

طبقه‌بندی محصولات کشاورزی به منظور مدیریت بهینه منابع آبی با استفاده از سری زمانی داده‌های لندست ۸

فاطمه کردی^۱، سعید حمزه^{۲*}، سارا عطارچی^۳، سید کاظم علوی پناه^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲. دانشیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳. استادیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۴. استاد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۲/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۷/۱۰)

چکیده

شناسایی نوع محصولات کشاورزی به منظور مدیریت بهینه منابع آبی با استفاده از سنجش از دور، با وجود دسترسی کم و مستقیم به زمین‌های کشاورزی، سبب کاهش چشمگیر هزینه‌ها در بخش مدیریت کشاورزی و منابع آبی می‌شود، اما طبقه‌بندی اراضی کشاورزی به علت شباهت زیاد طیفی محصولات مختلف با استفاده از تصاویر تک‌زمانه چندطیفی دقت چندانی ندارد. یکی از راه‌های غلبه بر این مشکل، استفاده از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای است. هدف از مطالعه حاضر، افزایش دقت تفکیک محصولات کشاورزی برای مدیریت بهینه منابع آبی با استفاده از سری زمانی داده سنجش از دور است. در مطالعه حاضر پس از انجام پردازش‌های مربوط به داده‌های اپتیک، شاخص‌های مختلف گیاهی و همچنین آلبدو و دمای سطح زمین از داده‌های سری زمانی اپتیک محاسبه و با استفاده از مدل TIMESAT پارامترهای کلیدی فنولوژیکی گیاه در قسمتی از دشت میاندوآب استخراج شده است. با توجه به در دسترس بودن اطلاعات و داده‌های زمینی، وضعیت پوشش گیاهی از قبیل پراکنش و خصوصیات گیاهی بررسی شد. سپس، با استفاده از همه این ویژگی‌ها به کمک الگوریتم طبقه‌بندی ماشین‌های بردار پشتیبان، نقشه محصولات کشاورزی تولید شد. الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان به دلیل انعطاف‌پذیری زیاد این الگوریتم برای شرایط و هدف‌های مختلف با دقت کلی ۹۲ درصد و کاپای ۰/۹۱ در صورتی که در فرایند طبقه‌بندی از ترکیب باندها، شاخص‌های گیاهی GNDVI و شاخص ALBEDO, LST و استفاده شود، بیشترین دقت را در تفکیک کردن محصولات کشاورزی به همراه داشت.

کلیدواژه‌گان: سنجش از دور، فنولوژی، لندست ۸، منابع آب، TIMESAT.

مقدمه

از آنجا که هدررفت آب در ایران از میانگین جهانی بیشتر بوده و بزرگترین مصرف‌کننده آب در کشور، بخش کشاورزی است، مهم‌ترین روش برای کاهش مصرف آب کشاورزی و توسعه بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت است [۱]. بنابراین، توصیه می‌شود از روش‌های جدیدتر با صرف انرژی، هزینه و زمان کمتر برای رسیدن به الگوی کشت منطقه استفاده کرد، که در صورت نیاز برنامه‌های مدیریتی به‌منظور اصلاح الگوی کشت مدون شود. چراکه در بعضی مناطق با تغییر الگوی کشت می‌توان بهره‌برداری متناسب از اراضی بر اساس ظرفیت تولید هر منطقه داشت و توجه ویژه به تولید محصولات اساسی به منظور امنیت غذایی در بخش کشاورزی با توجه به وضعیت آب مورد استفاده گیاه صورت گیرد. به طور مثال، درباره محصولات کشاورزی استراتژیکی همچون چغندرقد که میزان مصرف آب زیادی دارد، بررسی تغییرات سطح زیر کشت این محصول در مدیریت منابع آب می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد. با اطلاع داشتن از الگوی کشت موجود در منطقه، می‌شود محصولاتی که میزان مصرف آب و بازده کمتری دارند را حذف کرد و به الگوی کشت بهینه منطقه دست یافت. به طور مثال، از گیاهانی با راندمان مصرف آب زیاد و مقاوم به خشکی و شوری نظیر سورگوم و کنجد استفاده کرد.

پایش محصولات کشاورزی به سبب اهمیت و جایگاه آن در برنامه‌ریزی برای تأمین امنیت غذا در کشور ایران به‌عنوان یک مسئله مهم همواره مورد توجه بوده [۱۲] و تا کنون مطالعات مختلفی در زمینه کشاورزی با استفاده از سنجنده‌های اپتیکی انجام شده است [۱۳، ۷ و ۱]. برآورد سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی در کشور معمولاً از سه طریق تخمین کارشناسی، برآورد از طریق فهرست‌برداری و استفاده از فناوری‌های جدید (ازجمله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی) انجام می‌شود. دقت روش تخمین کارشناسی بسیار اندک است و نمی‌توان نتایج آن را در تصمیم‌گیری‌های مهم کشور به کار گرفت. در روش برآورد از طریق فهرست‌برداری، هرچند سطح زیر کشت محصول تخمین زده می‌شود، اما پراکندگی آن را به دست نخواهد داد، ضمن اینکه هزینه زیاد نیروی انسانی عامل مهم و محدودکننده این روش است. در ایران به‌دست‌آوردن آمار مربوط به کشاورزی،

بیشتر از طریق کارشناسی و روش‌های سنتی صورت می‌پذیرد. بررسی‌ها نشان داده است این روش‌ها خطاهای زیادی دارند [۱۴].

دسترسی‌نداشتن به اطلاعات مربوط به تنوع محصولات کشاورزی و سطح زیر کشت هر محصول، سبب می‌شود که سالانه هزینه‌های زیادی در بخش مدیریت کشاورزی، صورت بگیرد. معمولاً، تعیین نوع محصولات کشاورزی بر اساس گفته‌های کشاورزان منطقه و داده‌های میدانی جمع‌آوری‌شده، انجام می‌شود. روش یادشده نه تنها به هزینه و وقت بسیار زیادی نیاز دارد، بلکه سبب می‌شود که هیچ‌گاه نتوان از این طریق به یک مدیریت یکپارچه در زمینه کشاورزی رسید. بر اساس مطالعات صورت‌گرفته می‌توان گفت که یکی از کاربردهای مهم سنجش‌ازدور در کشاورزی، تعیین نوع محصولات و حدود دقیق مزارع به‌منظور دستیابی به تعیین سطح زیر کشت انواع محصولات کشاورزی است.

یکی از مفاهیمی که در تعریف و تشخیص فنولوژی گیاه استفاده می‌شود، بر پایه شناسایی نقاط بحرانی در روند NDVI فصلی بود. برای مثال، با شروع فصل بهار با استفاده از اطلاعات استخراج‌شده از فنولوژی می‌توان به چرخه رشد فصلی دست یافت، اما دیگر جزئیات را نمی‌توان بررسی کرد [۴]. بر اساس مطالعه‌ای که در شمال آمریکا بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ صورت گرفت، نشان داده شد که بررسی تغییرات فنولوژیکی گیاه به دلیل میزان زیاد تغییرات آن به خصوص در فصل بهار مستلزم این است که تغییرات فنولوژیکی با در نظر گرفتن تغییرات زمانی کامل و طولانی‌مدت بررسی شود [۳].

بندینی و همکارانش در سال ۲۰۱۶ برای تهیه نقشه محصولات کشاورزی در منطقه CERRADO کشور برزیل از تصاویر لندست ۸ استفاده کردند. آنها با استفاده از سری زمانی شاخص EVI پارامترهای فنولوژی را استخراج و در نهایت با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی، نقشه محصولات کشاورزی این منطقه را تهیه کردند [۲]. کار کاتوسکیت و همکارانش در سال ۲۰۱۷ شاخص‌های پوشش گیاهی را به‌منظور بررسی تغییرات فنولوژی بررسی و ارزیابی کردند. آنها دریافته‌اند که شاخص‌های NDVI و EVI در بین شاخص‌های گیاهی، برای استخراج پارامترهای فنولوژی همچون شروع و پایان فصل رشد مناسب‌ترند [۹].

استفاده از تغییرات فنولوژیکی گیاه تصاویر چندطیفی چندزمانی با حد تفکیک مکانی متوسط در محدوده دشت میان‌دوآب برای مدیریت صحیح منابع کشاورزی است.

مواد و روش‌ها

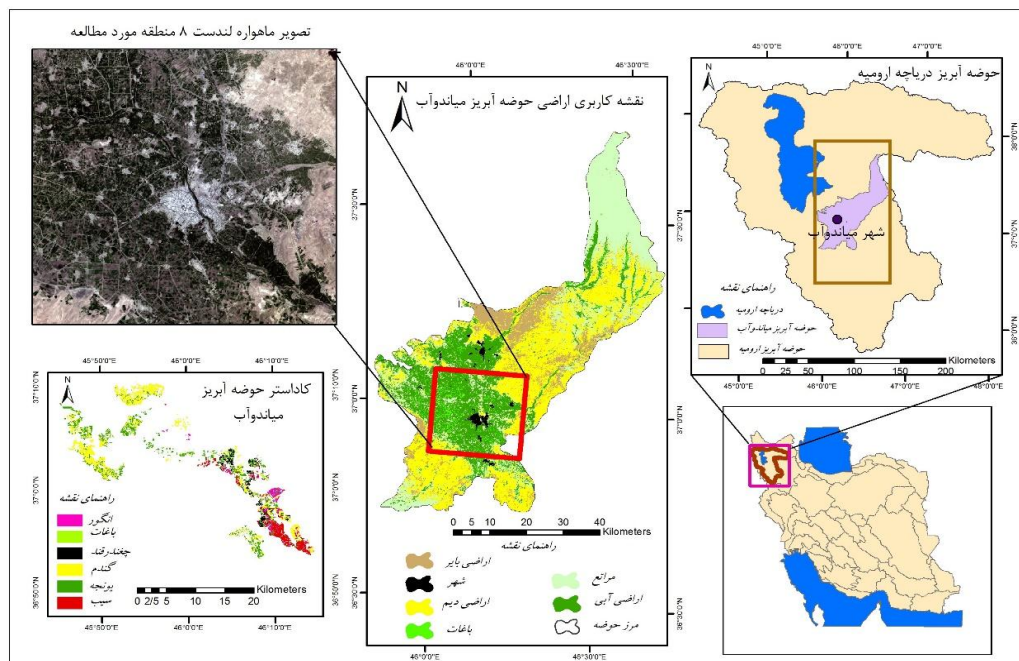
منطقه مطالعه شده

در تحقیق حاضر به علت اهمیت و سهم زیاد مصرف آب در بخش کشاورزی، دشت میان‌دوآب به‌عنوان منطقه مطالعه شده انتخاب شده است که بخشی از زیرحوضه زرینه‌رود را شامل می‌شود. دشت میان‌دوآب با وسعت ۴۳۸ هزار هکتار، بخش بزرگی از میان‌دوآب غربی را تشکیل می‌دهد که به دلیل وضعیت اقلیمی مناسب یکی از نواحی مناسب برای تولیدات کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. نبود اطلاعات پایه کشاورزی و نواقص داده‌های اقلیمی، فقدان چشم‌انداز در جنبه‌های مدیریت آب و تقاضا برای کشاورزی از مشکلات موجود در این منطقه است. از نظر موقعیت جغرافیایی، این محدوده در مختصات ۴۵ درجه و ۴۳ دقیقه و ۱۱ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه و ۴۲ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه و ۴۹ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲ ثانیه عرض شمالی واقع شده است.

از آنجا که هدف اصلی پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تهیه نقشه‌های موضوعی و کارآمد است، انتخاب روش مناسب طبقه‌بندی تأثیر زیادی در این امر دارد. محققان به منظور توسعه روش‌ها و تکنیک‌های پیشرفته طبقه‌بندی، برای بهبود دقت طبقه‌بندی، تلاش‌های وسیع و گسترده‌ای انجام داده‌اند که از جمله می‌توان به شبکه عصبی مصنوعی، طبقه‌بندی درختی و .. اشاره کرد [۱۰].

اوتاکا و بلاچک با استفاده از داده‌های لندست و روش پیکسل مینا، تغییرات کاربری اراضی با مقایسه الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان (SVMs)، درخت‌های تصمیم‌گیری (DTs) و طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC) را ارزیابی کردند که عملکرد درخت‌های تصمیم‌گیری (DTs) بهتر از دو روش دیگر بود [۱۱ و ۴].

دشت میان‌دوآب به دلیل وضعیت اقلیمی مناسب، یکی از نواحی مناسب برای تولیدات کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. نبود اطلاعات پایه کشاورزی و نواقص داده‌های اقلیمی، فقدان چشم‌انداز در جنبه‌های مدیریت آب و تقاضا برای کشاورزی از مشکلات موجود در این منطقه است. بر همین اساس، هدف اصلی مطالعه حاضر طبقه‌بندی محصولات کشاورزی و حدود دقیق مزارع کشاورزی با استفاده از سری زمانی داده‌های لندست ۸ و



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده

مجموعه داده‌های استفاده‌شده

داده‌های ماهواره‌ای

در ماهواره لندست ۸ از سنجنده‌هایی به نام‌های OLI و سنجنده مادون قرمز حرارتی استفاده شده است. این ماهواره در فوریه ۲۰۱۳ میلادی با موفقیت به فضا پرتاب شده است. این ماهواره نیز مانند سایر ماهواره‌های سری لندست به‌عنوان یک ماهواره سنجش‌ازدور است که قابلیت اخذ تصویر و داده از سطح سیاره زمین با توان تفکیک زمانی ۱۶ روز راه، به‌صورت زمین‌مرجع‌شده دارد. هر فریم تصویر به‌دست‌آمده از ماهواره لندست ۸ وسعت ۱۷۰ کیلومتر شمالی-جنوبی و ۱۸۳ کیلومتر شرقی-غربی دارد. با توجه به شرایط موجود در کشور و سطوح دسترسی به اطلاعات و داده‌های ماهواره‌ای، برای هدف یادشده فقط می‌شود از تصاویر نوری چندزمانی از تصاویر ماهواره‌ای لندست که قدرت تفکیک مکانی و زمانی مقبول و تقریباً زیادی نسبت به هدف مد نظر دارند و نیز دسترسی به آنها رایگان است، بهره برد. بنابراین، در مطالعه حاضر از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۷ با قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روز و تفکیک مکانی ۳۰

متر استفاده شد. در شکل ۲ تاریخ مربوط به اخذ تصاویر لندست ۸ در چهار سال بررسی‌شده نشان داده شده است.

داده‌های زمینی

داده‌های زمینی به‌منظور ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج در کنار داده‌های ماهواره‌ای، اهمیت زیادی دارند. داده‌های زمینی در مطالعه حاضر شامل اطلاعات مربوط به تقویم زراعی، نقاط برداشت‌شده زمینی و نقشه کاداستر به‌منظور طبقه‌بندی و ارزیابی نتایج طبقه‌بندی می‌شوند. در شکل ۳ تقویم عملیات زراعی محصولات عمده در محدوده مطالعاتی‌ای که به‌عنوان کلاس‌های اصلی در نظر گرفته شدند، ارائه شده است.

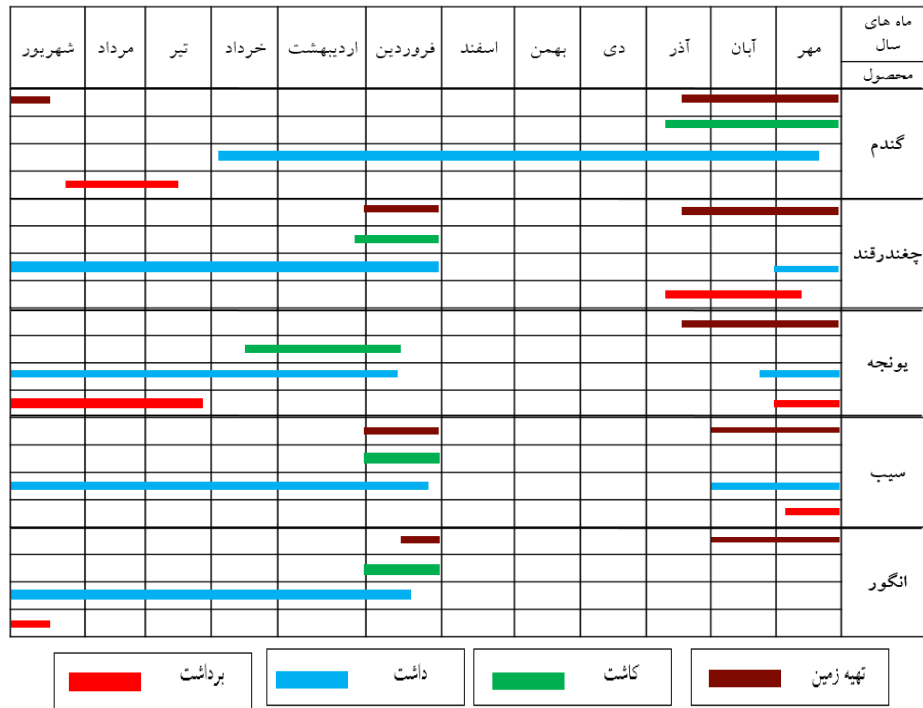
نقشه کاداستر منطقه مطالعه‌شده که روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ فراخوانی شده، در شکل ۴ نشان داده شده است.

نقاط برداشت‌شده زمینی مستخرج از سایت سامانه نوین آبیاری نیز به‌صورت شیب فایل نقطه‌ای درآمد، سپس این نقاط روی گوگل ارث فراخوانی شد که در شکل ۵ ارائه شده است.

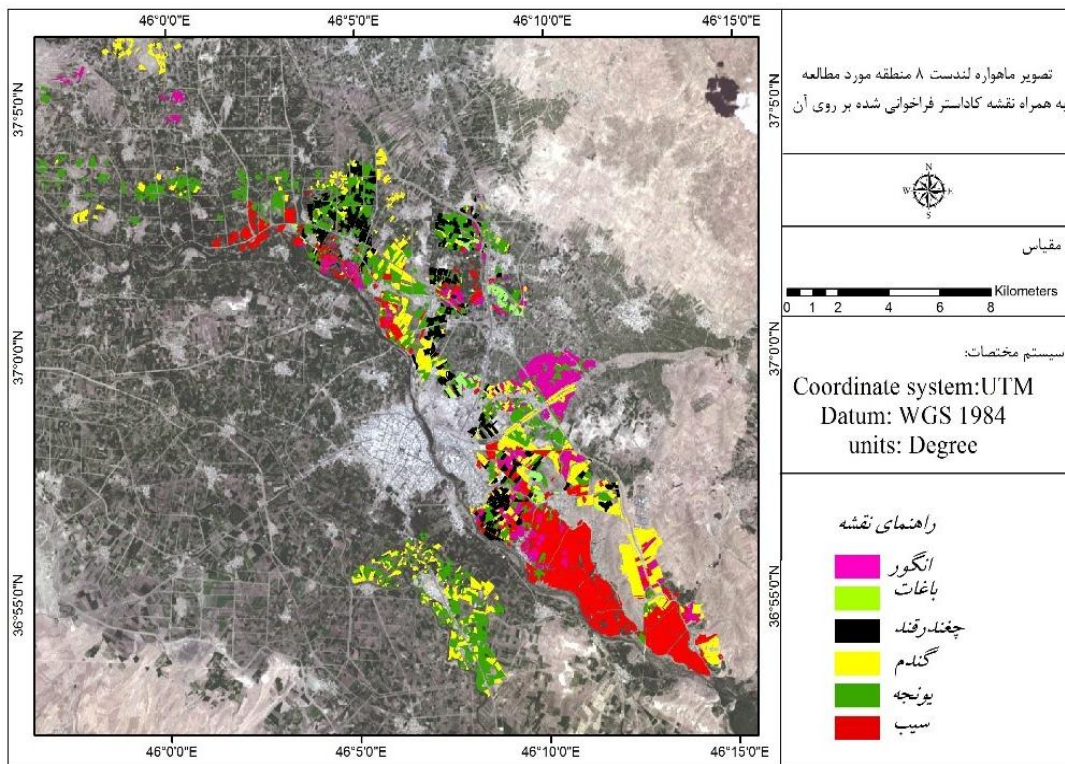
Day/month	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								

Legend	
2014	
2015	
2016	
2017	

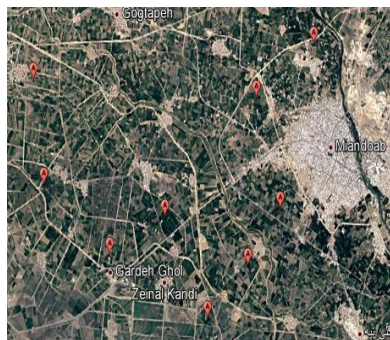
شکل ۲. تاریخ اخذ تصاویر لندست ۸



شکل ۳. تقویم عملیات زراعی محصولات بررسی شده محدود مطالعه‌ی میان‌دوآب



شکل ۴. نقشه کاداستر منطقه مطالعه شده



(۱-الف) موقعیت نقاط باغ‌های سیب
برداشت‌شده روی گوگل ارث



(۱-ب) موقعیت نقطه باغ سیب
برداشت‌شده روی گوگل ارث



(۱-ج) نمایی از باغ سیب در محدوده
مطالعاتی میان‌دوآب



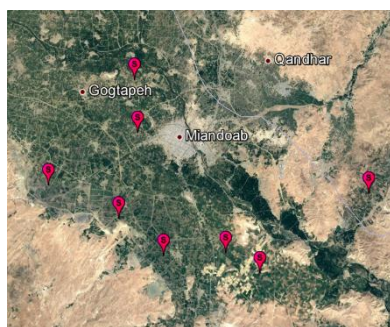
(۲-الف) موقعیت نقاط باغ‌های انگور
برداشت‌شده روی گوگل ارث



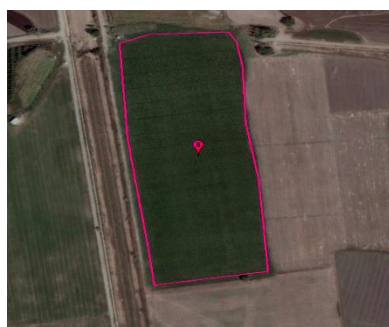
(۲-ب) موقعیت نقطه باغ انگور
برداشت‌شده روی گوگل ارث



(۲-ج) نمایی از باغ انگور در محدوده
مطالعاتی میان‌دوآب



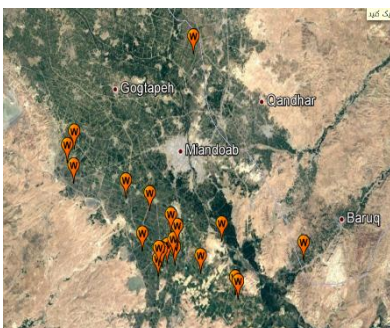
(۳-الف) موقعیت نقاط مزرعه چغندر قند
برداشت‌شده روی گوگل ارث



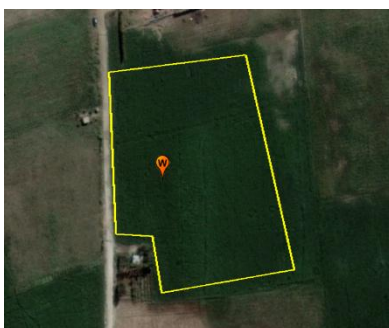
(۳-ب) موقعیت نقطه مزرعه چغندر قند
برداشت‌شده روی گوگل ارث



(۳-ج) نمایی از مزرعه چغندر قند در
محدوده مطالعاتی میان‌دوآب



(۴-الف) موقعیت نقاط مزرعه گندم
برداشت‌شده روی گوگل ارث



(۴-ب) موقعیت نقطه مزرعه گندم
برداشت‌شده روی گوگل ارث



(۴-ج) نمایی از مزرعه گندم در محدوده
مطالعاتی میان‌دوآب



۴-الف) موقعیت نقاط مزرعه یونجه برداشت‌شده روی گوگل ارث



۴-ب) موقعیت نقطه مزرعه یونجه برداشت‌شده روی گوگل ارث



۴-ج) نمایی از مزرعه یونجه در محدوده مطالعاتی میان‌دوآب



۵-الف) موقعیت نقاط باغ‌های میوه برداشت‌شده روی گوگل ارث



۵-ب) موقعیت نقطه باغ‌های میوه برداشت‌شده روی گوگل ارث



۵-ج) نمایی از باغ‌های میوه در محدوده مطالعاتی میان‌دوآب

شکل ۵. نقاط برداشت‌شده زمینی مستخرج از سامانه آبیاری نوین

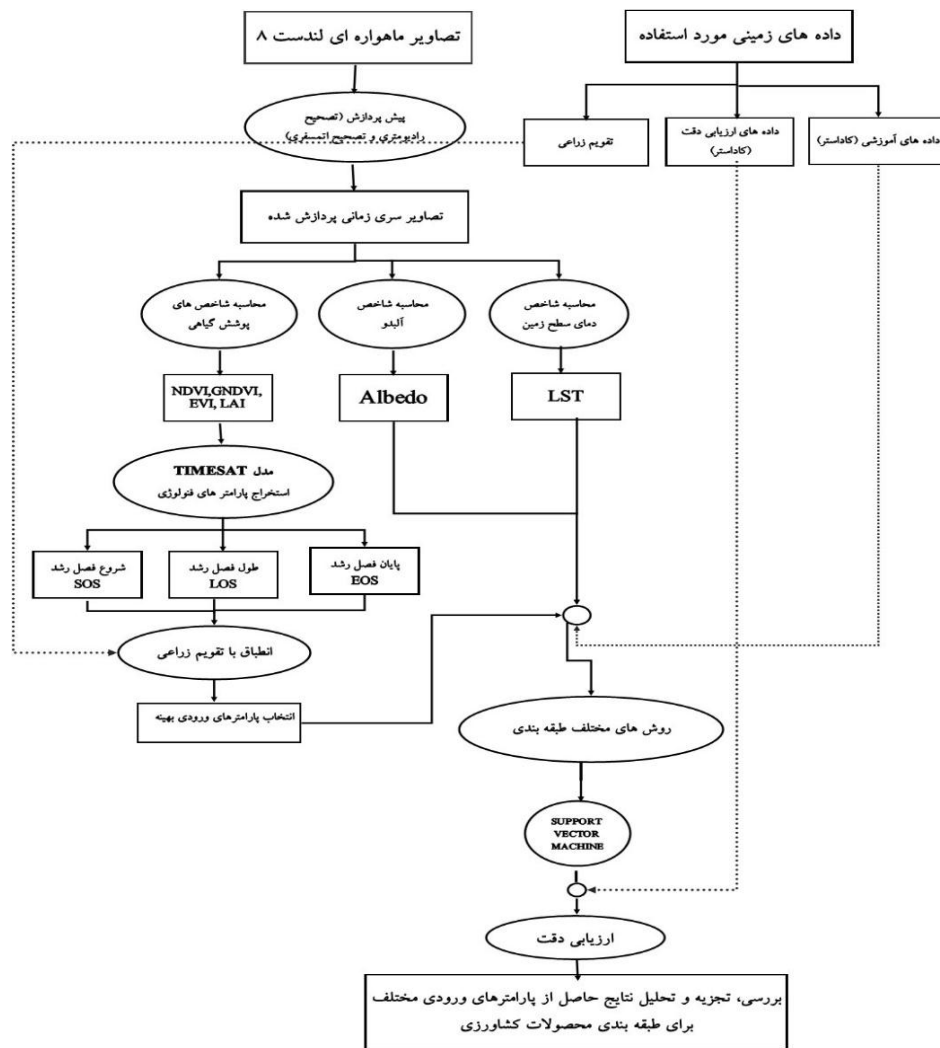
محاسبه شاخص‌های طیفی

ابتدا تصحیح رادیومتریکی و اتمسفری روی تصاویر لندست ۸ اعمال شد. سپس، شاخص‌های طیفی تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI^۱)، پوشش گیاهی بارزسازی‌شده (EVI^۲)، شاخص سطح برگ (LAI^۳)، تفاضل نرمال‌شده سبزیگی پوشش گیاهی (GNDVI^۴)، آلبدو (ALBEDO) و دمای سطح زمین (LST^۵) محاسبه و درنهایت روند تغییرات محصولات در این شاخص‌ها بررسی شد.

روش انجام کار

فلوچارت روند اجرای کلی تحقیق در شکل ۶ نشان داده شده است. در مطالعه حاضر سعی شده است با استفاده از تصاویر سری زمانی، محصولات کشاورزی منطقه مطالعه‌شده را تشخیص داد و طبقه‌بندی کرد. این هدف طی چندین مرحله قابل دستیابی است، برای این کار ابتدا تصاویر سری‌های ماهواره‌ای لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر دانلود و پردازش شدند. با استفاده از تصاویر لندست ۸ برای سال‌های بررسی‌شده شاخص‌های مختلفی محاسبه شد. سپس، پارامترهای کلیدی فنولوژی از طریق مدل TIMESAT استخراج شد. درنهایت، با استفاده از الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی، محصولات کشاورزی منطقه مطالعه‌شده طبقه‌بندی شدند. به‌منظور آموزش و ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده، از داده‌های زمینی (کاداستر و دیگر نقاط برداشت‌شده) موجود در منطقه استفاده شد.

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Enhanced Vegetation Index
3. Leaf Area Index
4. Green Normalized Difference Vegetation Index
5. Land Surface Temperature



شکل ۶. فلوچارت گردش کار تحقیق

جدول ۱. شاخص‌های طیفی محاسبه‌شده با استفاده از تصاویر لندست ۸

شاخص‌های بررسی شده	معادله شاخص‌ها
شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)	$NDVI = \frac{\rho(NIR) - \rho(R)}{\rho(NIR) + \rho(R)}$
شاخص پوشش گیاهی بازسازی شده (EVI)	$EVI = \left(\frac{P_{NIR}^* - P_{RED}^*}{P_{NIR}^* + C_1 P_{RED}^* - C_2 P_{BLUE}^* + 1} \right)_{1+L}$
شاخص سطح برگ (LAI)	$LAI = - \frac{\ln \left(\frac{0.69 - SAVI_{ID}}{0.59} \right)}{0.91}$
آلبدو (Albedo)	$\alpha = \frac{(\alpha_{toa} - \alpha_{atm})}{\tau_{\infty}^2}$
دمای سطح زمین (LST)	$L_{sensor,\lambda} = [\varepsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T_s) + (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{atm,\lambda}^{\downarrow}] \tau_{\lambda} + L_{atm,\lambda}^{\uparrow}$

مدل TIMESAT

از آنجا که سری زمانی شاخص‌های گیاهی به دست آمده از اندازه‌گیری طیفی ماهواره‌ای می‌تواند برای تعیین اطلاعات لازم در زمینه تغییرات فصلی پوشش گیاهی استفاده شود، از این اطلاعات برای تجزیه و تحلیل ویژگی‌های ساختاری و عملکردی پوشش اراضی استفاده می‌شود. امروزه، تعداد محدودی از روش‌ها برای کشف و استخراج تغییرپذیری داده‌های سری زمانی موجود است. یکی از این مدل‌ها، TIMESAT است که برای استخراج پارامترهای نوسانی ابداع شده است. سه روش موجود در TIMESAT بر اساس حداقل مربعات برازش و بیشترین ارزش عددی شاخص گیاهی انجام می‌شود. روش نخست بر پایه توابع چندجمله‌ای محلی است که این روش به عنوان فیلتر انطباقی ساویچکی-گولای شناخته شده است. در واقع، نوعی فیلتر رقومی است که می‌تواند روی مجموعه‌ای از نقاط به منظور هموار کردن داده‌ها به کار گرفته شود. دو روش دیگر گوسین نامتقارن^۱ و لجستیک دابل^۲، اطلاعات را با توابع غیرخطی پیچیده برازش می‌دهند. هر سه روش پردازش استفاده از یک تعریف مقدماتی از فصل رویشی واقعی (unimodal یا bimodal) همراه با زمان تقریبی فصل رشد است.

بر اساس مطالعات صورت گرفته [۸] برای سری زمانی ناهموار (با نوسانات زیاد) روش ساویچکی-گولای بعضی مواقع نتایج مطلوبی ارائه نمی‌دهد. در این مواقع برازش به مدل لجستیک دابل یا گوسی نامتقارن احتمال بیشتری خواهند داشت. به همین منظور، برای تمامی شاخص‌های گیاهی محصولات بررسی شده در مطالعه حاضر از مدل لجستیک دابل که تابع پایه آن در معادله ۱ آمده، استفاده شد.

$$g(t; x_1, \dots, x_r) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{x_1 - t}{x_r}\right)} - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{x_r - t}{x_r}\right)} \quad (1)$$

الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های جدیدی است که برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی استفاده می‌شود [۹]. هدف از روش ماشین‌های بردار پشتیبان، یافتن ابرصفحه‌ای است که بتواند به بهترین صورت دو کلاس متمایز را از یکدیگر جدا کند. حال با توجه به

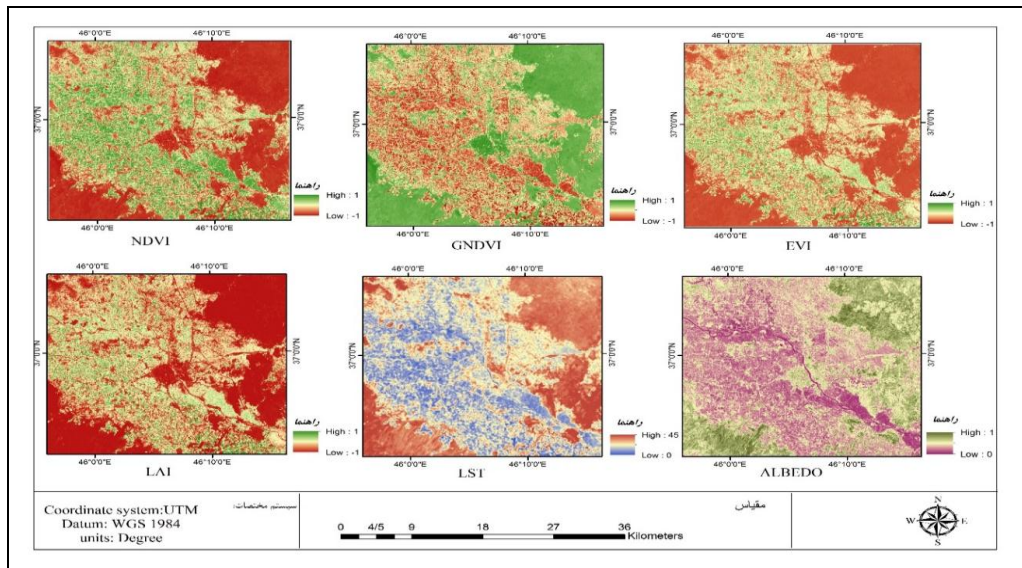
تفکیک‌پذیر بودن کلاس‌ها به صورت خطی یا غیرخطی، چگونگی طبقه‌بندی داده‌ها و یافتن ابر صفحه توسط این الگوریتم متفاوت خواهد بود. الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان در اواخر دهه هفتاد میلادی توسط Vapnic و به عنوان طبقه‌بندی کننده دودویی ارائه شد، اما در دهه‌های اخیر، به این الگوریتم توجه بیشتری شده است. به گونه‌ای که امروزه جزء الگوریتم‌های پرکاربرد برای طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دوری محسوب می‌شود. دلیل اصلی گسترش استفاده از این روش و نتایج مطلوب آن در مقایسه با دیگر طبقه‌بندی کننده‌ها، استفاده الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان از ویژگی‌های هندسی داده‌های آموزشی به جای ویژگی‌های آماری آنهاست. ماشین‌های بردار پشتیبان ویژگی‌هایی دارند: نخستین ویژگی آنها قابلیت تعمیم زیاد است. ماشین‌های بردار پشتیبان برای جداسازی نمونه‌هایی که به دو کلاس مختلف تعلق دارند، از یک ابرصفحه با حاشیه بیشینه استفاده می‌کنند که به آن ابرصفحه تصمیم‌گیری بهینه گفته می‌شود. متغیر کمکی دومین ویژگی این الگوریتم است، به این ترتیب که وقتی داده‌ها به صورت خطی قابل جداسازی نیستند، ماشین‌های بردار پشتیبان این قید را با استفاده از متغیر کمکی برای هر نمونه در نظر می‌گیرند. فضای ویژگی از دیگر خصوصیات آن است: ماشین‌های بردار پشتیبان با تبدیل داده‌ها از فضای RN به فضای ویژگی با ابعاد RF که در آن $N < H$ یک تابع تصمیم‌گیری غیرخطی ایجاد می‌کنند که در فضای ویژگی به دست آمده از آن، به صورت خطی قابل جدا شدن هستند. در نهایت، اینکه تنها بردارهای پشتیبان در ساخت ابرصفحه نقش دارند. همچنین، روش یادشده با نمونه‌های تعلیمی کوچک نیز می‌تواند دقت تصویر کلاس‌بندی شده خوبی ارائه دهد و این مزیت سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت کار می‌شود (Gaultieri, 1998).

یافته‌های تحقیق

شاخص‌های طیفی محاسبه شده

در برخی مطالعات از شاخص‌های متنوع گیاهی برای استخراج پارامترهای فنولوژی استفاده شده است. در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی اینکه کدامیک از شاخص‌های گیاهی می‌تواند برای این منظور کارآمدتر باشند، شش شاخص بررسی شدند. به این صورت که برای سری زمانی چهار سال بررسی شده

1. Assymetric Gaussian
2. Double Logistic
3. Support Vector Machine



شکل ۷. شاخص‌های محاسبه‌شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸

نوبت در سال کاشت و برداشت می‌شود، بنابراین روند تغییرات مربوط به رشد آن می‌تواند در سال کاملاً متغیر باشد. گندم نیز از اوایل ماه ژوئن (خرداد) وارد مرحله‌ی سبز شدن می‌شود و تا اواخر جولای (مرداد) به بیشترین رشد خود در سال می‌رسد. روند چغندر قند به گونه‌ای است که دوره‌ی رشد طولانی‌تری نسبت به دیگر محصولات زراعی دارد. بررسی روند تغییرات محصولات کشاورزی در شاخص ALBEDO نشان می‌دهد محصولات باغی مقدار آلبدوی کمتری نسبت به محصولات زراعی داشتند. به ترتیب محصولات یونجه، چغندر قند و گندم در زمان‌هایی که کمترین رشد را دارند، در همان زمان‌ها بیشترین مقدار ALBEDO را به خود اختصاص داده‌اند. دلیل اصلی کم شدن آلبدو با افزایش رشد این است که با افزایش سبزی‌نگی و وجود کلروفیل در گیاهان مقدار زیادی از تابش ورودی توسط گیاه جذب و میزان بازتاب به‌طور درخو توجهی کاهش پیدا می‌کند و این امر در زمان‌های مربوط به زمان‌های اولیه‌ی رشد گیاه و زمان برداشت آن کاملاً معکوس است. با تحلیل نتایج LST می‌توان به این نتیجه دست یافت که دمای سطح زمین در محصولات زراعی به دلیل اینکه تاج پوشش کمی دارند و تبخیر و تعرق کمتری در آنها نسبت به محصولات باغی صورت می‌گیرد، بیشتر است. نکته‌ی دیگر اینکه نقاط پیک دمایی در محصولات منطبق با زمان برداشت این محصولات بود. شکل‌های ۸ تا ۱۳ روند تغییرات هر محصول در یک دوره‌ی کشت سال ۲۰۱۴ در شش شاخص موجود در منطقه‌ی مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

(۲۰۱۴-۲۰۱۷) شاخص‌های طیفی برای دوره‌ی کشت (هفت ماه) این سال‌ها محاسبه شد. در شکل ۷ شاخص‌های طیفی که برای روز بیست و نهم جولای ۲۰۱۴ با استفاده از تصاویر لندست ۸ محاسبه شده، نشان داده شده است.

بررسی روند تغییرات در شاخص‌های طیفی

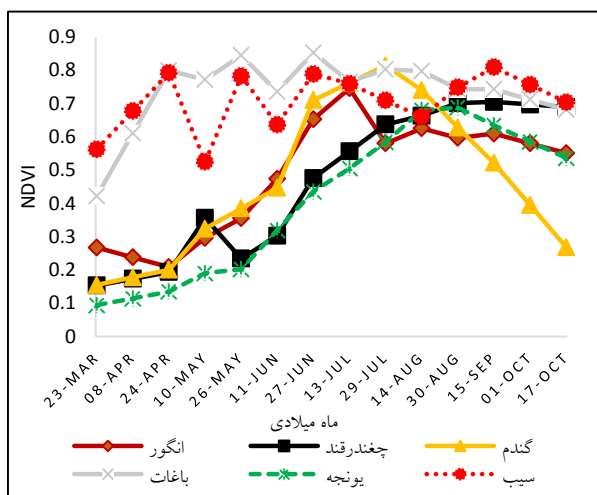
با استفاده از مختصات نقاط زمینی موجود، روند تغییرات هر محصول به تفکیک در شاخص‌های محاسبه‌شده بررسی شد. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، محصولات کشاورزی غالب منطقه شامل سیب، انگور، یونجه، گندم، چغندر قند و باغ‌های متنوع می‌شوند. روند تغییرات کلاس باغ‌ها و محصول سیب به یکدیگر نزدیک بوده و با توجه به اینکه محصولات یادشده از نوع درختی بوده و در دوره کشت سبزی‌نگی زیادی دارند، بنابراین نسبت به دیگر محصولات مقادیر بیشتری در شاخص‌های گیاهی بررسی شده دارند. همچنین، اینکه شرایط متنوعی از لحاظ تولید برگ، گلدهی و تولید میوه دارند، طی دوره‌ی رشد خود از پیک‌های بیشتری برخوردار بودند. در روند تغییرات باغ‌های انگور پیک‌های متنوعی دیده نمی‌شود و بیشترین رشد آن در ماه جولای اتفاق می‌افتد. همچنین، طبق نمودار ترسیم‌شده برای انگور، برداشت این محصول در اواخر ماه اوت (شهریور) صورت می‌گیرد. درباره‌ی محصولات زراعی همچون یونجه بیشترین رشد آن در اواخر ماه اوت (شهریور) اتفاق می‌افتد، شایان یادآوری است که یونجه از جمله محصولاتی است که در منطقه‌ی مطالعه‌شده دو تا سه

به‌دست‌آمده از مدل TIMESAT با تقویم زراعی محصولات، کارآمدترین شاخص در بین شاخص‌های گیاهی انتخاب شد. بررسی نتایج به‌دست‌آمده از مدل TIMESAT نشان‌دهنده این موضوع است که نتایج چهار شاخص گیاهی بررسی‌شده بسیار به هم نزدیک بوده و در این بین دو شاخص GNDVI و EVI نتایج مشابه‌تری داشتند. ولی از آنجا که پارامترهای فنولوژی شاخص GNDVI قربت بیشتری با تقویم زراعی محصولات کشاورزی بررسی‌شده داشت، این شاخص کارآمدتر از دیگر شاخص‌هاست.

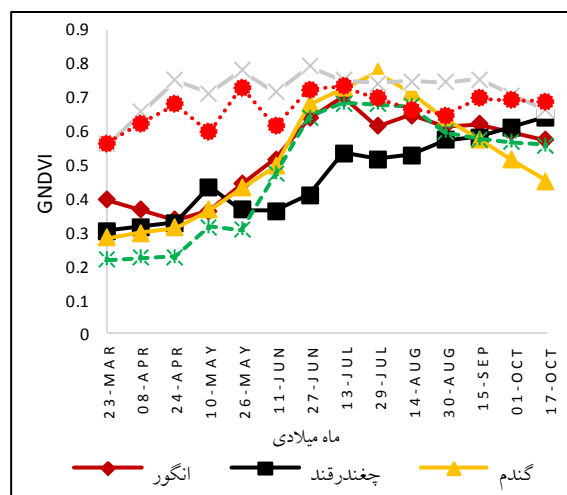
روند تغییرات فنولوژیکی محصولات بررسی‌شده با استفاده از مدل TIMESAT در شکل‌های ۱۴ تا ۱۹ نشان داده‌اند.

بررسی نتایج به‌دست‌آمده از مدل TIMESAT

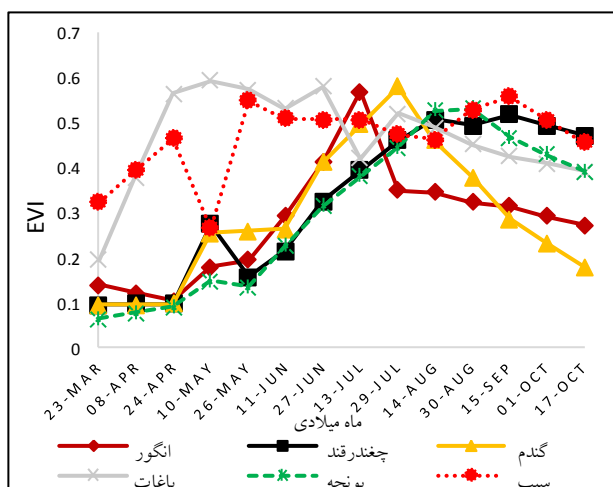
روند تغییرات فنولوژیکی محصولات بررسی‌شده با تمرکز بیشتر روی پارامترهایی همچون نقاط شروع فصل، پایان فصل و طول فصل محصولات، از مدل TIMESAT به دست آمد. سپس، نتایج آن با تقویم زراعی محصولات انطباق داده شد. از آنجا که مدل TIMESAT، قادر به تشخیص n-1 فصول است و با توجه به اینکه داده‌های سری زمانی مطالعه حاضر مربوط به چهار سال (۲۰۱۴-۲۰۱۷) بود، بنابراین مدل قادر به تعیین سه فصل یا دوره کشت بود که با توجه به داده‌های زمینی در دسترس در مطالعه حاضر نتایج به‌دست‌آمده از فصل اول استفاده شد. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از عملکرد شاخص‌ها و انطباق خروجی‌های



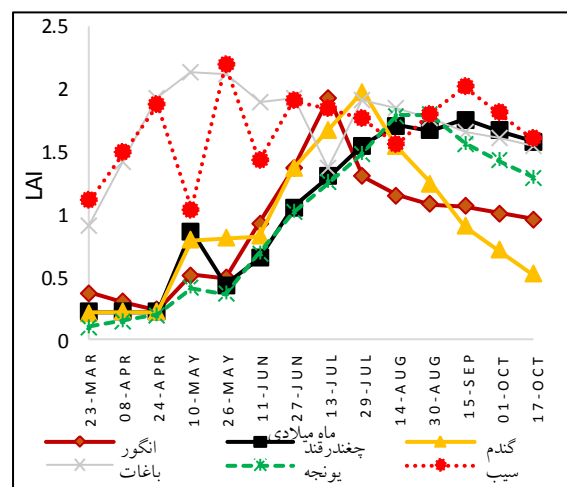
شکل ۹. روند تغییرات NDVI محصول در دوره کشت سال ۲۰۱۴



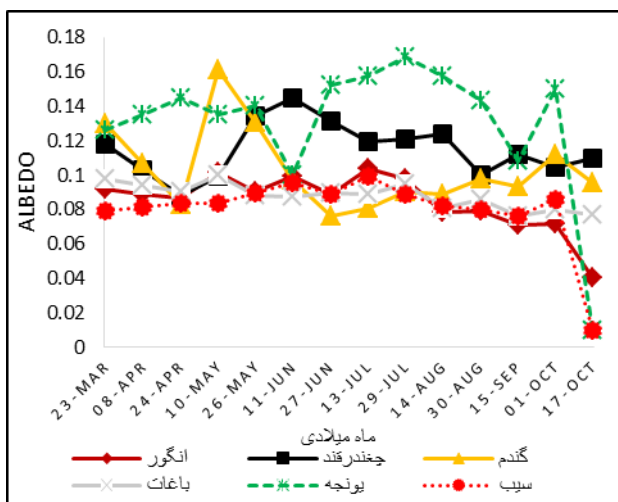
شکل ۸. روند تغییرات GNDVI محصولات در دوره کشت سال ۲۰۱۴



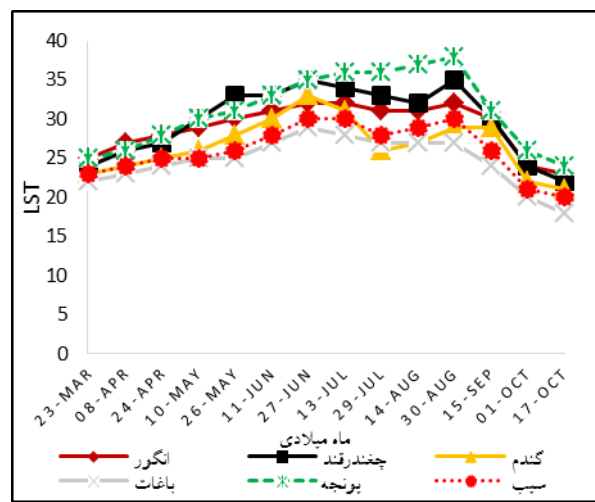
شکل ۱۱. روند تغییرات EVI محصولات در دوره کشت سال ۲۰۱۴



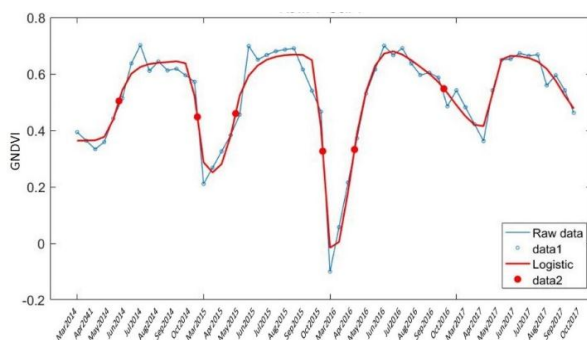
شکل ۱۰. روند تغییرات LAI محصولات در دوره کشت سال ۲۰۱۴



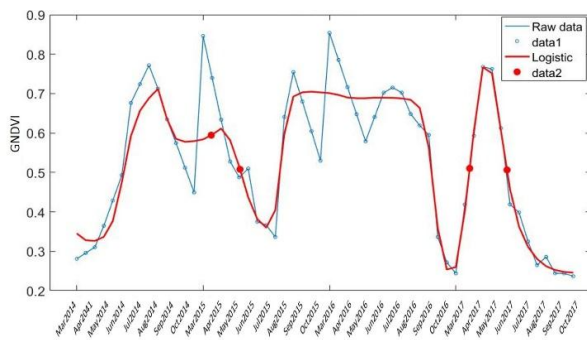
شکل ۱۳. روند تغییرات ALBEDO محصولات در دوره کشت سال ۲۰۱۴



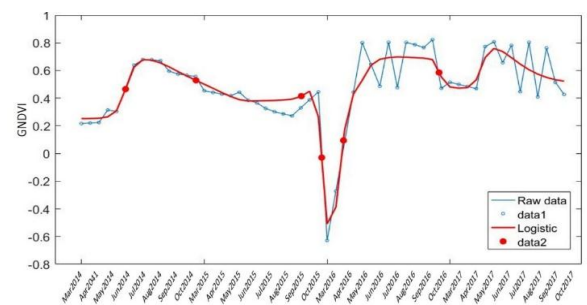
شکل ۱۴. روند تغییرات LST محصولات در دوره کشت سال ۲۰۱۴



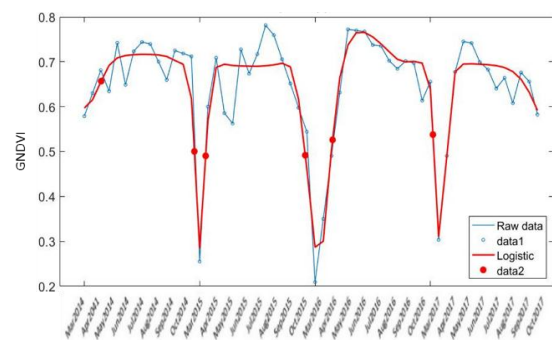
شکل ۱۵. سری زمانی شاخص طیفی GNDVI محصول انگور



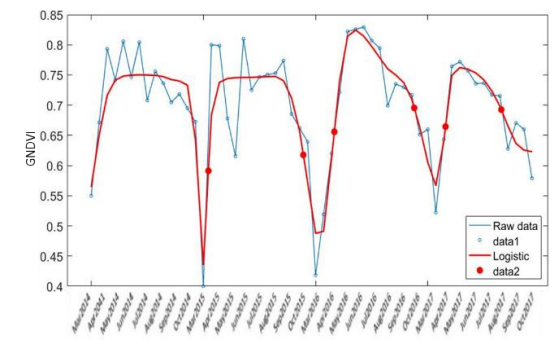
شکل ۱۷. سری زمانی شاخص طیفی GNDVI محصول گندم



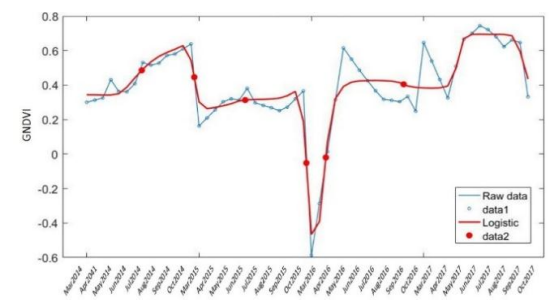
شکل ۱۹. سری زمانی شاخص طیفی GNDVI محصول یونجه



شکل ۱۴. سری زمانی شاخص طیفی GNDVI محصول سیب



شکل ۱۶. سری زمانی شاخص طیفی GNDVI محصول باغها



شکل ۱۸. سری زمانی شاخص طیفی GNDVI محصول چغندر قند

جدول ۲. پارامترهای فنولوژی استخراج شده از مدل TIMESAT برای محصولات مختلف

تاریخ پایان فصل EOS (میلادی)	تاریخ بیشترین مقدار محصول (میلادی)	تاریخ شروع فصل SOS (میلادی)	محصولات بررسی شده	پارامتر ورودی مدل TIMESAT
۱ اکتبر ۲۰۱۴	۳۰ اوت ۲۰۱۴	۱۰ می ۲۰۱۴	انگور	GNDVI
۱ اکتبر ۲۰۱۴	۲۹ جولای ۲۰۱۴	۸ آوریل ۲۰۱۴	سیب	
۱۹ ژوئن ۲۰۱۷	۱۸ می ۲۰۱۷	۱۶ آوریل ۲۰۱۷	گندم	
۳۰ اوت ۲۰۱۴	۲۷ ژوئن ۲۰۱۴	۸ آوریل ۲۰۱۴	باغ‌ها	
۱ اکتبر ۲۰۱۴	۲۹ جولای ۲۰۱۴	۱۱ ژوئن ۲۰۱۴	یونجه	
۱۷ اکتبر ۲۰۱۴	۱۵ سپتامبر ۲۰۱۴	۲۷ ژوئن ۲۰۱۴	چغندر قند	

روز برداشت خواهند شد. نخستین چین یونجه در محدوده مطالعاتی میان‌دوآب حدود اوایل تیرماه و چین آخر در اوایل مهرماه برداشت می‌شود.

گندم یک محصول پاییزه است که زمان مربوط به عملیات تهیه زمین آن از اوایل شهریور تا اواسط مهرماه طول خواهد کشید. تاریخ کاشت این محصول دهم تا سیام مهرماه است. بهترین زمان برداشت گندم مرحله‌ای است که دانه‌ها حدود ۱۴ درصد رطوبت دارند. این مرحله در منطقه مطالعاتی بسته به تاریخ کاشت، برای گندم از حدود اوایل تیرماه آغاز خواهد شد.

چغندر قند به‌عنوان یک محصول بهاره است که زمان عملیات تهیه زمین آن از اوایل اسفند تا دهه دوم فروردین است. تاریخ کاشت آن بیستم تا سیام فروردین‌ماه است. برداشت چغندر قند زمانی آغاز می‌شود که برگ‌های پیر به زردی گراییده و رشد برگ‌های جوان داخل بوته کند شود (کاهش رشد اندام‌های هوایی). در محدوده میان‌دوآب، تاریخ برداشت چغندر قند در نیمه دوم شهریورماه برنامه‌ریزی شده است.

با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از مدل TIMESAT و بررسی روند فنولوژی برای پنج محصول مد نظر در مطالعه حاضر می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که هر گیاه در زمان‌های خاصی طی دوره رشد خود بیشترین تغییرات را دارد که این تغییرات در سه بازه زمانی (زمان حد) یعنی ابتدای فصل که در مطالعه حاضر ۸ آوریل و ۱۰ می است، زمانی که گیاه به بیشترین رشد خود رسیده (۲۷ ژوئن و ۳۰ اوت) و زمان پایان فصل (۱۸ سپتامبر و ۱ اکتبر) بیشتر از دیگر زمان‌های دوره رشد گیاه محسوس‌ترند.

نتایج به‌دست‌آمده از مدل TIMESAT که از شاخص GNDVI استخراج شده، در جدول ۲ آمده است. تاریخ شروع فصل تشخیص داده‌شده توسط مدل معمولاً بنا به محصول بررسی شده یک یا دو ماه دیرتر از تاریخ کشت است که کاملاً منطقی به نظر می‌رسد.

بر اساس جدول تقویم عملیات زراعی، عملیات مربوط به تهیه زمین انگور از اوایل مهر تا اواخر آبان است. تاریخ کشت این محصول فروردین‌ماه است و برداشت آن در نیمه دوم شهریورماه انجام می‌شود. تقویم زراعی سیب و انگور که در دسته محصولات باغی قرار می‌گیرند، بسیار به هم نزدیک‌اند. عملیات مربوط به تهیه زمین سیب از اوایل مهر تا اواخر آبان است. تاریخ کشت این محصول فروردین‌ماه است و برداشت آن، یکم تا بیست مهرماه انجام می‌شود. تقویم زراعی محصولات باغی که شامل باغ‌های آلو، آلبالو و... در منطقه مطالعه‌شده است شبیه باغ‌های سیب بوده و بسیار به هم نزدیک‌اند. به‌گونه‌ای که عملیات مربوط به تهیه زمین آنها نیز مانند سیب از اوایل مهر تا اواخر آبان است. تاریخ کشت این محصولات فروردین‌ماه است و برداشت آنها، یکم تا بیستم مهرماه انجام می‌شود.

یونجه به‌عنوان یک محصول بهاره- پاییزه شناخته شده که عملیات مربوط به تهیه زمین آن از اوایل اسفند تا ۱۵ فروردین است. تاریخ کشت این محصول یکم تا بیستم فروردین‌ماه است. برداشت یونجه در هر چین زمانی انجام خواهد شد که حدود ۱۰ درصد مزرعه به گل رفته است. عملیات برداشت این محصول شامل سه مرحله برش، جمع‌آوری و بسته‌بندی می‌شود. یونجه در محدوده مطالعاتی سه چین خواهد داشت که با فاصله حدود ۴۵

برای انجام فرایند طبقه‌بندی، نه کلاس گندم، یونجه، چغندر قند، سیب، انگور، کلاس باغ‌ها، آب، شهر و خاک، بر اساس نقاط مرجع زمینی مستخرج از سامانه نوین آبیاری و همچنین کاداستر موجود منطقه مطالعه شده تعریف شدند. در نهایت، تصاویر مد نظر با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM) طبقه‌بندی شدند. دلیل انتخاب روش طبقه‌بندی یاد شده این است که با نمونه‌های تعلیمی کوچک نیز می‌توان دقت تصویر کلاس‌بندی شده خوبی ارائه داد و این مزیت سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت کار می‌شود (Gaultieri, 1998). البته شایان یادآوری است که دیگر روش‌های طبقه‌بندی بررسی شدند و با توجه به اینکه این روش از بیشترین درصد دقت نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار بود، بنابراین از ارائه دیگر روش‌ها صرف نظر شد. به منظور صحت‌سنجی نتایج به دست آمده، از داده‌های زمینی موجود استفاده شد و از نمونه‌های برداشت شده، به منظور اعتبارسنجی دقیق نقشه تولید شده استفاده شده است. در مجموع، تعداد نقاط استفاده شده در طبقه‌بندی ۱۱۸۵۰ نقطه بود که ۵۰ درصد آنها به عنوان داده آموزشی و ۵۰ درصدشان نیز برای اعتبارسنجی استفاده شد.

نقشه‌های محصولات کشاورزی منطقه مطالعه شده شامل کلاس‌های انگور، سیب، یونجه، گندم، باغ‌ها، چغندر قند، آب، خاک و شهر تهیه شده از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با در نظر گرفتن ورودی‌های متفاوت در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ نشان داده شده است. همچنین، نتایج به دست آمده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان در جدول ۴ خلاصه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با دقت کلی ۹۲ درصد و کاپای ۰/۹۱ در صورتی که در فرایند طبقه‌بندی از ترکیب باندها، شاخص‌های گیاهی GNDVI و شاخص ALBEDO, LST در زمان‌های بهینه استفاده شود، بیشترین دقت را در تفکیک کردن محصولات کشاورزی به همراه دارد.

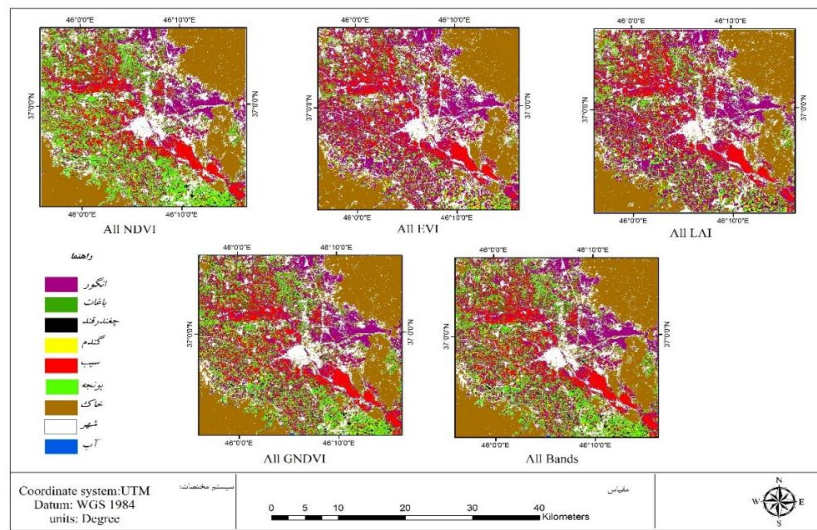
بنابراین، در روند طبقه‌بندی گیاه می‌توان به جای اینکه تمامی داده‌های سری زمانی که روند رشد گیاه را بررسی می‌کند، به منظور بهینه‌سازی پارامترهای ورودی فقط از داده‌های مربوط به این سه زمان بهره برد. این امر نه تنها سبب زیاد کردن سرعت و عملیات طبقه‌بندی می‌شود، بلکه بهبود در نتایج طبقه‌بندی را نیز در پی دارد. بهینه‌ترین زمان‌های موجود در داده‌های سری زمانی مطالعه حاضر که از تحلیل نتایج به دست آمده از مدل TIMESAT برای هر محصول به دست آمد، در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. بهینه‌ترین زمان‌ها به منظور تفکیک محصولات کشاورزی در فرایند طبقه‌بندی

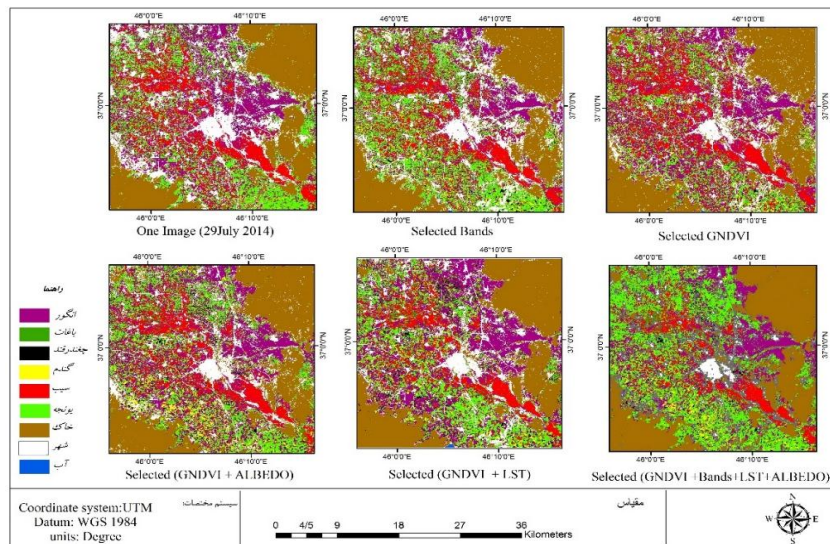
۳۰ اوت ۲۰۱۴	۸ آپریل ۲۰۱۴
۱۸ سپتامبر ۲۰۱۴	۱۰ می ۲۰۱۴
۱۱ اکتبر ۲۰۱۴	۲۷ ژوئن ۲۰۱۴

بحث و نتیجه‌گیری

ابتدا بدون در نظر گرفتن نتایج مدل و زمان‌های بهینه به دست آمده از مدل، روی تمامی شاخص‌های محاسبه شده در کل دوره رشد الگوریتم طبقه‌بندی پیاده‌سازی شد. همان‌طور که پیش‌تر بر اساس نتایج خاص از مدل TIMESAT گفته شد که شاخص GNDVI کارآمدتر از دیگر شاخص‌ها بود، در فرایند طبقه‌بندی این امر دوباره اثبات شد و نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی سری زمانی شاخص GNDVI با داشتن دقت کلی ۹۰ و ضریب کاپای ۰/۸۸ دقت بیشتری نسبت به دیگر شاخص‌ها و ورودی‌ها داشت. بنابراین، این شاخص به منظور شاخص ورودی الگوریتم طبقه‌بندی انتخاب شد. نتایج طبقه‌بندی با پیاده‌سازی روی داده‌های کامل سری زمانی و اعمال کردن این طبقه‌بندی فقط روی داده‌های مربوط به زمان‌های بهینه تنها یک درصد با هم تفاوت داشتند. بنابراین، به منظور زیاد کردن سرعت عملیات پردازش می‌توان فقط از داده‌های بهینه به عنوان پارامترهای ورودی الگوریتم طبقه‌بندی استفاده کرد. به منظور بالا بردن سطح دقت در فرایند طبقه‌بندی، علاوه بر اطلاعات مربوط به فیزیولوژی گیاه که از شاخص گیاهی استخراج می‌شود، از ترکیب دیگر شاخص‌های اپتیکی و حرارتی همچون شاخص آلبدو و شاخص دمای سطح زمین در تاریخ‌های بهینه استفاده شد.



شکل ۲۰. نقشه محصولات کشاورزی تهیه شده با استفاده پارامترهای ورودی مختلف با استفاده از روش SVM



شکل ۲۱. نقشه محصولات کشاورزی تهیه شده با استفاده پارامترهای ورودی مختلف با استفاده از روش SVM

جدول ۴. دقت نقشه‌های تولید شده با استفاده از پارامترهای ورودی مختلف با استفاده از روش SVM

ضریب کاپا	دقت کل	پارامترهای ورودی	روش‌ها با الگوریتم
۰/۶۶	۷۰	One Image (29 July2014)	
۰/۸۷	۸۸	All bands	
۰/۸۷	۸۶	Selected Bands	
۰/۸۶	۸۷	All NDVI	
۸۰	۸۵	All EVI	
۸۰	۸۵	All LAI	SVM
۰/۸۸	۹۰	ALL GNDVI	
۰/۸۷	۸۹	Selected GNDVI	
۰/۸۹	۹۱	Selected (GNDVI + ALBEDO)	
۰/۸۹	۹۱	Selected (GNDVI + LST)	
۰/۹۱	۹۲	Selected (GNDVI + Band +LST+ALBEDO)	

چراکه در بعضی مناطق با تغییر الگوی کشت می‌توان بهره‌برداری متناسب از اراضی بر اساس ظرفیت تولید هر منطقه داشت و توجه ویژه به تولید محصولات اساسی برای امنیت غذایی در بخش کشاورزی با توجه به وضعیت آب استفاده‌شده گیاه صورت گیرد.

منابع

- [1]. Asadi Rashd e. Mirbaghari, V. Abkar, A. "Estimation of yield of wheat in Ghazvin plain using leaf area index produced from satellite images", IRS Geomatics conference, 2008. [Persian]
- [2]. Bendini, H., Sanches, I. D., Körting, T. S., Fonseca, L. M. G., Luiz, A. J. B., and Formaggio, A. R. " Using Landsat 8 Image Time Series for Crop Mapping in a Region of Cerrado, Brazil", , The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B8 , 2016.
- [3]. Blaes, X., P. Defourny, U. Wegmuller, A. Della Vecchia, L. Guerriero, and Ferrazzoli, P., C-band polarimetric indexes for maize monitoring based on a validated radiative transfer model, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 44(4), 791–800, 2006.
- [4]. Blaschke, T., Object based image analysis for remote sensing, ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 65(1), pp.2-16, 2010.
- [5]. Brenning, A., "Benchmarking classifiers to optimally integrate terrain analysis and multispectral remote sensing in automatic rock glacier detection", In: Remote Sensing of Environment 113(1), pp. 239–247, 2009.
- [6]. Fathian, F., Study of land use change process using remote sensing technology and weather variables in Urmia Lake Basin, Researcher, Researcher, Water Resources Engineering Department, Tarbiat Modares University, 2011. [Persian]
- [7]. Jahan-Afroz, Jahan afroz, A. Bardideh, M. Nasiri, N and Ghasemi, MM., Estimation of wheat cultivar using the technology of age measurement (case study of Arsanjan city), Geomatics conference, 2010. [Persian]
- [8]. Jensen, J., Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 526 pp, 2005.
- [9]. Karjalainen, M., Kaartinen, H., Hyypää, J., Agricultural Monitoring Using Envisat Alternating Polarization SAR Images, Journal of The American Society For Photogrammetry And Remote Sensing 74(1): 117-128, 2008.

همان‌طور که گفته شد، هدف تحقیق حاضر بررسی و ارائه روشی به‌منظور طبقه‌بندی محصولات کشاورزی با بهره‌گیری از سری زمانی داده‌های لندست ۸ است. پس از پیش‌پردازش و پردازش داده‌های ماهواره‌ای، با استفاده از مدل TIMESAT پارامترهای اصلی و کلیدی فنولوژی استخراج و پس از انطباق با تقویم کشت محصولات منطقه مطالعه‌شده، بهینه‌ترین داده‌های از سری زمانی داده‌های استفاده‌شده انتخاب و سپس وارد الگوریتم طبقه‌بندی شد. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم با در نظر گرفتن ورودی‌های مختلف با هم مقایسه و ارزیابی شدند. با مقایسه نتایج می‌توان دریافت که انتخاب پارامترهای بهینه با استفاده از مدل TIMESAT که اساس این مدل استخراج پارامترهای فنولوژی گیاه است، سبب بهبود نتایج طبقه‌بندی و نیز هزینه، زمان و پیچیدگی‌های پردازش را به حداقل می‌رساند. همچنین، استفاده هم‌زمان از شاخص‌های آلبدو، دمای سطح زمین، شاخص پوشش گیاهی به سبب اینکه هر یک از این شاخص‌ها در بردارنده اطلاعات مفیدی است که سبب تمایز محصولات از یکدیگر می‌شود منجر به زیاد شدن دقت طبقه‌بندی می‌شود. استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی محصولات کشاورزی، نتایج نسبتاً خوبی می‌دهد که دلیل آن انعطاف‌پذیری زیاد این الگوریتم برای شرایط و هدف‌های مختلف است. در خور یادآوری است که تعیین شرایط بهینه در این روش، اهمیت زیادی دارد و با این روش می‌توان نقشه الگوی کشت و محصولات کشاورزی منطقه را تهیه کرد. تهیه نقشه محصولات و اطلاع از نوع الگوی کشت منطقه اهمیت زیادی دارد، چراکه با دانستن الگوی کشت موجود در منطقه می‌توان آن دسته از محصولاتی که میزان مصرف زیاد آب و بازده کمتر دارند را حذف کرد و بتوان به الگوی کشت بهینه متناسب با شرایط منطقه دست یافت. به طور مثال، از گیاهانی با راندمان مصرف آب زیاد و مقاوم به خشکی و شوری نظیر سورگوم و کنجد استفاده کرد. با توجه به اینکه هدررفت آب در ایران بیش از میانگین جهانی است و بخش کشاورزی، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در کشور است، دانستن الگوی کشت؛ مهم‌ترین روش برای کاهش مصارف آب کشاورزی و توسعه بخش کشاورزی است. بنابراین، توصیه می‌شود از روش‌های جدیدتر با صرف انرژی، هزینه و زمان کمتر برای رسیدن به الگوی کشت استفاده شود که در صورت نیاز برنامه‌های مدیریتی به‌منظور اصلاح الگوی کشت مدون شود،

- [10]. Lu, D. and Q. Weng., A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance, *International Journal of Remote Sensing*, 28 (5): 823-870, 2007.
- [11]. Otukey, J. and T. Blaschke, Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms, In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12, S27-S31, 2010.
- [12]. Report of the President of the 2008 Food Security Conference., *Climate Change and Energy Challenges at the FAO Summit*, Emphasizing Strategic Recommendations of the President of the Islamic Republic of Iran, Attached to the Quarterly of Special Issue of the Islamic State, July 30, 2008. [Persian]
- [13]. Roghancheraghi, N. Rangzan, K. Meskarbashi, M Moradzadeh, M. And Ghasemi-mofard, MA., Application of Spectral Data to Estimate the Wheat Crop Needs, *Geomatics National Conference*, May 2011. [Persian]
- [14]. Ziaeian-Firoozabadi, P., L. Sayad-Bydhndy, and M. Eskandari-Nodeh., Mapping and estimating the area under rice cultivation in Sari city using satellite images Radarst, *Geography Research Natural* 68: 45-58, 2009. [Persian]