5	رسیدگی	
25	تیر	15	برداشت	
25	آبان	25	کاشت	جو
25	بهمن	25	سبزیگی	
25	فروردین	25	گل‌دهی	
5	خرداد	25	رسیدگی	
25	خرداد	5	برداشت	
5	تیر	15	کاشت	ذرت علوفه‌ای
15	تیر	25	سبزیگی	
15	مرداد	15	گل‌دهی	
5	مهر	5	رسیدگی	
25	مهر	5	برداشت	



شکل 4- موقعیت اراضی کشاورزی برای تعیین پلی گون‌های تعلیمی

کلاس‌های مختلف انجام می‌دهد و هدف آن حداکثر فاصله در دو کلاس است. مهم‌ترین ویژگی این الگوریتم استفاده از بخشی از نقاط تعلیمی با عنوان بردارهای پشتیبان است که کمترین فاصله را از فرا صفحه داشته باشند. در واقع بدون وجود هیچ فرضی در زمینه توزیع احتمال داده‌ها، فاصله بین کلاس‌ها بیشینه می‌شود (مونتریکس و همکاران، 2011). در ساختار هر مدل مجموعه از توابع پیش‌بینی تعیین می‌گردد و $F(x)$ به نوعی تعیین شده که x بیش‌ترین فاصله را از مقادیر آموزشی y داشته باشد. در این روش منحنی با ضخامت ε ، با کمترین خطای برآورد به داده‌ها برازش داده می‌شود (سمولا چولکاف، 2004). مقدار انحراف از رابطه 3 تعیین شده و با وارد کردن متغیرهای کمبود و اصل کمینه‌سازی و بهینه‌سازی خطای ساختاری، رابطه 4 برقرار می‌شود (چترنور و همکاران، 1398).

$$f(x) = w \cdot x + b \quad (2)$$

$$(3)$$

$$|\xi|_{\varepsilon} = \begin{cases} 0 & \xi \leq \varepsilon \\ \xi - \varepsilon & \xi > \varepsilon \end{cases}$$

$$\text{if } |\xi| \leq \varepsilon$$

otherwise

$$\text{Minimize: } \frac{1}{2}(w \cdot w) + C \sum_{i=1}^N (\xi_i^+ + \xi_i^-)$$

برای تفکیک و اجتناب از تداخل طیفی اراضی بایر و مرتعی در تفکیک اراضی کشاورزی، اطراف باغ‌ها و اراضی کشاورزی، مجموعاً 45 محدوده بایر و مرتعی انتخاب گردید. در هر مزرعه با توجه به وسعت آن تعدادی پلی گون‌های برداشت شد و به عنوان نمونه‌های تعلیمی مورد استفاده قرار گرفت. از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده به‌عنوان پرکاربردترین شاخص‌های ارزیابی استفاده شد. این شاخص بر اساس وجود کلروفیل در گیاهان است که نور قرمز را جذب و نور مادون‌قرمز نزدیک را منعکس می‌کنند. مقدار عددی این شاخص بین مثبت و منفی 1 متغیر است (رابطه 1). مقادیر زیاد حاکی از افزایش تراکم و مقادیر کم، تراکم کمتر پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (آدامچاک و همکاران، 2003).

$$\text{رابطه (1)} \quad \text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

در رابطه فوق NIR باند مادون‌قرمز نزدیک (باند 8)، RED باند قرمز (باند 4) در ماهواره سنتینل-2 است. قابل ذکر است که باندهای 4 و 8 این ماهواره دارای قدرت تفکیک زمینی 10 متر هستند.

مدل‌های طبقه‌بندی

به منظور طبقه‌بندی از مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، حداکثر شباهت و حداقل فاصله از میانگین استفاده گردید. ماشین بردار پشتیبان (SVM) روش طبقه‌بندی نظارت شده غیر پارامتریکی است. این مدل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی، طبقه‌بندی مرزی را در

کننده از نظر ریاضی ساده و از نظر محاسباتی پرکاربرد بوده اما مبنای تنوری قوی همانند حداکثر تشابه ندارد (تسو و مادر، 2009).

ارزیابی دقت

در این پژوهش از روش اعتبارسنجی متقابل برای ارزیابی دقت مدل‌های طبقه‌بندی استفاده شده و شاخص‌های آماری ضریب کاپای و دقت کلی به کار گرفته شدند. دقت کلی بر اساس تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده بر اساس رابطه 5 محاسبه می‌شود.

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^C E_{ij}}{N} \quad \text{رابطه (5)}$$

رابطه 6 ضریب کاپای و جدول 3 شدت توافق بر اساس ضریب کاپا را نشان می‌دهد.

$$K = \frac{P(A) + P(E)}{1 - P(E)} \quad \text{رابطه (6)}$$

در این رابطه، K ضریب کاپا و P(A) احتمال قرارداد نسبی بین ارزیابی و P(E) احتمال فرضی قرارداد شانس است. مقدار ضریب کاپا بین صفر تا 1 است. اگر هیچ‌گونه توافقی بین موارد ارزیابی وجود نداشته باشد، ضریب کاپا صفر و در توافق کامل ضریب کاپا برابر با یک است (جدول 3) (ماری، 2012؛ ریچارد، 1999)

ماتریس خطا

بیانگر تطابق هر کلاس طبقه‌بندی شده را با واقعیت زمینی است و میزان قرار گرفتن اشتباهی یک کلاس در سایر کلاس‌ها را نشان می‌دهد. خطای اومیشن² (ستون هر طبقه در ماتریس خطا) برای محاسبه دقت تولیدکننده³ و خطای کمیشن⁴ (ردیف هر طبقه در ماتریس خطا) در محاسبه دقت کاربر⁵ استفاده می‌گردد. قطر جدول ماتریس خطا درصد کلاس‌های با طبقه‌بندی صحیح و سایر میزان خطای کمسیون و امیسیون هستند (لیلسند و همکاران، 2004).

نتایج و بحث

در شکل‌های 5 تا 9 نتایج نمودار طیفی شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده که بیانگر دوره فنولوژی محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، زردآلو و انگور منطقه بسطام را نشان می‌دهد. بر این اساس، گندم در فصل پاییز و مهر و آبان ماه کشت شده و از آبان تا اسفندماه به دلیل سرمای زمستان تغییرات جزئی در مقدار سبزیگی و شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده

$$\text{constraints: } \begin{cases} wx_i + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^+ \\ y_i - wx_i + b \leq \varepsilon + \xi_i^- \\ \xi_i^+ \geq 0, \xi_i^- \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$i=1,2,3,\dots,N$$

در این روابط w وزن بردار x، مقدار بایاس، ξ_i^+ و ξ_i^- متغیرهای کمبود و C ثابت گنجایش که خطای مربوط به فاصله از ε را کنترل می‌کند.

مدل حداکثر شباهت¹: این مدل برای برآورد پارامترهای مدل آماری استفاده می‌شود. در واقع با عملیات مدل‌سازی بر روی مجموعه‌ای از داده‌ها، مدلی آماری به دست می‌آید و حداکثر درست‌نمایی با تخمینی از پارامترهای مدل ارائه می‌شود. در این روش ارزش بازتابی هر پیکسل ناشناخته بوده و بر اساس واریانس و کوواریانس در یک طبقه از طیف قرار می‌گیرد. فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه بر اساس منحنی توزیع نرمال در اطراف میانگین پیکسل آن طبقه قرار گرفته است. برای طبقه‌بندی تصاویر در این روش، واریانس، کوواریانس و میانگین طبقه‌های مختلف هر تصویر محاسبه می‌شود تا هر یک از پیکسل‌ها به طبقه‌ای تعلق یابد که از احتمال بیشتری برخوردار است (تسو و مادر، 2009). با این حال خطاهایی از قبیل عدم تناسب و یا عدم برآوردگر درست نمود می‌یابد (روسی و همکاران، 2018).

حداقل فاصله از میانگین: این روش طبقه‌بندی مبتنی بر فاصله‌ای مرکز خوشه‌ها از یکدیگر است. در این الگوریتم فاصله اقلیدسی هر یک از پیکسل‌ها با مرکز خوشه‌ها محاسبه شده و هر پیکسل به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله را از مرکز آن برخوردار باشد. به عبارت دیگر ابتدا میانگین همه طبقه‌ها که قبلاً با استفاده از روش تعیین نواحی تعلیمی از همدیگر تفکیک گردیده‌اند، تعیین شده و سپس فاصله اقلیدسی بازتاب هر پیکسل را از میانگین تمام طبقه‌ها محاسبه می‌شود. هر پیکسل به طبقه‌ای تعلق می‌گیرد که کمترین مقدار فاصله را تا میانگین آن طبقه داشته باشد. این نوع طبقه‌بندی

2. Omission
3. Producer Accuracy
4. Commission
5. user accuracy

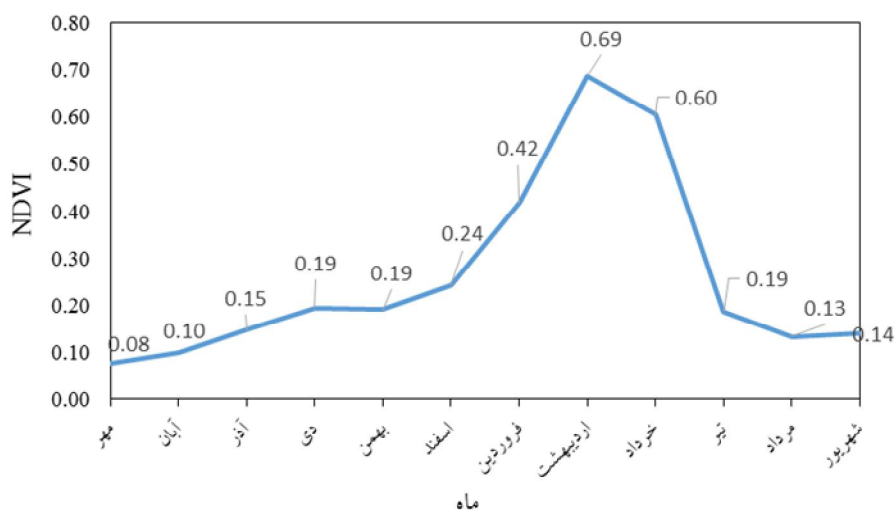
1. Maximum likelihood estimation

رسیده است. در مورد باغات زردآلو و انگور نیز با توجه به دوره سبز شدن و خزان سیکل پیوسته‌ای را در هر دو نوع باغ شاهد هستیم با این وجود در تصاویر با رنگ کاذب به دلیل تفاوت در تراکم انگور، رنگ آن شدت و وضوح متفاوتی دارد.

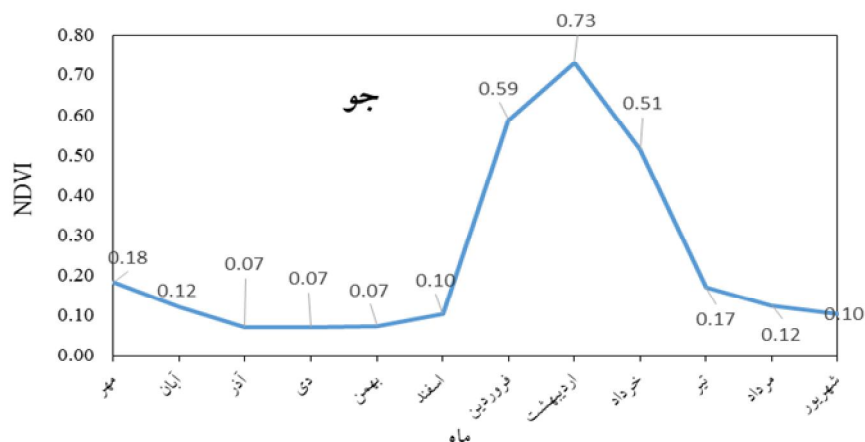
مشاهده می‌شود. در اسفندماه با گرم شدن هوا رشد گیاه تسریع شده و در اردیبهشت به بیش‌ترین رشد و حداکثر سبزیگی می‌رسد. زرد و خشک شدن و برداشت محصول را در تیرماه شاهد هستیم. برای ذرت علوفه‌ای نتایج نشان می‌دهد که در تیرماه کشت شده و شهریورماه به اوج رشد

جدول 3- شدت توافق بر اساس ضریب کاپای (درصد)

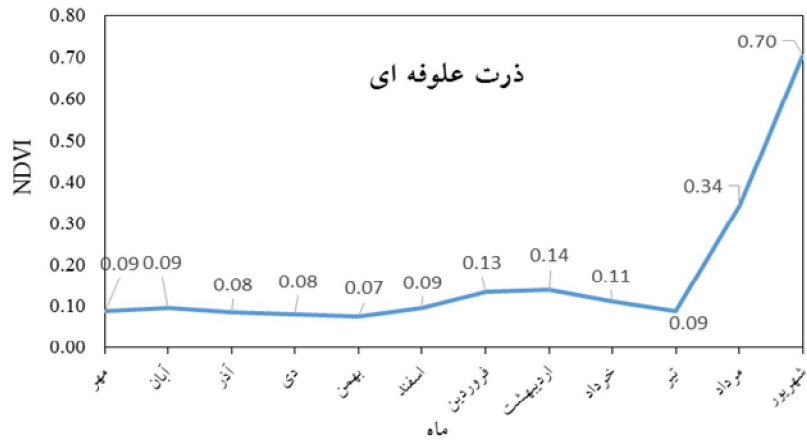
ضریب کاپا	شدت توافق
20-0	بدون توافق
39-21	حداقل
59-40	ضعیف
79-60	متوسط
90-80	قوی
بیشتر از 90	تقریباً کامل



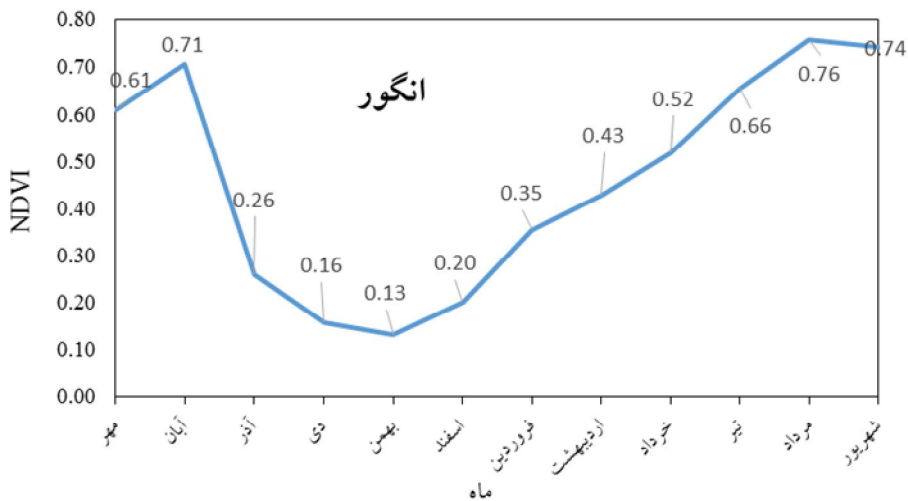
شکل 5- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی گندم



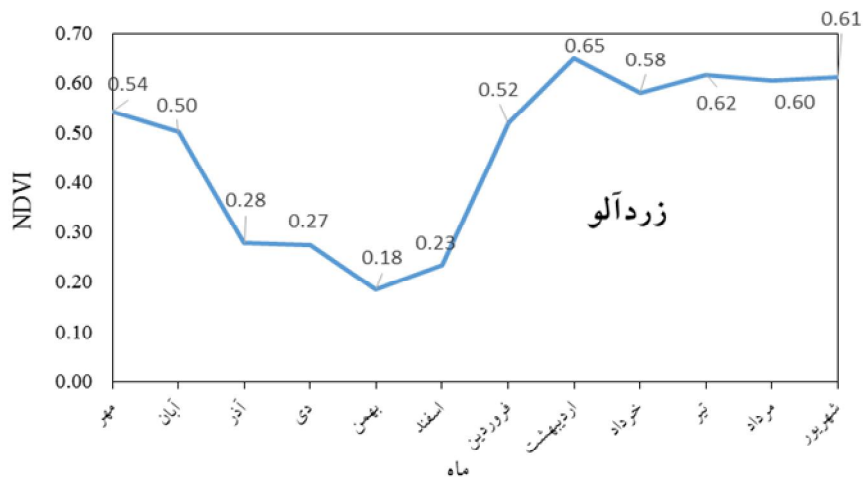
شکل 6- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی جو



شکل 7- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی ذرت علوفه‌ای



شکل 8- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی باغ انگور



شکل 9- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی باغ زردآلو

مبنای خطای اومیشن قرار گرفتن اراضی یک کلاس که در کلاس‌های دیگر است، در مدل ماشین بردار پشتیبان برای کلاس زردآلو 153 نمونه برداشت شده و 12 نمونه از 153 نمونه به عنوان کلاس‌های دیگر تفسیر شده است. بر همین اساس خطای اومیشن کلاس زردآلو 8 درصد و دقت تولیدکننده 92 درصد محاسبه گردید.

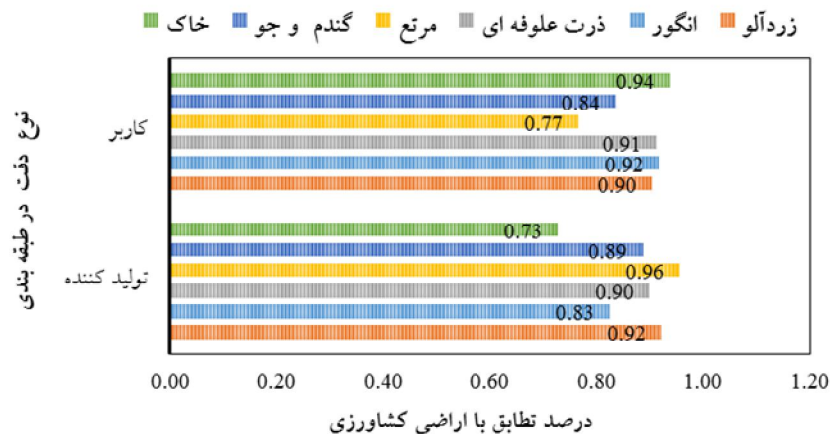
مبنای خطای کومیشن اشاره به آن دسته از پیکسل‌هایی دارد که در مساحت اراضی به اشتباه طبقه‌بندی شده و در واقع به آن کلاس تعلق ندارد. به عنوان مثال برای کلاس زردآلو 15 پیکسل از 156 پیکسل به اشتباه طبقه‌بندی شده که خطای کومیشن 10 درصد و دقت کاربر 90 درصد است. برای کلاس انگور 14 پیکسل، کلاس گندم 13 پیکسل، ذرت 14 پیکسل، مرتع 18 پیکسل و کلاس اراضی بایر 97 پیکسل در سایر کلاس‌ها قرار گرفته و خطای امیسیون به ترتیب 18%، 11%، 10%، 4% و 27% به دست آمد که بیش‌ترین خطا مربوط به کلاس اراضی بایر و کمترین خطا مربوط به کلاس مرتع است. همچنین با توجه با شاخص آماری کومیشن به ترتیب 8%، 16%، 9%، 23% و 6% پیکسل‌ها به اشتباه برای کلاس انگور، گندم، ذرت، علف‌های، مرتع و اراضی بایر طبقه‌بندی شده و جز کلاس اصلی نیستند. در شکل 10 درصد تطابق با اراضی کشاورزی بر اساس دقت تولیدکننده بر اساس مدل ماشین بردار پشتیبان ارائه شده است.

ارزیابی دقت مدل‌های طبقه‌بندی کننده، با مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی و معیارهای ارزیابی صحت، انجام شد. هدف از ارزیابی دقت، تعیین میزان همخوانی نقشه حاصل از طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی است. حاصل این ارزیابی به صورت جدول ماتریس خطا ارائه می‌گردد (محمدی و همکاران، 2005). جدول‌های 4 و 5 و 6 و همچنین شکل‌های 10 و 11 و 12 نتایج ماتریس خطا، دقت کلی و ضریب کاپای مدل‌های به ترتیب، ماشین بردار پشتیبان، حداکثر تشابه و حداقل اختلاف را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مدل ماشین بردار پشتیبان بیش‌ترین دقت را با شاخص‌های آماری دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب 0/86 و 0/82 داشته و مدل حداقل فاصله کمترین دقت طبقه‌بندی را با دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب 0/69 و 0/60 را نشان داد. مدل حداکثر تشابه نیز دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب 0/78 و 0/72 را داشت.

جدول ماتریس خطا دقت را به سه روش نشان می‌دهد. دقت کلی، به عنوان یک معیار ارزش‌گذاری در ارزیابی طبقه‌بندی است. با این وجود پیکسل‌هایی که به خطا به کلاس‌ها اختصاص یافته‌اند در محاسبه لحاظ نشده است (علیپور و همکاران، 1393). دقت تولیدکننده نیز، نشان‌دهنده میزان طبقه‌بندی صحیح پیکسل‌های یک طبقه نسبت به همان طبقه در واقعیت زمینی است، در محاسبه ضریب کاپا به دلیل این‌که پیکسل‌های درست طبقه‌بندی نشده را در نظر می‌گیرد از معیار دقت کلی گویاتر است.

جدول 4- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر به روش ماشین بردار پشتیبان

محصول	زردآلو	انگور	گندم	ذرت علف‌های ای	مرتع	بایر	کل	خطای (CO)	دقت کاربر
زردآلو	141	9	0	6	0	0	156	0/10	0/90
انگور	4	66	0	2	0	0	72	0/08	0/92
گندم	3	2	102	5	6	4	122	0/16	0/84
ذرت علف‌های ای	0	2	2	126	4	4	138	0/09	0/9
مرتع	3	1	0	1	308	89	402	0/23	0/77
زمین بایر	3	0	11	0	4	258	275	0/06	0/94
کل	153	80	115	140	322	355	1165		
خطای اومیشن	0/08	0/18	0/11	0/10	0/04	0/27			
دقت تولیدکننده	0/92	0/83	0/89	0/90	0/96	0/73			
دقت کلی						0/86			
ضریب کاپای						0/82			



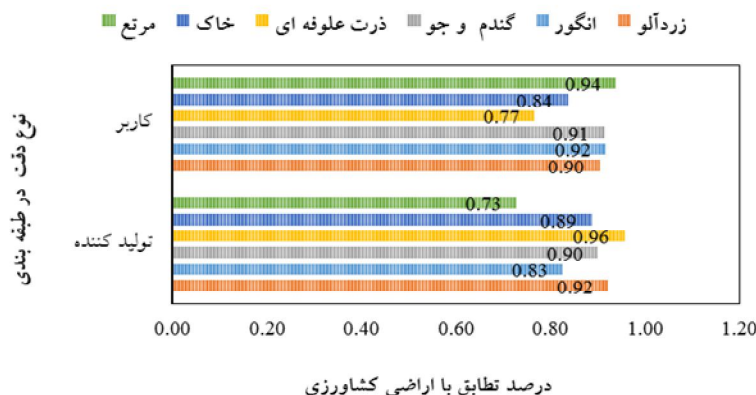
شکل 10 - مقایسه دقت کلی در دو حالت کاربر و تولیدکننده با روش ماتریس بردار پشتیبان

شاخص آماری کومیشن به ترتیب 16%، 17%، 13%، 37% و 2% پیکسل برای کلاس زردآلو، انگور، گندم، ذرت علوفه‌ای، مرتع و اراضی بایر به اشتباه طبقه‌بندی شده و جز کلاس اصلی نیستند. در شکل 11 درصد تطابق با اراضی کشاورزی بر اساس مقایسه بین دقت تولیدکننده و کاربر در مدل حداکثر تشابه ارائه شده است.

نتایج ارزیابی مدل حداکثر تشابه در جدول 5 ارائه شده است. در این مدل نیز بر اساس شاخص آماری اومیشن برای کلاس‌های زردآلو، انگور، گندم، ذرت علوفه‌ای، مرتع و اراضی بایر به ترتیب 15%، 26%، 14%، 12%، 3% و 49% پیکسل در سایر کلاس‌ها قرار گرفت و بیش‌ترین خطا مربوط به کلاس اراضی بایر و کمترین خطا مربوط به اراضی مرتعی است. هم‌چنین با توجه به

جدول 5- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر به روش حداکثر تشابه

محصول	زردآلو	انگور	گندم	ذرت علوفه‌ای	مرتع	بایر	کل	خطای (CO)	دقت کاربر
زردآلو	130	15	0	9	0	0	154	0/16	0/84
انگور	11	59	0	2	0	0	72	0/8	0/82
گندم	2	2	99	6	6	4	119	0/17	0/83
ذرت علوفه‌ای	4	4	2	123	4	4	141	0/13	0/87
مرتع	6	0	11	0	311	165	493	0/37	0/63
بایر	0	0	3	0	1	182	186	0/02	0/98
کل	153	80	115	140	355	322	1165		
خطای اومیشن	0/15	0/26	0/14	0/12	0/03	0/49			
دقت تولیدکننده	0/85	0/74	0/86	0/88	0/97	0/51			
دقت کلی					0/77				
ضریب کاپای					0/71				



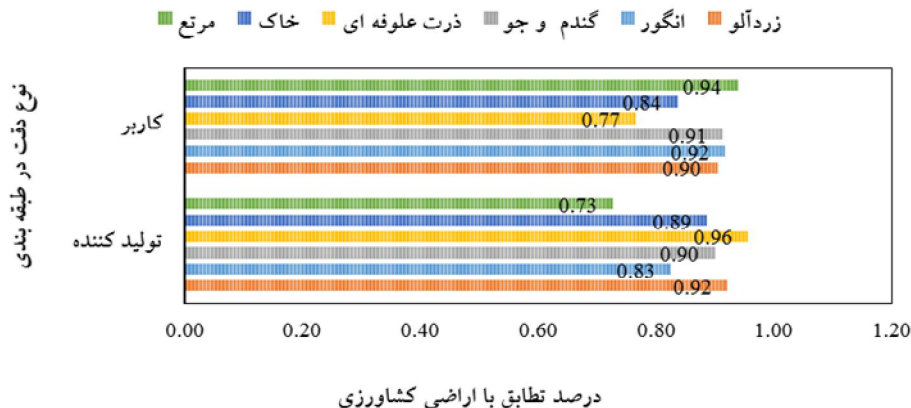
شکل 11- مقایسه دقت کلی در دو حالت کاربر و تولیدکننده با روش حداکثر تشابه

آماري کوميشن براي کلاس زردآلو، انگور، گندم، ذرت علوفه‌اي، مرتع و اراضي باير به ترتيب 25%، 25%، 18%، 10%، 30% و 41% پیکسل‌ها به اشتباه طبقه‌بندی شده و جز کلاس اصلي نیستند. در شکل 12 درصد تطابق اراضي کشاورزي بر اساس مقایسه بين دقت توليدکننده و کاربر در مدل حداقل فاصله از میانگین ارائه شده است.

در جدول 6 نتایج ارزیابی مدل حداقل فاصله از میانگین ارائه شده است. در این مدل نیز بر اساس شاخص آماری اومیشن برای کلاس‌های زردآلو، انگور، گندم، ذرت علوفه‌ای، مرتع و اراضي باير به ترتيب 16%، 50%، 16%، 15%، 73% و 7% پیکسل‌ها در سایر کلاس‌ها قرار گرفته و بیش‌ترین خطا مربوط به کلاس اراضي مرتع و کمترین مربوط اراضي باير است. با توجه به شاخص

جدول 6- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر به روش حداقل فاصله از میانگین

محصول	زردآلو	انگور	گندم	ذرت علوفه‌ای	مرتع	باير	کل	خطای (CO)	دقت کاربر
زردآلو	128	34	0	9	0	0	171	0/25	0/75
انگور	11	40	0	2	0	0	53	0/25	0/75
گندم	4	2	97	6	6	4	119	0/18	0/82
ذرت علوفه‌ای	0	4	2	119	4	4	133	0/10	0/90
مرتع	4	0	13	4	86	16	123	0/30	0/70
باير	6	0	3	0	226	331	566	0/41	0/59
کل	153	80	115	140	322	355	1156		
خطای (om)	0/16	0/50	0/16	0/15	0/73	0/07			
دقت توليدکننده	0/84	0/50	0/84	0/85	0/27	0/93			
دقت کلی					0/69				
ضریب کاپای					0/61				



شکل 12- مقایسه دقت کلی در دو حالت کاربر و تولیدکننده با روش حداقل فاصله از میانگین

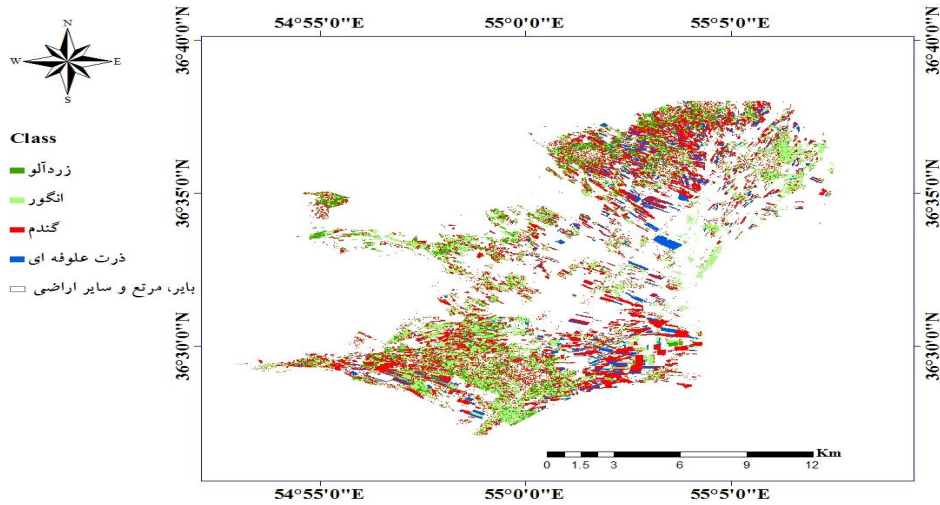
تعیین مساحت اراضی کشاورزی

گردید. ممکن است در آن مقطع زمانی مقادیری از محصولات برداشت شده و هم‌چنین به دلیل تأخیر در برداشت برخی از محصولات مانند ذرت علوفه‌ای، محاسبه مساحت با خطا مواجه گردد. هم‌چنین در مزارعی به علت عدم رعایت مدیریت بهینه، میزان رشد گیاه کمتر از مقدار واقعی است و تفاوت‌هایی از نوع شدت و تأخیر در دوره فنولوژیکی آن‌ها ایجاد گردد، به طوری که آن زمین در مساحت کلاس مربوطه محاسبه نگردد. برای باغات زردآلو و انگور با توجه به اینکه در این منطقه علاوه بر آن‌ها باغات دیگری نیز مانند پسته و هلو و هم‌چنین باغات شامل انواع درختان نیز وجود دارد، سبب تغییر در مساحت و ایجاد خطا گردیده است. برای گندم و جو به دلیل اینکه نوع گیاه پاییزی است و در این منطقه محصولی که هم‌زمان با آن‌ها کشت نشده و تداخلی در دوره فنولوژی نبوده است، اختلاف برآورد کمتری با مقادیر واقعی نسبت به سایر محصولات داشته است. در نقشه‌های طبقه‌بندی شده در شکل‌های 13، 14 و 15 مشاهده می‌گردد که تمرکز باغات در نواحی جنوبی و شمال شرقی منطقه است که به دلیل نزدیک بودن به شهر بسطام و وجود آب کافی، در این اراضی اقدام به احداث باغات شده است. در نواحی شمالی منطقه به علت نزدیکی به دامنه رشته‌کوه شاهوار و استان گلستان، کشاورزان از بارندگی و رطوبت دامنه‌ای استفاده کرده و در مواردی با احداث استخر اقدام به کشت محصولات گندم و احداث باغات نموده‌اند.

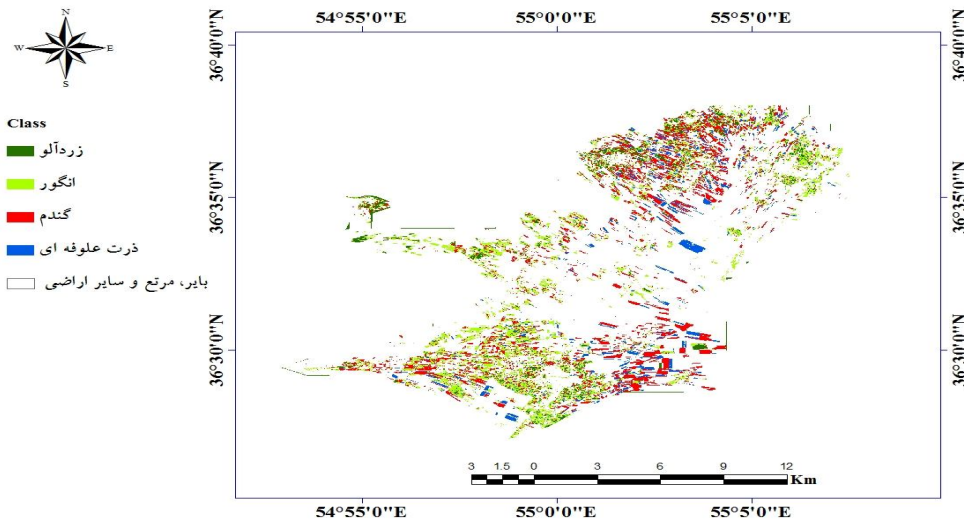
نقشه‌های طبقه‌بندی شده با روش ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال و حداقل فاصله، به نرم‌افزار GIS 10.7 منتقل گردید و مساحت محصولات کشاورزی محاسبه شد. با استناد بر شاخص‌های آماری دقت کلی و ضریب کاپای که نشان‌دهنده برتری مدل ماشین بردار پشتیبان نسبت به دو مدل دیگر است، برای گزارش مساحت اراضی کشاورزی نیز همین مدل قرار مبنای قرار گرفت که نتایج آن در جدول 8 ارائه شده است. بر این اساس برای گندم بیش‌ترین مساحت (3423 هکتار) و برای ذرت علوفه‌ای کمترین مساحت (738 هکتار)، محاسبه گردید. نقشه توزیع اراضی کشاورزی در منطقه بسطام بر اساس سه مدل ماشین بردار پشتیبان، حداکثر فاصله و حداقل اختلاف با میانگین در شکل‌های 8، 9 و 10 ارائه شده است. مقایسه بین مقدار واقعی و مقدار برآورده شده با روش ماشین بردار پشتیبان نشان داد که ذرت علوفه‌ای بیش‌ترین اختلاف را با مقدار آمار واقعی مزارع کشت شده (11/9 درصد) داشته و گندم و جو کمترین اختلاف (2/3 درصد) را داشتند. در بررسی‌های میدانی مشاهده شد که مزارع گوجه و خیار و سایر صیفی‌جات نیز در منطقه کشت شده‌اند که با توجه به وسعت زیاد منطقه و تشابه دوره کشت این محصولات با ذرت علوفه‌ای، یکی از عوامل خطای در برآورد سطح زیر کشت این محصول است. در این پژوهش تصاویر در یک زمان خاص از هر ماه با توجه به نظر کارشناسان تهیه

جدول 7- سطح زیر کشت اراضی کشاورزی

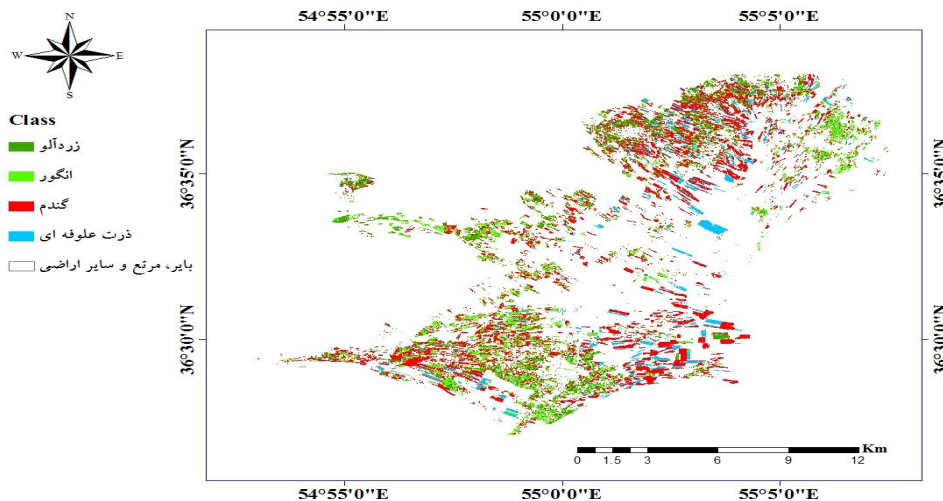
کلاس	مساحت برآورد شده (هکتار)	مساحت واقعی (هکتار)	درصد اختلاف
زردآلو	887	810	8/6
انگور	1612	1534	4/8
گندم و جو	3423	3343	2/3
ذرت علوفه‌ای	738	650	11/9



شکل 13- نقشه طبقه‌بندی اراضی کشاورزی منطقه بسطام با روش حداکثر تشابه



شکل 14- نقشه طبقه‌بندی اراضی کشاورزی منطقه بسطام با روش حداقل فاصله از میانگین



شکل 15- نقشه طبقه‌بندی اراضی کشاورزی منطقه بسطام با روش ماشین بردار پشتیبان

در روش استفاده از شاخص فنولوژیکی که از تصاویر سری زمانی استفاده می‌شود، از داده کمکی مانند شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده استفاده می‌شود (سفیانیان و همکاران، 1390). داده‌های کمکی علاوه بر کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت عمل، سبب زیاد شدن دقت طبقه‌بندی و تفکیک اراضی می‌گردد. در این پژوهش از سری زمانی شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده به عنوان متغیر ورودی برای طبقه‌بندی استفاده گردید. رحیم زادگان و پور غلام (1395) در پژوهشی مشابه برای تعیین مساحت اراضی زعفران که با تصاویر ماهواره‌ای انجام داده‌اند دقت کلی 95 درصد را به دست آورده‌اند. در پژوهشی دیگر سفیانیان و همکاران (1390)، از تصاویر ماهواره ای لندست 8 استفاده کرده و اراضی کشاورزی را از سایر کاربری‌ها را با ضریب کاپای و دقت کلی و به ترتیب 86 و 88 تفکیک کرده‌اند. علیپور و همکاران (1393)، طی پژوهشی مشابه از دو روش شبکه عصبی و حداکثر احتمال برای تفکیک اراضی کشاورزی استفاده کرده‌اند که دقت قابل قبول با ضریب کاپای بیشتر از 80 درصد را به دست آورده‌اند. در این پژوهش حاضر ماشین بردار پشتیبان از ضریب کاپای 82 درصد بیش‌ترین دقت را نشان داد. یکی از دلایل عملکرد مناسب مدل ماشین بردار پشتیبان را به پراکنش و تعداد مناسب نمونه-های تعلیمی و هم‌چنین تفاوت شاخص فنولوژیکی این محصولات در مراحل مختلف کشت نسبت داد. این نتیجه با پژوهش‌های یانگ و همکاران (2003)، خو و همکاران (2005) چوبی و همکاران (2006) که روش طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان نسبت به دیگر روش‌ها مانند

با مراجعه به جدول ماتریس خطا مشاهده می‌شود که کلاس‌های خاک و مرتع در هر سه روش دقت نسبتاً کمتر را بر اساس نظر کاربر داشته‌اند که دلیل آن را می‌توان به پوشش‌های گیاهی ضعیف در اراضی بایر و تداخل پیکسل‌ها در هر دو کلاس نسبت داد. با مشاهده منطقه و استفاده از تصاویر گوگل ارث و نظر کارشناسان مشخص گردید که در این مناطق، باغات بسیاری در سال‌های اخیر تأسیس شده و ارتفاع درختان کم است که سبب تداخل پیکسل‌ها با کلاس انگور شده است. در این مناطق با توجه به عدم مدیریت متولیان بخش کشاورزی و قیمت کم فروش، در برخی از نواحی ذرت علوفه‌ای مدت زمان دیرتری برداشت شده و متعاقباً آماده سازی زمین و کشت گندم نیز عقب افتاده است. در این مناطق صیفی‌جات نیز وجود دارد و با توجه به مساحت کم این کشت‌ها و هم‌زمانی با کشت ذرت علوفه‌ای ممکن است سبب بروز خطا گردد. با توجه به اندازه پیکسل ماهواره سنتینل 2- (100 مترمربع) نسبت به ماهواره لندست 8 (900 مترمربع)، استفاده از تصاویر سنتینل 2- دقت بیشتری را دارد. با این حال باغات و باغچه‌هایی که مساحت کمتر از 100 مترمربع دارند در برآورد آن‌ها خطا ایجاد می‌گردد که جهت رفع آن، نیاز به بازدیدهای چند باره از مزارع و مستلزم صرف هزینه است. از دیگر مزایای ماهواره سنتینل امکان برداشت تصاویر در فاصله 5 روزه است، در پایش و تفکیک مزارع ذکرشده در این پژوهش، در فاصله 5 روز، عبور از یک فاز رویشی به فاز دیگر و یا تغییرات اساسی در وضعیت رشد گیاه و بازتابش امواج را نخواهیم داشت و امکان تفکیک و جداسازی مزارع بهتر صورت می‌گیرد (کامکار و همکاران، 1398).

حداکثر تشابه، حداقل فاصله از میانگین و شبکه عصبی دقت بیشتری داشته است، مطابقت دارد.

در این پژوهش از جدول فنولوژی گیاهان، بازدیدهای میدانی و پرسش از کشاورزان و در نهایت تقویم زراعی محصولات کشاورزی استفاده شد. با بررسی تقویم زراعی، اوج سبزیگی گیاه گندم در اردیبهشت و برای ذرت علوفه‌ای در شهریور بود که با تاریخ اوج سبزیگی سایر محصولات تداخل نداشت. هم‌چنین قابل ذکر است محصولات گندم، ذرت علوفه‌ای با باغات از نظر تاریخ کاشت با یکدیگر تداخل ندارند و با حداقل تداخل طیفی از امکان تفکیک قابل قبولی از یکدیگر برخوردار هستند. با مشاهده نمودار طیف شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده در شکل 4 برای باغات زردآلو و گندم، و اهمیت این اینکه که این باغات خزان کننده هستند، امکان تفکیک از محصولات زراعی را دارند و هم‌چنین با توجه به اینکه تاریخ گل‌دهی زردآلو با انگور متفاوت است، امکان تفکیک این دو باغ نیز وجود دارد.

امروزه در بسیاری از بخش‌ها کاربرد تصاویر ماهواره‌ای نه تنها هزینه چندانی ندارد، بلکه امتیازات آن به حدی است که هزینه خرید داده‌ها در مقابل سرعت انجام کار، دقت و حجم اطلاعات به‌دست آمده ناچیز است. از اطلاعات این پژوهش با توجه به دقت قابل قبولی که دارد، می‌توان در برنامه‌ریزی‌های کلان منطقه‌ای در قالب مصرف بهینه آب، تدوین الگوی کشت، پیش‌بینی عملکرد و سایر خدمات حمایتی استفاده کرد. کاهش هزینه آمار برداری و دقت زیاد در تعیین حدود مزارع و انطباق نقش‌های خروجی با خدمات و امکانات می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی بسیار کارآمد باشد. نتایج این پژوهش با تراهی و همکاران، 1396 تطابق دارد

فهرست منابع:

1. تراهی، ع. ا.، فیروزی نژاد، م.، و عبدالحانی، ع. (1396). ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در تهیه نقشه کاربری اراضی جنگل‌های رودخانه‌ای با استفاده از سنجنده (OLI) منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های رودخانه‌ای مارون بهبهان). سنجنش از دور و GIS ایران، 9(1)، 49-62.
2. چترنور، م.، لندی، ا.، فرخیان فیروزی، ا.، نوروزی، ع. ا.، و بهرامی، ح. ع. (1399). کاربرد طیف‌سنجی مرئی- مادون قرمز در کمی سازی میزان گچ خاک در کانون‌های مستعد تولید ریزگرد استان خوزستان. تحقیقات کاربردی خاک، 8(3)، 1-13.
3. خلفی، ج.، و داوودپناه، غ. (1387). تخمین سطح و تهیه نقشه اراضی زیر کشت گندم دیم با استفاده از GIS و سنجنش از دور در حوزه آبخیز زنجانرود Paper presented at the 87th. همایش ژئوماتیک و چهارمین همایش یکسان سازی نام‌های جغرافیایی <https://civilica.com/doc/37099>.

که برای کلاس‌های کاربری اراضی دقت بسیار خوبی را با ضریب کاپای 97 درصد به‌دست آوردند.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش از تصاویر سنتینل-2 چند زمانه به منظور تعیین محدوده و سطح زیر کشت اراضی کشاورزی منطقه بسطام واقع در استان سمنان استفاده شد. برای افزایش دقت طبقه‌بندی از نقاط تعلیمی زمینی در باغات زردآلو، انگور، گندم و ذرت علوفه‌ای استفاده شد. با استفاده از تصاویر چند زمانه پروفیل طیفی برای هر محصول به‌دست آمد که با جدول شاخص فنولوژیکی مطابقت داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان دقت بیشتری را نسبت به روش‌های حداکثر شباهت و حداقل فاصله از میانگین در تفکیک اراضی کشت شده داشت. مشاهده گردید که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و شاخص فنولوژیکی در مناطقی که محصولات کشت شده تفاوت محسوسی در مراحل کاشت، داشت و برداشت دارند قابلیت استفاده برای تفکیک این اراضی با دقت قابل قبولی دارد. برای تفکیک اراضی کشت شده نیاز به نقاط تعلیمی دقیق با تعداد کافی است و باید در زمان‌های مشخصی از چرخه زندگی گیاه تصاویر ماهواره‌ای تهیه‌شده و مورد بررسی قرار گیرد. از مزیت‌های تصاویر چند زمانه سهل‌الوصول بودن، دسترسی به نقاط دورافتاده با دقت نسبتاً زیاد و استخراج اطلاعات در زمان کم، سطح گسترده پوشش تصاویر و قابلیت تکرار نسبت به سایر روش‌های نقشه‌برداری اشاره است. از نتایج این پژوهش در برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی کشاورزی و هم‌چنین پیش‌بینی پتانسیل تولید محصولات کشت شده با توجه به شدت بازتاب در نقطه اوج پوشش محصول قابل استفاده است.

4. رحیم زادگان، م.، و پورغلام، م. (1395). تعیین سطح زیر کشت گیاه زعفران با استفاده از تصاویر لندست (مطالعه موردی: شهرستان تربت حیدریه). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)*، 7(4)، 97-115.
5. رضایی مقدم، م.، ولیزاده کامران، خ.، اندریانی، ص.، و الماس پور، ف. (1395). مقایسه روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در استخراج نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر لندست 8 (مطالعه موردی: حوضه صوفی چای). *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، 19(52)، 163-183.
6. سفیانیان، ع.، و خداکرمی، ل. (1390). تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه بندی فازی (مطالعه موردی سه زیر حوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن - قهاوند و خونجین - تلخاب در استان همدان). *آمایش سرزمین*، 3(4)، 95-114.
7. سفیانیان، ع.، محمدی توفیق، ا.، خداکرمی، ل.، و امیری، ف. (1390). تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن و خونجین - تلخاب در استان همدان). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)*، 2(1)، 1-12.
8. کامکار، ب.، دشتی مرویلی، م.، و کاظمی، ح. (1398). تفکیک اراضی زیر کشت برنج و سویا با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنتینل-2 در الگوهای کاشت تابستانه جهت تحلیل تغییرات سطح زیر کشت دو محصول در چهار حوضه آبخیز استان گلستان. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، 26(1)، 151-167.
doi: 10.22069/jwsc.2019.15246.3044
9. علیپور، ف.، آق‌خانی، م.، عباسپور فرد، م.، و سپهر، ع. (1393). تفکیک محدوده و تخمین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به کمک تصاویر ماهواره‌ای. *ماشین‌های کشاورزی*، 24(2)، 244-34827254-244. doi: 10.22067/jam.v4i2.34827254-244
10. Adamchuk, V. I., Perk, R. L., & Schepers, J. S. (2003). EC03-702 Precision Agriculture: Applications of Remote Sensing in Site-Specific Management.
11. Barrett, E. C., & Curtis, L. F. (1999). Introduction to environmental remote sensing: Psychology Press.
12. Chubey, M. S., Franklin, S. E., & Wulder, M. A. (2006). Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(4), 383-394.
13. Barrett, E. C., & Curtis, L. F. (1999). Introduction to environmental remote sensing: Psychology Press.
14. Chubey, M. S., Franklin, S. E., & Wulder, M. A. (2006). Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(4), 383-394.
15. Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation: John Wiley & Sons.
16. Liu, J., Zhu, W., Atzberger, C., Zhao, A., Pan, Y., & Huang, X. (2018). A phenology-based method to map cropping patterns under a wheat-maize rotation using remotely sensed time-series data. *Remote Sensing*, 10(8), 1203.
17. McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia medica*, 22(3), 276-282.
18. Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), 247-259.
19. Karlson, M., Ostwald, M., Bayala, J., Bazié, H. R., Ouedraogo, A. S., Soro, B., Reese, H. (2020). The Potential of Sentinel-2 for Crop Production Estimation in a Smallholder Agroforestry Landscape, Burkina Faso. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 85.
20. Khaliq, A., Peroni, L., & Chiaberge, M. (2018). Land cover and crop classification using multitemporal sentinel-2 images based on crops phenological cycle. Paper presented at the

- 2018 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS).
21. Richards, J. A., & Richards, J. (1999). Remote sensing digital image analysis (Vol. 3): Springer.
 22. Rossi, R. J. (2018). Mathematical statistics: an introduction to likelihood based inference: John Wiley & Sons.
 23. Smola, A. J., & Schölkopf, B. (2004). A tutorial on support vector regression. *Statistics and computing*, 14(3), 199-222.
 24. Tso, B., & Mather, P. (2009). M." Classification Methods for Remotely Sensed Data", Chapter 2-3: Taylor and Francis Group, America.
 25. Vuolo, F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C., & Ng, W.-T. (2018). How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 72, 122-130.
 26. Xu, M., Watanachaturaporn, P., Varshney, P. K., & Arora, M. K. (2005). Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 97(3), 322-336.
 27. Yang, C.-C., Prasher, S. O., Enright, P., Madramootoo, C., Burgess, M., Goel, P. K., & Callum, I. (2003). Application of decision tree technology for image classification using remote sensing data. *Agricultural Systems*, 76(3), 1101-1117.
 28. Yi, Z., Jia, L., & Chen, Q. (2020). Crop Classification Using Multi-Temporal Sentinel-2 Data in the Shiyang River Basin of China. *Remote Sensing*, 12(24), 4052.
 29. Zeaiean, P., Rabiei, H. R., & Alimohamadi, A. (2005). Detection of Land Use/Cover Changes of Isfahan by Agricultural Lands around Urban Area Using Remote Sensing and GIS Technologies. *The Journal of Spatial Planning*, 9(4), 41-54.

Estimating Cultivation Area of Some Selected Crops in Bastam Plain by Using Multi-Temporal Sentinel-2 Images

M. Navidi¹, M. Chatrenour, M. Jamshidi, and A. Akhyani

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: nnavidi@swri.ir

PhD Graduate, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran; E-mail: m.chatrenor@gmail.com

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: mohammadjamshidi@yahoo.com

Assistant Professor, Semnan Center for Agricultural and Natural Resources Research, Agricultural Research, Education and Extension Organization; E-mail: ahmadakhyani@yahoo.com

Received: April, 2021 and Accepted: July, 2021

Abstract

The purpose of this study was to use the Multi-Temporal Sentinel-2 images and phenological index in separating and determining the cultivated area of the agricultural land in the Bastam region. To this end, the agricultural crops of the region were identified according to their types and phenological periods comprising apricot, grape, wheat, and forage corn. Three classifiers including support vector machine, maximum likelihood, and minimum distance models and field observations (points and boundaries provided by GPS) were used in order to compile a land use prediction map. Comparison of the accuracy of the three models showed that the support vector machine had the best performance, with overall accuracy and kappa coefficient of 0.86 and 0.82, respectively. The minimum distance model had the lowest classification performance with overall accuracy and kappa coefficient of 0.69 and 0.61, respectively. According to the model of support vector machine, the highest area (3423 hectares) was obtained for wheat, and the lowest was predicted for forage corn (738 hectares). Finally, the results showed that multi-temporal images and the phenological index had an acceptable capability for separation of the crops, prediction of their areas, and making suitable agricultural land use maps for the study area.

Keywords: Support vector machine, Maximum likelihood model, Minimum distance model, Phenological index

¹ Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran