

# ارزیابی پتانسیل تصاویر سنجنده OLI در تفکیک شش رقم گندم ایرانی با استفاده از کتابخانه‌ی طیفی

بهنام بیگدلی<sup>۱</sup>

یاسر مقصودی مهرانی<sup>۲</sup>

محمدجواد ولدان زوج<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۸

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۲۲

\*\*\*\*\*

## چکیده

تهیه‌ی اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت گندم و میزان محصول آن، تأمین‌کننده‌ی مدیریت موفق و پایدار در سیاست‌گذاری‌های اقتصادی برای این کالای راهبردی می‌باشد. بررسی بازتاب طیفی گیاهان با استفاده از طیف‌سنجی میدانی و تشکیل کتابخانه‌ی طیفی امکان تفکیک ارقام مختلف گندم و تهیه‌ی نقشه‌ی پراکندگی آن‌ها را افزایش می‌دهد. به همین منظور منحنی رفتار طیفی مربوط به شش رقم گندم به نام‌های بهار، چمران، پیشتان، شیراز، شیرودی و یاواروس در مزرعه‌ی مؤسسه‌ی تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سه مرحله‌ی رویشی اندازه‌گیری شدند. مشاهدات توسط دستگاه طیف‌سنج میدانی ASD FieldSpec®3 در نور و شرایط طبیعی اخذ گردیدند. در مرحله‌ی پیش‌پردازش سه محدوده‌ی نویزی متأثر از بخار آب، شناسایی و حذف شدند. سپس به منظور کیفی سازی داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روش‌های آماری مشاهدات اشتباه کنار گذاشته شدند. این پژوهش در دو گام اصلی طراحی و اجرا شد. در گام اول تابع پاسخ طیفی سنجنده‌ی OLI که بر روی ماهواره‌ی لندست ۸ نصب شده است، بر روی طیف‌های کتابخانه اعمال گردید. سپس با استفاده از معیارهای شباهت طیفی و بیست و هفت شاخص گیاهی مهم حساس به غلظت کلروفیل، شدت فتوسنتز، نیتروژن و میزان آب موجود در تاج گیاه و غیره، حد نهایی تفکیک‌پذیری ارقام گندم مورد مطالعه، برآورد شد. در گام دوم با انجام بازدید میدانی از منطقه‌ی مورد مطالعه و اخذ تصاویر ماهواره‌ی سنجنده‌ی مورد نظر با استفاده از طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی، طبقه‌بندی مزارع شناسایی شده، صورت گرفت. نتایج حاصل تفکیک‌پذیری قابل‌ملاحظه‌ی رقم گندم یاواروس را از سایر ارقام، هم در طیف‌های میدانی و هم در تصاویر ماهواره‌ی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: طیف‌سنجی میدانی، تفکیک ارقام گندم ایرانی، شاخص‌های گیاهی، شباهت طیفی، تصاویر ماهواره‌ی سنجنده‌ی OLI.

\*\*\*\*\*

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی bigdelibehnam@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی Valadanouzj@kntu.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی Ymaghsoudj@kntu.ac.ir

## ۱- مقدمه

تشخیص گام به گام، طول موج‌های مناسب را برای تفکیک

گونه‌ها انتخاب کرد. (Van Aardat, 2000)

در سال ۲۰۰۹، Zomer و همکارانش جهت طبقه‌بندی و مدیریت پوشش گیاهی مرداب‌ها یا تالاب‌ها، تشکیل کتابخانه طیفی از انواع گیاهان موجود در این نواحی را بر اساس طیف‌سنجی میدانی پیشنهاد دادند. ایشان طیف برگ و تاج پوششی این گیاهان در پنج سایت واقع در آمریکا را با استفاده از طیف‌سنج میدانی GER۲۶۰۰ جمع‌آوری نمودند. سپس از کتابخانه طیفی ساخته‌شده جهت طبقه‌بندی تصویر فرا طیفی Probe-1 (با قدرت تفکیک مکانی ۵ متر و تعداد باند ۱۲۸) که از مردابی واقع در دلتای Sacramento تهیه شده بود، استفاده نمودند (Zomer et al., 2009).

در سال ۲۰۱۱، Rao و Zbell در مطالعه‌ای پتانسیل انتقال کتابخانه طیفی مربوط به بازتابندگی تاج پوششی به منظور طبقه‌بندی محصولات با استفاده از داده‌های فرا طیفی را بررسی کردند. نتایج حاصله وجود همبستگی بالا بین طیف حاصل از مشاهدات میدانی و طیف حاصل از تصویر را برای برخی از محصولات نشان داد (Zbell and Rao, 2011a).

در سال ۲۰۱۱، درویش صفت و همکارانش بازتابندگی طیفی هفت رقم بومی برنج شمال ایران به نام‌های فجر، هیبرید، خزر، نعمت، ندا، شیرودی و طارم را در مازندران با استفاده از طیف‌سنج میدانی ASD، فقط در یک مرحله از رشد برنج جمع‌آوری نمودند. ایشان به منظور بارز سازی تفاوت‌های طیفی، مجموعه‌ای منتخب از شاخص‌های طیفی مهم را محاسبه کردند. سپس از روش آماری آنالیز واریانس و آزمون جفتی توکی برای مقایسه جفتی رقم‌های برنج استفاده کردند. نتایج حاصل، نویدبخش امکان تهیه نقشه مناطق زیر کشت هر یک از رقم‌های برنج است (Darvishsefat et al., 2011).

در سال ۲۰۱۱، Rao و Zbell بازتابندگی طیفی محصولات کشاورزی یونجه، جو زمستانه، گندم سیاه زمستانه و گندم زمستانه را در طی مراحل رشد در بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ از دو سایت واقع در شمال شرقی آلمان جمع‌آوری

استفاده از سنجش از دور برای کاربردهای کشاورزی یکی از عمده‌ترین زمینه‌های کاربردی تکنیک‌های سنجش از دور است. در این میان طیف‌سنجی یکی از روش‌های مورد استفاده برای دریافت اطلاعات علمی و عملی، با استفاده از برهمکنش انرژی الکترومغناطیس و ماده‌ی مورد طیف‌سنجی است. از آنجایی که جذب انرژی الکترو مغناطیس مربوط به هر عنصر و یا ترکیب شیمیایی خاص، در طول موج مشخصی رخ می‌دهد، با ثبت طیف بازتابی از سطح پدیده‌ها و بررسی ویژگی‌های جذبی آن‌ها می‌توان به عناصر و ترکیب‌های تشکیل‌دهنده هر پدیده پی برد. بنابراین، یکی از روش‌های اصلی و متداول تشخیص و تمیز مواد مختلف، تشکیل کتابخانه‌ی طیفی و تحلیل طیف بازتابی آن‌ها است. داده‌های طیف‌سنجی برای مدیران بخش کشاورزی و منابع طبیعی با توجه به فراهم آوردن امکان دستیابی به اطلاعات مفید و به هنگام با استفاده از روش‌های غیر مخرب، ارزان و دقیق، اهمیت بسزایی پیدا کرده است. از جمله این اطلاعات، نقشه سطح زیر کشت محصولات زراعی در سطح ملی و منطقه‌ای می‌باشد که یکی از ابزارهای مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت کشاورزی پایدار است. این مطالعات مخصوصاً در زمینه‌ی کالاهای راهبردی کشور مثل گندم که مهم‌ترین غله‌ی رژیم غذایی مردم ایران است، از یک طرف و افزایش تنوع ارقام مختلف آن، تفاوت در میزان محصول دهی هر یک از آن‌ها و مقاومت متفاوتشان در مقابل تنش‌های محیطی از طرف دیگر، لزوم بررسی دقیق و به هنگام میزان محصول دهی ارقام مختلف آن را ایجاد می‌کند. در ادامه برخی از مطالعاتی که در زمینه‌ی تفکیک گونه‌های گیاهی با استفاده از طیف‌سنجی صورت گرفته‌اند مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در سال ۲۰۰۰، Van Aardat در مطالعه‌ی خود به تمایز طیفی شش گونه‌ی درخت سوزنی و پهن‌برگ در ویرجینیای آمریکا پرداخت. وی با استفاده از فیلترهای مختلف پردازش اولیه بر منحنی‌های طیفی انجام داد سپس با استفاده از تحلیل

روز) متناسب با تغییرات فنولوژیکی محصولات کشاورزی است. درست است که جهت تفکیک ارقام گندم از یکدیگر تعداد باندهای این سنجنده نسبت به سنجنده‌های فرا طیفی بسیار کم و ناامید کننده است ولی دسترسی به تصاویر سری زمانی و یا حتی تک تصویر به‌روز از سنجنده‌های فرا طیفی تا حدودی غیرممکن و مستلزم صرف هزینه گزاف است. تصاویر لندست ۸ مدتی بعد از تصویربرداری به صورت رایگان قابل دانلود است.

در این پژوهش سعی شده است به این سؤال پاسخ داده شود که آیا با استفاده از طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی می‌توان در تصاویر سنجنده‌ی OLI، ارقام گندم را از همدیگر تفکیک کرد؟ به همین منظور در این مطالعه ابتدا نحوه‌ی تشکیل کتابخانه‌ی طیفی، جمع‌آوری داده‌های میدانی و برخی مفاهیم مورد نیاز بیان خواهند شد سپس نتایج در دو گام اول و دوم ارائه خواهند گردید. در گام اول نتایج حاصل از دو روش آنالیز تک زمانه و سری زمانی خود طیف‌های کتابخانه‌ای بازسازی شده به سنجنده‌ی OLI تشریح شده‌اند. در گام دوم نیز نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصویر با استفاده از کتابخانه‌ی طیفی ارائه شده است.

## ۲- روش

### ۲-۱- تشکیل کتابخانه‌ی طیفی

مشاهدات میدانی به منظور تشکیل کتابخانه‌ی طیفی در مزرعه‌ی مؤسسه‌ی تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام گرفت. از بین این ارقام با راهنمایی کارشناسان کشاورزی، ۶ رقم گندم جهت انجام این مطالعه انتخاب شدند. در تاریخ‌هایی که جدول ۱ نشان می‌دهد، در سه مرحله‌ی رویشی طیف‌سنجی صورت گرفت. ارقام گندم انتخاب‌شده عبارت‌اند از بهار، چمران، پیشتاز، شیراز، شیرودی و یاواروس (دوردوم). نگاره ۱، نمایی از ارقام گندم مورد مطالعه را در مراحل مشاهداتی مورد نظر نشان می‌دهد. این ارقام غالباً در اقلیم معتدل ایران کشت می‌شوند. در سال زراعی ۹۲-۹۱ همه‌ی ارقام گندم در ۲۰ مهرماه ۹۱

کردند و از این داده‌ها جهت طبقه‌بندی تصویر فرا طیفی هواپرد Hymap مربوط به منطقه‌ای واقع در ۱۰۰ کیلومتری دو سایت فوق که در سال ۱۹۹۹ اخذ شده بود، استفاده نمودند (Zbell and Rao, 2011b).

در سال ۲۰۱۳، Aboelghar و همکارانش مطالعه‌ای باهدف تعیین محدوده‌ی فرا طیفی و بانندی به منظور تفکیک چهار گونه مختلف از سیب‌زمینی کشت شده در منطقه بوخیرا در شمال کشور مصر انجام دادند. طیف‌سنجی در زمانی که سیب‌زمینی‌ها کاملاً رسیده بودند انجام شد. ایشان باندها را در شش زون اصلی آبی، سبز، قرمز، مادون‌قرمز نزدیک، مادون‌قرمز کوتاه ۱ و مادون‌قرمز کوتاه ۲ دسته‌بندی کردند سپس آنالیز تفکیک خطی جهت شناسایی باندهای بهینه ویژه در زون‌های طیفی برای هر یک از گونه‌ها انجام دادند (Aboelghar et al, 2013). مطالعه‌ای مشابه در سال ۲۰۱۳، Arafat و همکارانش بر روی تفکیک‌پذیری دو محصول زمستانه گندم و شبدر و دو محصول تابستانه برنج و ذرت تحقیق نمودند (Arafat et al, 2013).

در مطالعات قبلی تغییرات ناشی از رشد و نمو گیاه در طول دوره‌ی رشد کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی دیگر برخی مطالعات صرفاً آنالیز طیف‌های اخذشده را انجام داده‌اند. در اکثر موارد منطقه‌ای را مد نظر قرار داده سپس اقدام به طیف‌سنجی نموده و سعی کرده‌اند همزمان با طیف‌سنجی، تصویری را نیز اخذ کنند. در این مطالعه ابتدا با آنالیز طیف‌های بازسازی‌شده به سنجنده‌ی مورد نظر، حد نهایی تفکیک‌پذیری ارقام گندم برآورد شد سپس با استفاده از این طیف‌ها طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نیز انجام گرفت.

هدف این مطالعه ارزیابی پتانسیل تصاویر سنجنده‌ی OLI ماهواره‌ی لندست ۸ جهت تفکیک شش رقم گندم ایرانی مورد نظر می‌باشد. از مزایای تصاویر این سنجنده در مطالعات کشاورزی می‌توان به تناسب قدرت تفکیک مکانی آن در مقایسه با ابعاد رایج زمین‌های یکپارچه کشاورزی اشاره کرد. از طرفی دیگری دوره‌ی برداشت این سنجنده (۱۶


کشت شدند و در ۲۶ مهرماه ۹۱ نیز اولین آبیاری صورت گرفت. ۲-۱-۱- طیف سنج میدانی

برای اندازه گیری طیف بازتابی پدیده های زمینی از تجهیزات به نام طیف سنج استفاده می شود که در سه کلاس کلی طیف سنج های آزمایشگاهی، میدانی (قابل حمل) و تصویربرداری تولید می شوند.

در این مطالعه از طیف سنج میدانی FieldSpec@3 ASD استفاده شد (نگاره ۲). این دستگاه منحنی طیفی را در ناحیه

جدول ۱: زمان اخذ داده های میدانی برای سه مرحله ی مشاهداتی

مرحله ۱	مرحله ۲	مرحله ۳	
۹۲/۲/۷	۹۲/۲/۲۹	۹۲/۳/۳۰	تاریخ طیف سنجی
گل دهی	خمیری شدن	رسیدگی	مرحله ی رویشی

مرحله مشاهداتی اول	مرحله مشاهداتی دوم	مرحله مشاهداتی سوم	
			بهار
			چمران
			پیشاز
			شیراز
			شیرودی
			یاوروس

نگاره ۱: نمایی از ارقام گندم مورد مطالعه در هر سه مرحله ی مشاهداتی



## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۹)

ارزیابی پتانسیل تصاویر سنجنده OLI در تفکیک ... / ۹

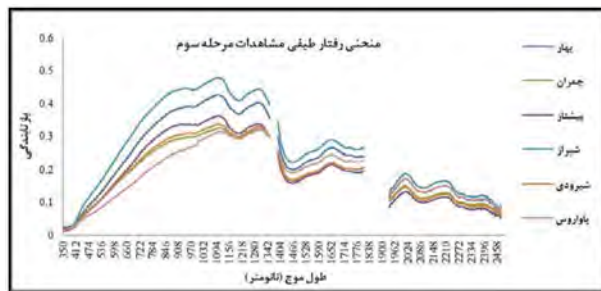
می‌شوند. کالیبراسیون، بهینه‌سازی و قرائت صفحه مرجع نیز توسط همین نرم‌افزار انجام می‌گیرد. بعد از تخلیه داده‌ها برای انجام پردازش‌های اولیه از نرم‌افزار ViewSpecPro استفاده شد سپس از هر چهار مشاهده‌ی مربوط به یک نقطه میانگین‌گیری به عمل آمد تا برای هر رقم در هر مرحله، ۱۰ مشاهده‌ی طیف‌سنجی موجود باشد. با استفاده از روابط آماری، باندهای نویزی و مشاهدات اشتباه حذف گردیدند.



نگاره ۳: منحنی‌های رفتار طیفی در مرحله گل دهی پس از پیش‌پردازش‌های صورت گرفته



نگاره ۴: منحنی‌های رفتار طیفی در مرحله خمیری شدن پس از پیش‌پردازش‌های صورت گرفته



نگاره ۵: منحنی‌های رفتار طیفی در مرحله رسیدگی دانه پس از پیش‌پردازش‌های صورت گرفته

مرئی- مادون‌قرمز نزدیک (VNIR) و مادون‌قرمز کوتاه (SWIR) اندازه‌گیری می‌کند. محدوده‌ی طیفی این دستگاه از ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر است.



نگاره ۲: طیف‌سنج میدانی ASD FieldSpec®3

### ۲-۱-۲- روش طیف‌سنجی

در مزرعه مورد نظر هر یک از ارقام در قطعاتی به ابعاد در حدود ۱۲ مترمربع کشت می‌شوند. جهت کم کردن تأثیر عوامل مزاحم محیطی از قبیل دما، فشار، رطوبت و باد از هر رقم به طور متوسط ده مشاهده از ده نقطه‌ی قطعه مورد نظر که دارای پوشش گیاهی بالای ۹۰ درصد بودند، به عمل آمد. یعنی برای ده نقطه از هر قطعه مشاهده طیف‌سنجی صورت پذیرفت و از آنجایی که در تنظیمات خود دستگاه تعداد تکرار مشاهدات در ۴ بار تکرار تنظیم شده بود، عملاً در هر مرحله‌ی مشاهداتی از هر رقم ۴۰ مشاهده اخذ شد. میزان بازتابندگی ثبت‌شده به شدت به صحت انجام کالیبراسیون دستگاه طیف‌سنج وابسته است بنابراین پس از انجام هر پنج مشاهده، مرحله قرائت از صفحه مرجع و بهینه‌سازی تکرار می‌شد.

### ۲-۱-۳- پیش‌پردازش طیف‌ها

انرژی بازتاب شده توسط تارگت مورد نظر به وسیله سنجنده و فیبر نوری متصل به آن به خود دستگاه انتقال می‌یابد و از طریق اتصال رایانه قابل حمل به دستگاه، داده‌ها به رایانه منتقل می‌شوند. این داده‌ها توسط نرم‌افزار RS3 پردازش، ثبت و ذخیره

ایران و شمال غربی استان فارس) که شامل اراضی روستاهای آهنگری، آلیوند و جونقان می‌باشد، به دلیل مطابقت ارقام کشت شده در این شهرستان با ارقام کتابخانه‌ی طیفی انتخاب شدند.

جدول ۲: معرفی باندهای سنجنده‌ی OLI

طول موج (نانومتر)	باندها
۴۳۰ - ۴۵۰	باند ۱ - Coastal aerosol
۴۵۰ - ۵۱۰	باند ۲ - آبی
۵۳۰ - ۵۹۰	باند ۳ - سبز
۶۴۰ - ۶۷۰	باند ۴ - قرمز
۸۵۰ - ۸۸۰	باند ۵ - مادون قرمز نزدیک (NIR)
۱۵۷۰ - ۱۶۵۰	باند ۶ - مادون قرمز کوتاه ۱ (SWIR1)
۲۱۱۰ - ۲۲۹۰	باند ۷ - مادون قرمز کوتاه ۲ (SWIR2)
۵۰۰ - ۶۸۰	باند ۸ - پانکروماتیک
۱۳۶۰ - ۱۳۸۰	باند ۹ - سیروس

### ۲-۳-۱- انتخاب تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌پردازش آن‌ها

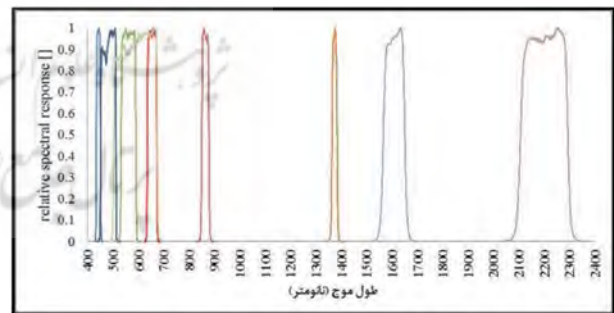
بر اساس تقویم زراعی کشت گندم در منطقه‌ی ممسنی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲، اقدام به دریافت تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ شد. جدول ۳، تمامی تصاویر موجود از منطقه را از بدو پنجه زنی تا رسیدگی کامل ارقام گندم، نشان می‌دهد. از بین ۱۱ تصویر لیست شده، با توجه به تقویم زراعی طیف‌های کتابخانه، پنج تصویر اول کنار گذاشته شدند. در تصاویر اخذ شده به تاریخ‌های ۲۹ اسفند و اول اردیبهشت مزارع موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه پوشیده از ابر بودند. بنابراین چهار تصویر اخذ شده به تاریخ‌های ۱۳ اسفند، ۱۶ فروردین، ۱۷ اردیبهشت و ۲ خرداد برای انجام این مطالعه انتخاب شدند.

از آنجایی که در این مطالعه هدف مقایسه‌ی طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی که در آن‌ها میزان بازتابندگی سطح زمین ثبت شده است با طیف‌های حاصل از تصویر است لذا دو

در این مطالعه با در نظر گرفتن تمامی منحنی‌های رفتار طیفی جمع‌آوری شده براساس عامل انحراف معیار (بیشتر از ۰/۰۵) برای هر طول موج، سه محدوده‌ی نویزی متأثر از بخار آب شناسایی شدند که عبارت بودند از: طول موج ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳ نانومتر، ۱۸۱۱ تا ۱۹۳۶ نانومتر و ۲۴۸۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر. نگاره‌های ۳، ۴ و ۵ طیف‌های نهایی مربوط به هر یک از ارقام را بعد از حذف باندهای نویزی و مشاهدات اشتباه نشان می‌دهد.

### ۲-۲- اعمال تابع پاسخ طیفی سنجنده‌ی OLI بر روی طیف‌های کتابخانه

آخرین نسل ماهواره‌های لندست، ماهواره‌ی چند باندهی لندست ۸ است که در ۱۱ فوریه سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد و هم اکنون در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری با مداری خورشید آهنگ و زاویه میل ۹۸/۲ درجه به دور زمین می‌چرخد. این ماهواره دارای دو سنجنده به نام‌های OLI<sup>۱</sup> و TIRS<sup>۲</sup> (سنجنده‌ی باندهای حرارتی) می‌باشد. سنجنده‌ی OLI دارای ۹ باند است (جدول ۲) و قدرت تفکیک مکانی آن در باند پانکروماتیک ۱۵ و در سایر باندها ۳۰ متر است. نگاره ۶، تابع پاسخ طیفی سنجنده‌ی OLI را نشان می‌دهد که بر روی تمامی طیف‌های جمع‌آوری شده اعمال گردید.



نگاره ۶: تابع پاسخ طیفی سنجنده‌ی OLI

### ۲-۳- منطقه‌ی مورد مطالعه جهت اخذ و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

جهت پیاده‌سازی گام دوم این مطالعه مزارع واقع در اقلیم معتدل شهرستان نورآباد ممسنی (واقع در جنوب غربی

<sup>۱</sup>- Operational Land Imager

<sup>۲</sup>- Thermal Infrared Sensor

۲-۳-۲- داده‌های زمینی و روش جمع‌آوری آنها  
 در تاریخ ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۳ طی بازدید میدانی از منطقه‌ی مورد مطالعه چندین مزرعه کشاورزی که در آنها ارقام مختلف گندم کشت شده بودند با راهنمایی کارشناس جهاد کشاورزی شهرستان ممسنی، شناسایی و موقعیت مزارع با استفاده از GPS دستی به همراه کلیه اطلاعات توصیفی ثبت شد. از بین مزارع ملاحظه شده با توجه به وسعت و رقم کشت شده در آنها، ۱۰ مزرعه جهت مطالعه انتخاب شدند. اطلاعات ده مزرعه‌ی مورد مطالعه در جدول ۴ آورده شده است. نگاره ۸، موقعیت مزارع انتخاب شده در تصویر ۱۶ فروردین ۹۳ را نشان می‌دهد. با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و MATLAB مقادیر هر پیکسل در تمامی باندهای تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شده برای هر مزرعه استخراج گردید.

جدول ۴: اطلاعات میدانی ده مزرعه‌ی مورد مطالعه

شماره مزرعه	گندم کشت شده	نام منطقه	وسعت مزرعه (هکتار)	توضیح
۱	یاواروس	آهنگری	۳/۷	نیمه سبز، هنوز نرسیده
۲	شیرودی	آهنگری	۲/۳	رسیده و آماده برداشت
۳	چمران	آهنگری	۲/۱	نیمه سبز، هنوز نرسیده
۴	شیراز	آلیوند	۱/۳	نیمه سبز، هنوز نرسیده
۵	چمران	آلیوند	۱/۵	رسیده و آماده برداشت
۶	پیشناز	آلیوند	۱/۴	سبز، هنوز نرسیده
۷	بهار	آلیوند	۲	نیمه سبز، هنوز نرسیده
۸	چمران	آلیوند	۱/۹	نیمه سبز، هنوز نرسیده
۹	یاواروس	آلیوند	۰/۹	رسیده و آماده برداشت
۱۰	یاواروس	جونقان	۱	رسیده و آماده برداشت

نگاره ۸، عکس‌هایی از ده مزرعه‌ی انتخاب شده را نشان می‌دهد که در بازدید میدانی صورت گرفته، تهیه شده‌اند. همان‌گونه که از عکس‌ها، مشخص است در این روز، همه‌ی ارقام در یک مرحله‌ی رویشی یکسان قرار ندارند. همین

مرحله‌ی پیش‌پردازش اصلی بر روی تصاویر انتخاب شده با استفاده از فایل‌های متنی موجود به همراه هر تصویر و داده‌های هواشناسی تهیه شده از سازمان هواشناسی کشور اعمال گردید.

جدول ۳: لیست تصاویر لندست ۸ موجود از منطقه نورآباد ممسنی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

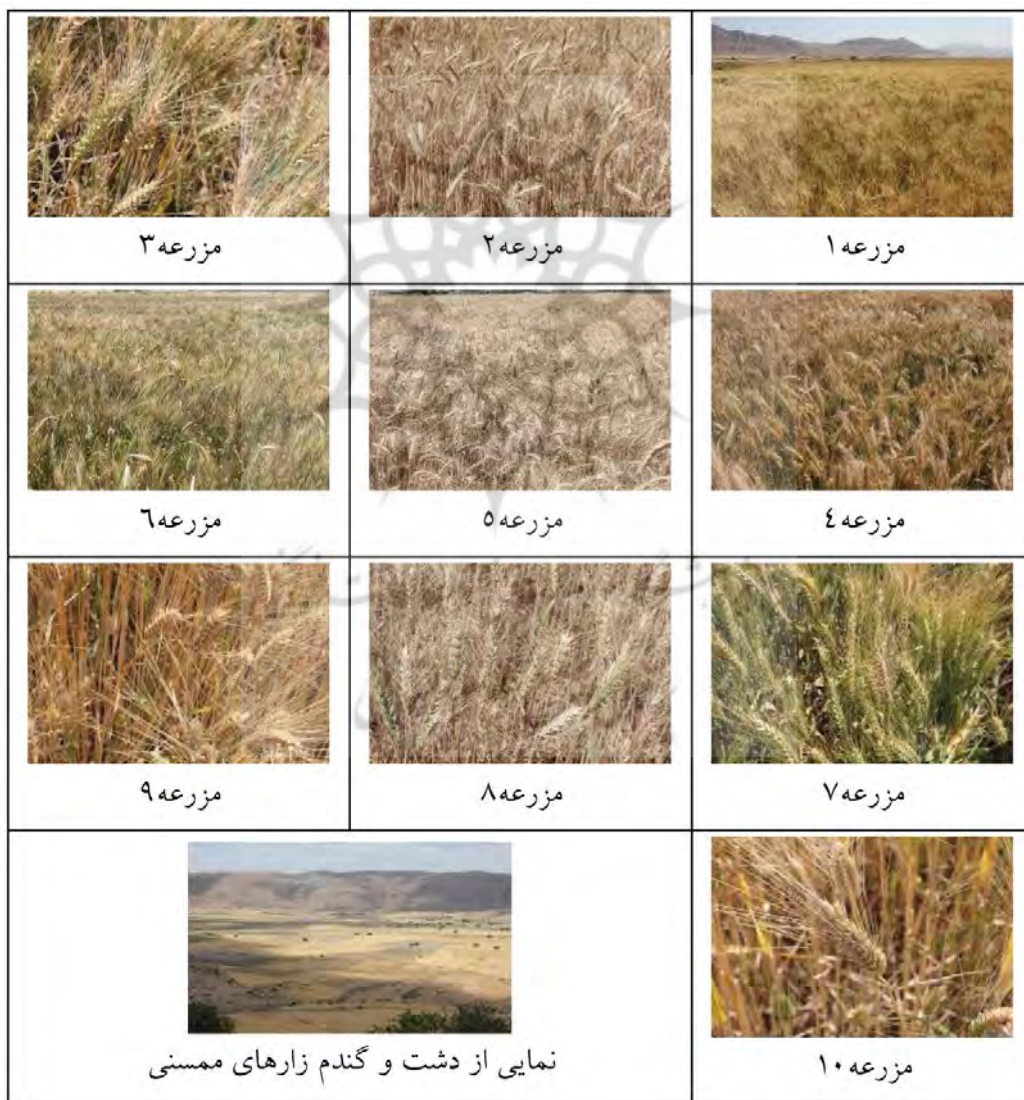
ردیف	تاریخ اخذ تصویر (شمسی)	تقویم زراعی	ملاحظات
۱	۱۳۹۲/۹/۲۳	شروع پنجه زنی	-
۲	۱۳۹۲/۱۰/۹	پنجه زنی	-
۳	۱۳۹۲/۱۰/۲۵	اواخر پنجه زنی و شروع رشد ساقه	-
۴	۱۳۹۲/۱۱/۱۱	رشد ساقه	-
۵	۱۳۹۲/۱۱/۲۷	رشد ساقه	-
۶	۱۳۹۲/۱۲/۱۳	رشد ساقه و شروع گل دهی	انتخاب شد
۷	۱۳۹۲/۱۲/۲۹	گل دهی و شروع شیرگی	تصویر ابری است
۸	۱۳۹۳/۱/۱۶	اواخر گل دهی و شروع خمیری شدن	انتخاب شد
۹	۱۳۹۳/۲/۱	خمیری شدن و شروع رسیدگی	تصویر ابری است
۱۰	۱۳۹۳/۲/۱۷	اواخر خمیری شدن و شروع رسیدگی	انتخاب شد
۱۱	۱۳۹۳/۳/۲	رسیدگی کامل	انتخاب شد

مرحله‌ی اول تبدیل DN به رادیانس و مرحله‌ی دوم تصحیح اتمسفری می‌باشد. در این مطالعه از برنامه‌ی تصحیح اتمسفری FLAASH موجود در نرم افزار ENVI استفاده شد. مزیت تصحیح اتمسفری تبدیل رادیانس به بازتابندگی است.





نگاره ۷: موقعیت ده مزرعه‌ی مورد مطالعه (پولیگون‌های زردرنگ) در تصویر لندست ۸ با ترکیب رنگ طبیعی اخذشده در ۱۶ فروردین ۱۳۹۳



نگاره ۸: عکس‌هایی از ده مزرعه‌ی مورد مطالعه در دشت‌های شهرستان ممسنی (اخذشده در بازدید میدانی ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۳)



شاخص‌های مرتبط با خصوصیات بیوفیزیکی و بیوشیمیایی گیاهان، شاخص‌های رنگدانه برگ گیاهان و شاخص‌های توده‌ی گیاهی یا زیست توده. از آنجایی که هر یک از شاخص‌های گیاهی از ترکیبات بازتابندگی طول موج‌های مختلف استفاده می‌کنند لذا امید می‌رود که نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف برای طیف‌های ارقام گوناگون ما را در تفکیک ارقام از همدیگر یاری کند. بنابراین برای طیف‌های حاصل از سه مرحله مشاهداتی مقادیر ۲۷ شاخص طیفی که برای سنجنده‌های با پهنای باند وسیع تعریف شده‌اند، محاسبه گردید. نام، رابطه و ویژگی هر یک از شاخص‌های مورد استفاده به ضمیمه ارائه شده است.

## ۲-۵- معیارهای شباهت طیفی

در این قسمت ۹ معیار شباهت طیفی متداول و معروف که جهت سنجش میزان شباهت طیفی استفاده می‌شوند معرفی می‌گردند. هر یک از این معیارها ویژگی خاص و منحصر به فرد خود را دارند و هر یک نقاط ضعف و قوتی دارند لذا هر یک به بخشی از شباهت‌های طیفی توجه می‌کنند. در ادامه هر یک از این معیارها به اختصار تشریح خواهند شد. لازم به تذکر است که در این مطالعه برای محاسبه‌ی معیارهای شباهت، فقط در روش اول از گام اول، مقادیر بازتابندگی به کار گرفته شده‌اند ولی در گام دوم و روش دوم از گام اول از بردارهای ویژگی تولید شده توسط سری زمانی شاخص‌های گیاهی استفاده شده است.

## ۲-۵-۱- زاویه طیفی (SAM<sup>۱</sup>)

این معیار، شباهت طیفی را با محاسبه زاویه بین دو طیف در فضای چندبعدی طیفی به صورت دو بردار مشخص می‌کند. زاویه کوچک بین دو طیف نشان‌دهنده‌ی شباهت بالا و زاویه بزرگ نشان‌دهنده شباهت کم است. رابطه‌ی شماره ۱ نحوه محاسبه این زاویه را نشان می‌دهد. در این رابطه ۱ تعداد باند می‌باشد و  $SI$  و  $Sj$  نیز مقادیر بازتابندگی

مطلب به نوعی مؤید آن است که در تشکیل کتابخانه‌ی طیفی، باید در چندین مرحله‌ی رویشی، طیف‌سنجی صورت بگیرد. عدم همزمانی تقویم زراعی حتی در مورد دو مزرعه‌ای که در آن‌ها ارقام یکسانی کشت شده نیز مشاهده می‌شود. علت وجود این اختلاف‌ها، متفاوت بودن یک الی سه هفته‌ای تاریخ‌های کشت می‌باشد. کشاورزان با توجه به امکانات و تجهیزات موجود خود، اقدام به کشت می‌کنند لذا طبیعی است که در دسترس بودن یا نبودن این امکانات و تجهیزات در تسریع و تأخیر کشت اثرگذار باشد. بنابراین یکی از چالش‌های اساسی و تأثیرگذار در نیل به اهداف تحقیق، عدم همزمانی کامل تقویم زراعی مزارع مختلف می‌باشد. این مشکل تأثیر خود را در انتخاب تصاویر منطبق با کتابخانه‌ی طیفی که تنها سه مرحله‌ی رویشی در آن در نظر گرفته شده است، نشان می‌دهد. به عبارت دیگر برای هر مزرعه باید ترکیب تصاویر متناسب با تقویم زراعی آن انتخاب شود ولی چگونه؟ برای این منظور سناریویی تدارک دیده شد که در آن با استفاده از اطلاعات جانبی موجود درباره‌ی تقویم زراعی مزارع و کتابخانه‌ی طیفی، طیف‌های کتابخانه با ترکیب‌های مختلفی از تصاویر ماهواره‌ای مقایسه شوند تا در نهایت مناسب‌ترین ترکیب تصاویر برای هر مزرعه انتخاب شود.

## ۲-۴- شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی تبدیلات ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای طراحی شده‌اند. بیش‌تر باندهایی که در محاسبه شاخص‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند در محدوده باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک هستند. شاخص‌های گیاهی زیادی تا به حال معرفی شده‌اند و در چند دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از: شاخص‌های نشان‌دهنده‌ی ساختار و سبزیگی گیاهان، شاخص‌های ساختار و سبزیگی گیاهان با اصلاح اثرات خاک پس زمینه، شاخص‌های محتوای آب گیاهان،

<sup>۱</sup>-Spectral Angle Measure

فوق می‌توان بردار احتمال پیکسل یا منحنی رفتار دیگر مربوط به دو منحنی طیفی می‌باشند که به صورت برداری به ابعاد در نظر گرفته شده‌اند. (Kruse et al., 1993)

مربوط به دو منحنی طیفی می‌باشند که به صورت برداری به ابعاد در نظر گرفته شده‌اند. (Kruse et al., 1993)

$$SAM(s_i, s_j) = \cos^{-1} \left( \frac{\sum_{l=1}^{m_l} s_{il} s_{jl}}{(\sum_{l=1}^{m_l} s_{il}^2)^{1/2} (\sum_{l=1}^{m_l} s_{jl}^2)^{1/2}} \right) \quad (1)$$

### ۲-۵-۲- فاصله‌ی جفریز و ماتوسیا (JMD<sup>۱</sup>)

این معیار به صورت زیر تعریف شده است (Swain et al., 1971):

$$JMD(s_i, s_j) = \sqrt{\sum_{l=1}^L [ \sqrt{p_l} - \sqrt{q_l} ]^2} \quad (2)$$

$$p_k = \frac{s_{kl}}{\sum_{l=1}^L s_{kl}}, \quad q_k = \frac{s_{kl}}{\sum_{l=1}^L s_{kl}} \quad (3)$$

### ۲-۵-۳- معیار دیورژانس (SID<sup>۲</sup>)

این شیوه اختلاف میان توزیع‌های احتمال دو مشخصه طیفی را اندازه‌گیری می‌نماید. معیار SID مشخصه طیفی هر بردار پیکسلی را به عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته و با تشکیل توزیع احتمال آن از یک معیار آماری برای محاسبه تشابه طیفی میان دو مشخصه طیفی استفاده می‌نماید. در تصاویر فرا طیفی هر پیکسل به صورت یک بردار نمایان می‌شود و هر منحنی رفتار طیفی به همراه مقادیر بازتابندگی مربوط به هر طول موج را نیز می‌توان به صورت یک بردار مثل  $X = (X_1, X_2, \dots, X_L)^T$  نشان داد، هر مؤلفه  $x_i$  پیکسلی از باند  $B_i$  است که در طول موج  $\lambda_i$  اخذ شده است. بدین ترتیب بردار هر پیکسل را می‌توان به عنوان یک متغیر تصادفی در یک فضای احتمالاتی مناسب مدل نمود. با توجه به اینکه مقادیر بازتابندگی همواره مقادیری مثبت می‌باشند احتمال P برای  $x$  را به کمک معادله‌ی زیر می‌توان

حساب کرد (Chang, 2000):

$$P(\{\lambda_i\}) = P_i = \frac{x_i}{\sum_{l=1}^L x_l} \quad (4)$$

که در آن بردار  $p = (p_1, p_2, \dots, p_L)^T$  بردار احتمال ناشی از  $x$  می‌باشد. با این تفاسیر هر پیکسل برداری  $X = (X_1, X_2, \dots, X_L)^T$  را می‌توان به صورت یک منبع اطلاعاتی در نظر گرفت که از آماره‌ی خودش به صورت  $p = (p_1, p_2, \dots, p_L)^T$  تبعیت کرده و تغییرات طیفی هر پیکسل را تشریح می‌کند؛ مانند معادله‌ی

$$I_l(y) = -\log(q_l), \quad I_l(x) = -\log(p_l) \quad (5)$$

با استفاده از معادلات زیر، آنتروپی نسبی  $x$  و آنتروپی نسبی  $y$  به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$D(y \| x) = \sum_{l=1}^L q_l D_l(y \| x) = \sum_{l=1}^L q_l (I_l(x) - I_l(y)) \quad (6)$$

$$D(x \| y) = \sum_{l=1}^L p_l D_l(x \| y) = \sum_{l=1}^L p_l (I_l(y) - I_l(x)) \quad (7)$$

حاصل جمع معادلات فوق معیار SID را نتیجه می‌دهند که به صورت زیر تعریف شده است: (Chang, 2000)

$$SID(x, y) = D(y \| x) + D(x \| y) \quad (8)$$

با بیانی ساده‌تر در این روش آنتروپی موجود در هر مشخصه‌ی طیفی به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری اطلاعات موجود در هر پیکسل معرفی می‌گردد. چنانچه اختلاف این اطلاعات در بین دو مشخصه طیف ناچیز گردد این‌گونه تعبیر می‌شود که این دو مشخصه طیفی نسبت به یکدیگر اطلاعات جدیدی نداشته و به یکدیگر شبیه می‌باشند.

### ۲-۵-۴- معیار JMD-SAM

این معیار، یک معیار ترکیبی از دو معیار JMD و SAM می‌باشد که شرح هر یک گذشت. رابطه مربوط به آن نیز چنین است (Du et al., 2004):

$$JMD\_SAM(r, s) = JMD(r, s) * \tan(SAM(r, s)) \quad (9)$$

### ۲-۵-۵- معیار SID-SAM

این معیار نیز یک معیار ترکیبی از دو معیار SID و SAM است. رابطه مربوط به آن نیز چنین است (Du et al., 2004):

$$SID\_SAM(r, s) = SID(r, s) * \sin(SAM(r, s)) \quad (10)$$

<sup>1</sup>- Jeffries-Matusita Distance

<sup>2</sup>- Spectral Information Divergence

شبهات بالایی برخوردار باشند مقدار CBD کمتر خواهد بود.

$$CBD(s_i, s_j) = \sum_{l=1}^L |s_{il} - s_{jl}| \quad (14)$$

### ۳- نتایج

این مطالعه در دو گام اصلی طراحی و پیاده‌سازی شد. در گام اول ابتدا تابع پاسخ طیفی سنجنده‌ی OLI بر روی طیف‌های کتابخانه‌ی تهیه‌شده به وسیله‌ی طیف‌سنجی میدانی، اعمال شد. سپس آنالیز تفکیک‌پذیری بر روی طیف‌های بازسازی‌شده انجام گرفت. نتایج حاصل از این گام حد نهایی تفکیک‌پذیری شش رقم گندم مورد مطالعه را نشان داد.

در گام دوم تصاویر ماهواره‌ای سری زمانی سنجنده‌ی OLI متناسب با تقویم زراعی منطقه و کتابخانه‌ی طیفی برای سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اخذ شد. سپس با استفاده از داده‌های میدانی و کتابخانه‌ی طیفی تعدادی از مزارع موجود در تصویر طبقه‌بندی شدند. بر اساس نتایج گام اول و داده‌های میدانی، صحت طبقه‌بندی ارزیابی شد.

نتایج حاصل از آنالیز طیف‌ها و تصاویر نشان داد که گندم یاواروس به صورت قابل ملاحظه‌ای از پنج رقم دیگر قابل تفکیک است.

### ۳-۱- آنالیز تفکیک‌پذیری طیف‌های بازسازی‌شده به سنجنده‌ی OLI (گام اول)

همان‌گونه که بیان شد در گام اول صرفاً طیف‌های کتابخانه طیفی بازسازی شده به سنجنده‌ی OLI در نظر گرفته شده‌اند. این گام با دو روش کاملاً متفاوت از همدیگر پیاده سازی شد. در روش اول طیف‌ها به صورت تک زمانه در نظر گرفته شدند ولی در روش دوم طیف‌ها به صورت سری زمانی مورد بررسی قرار گرفتند. در روش تک زمانه، بر اساس مقادیر بازتابندگی طیفی و با استفاده از ۹ معیار شبهات طیفی معرفی شده آنالیز تفکیک‌پذیری انجام شد ولی در روش سری زمانی بر اساس خروجی سری زمانی ۲۷

### ۲-۵-۶- معیار همبستگی طیفی (SCM<sup>۱</sup>)

این معیار توسط Van der Meer و Bakker در سال ۱۹۹۷ معرفی شده است. مقادیر خروجی این الگوریتم بین ۱- تا ۱ می‌باشد به طوری که دو طیف کاملاً مشابه خروجی ۱ را می‌دهند. این معیار ضریب همبستگی بین دو طیف را که به صورت بردار در نظر گرفته شده‌اند به صورت زیر محاسبه می‌کند (Bakker and Van der Meer, 1997):

$$SCM(r, s) = \frac{n \sum_{i=1}^n r_i s_i - \sum_{i=1}^n r_i \sum_{i=1}^n s_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n r_i^2 - (\sum_{i=1}^n r_i)^2][n \sum_{i=1}^n s_i^2 - (\sum_{i=1}^n s_i)^2]} \quad (11)$$

### ۲-۵-۷- معیار فاصله‌ی اقلیدسی (ED<sup>۲</sup>)

این نوع فاصله‌ی طیفی بر اساس زاویه‌ی طیفی تعریف شده است. تفاوت اساسی این معیار با معیار زاویه‌ی طیفی در این است که روش ED متأثر از تفاوت درخشندگی بین طیف‌ها است درحالی‌که SAM با تغییر میزان درخشندگی تغییری نمی‌کند. البته اگر زاویه طیفی عدد کوچکی باشد دو معیار ED و SAM نتایج یکسانی ارائه خواهند داد.

$$ED(r, s) = 2 \sqrt{1 - \cos(SAM(r, s))} = 2 \sin\left(\frac{SAM(r, s)}{2}\right) \quad (12)$$

### ۲-۵-۸- معیار فاصله‌ی طیفی (ED-sqrt)

این معیار نیز بر اساس محاسبه‌ی فاصله تعریف شده است. نحوه‌ی محاسبه‌ی این معیار به طریق زیر است. به هر میزان که از شبهات بین دو طیف کاسته شود این معیار عدد بزرگ‌تری به خود اختصاص خواهد داد (Gower, 1985).

$$ED(r, s) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (r_i - s_i)^2} \quad (13)$$

### ۲-۵-۹- معیار CBD<sup>۳</sup>

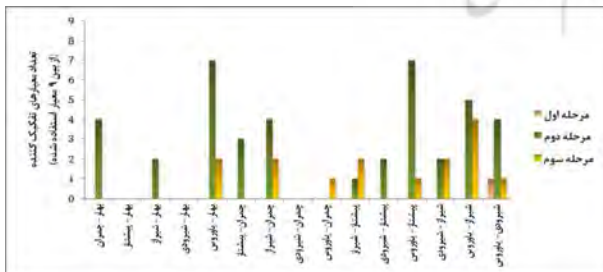
این معیار شبهات طیفی نیز از معیارهایی است که مبتنی بر فاصله می‌باشد. رابطه‌ی مربوط به این معیار به صورت زیر تعریف شده است. به هر میزان که دو بردار sil و sjl از

1- Spectral Correlation Measure

2- Euclidian Distance

3- City Block Distance

نگاره ۹، میزان تفکیک‌پذیری جفت ارقام ممکن توسط ۹ معیار شباهت طیفی معرفی شده را نشان می‌دهد. در مرحله‌ی رویشی اول که ارقام گندم در مرحله‌ی گل دهی و اواخر آن قرار دارند به هیچ‌وجه تفکیک‌پذیر نیستند. در این مرحله از رشد، تنها دو رقم شیروودی و یاواروس آن هم فقط توسط یک معیار شباهت طیفی (JMD) از هم تفکیک شده‌اند. در مرحله‌ی دوم به شدت از میزان شباهت طیفی کاسته شده است به طوری که در این مرحله بیش‌ترین تفکیک‌پذیری در جفت ارقام رخ داده است. بیش‌ترین تفکیک‌پذیری در هر سه مرحله، برای دو جفت بهار (یاواروس و پیشتاز) یاواروس به دست آمده است که توسط ۷ معیار از ۹ معیار مورد استفاده، تفکیک‌پذیر شناخته شده‌اند. جفت ارقام بهار-پیشتاز، بهار-شیروودی و چمران-شیروودی در هیچ یک از سه مرحله‌ی رویشی توسط هیچ‌کدام از معیارهای شباهت طیفی از همدیگر تفکیک نشدند. از طرفی پیشتاز و شیروودی نیز از شباهت بالایی برخوردار بودند بنابراین ارقام بهار، پیشتاز و شیروودی به همراه گندم شیراز دارای رفتار طیفی مشابه می‌باشند لذا نباید امید زیادی به تفکیک این ارقام از یکدیگر در تصاویر لندست ۸ داشت. گندم یاواروس پتانسیل تفکیک‌پذیری بالایی نسبت به سایر ارقام از خود نشان می‌دهد. گندم یاواروس از نوع گندم‌های دوروم است که جهت تولید ماکارونی استفاده می‌شود درحالی‌که پنج رقم دیگر همه از ارقام گندم نان هستند.



نگاره ۹: میزان تفکیک‌پذیری جفت ارقام گندم با استفاده از ۹ معیار شباهت طیفی معرفی شده، در سه مرحله‌ی رویشی طبق نگاره ۹، جفت ارقامی وجود دارند که در یک مرحله مشاهداتی تفکیک‌پذیر هستند ولی در مراحل دیگر

شاخص گیاهی و معیار شباهت زاویه طیفی، تفکیک‌پذیری جفت ارقام کتابخانه‌ی طیفی مورد بررسی قرار گرفت.

### ۳-۱-۱- آنالیز تک زمانه‌ی طیف‌ها (روش اول)

در طیف‌های بازسازی شده هفت باند وجود دارد، از آن جایی که برای هر رقم در هر مرحله‌ی مشاهداتی در حدود ۷ الی ۱۰ مشاهده وجود دارد لذا برای هر باند در طیف بازتابندگی هر رقم می‌توان میزان انحراف معیار را محاسبه نمود. این میزان انحراف معیار در واقع مقدار خطا یا دقت اخذ مشاهده در آن باند را نشان می‌دهد. بنابراین وقتی این مشاهدات با میزان خطای معلوم‌شان توسط یک مدل ریاضی (معیار شباهت طیفی) به کار گرفته می‌شوند بر اساس قانون انتشار خطاهای تصادفی، خطاهای موجود از طریق مدل ریاضی مورد استفاده به نتایج حاصله از مدل (مجهولات) منتقل می‌شوند. لذا وقتی یک معیار شباهت طیفی بین طیف بازتابندگی دو رقم محاسبه می‌شود، میزان خطای آن نیز محاسبه می‌گردد. از این میزان خطا و مقدار میانگین معیار شباهت محاسبه شده جهت تعیین تفکیک‌پذیری بودن یا نبودن طیف بازتابندگی دو رقم استفاده می‌شود. در صورتی طیف بازتابندگی دو رقم از همدیگر تفکیک‌پذیر شناخته می‌شوند که مقدار میانگین معیار شباهت طیفی محاسبه شده از سه برابر خطا (دقت) محاسبه شده برای آن بیشتر باشد. علت آنکه سه برابر مقدار خطا در نظر گرفته شده است به فرض اساسی تئوری خطاها (نرمال بودن تابع توزیع مشاهدات) و آزمون ساده‌ی سه سیگما برمی‌گردد. روش تشریح شده جهت تفکیک‌پذیری جفت ارقام گندم (انتخاب ۲ از ۶) برای تمامی ۹ معیار شباهت طیفی مورد نظر به صورت جداگانه در هر یک از سه مرحله‌ی رویشی پیاده‌سازی شد.

لازم به ذکر است که جهت محاسبه‌ی مشتق‌های موجود در قانون انتشار خطاها و سایر مراحل از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. استفاده از قانون انتشار خطاها یکی از قابل توجه‌ترین نوآوری‌های این مطالعه است.



## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

ارزیابی پتانسیل تصاویر سنجنده OLI در تفکیک ... / ۱۷

خروجی هر شاخصی به صورت سری زمانی یک منحنی که دارای سه مقدار است به دست آمد. سپس با استفاده از معیار شباهت SAM میزان شباهت این منحنی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت در نتیجه هر شاخص آن جفت ارقامی را که از یکدیگر تفکیک‌پذیر هستند را مشخص نمود. در اینجا نیز همانند بخش آنالیز تک زمانه‌ی طیف‌ها از مقدار میانگین معیار شباهت و میزان دقت محاسبه شده برای آن از طریق قانون انتشار خطاها جهت تعیین تفکیک‌پذیری استفاده شد. سرانجام جهت مشخص کردن تفکیک‌پذیری نهایی جفت ارقام مختلف، آرای تمامی شاخص‌ها شمارش شد. نگاره ۱۱، فلوجارت کلی پیاده‌سازی روش دوم از گام اول را نشان می‌دهد.



نگاره ۱۱: فلوجارت آنالیز تفکیک‌پذیری طیف‌های

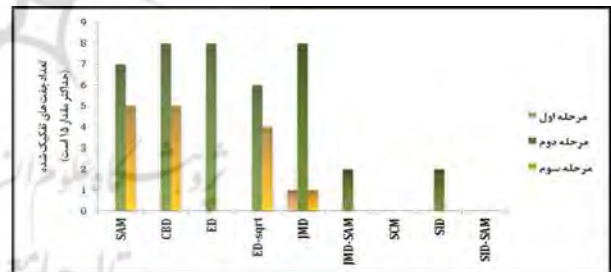
کتابخانه‌ی طیفی بازسازی شده به سنجنده‌ی OLI

(روش دوم در گام اول)

جهت اختصار و به عنوان نمونه، تنها نتایج حاصل از شاخص NDVI به بحث گذاشته می‌شود. نگاره ۱۲، مقدار شاخص NDVI در سه مرحله رویشی برای ارقام گندم مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص برای گیاهانی که سرسبز و سرزنده می‌باشند نسبت به گیاهانی که روی به زردی گراییده‌اند بیشتر است. در مرحله‌ی گل دهی و اواخر آن که گیاه کاملاً سبز است مقدار این شاخص در اوج قرار

نه. به عنوان مثال با توجه به نتایج درست است که در مرحله دوم مشاهداتی که شاهد بیش‌ترین تفکیک‌پذیری هستیم، گندم یاواروس از چهار رقم بهار، پيشتاز، شیراز و شیرودی به خوبی تفکیک شده است ولی موفقیتی در تفکیک گندم یاواروس از گندم چمران در این مرحله مشاهداتی به دست نیامده است این در حالی است که این دو رقم در مرحله‌ی سوم مشاهداتی توسط معیار SAM تفکیک شده‌اند. بنابراین جهت تفکیک ارقام استفاده از یک مرحله مشاهداتی نتایج کاملاً مطلوبی را ارائه نمی‌دهد لذا بهتر است تغییرات طیفی به صورت سری زمانی بررسی شوند.

نگاره ۱۰، میزان توانمندی ۹ معیار شباهت طیفی در تفکیک طیف‌های بازتابندگی جفت ارقام گندم در سه مرحله‌ی رویشی را نشان می‌دهد. دو معیار SAM و CBD عملکرد خوبی از خود نشان داده‌اند به طوری که هر یک در مرحله‌ی دوم به ترتیب ۷ و ۸ جفت و در مرحله‌ی سوم هر یک ۵ جفت از جفت‌های ممکن را از همدیگر تفکیک کرده‌اند.



نگاره ۱۰: میزان توانمندی ۹ معیار شباهت طیفی در تفکیک

ارقام گندم در سه مرحله‌ی رویشی

### ۳-۱-۲- آنالیز سری زمانی طیف‌ها (روش دوم)

همان‌گونه که در بخش قبل ملاحظه گردید آنالیز تک زمانه طیف‌ها به نتایج کاملاً مطلوبی منجر نشد لذا در این جا طیف‌ها به صورت سری زمانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. روش کار به این ترتیب بود که ابتدا ۲۷ شاخص طیفی به همراه دقت محاسبه‌ی آن‌ها برای تمامی طیف‌ها در هر سه مرحله محاسبه شد بنابراین برای هر رقم گندم در



شبهات داشت و هم به کلاس دوم که شامل گندم یاواروس بود. ولی در آنالیز سری زمانی گندم چمران از یاواروس تفکیک شد و به صورت قابل قبولی هم کلاس بودن گندم چمران با چهار رقم دیگر کلاس اول به اثبات رسید.

### ۳-۲- طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از کتابخانه طیفی (گام دوم)

در گام اول این نتیجه به دست آمد که بررسی سری زمانی طیف‌ها در طول دوره‌ی رشد ارقام گندم به منظور تفکیک آن‌ها از یکدیگر مطمئن‌ترین نتایج را در اختیار می‌نهد. همچنین مشخص شد که در بهترین حالت، ارقام گندم مورد مطالعه را می‌توان تنها در دو دسته‌ی کلی خوشه‌بندی نمود. خوشه‌ی اول عبارت بودند از: ارقام بهار، پیشتاز، شیراز، شیروودی و چمران و خوشه‌ی دوم تنها شامل رقم یاواروس بود. بنابراین نباید در مورد نتایج حاصل از به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای نتایج بهتر (تفکیک همه‌ی ارقام از یکدیگر) و بدتر (شبهات همه‌ی ارقام به یکدیگر) از این را انتظار داشت.

روش کار در این مرحله چنین است که نام ارقام گندم کشت شده در ده مزرعه‌ی مورد مطالعه مجهول فرض می‌شوند درحالی‌که مطمئن هستیم به یقین در این مزارع گندم کاشته شده است نه چیز دیگری. از طرفی دیگر می‌دانیم در هر مزرعه چه رقمی کشت شده است. با استفاده از طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی، این مزارع طبقه‌بندی می‌شوند. در نهایت با مقایسه‌ی برچسب تعلق‌گرفته به مزارع با واقعیت زمینی، صحت طبقه‌بندی ارزیابی می‌شود. ابتدا یک شاخص گیاهی برای مجموعه پیکسل‌های انتخاب‌شده برای ده مزرعه‌ی مورد مطالعه در چهار تصویر منتخب محاسبه شد. سپس با توجه به اینکه در کتابخانه‌ی طیفی سه مرحله‌ی رویشی موجود است، ترکیب‌های سه‌گانه از تصاویر ماهواره‌ای برگزیده شدند. سپس با استفاده از معیار شبهات زاویه‌ی طیفی، میزان شبهات خروجی سری زمانی شاخص گیاهی پیکسل‌های هر یک از مزارع نسبت به خروجی سری زمانی همان شاخص گیاهی حاصل از

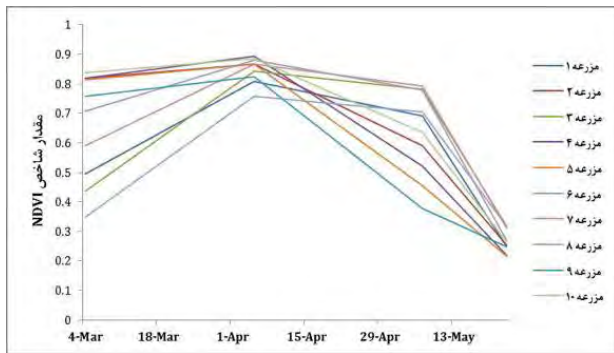
یاواروس نیز توسط بیش از ۲۰ شاخص مورد استفاده در این مطالعه از چهار رقم فوق تفکیک شده است لذا به تنهایی در یک کلاس قرار می‌گیرد. رقم چمران نیز توسط ۱۲ شاخص گیاهی از گندم یاواروس تفکیک شد ولی در تفکیک گندم چمران از ارقام کلاس اول موفقیتی حاصل نشده است. بنابراین ارقام بهار، پیشتاز، شیراز، شیروودی و چمران در یک کلاس و رقم یاواروس در کلاس دیگری قرار می‌گیرد.

جدول ۵: نتایج تفکیک‌پذیری جفت ارقام گندم برای سری

زمانی سه شاخص منتخب

نام جفت ارقام	NDVI	MNLI	VNR
بهار- چمران	۱	۰	۱
بهار- پیشتاز	۰	۰	۰
بهار- شیراز	۰	۰	۰
بهار- شیروودی	۰	۰	۰
بهار- یاواروس	۱	۱	۱
چمران- پیشتاز	۱	۰	۱
چمران- شیراز	۱	۱	۱
چمران- شیروودی	۰	۰	۰
چمران- یاواروس	۰	۱	۰
پیشتاز- شیراز	۰	۰	۰
پیشتاز- شیروودی	۰	۰	۰
پیشتاز- یاواروس	۱	۱	۱
شیراز- شیروودی	۰	۱	۰
شیراز- یاواروس	۱	۱	۱
شیروودی- یاواروس	۱	۱	۱

در آنالیزهایی که فقط یک مرحله از رشد در نظر گرفته شد، نتیجه‌ی به دست آمده این بود که مرحله‌ی مشاهداتی دوم بهترین نتایج را نسبت به دو مرحله‌ی رویشی دیگر ارائه می‌دهد با این همه در این نتایج، جهت تعیین تکلیف گندم چمران نتیجه‌ی مطلوبی به دست نیامد چرا که این رقم هم به کلاس اول که شامل بهار، پیشتاز، شیراز و شیروودی بود



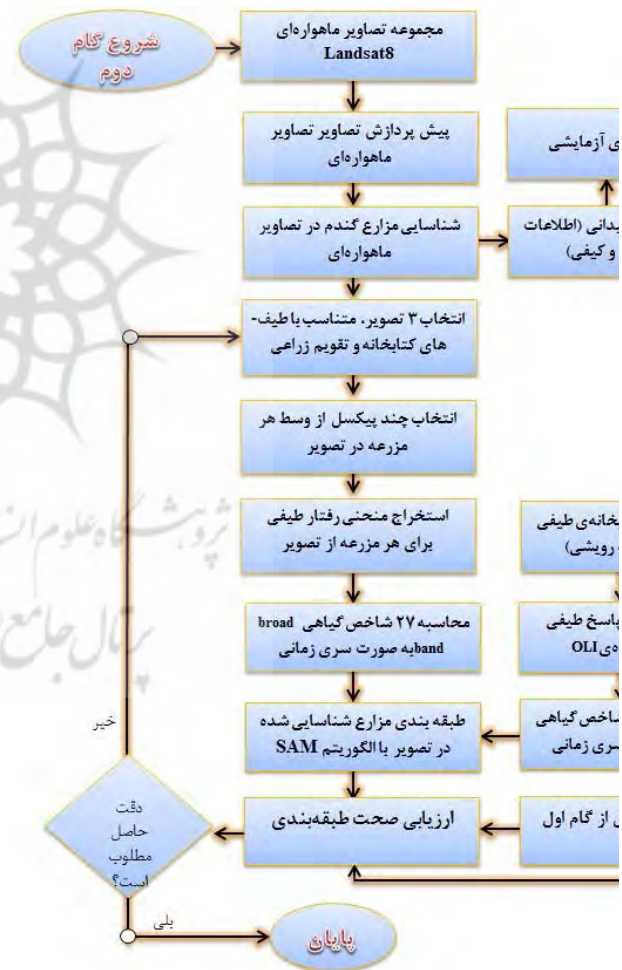
نگاره ۱۶: مقدار میانگین شاخص NDVI برای مزارع انتخاب شده در تصاویر ماهواره‌ای منتخب

نگاره ۱۶، مقدار میانگین شاخص NDVI را برای پیکسل‌های انتخاب شده برای چهار تصویر ماهواره‌ای اخذ شده به تاریخ‌های ۱۳ اسفند، ۱۶ فروردین، ۱۷ اردیبهشت و ۲ خرداد را نشان می‌دهد. تغییرات این شاخص در نگاره فوق به لحاظ آنچه در تعریف این شاخص آمده است همخوانی دارد و کاملاً منطقی است.

با مقایسه‌ی نگاره‌های ۱۲ و ۱۶، ملاحظه می‌گردد که تصویر ۲ خرداد، تصویری است که در آن تمامی ارقام به صورت قابل قبولی به مرحله‌ی رسیدگی دانه رسیده‌اند. لذا جهت انطباق طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی با تصاویر اخذ شده با مطابقت دادن تصویر ۲ خرداد با طیف‌های مرحله‌ی سوم کتابخانه، تکلیف مرحله‌ی رویشی رسیدگی دانه مشخص می‌شود ولی بار دیگر با توجه به همین دو شکل مشخص می‌شود که برخی ارقام از کتابخانه‌ی طیفی در مرحله‌ی گل دهی با تصویر ۱۳ اسفند انطباق خوبی دارند و برخی دیگر با تصویر ۱۶ فروردین. نگاره ۱۷، برای نمونه مقدار شاخص NDVI برای سه رقم گندم کتابخانه طیفی و مزارع مربوطه با ترکیب تصاویر مختلف جهت ملاحظه‌ی بهترین ترکیب تصاویر را نشان می‌دهد.

در نگاره فوق، خطوط قرمز رنگ مربوط به طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی و خطوط سبز رنگ مربوط به طیف‌های حاصل از تصویر می‌باشند.

طیف‌های کتابخانه مورد سنجش قرار گرفت. بر اساس زاویه‌های طیفی حاصل و دقت آن‌ها که با استفاده از قانون انتشار خطاها محاسبه شدند، طبقه‌بندی صورت گرفت و اسامی ارقامی از کتابخانه طیفی که به رقم کشت شده در مزارع مورد مطالعه بیش‌ترین شباهت را داشتند، لیست شدند. این پروسه برای هر ۲۷ شاخص گیاهی صورت پذیرفت. در نهایت هر شاخص گیاهی یک خروجی در اختیار نهاد. سرانجام جهت الصاق بر چسب نهایی بین نتایج همه‌ی شاخص‌ها رأی‌گیری صورت گرفت. نگاره ۱۵ به صورت کلی فلوجارت دوم را نشان می‌دهد.

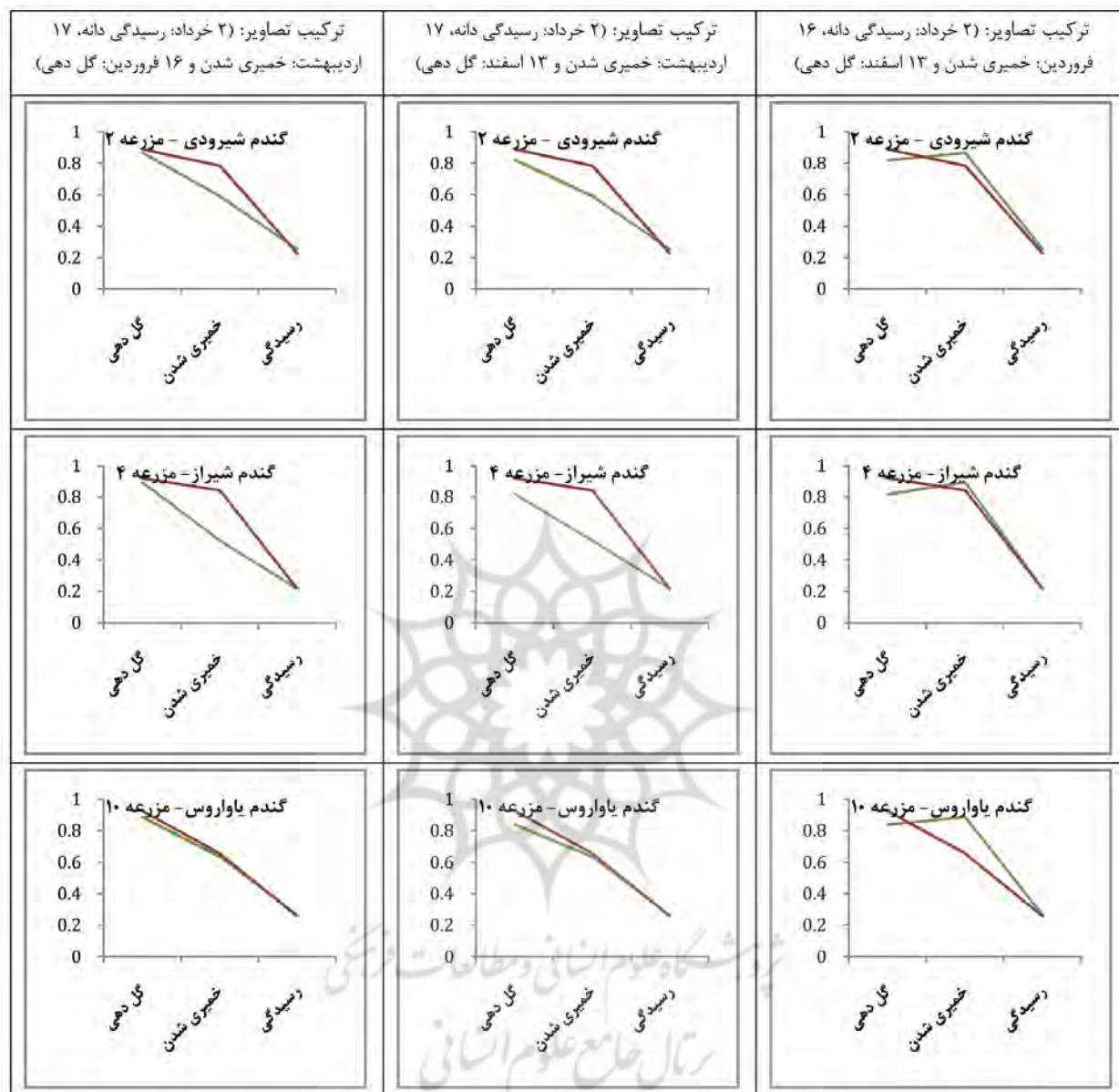


نگاره ۱۵: فلوجارت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی بازسازی شده به سنجده‌ی OLI (گام دوم)



فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۳)

ارزیابی پتانسیل تصاویر سنجنده OLI در تفکیک ... / ۲۱



نگاره ۱۷: مقدار شاخص NDVI برای سه رقم گندم کتابخانه طیفی و مزارع مربوطه با ترکیب تصاویر مختلف (خطوط قرمز حاصل از طیف کتابخانه و خطوط سبز حاصل از تصویربرداری)

در مرحله‌ی شیرگی و خمیری شدن واقع بوده است و در نهایت در ۲ خرداد رسیدگی کامل دانه حاصل گردیده است. نتیجه‌ی حاصل بیانگر زود رس یا متوسط رس بودن رقم کشت شده یا کشت زود هنگام صورت گرفته در این مزرعه است. بر اساس نمودارهای ردیف دوم نگاره ۱۷، بیشترین

بر اساس نمودارهای ردیف اول نگاره ۱۷، بیشترین میزان انطباق طیفی و تقویم زراعی گندم شیرودی کتابخانه‌ی طیفی با گندم شیرودی کاشته شده در مزرعه‌ی دوم با ترکیب تصاویر ۱۳ اسفند، ۱۶ فروردین و ۲ خرداد داده است. به عبارتی دیگر گندم کاشته شده در این مزرعه در ۱۳ اسفند در مرحله‌ی اواخر گل دهی قرار داشته و در ۱۶ فروردین

پردازش‌های بعدی صرفاً دو ترکیب تصویر دیگر در نظر گرفته شدند. بر اساس نتایج حاصل به دلیل عدم همزمانی کشت ارقام مختلف در منطقه‌ی مورد مطالعه برای برخی از مزارع ترکیب تصویر اول و برای برخی دیگر ترکیب تصویر دوم نتایج بهتری ارائه نمود. لذا برای هر مزرعه بهترین ترکیب تصویر انتخاب شد. جدول ۶، بهترین ترکیب تصاویر انتخاب شده برای هر مزرعه جهت طبقه‌بندی با استفاده از طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی را بر اساس نتایج مراحل قبل نشان می‌دهد.

جدول ۶: بهترین ترکیب تصاویر انتخاب شده برای هر مزرعه

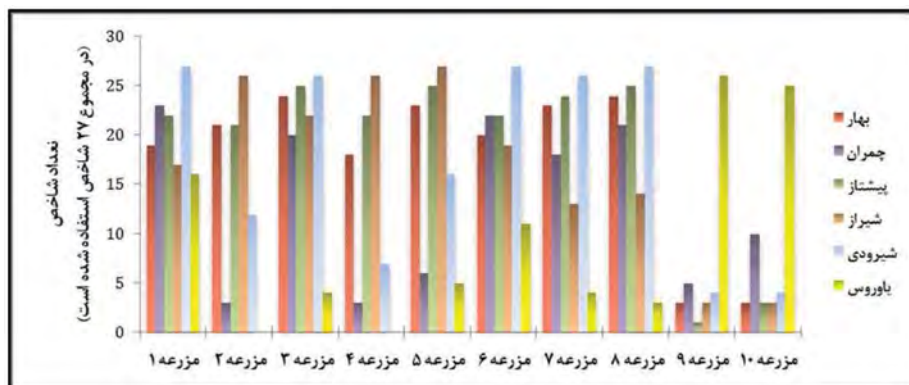
جهت طبقه‌بندی

شماره مزرعه	تصویر برای مرحله گل دهی و اواخر آن	تصویر برای مرحله شیرگی و خمیری شدن	تصویر برای مرحله‌ی رسیدگی
۱	۱۶ فروردین	۱۷ اردیبهشت	۲ خرداد
۲	۱۳ اسفند	۱۶ فروردین	۲ خرداد
۳	۱۶ فروردین	۱۷ اردیبهشت	۲ خرداد
۴	۱۳ اسفند	۱۶ فروردین	۲ خرداد
۵	۱۳ اسفند	۱۶ فروردین	۲ خرداد
۶	۱۶ فروردین	۱۷ اردیبهشت	۲ خرداد
۷	۱۶ فروردین	۱۷ اردیبهشت	۲ خرداد
۸	۱۶ فروردین	۱۷ اردیبهشت	۲ خرداد
۹	۱۶ فروردین	۱۷ اردیبهشت	۲ خرداد
۱۰	۱۶ فروردین	۱۷ اردیبهشت	۲ خرداد

میزان انطباق طیفی و تقویم زراعی گندم شیراز کتابخانه‌ی طیفی با گندم شیراز کاشته شده در مزرعه‌ی چهارم با ترکیب تصاویر ۱۳ اسفند، ۱۶ فروردین و ۲ خرداد روی داده است. به عبارتی دیگر گندم کاشته شده در این مزرعه در ۱۳ اسفند در مرحله‌ی اواخر گل دهی قرار داشته و در ۱۶ فروردین در مرحله‌ی شیرگی و خمیری شدن واقع بوده است و در نهایت در ۲ خرداد دانه به رسیدگی کامل رسیده است. نتیجه‌ی حاصل بیانگر زود رس یا متوسط رس بودن رقم کشت شده یا کشت زود هنگام صورت گرفته در این مزرعه می‌باشد.

بر اساس نمودارهای ردیف سوم نگاره ۱۷، بیش‌ترین میزان انطباق طیفی و تقویم زراعی گندم یاواروس کتابخانه‌ی طیفی با گندم یاواروس کاشته شده در مزرعه‌ی دهم با ترکیب تصاویر ۱۶ فروردین، ۱۷ اردیبهشت و ۲ خرداد رخ داده است. به عبارتی دیگر گندم کاشته شده در این مزرعه در ۱۶ فروردین در مرحله‌ی اواخر گل دهی قرار داشته و در ۱۷ اردیبهشت در مرحله‌ی شیرگی و خمیری شدن واقع بوده است و در نهایت در ۲ خرداد رسیدگی کامل دانه حاصل گردیده است.

نتیجه‌ی حاصل بیانگر دیر رس بودن رقم کشت شده یا کشت دیر هنگام صورت گرفته در این مزرعه می‌باشد. با ملاحظه‌ی نتایج حاصل در این بخش، مشخص شد که ترکیب تصاویر ۱۳ اسفند برای مرحله‌ی گل دهی، ۱۷ اردیبهشت برای شیرگی و خمیری شدن دانه و ۲ خرداد برای رسیدگی دانه نتایج مطلوبی ارائه نمی‌دهد لذا در



نگاره ۱۸: نتیجه‌ی طبقه‌بندی با استفاده از کتابخانه طیفی و ترکیب مناسب‌ترین تصاویر برای هر مزرعه

جدول ۷: خروجی طبقه‌بندی استفاده از کتابخانه‌ی طیفی و بهترین ترکیب تصاویر برای هر مزرعه

واقعیت میدانی	یاواروس	شیرودی	چمران	شیراز	چمران	پشتاز	بهار	چمران	یاواروس	یاواروس
شماره	مزرعه ۱	مزرعه ۲	مزرعه ۳	مزرعه ۴	مزرعه ۵	مزرعه ۶	مزرعه ۷	مزرعه ۸	مزرعه ۹	مزرعه ۱۰
تفکیک ارقام گندم در مزرعه	بهار	بهار	بهار	بهار	بهار	بهار	بهار	بهار	یاواروس	یاواروس
	چمران	پشتاز	چمران	پشتاز	پشتاز	پشتاز	پشتاز	چمران		
	پشتاز	شیراز	پشتاز	شیراز	شیراز	شیراز	شیراز	پشتاز		
	شیراز	شیرودی	شیراز		شیرودی	شیرودی	شیرودی	شیراز		
	شیرودی		شیرودی					شیرودی		
	یاواروس									

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه به ارزیابی پتانسیل فن آوری سنجش از دور در تفکیک ارقام گندم ایرانی پرداخته شد. از طرفی گندم، راهبردی‌ترین محصول کشاورزی کشور است و قوت غالب مردم ایران را تشکیل می‌دهد از طرفی دیگر این محصول ارقام مختلفی دارد که هر یک عملکرد و ویژگی‌های منحصر به فرد خود را دارند. به همین منظور، منحنی رفتار طیفی مربوط به ۶ رقم گندم ایرانی در سه مرحله‌ی رویشی گل دهی، خمیری شدن و رسیدگی دانه با استفاده از طیف‌سنج میدانی به منظور آنالیز تفکیک‌پذیری آنها از یکدیگر، اخذ شد و یک کتابخانه‌ی طیفی بومی ایجاد گردید.

در گام اول، ابتدا تابع پاسخ طیفی سنجنده‌ی OLI که بر روی ماهواره‌ی لندست ۸ نصب شده است، بر روی طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی اعمال شد. سپس با استفاده از ۲۷ شاخص گیاهی و ۹ معیار شباهت طیفی میزان تفکیک‌پذیری ارقام مختلف از همدیگر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج گام اول، حد نهایی تفکیک‌پذیری بودن یا نبودن ارقام مختلف را در تصاویر سری زمانی نشان داد. این نتایج در گام دوم جهت ارزیابی صحت طبقه‌بندی به همراه داده‌های میدانی به کار گرفته شد. نتایج حاصل از گام اول، بیانگر این مطالب بودند که اولاً بررسی طیف‌ها به صورت سری زمانی و

نگاره ۱۸، نتیجه‌ی حاصل از طبقه‌بندی ده مزرعه‌ی مورد مطالعه در ترکیب تصاویر مورد نظر با استفاده از طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی را نشان می‌دهد. برای مثال در نتایج حاصل برای مزرعه‌ی دهم، از بین ۲۷ شاخص گیاهی استفاده‌شده در این مطالعه ۲۵ شاخص گیاهی گندم کاشته شده در مزرعه‌ی دهم را گندم یاواروس؛ ۴ شاخص، گندم شیرودی؛ ۳ شاخص، گندم شیراز؛ ۳ شاخص، گندم پشتاز؛ ۱۰ شاخص، گندم چمران و ۳ شاخص، گندم بهار تشخیص داده‌اند.

بنابراین کاملاً واضح است که قریب به اتفاق همه شاخص‌ها شباهت گندم کشت شده در مزرعه‌ی دهم را به گندم یاواروس از کتابخانه‌ی طیفی نسبت داده‌اند. با توجه به جدول ۴، نتیجه‌ی حاصل برای این مزرعه کاملاً صحیح است. جدول ۷، نتیجه‌ی نهایی طبقه‌بندی را با اعمال حد آستانه‌ی حداقل ۱۲ شاخص (حدود نصف تعداد کل شاخص‌ها) نشان می‌دهد.

با توجه به اطلاعات میدانی، مشخص می‌شود که از بین ۱۰ مزرعه‌ی مورد مطالعه، تنها یک مزرعه به صورت نامطلوبی طبقه‌بندی شده است.

آن گونه که در مرحله‌ی آنالیز طیفی پیش‌بینی می‌شد، در تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، گندم یاواروس به طور مطلوبی از سایر ارقام تفکیک شد.

ضمیمه ۱: در جدول زیر ۲۷ شاخص گیاهی مورد استفاده در این مطالعه لیست شده است.

ردیف	نام اختصاری	نام کامل شاخص	فرمول (ρ میزان بازتابندگی است)	منبع
۱	<b>EVI</b>	<i>Enhanced Vegetation Index</i>	$2.5 (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + 6 \rho_{Red} - 7.5 \rho_{Blue} + 1)$	[18]
۲	<b>Green NDVI</b>	<i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i>	$(\rho_{NIR} - \rho_{green}) / (\rho_{NIR} + \rho_{green})$	[15]
۳	<b>NDVI</b>	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	$(\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$	[29]
۴	<b>SR</b>	<i>Simple Ration</i>	$\rho_{NIR} / \rho_{Red}$	[19]
۵	<b>MTVI2</b>	<i>Modified Triangular Vegetation Index</i>	$[1.5(1.2 * (\rho_{NIR} - \rho_{green}) - 2.5(\rho_{Red} - \rho_{green})) / \sqrt{(2 \rho_{NIR} + 1)^2 - (6 \rho_{NIR} - 5 \sqrt{(\rho_{Red})}) - 0.5}]$	[16]
۶	<b>RDVI</b>	<i>Renormalized Difference Vegetation Index</i>	$(\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / \sqrt{(\rho_{NIR} + \rho_{Red})}$	[28]
۷	<b>MSR</b>	<i>Modified Simple Ratio</i>	$[(\rho_{NIR} / \rho_{Red}) - 1] / \sqrt{(\rho_{NIR} / \rho_{Red}) + 1}$	[4]
۸	<b>IRG</b>	<i>Red Green Ratio Index</i>	$\rho_{Red} - \rho_{green}$	[10]
۹	<b>RVI</b>	<i>Ratio Vegetation Index</i>	$\rho_{Red} / \rho_{NIR}$	[22]
۱۰	<b>MSAVI</b>	<i>Modified Soil Adjusted Vegetation Index</i>	$[2 \rho_{NIR} + 1 - \sqrt{(2 \rho_{NIR} + 1)^2 - 8(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}] / 2$	[24]
۱۱	<b>OSAVI</b>	<i>Optimized Soil Adjusted Vegetation Index</i>	$(\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red} + 0.16)$	[27]
۱۲	<b>DVI</b>	<i>Difference Vegetation Index</i>	$\rho_{NIR} - \rho_{Red}$	[31]
۱۳	<b>SR × NDVI</b>	<i>Simple Ratio × Normalized Difference Vegetation Index</i>	$(\rho_{NIR}^2 - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}^2)$	[12]
۱۴	<b>VARI</b>	<i>Vegetation Atmospherically Resistant Index</i>	$(\rho_{green} - \rho_{Red}) / (\rho_{green} - \rho_{Red} + \rho_{Blue})$	[14]
۱۵	<b>VGreen</b>	<i>Vegetation Index green</i>	$(\rho_{green} - \rho_{RED}) / (\rho_{green} + \rho_{RED})$	[14]
۱۶	<b>RGRI</b>	<i>Red/green ratio Index</i>	$(\rho_{RED}) / (\rho_{green})$	[10]
۱۷	<b>ACI</b>	<i>Anthocyanin Content Index</i>	$(\rho_{green}) / (\rho_{NIR})$	[33]
۱۸	<b>CIGreen</b>	<i>Green Chlorophyll Index</i>	$(\rho_{NIR} / \rho_{Green}) - 1$	[14]
۱۹	<b>NLI</b>	<i>Non-Linear vegetation Index</i>	$(\rho_{NIR}^2 - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR}^2 + \rho_{Red})$	[11]
۲۰	<b>IPVI</b>	<i>Infrared Percentage Vegetation Index</i>	$(\rho_{NIR}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$	[5]
۲۱	<b>SAVI</b>	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>	$[(\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red} + L)] (1 + L)$	[18]
۲۲	<b>GEMI</b>	<i>Global Environmental Monitoring Index</i>	$\eta(1 - 0.25\eta) - ((\rho_{Red} - 0.125) / (1 - \rho_{Red}))$ $\eta = [2(\rho_{NIR}^2 - \rho_{Red}^2) + 1.5\rho_{NIR} + 0.5\rho_{Red}] / [\rho_{NIR} + \rho_{Red} + 0.5]$	[23]
۲۳	<b>MNLI</b>	<i>Modified Non-Linear vegetation Index</i>	$[(\rho_{NIR}^2 - \rho_{Red})(1 + L)] / [\rho_{NIR}^2 + \rho_{Red} + L]$	[12]
۲۴	<b>NDWI</b>	<i>Normalized Difference Water Index</i>	$(\rho_{NIR} - \rho_{SWIR2}) / (\rho_{NIR} + \rho_{SWIR2})$	[17]
۲۵	<b>RI</b>	<i>Redness Index</i>	$(\rho_{Red} - \rho_{Green}) / (\rho_{Red} + \rho_{Green})$	[8]
۲۶	<b>VNNIR</b>		$(\rho_{NIR}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$	[22]
۲۷	<b>VNR</b>		$(\rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$	[22]

طیفی و تصاویر لندست ۸ تعیین نمود. در گام دوم، از تصاویر سری زمانی لندست ۸ که در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ از منطقه‌ی نورآباد ممسنی واقع در استان فارس اخذ شده بودند، استفاده گردید. در ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۳ هجری شمسی طی یک بازدید میدانی از منطقه، تعدادی مزرعه‌ی گندم شناسایی شده و اطلاعات کمی و

آنالیز همزمان همه‌ی مراحل رویشی نسبت به حالتی که تنها یک مقطع رویشی در نظر گرفته شود نتایج مطلوب تری در اختیار قرار می‌دهد. ثانیاً برای طیف‌های بازسازی شده در بهترین حالت رقم یاواروس به صورت کامل از سایر ارقام گندم تفکیک می‌شود. این نتایج، میزان امیدواری ما را در تفکیک ارقام مختلف با استفاده از طیف‌های کتابخانه‌ی



4. Chen, J.M. (1995). Canopy architecture and remote sensing of the fraction of photosynthetically active radiation absorbed the boreal conifer forests. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*(submitted).
5. Crippen, R.E.(1990).Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*,34,pp.71-73.
6. Darvishsefat, A.A., Abbasi, M., Schaepman, M. E. (2011).Evaluation of Spectral Reflectance of Seven Iranian Rice Varieties Canopies. *J. Agr. Sci. Tech. Vol. 13: 1091-1104.*
7. Du, Y., Chang, C.I., Ren, H., Chang, C.C., Jensen, J.O., D'Amico, F.M. (2004). New hyper-spectral discrimination measure for spectral characterization. *Opt. Eng.* 43,1777-1786.
8. Escadafal, R., Huete, A.R. (1991). tude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à lamélioration des indices de vegetation obtenus par télédéction. *CR Acad. Sci. Paris 312, 1385-1391*
9. FieldSpec® 3 User Manual.(2010). ASD Inc. ASD Document 600540 Rev.
10. Gamon, J. G., Surfus, J. S.(1999). Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist* 143:105-117.
11. Goel, N.S., Qi, W. (1994). Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: a computer simulation. *Remote Sensing Reviews*, 10, 309-347.
12. Gong, P., Pu, R., Biging, G.S.; Larrieu, M.R. (2003). Estimation of forest leaf area index using vegetation indices derived from Hyperion hyperspectral data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 41, 1355-1362.
13. Gower, J.C., 1985. Properties of Euclidean and non-Euclidean distance matrices. *Linear Algebra and its Applications*, 67, 81-97.
14. Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., & Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80, 76-87.
15. Gitelson, A.A., & Merzlyak, M. N. (1997). Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 2691-2697.
16. Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada,

کیفی آن‌ها ثبت گردید. با استفاده از این داده‌های میدانی، در تصاویر ماهواره‌ای چند پیکسل از مزارع شناسایی شده انتخاب شدند و محنی رفتار طیفی آن‌ها استخراج گردید. این طیف‌ها به صورت مجهول در نظر گرفته شدند سپس با استفاده از ۲۷ شاخص گیاهی، معیار زاویه‌ی طیفی به عنوان معیار شباهت و طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی، طیف‌های مجهول طبقه‌بندی شدند. با توجه به نتایج، اهمیت انتخاب ترکیب تصاویر متناسب با طیف‌های کتابخانه‌ی طیفی در مقایسه با نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از ترکیب تصاویر متفاوت آشکار گردید. سر انجام در تصاویر ماهواره‌ای نیز رقم یاواروس به درستی از سایر ارقام تفکیک شد.

پیشنهاد می‌شود در صورت امکان، الگوریتم این مطالعه بر روی تصاویر فرا طیفی از قبیل هایپریون نیز پیاده‌سازی شود. در ضمن پیشنهاد می‌شود با اخذ داده‌های میدانی کافی در ابتدا مزارع گندم در کل یک تصویر سنجنش از دوری به صورت خودکار شناسایی شوند سپس در مرحله‌ی بعدی تفکیک ارقام مختلف از همدیگر صورت بگیرد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های میدانی تنها ده مزرعه مورد مطالعه واقع شدند.

## منابع و مأخذ

1. Aboelghar, M.A., Arafat, S.M., Eslam, F.A. (2013). Hyper Spectral Measurements as a Method for Potato Crop Characterization. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS. Volume 2, Issue 1, pp. 122-129, Article ID ISSN 2320 - 0243.*
2. Arafat, S.M., Aboelghar, M. A., Eslam, F.A. (2013). Crop Discrimination Using Field Hyper Spectral Remotely Sensed Data. *Advances in Remote Sensing*. 2, 63-70.
3. Chang, C.I. (2000). An information theoretic-based approach to spectral variability, similarity and discriminability for hyperspectral image analysis. *IEEE Trans. Information Theory*, 46, 1927-1932.

- libraries of canopy reflectance for crop classification using hyperspectral remote sensing data. *biosystems engineering* 110 231e246.
27. Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil -adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 24, 109–127.
28. Roujean, Jean-Louis and Breon, Francois-Marie. (1995). Estimating PAR Absorbed by Vegetation from Bidirectional Reflectance Measurements. *REMOTE SENS. ENVIRON.* 51:375-384.
29. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., Harlan, J.C. (1974). Monitoring the Vernal Advancements and Retrogradation (Greenwave Effect) of Nature Vegetation; NASA/GSFC Final Report; NASA: Greenbelt, MD, USA.
30. Swain, P.H., Robertson, T.V., Wacker, A.G. (1971). Comparison of the Divergence and B-Distance in Feature Selection. LARS Report. Purdue University.
31. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8, 127–150.
32. Van Aardat, J. A. N. (2000). Spectral separability among six southern tree species. MSc Thesis, Virginia polytechnic institute and state university Blacksburg, USA. Pp. 184.
33. Van den Berg, A.K., & T.D. Perkins. (2005). Nondestructive estimation of anthocyanin content in autumn maple leaves. *HortScience* 40:685–686.
34. Van der Meer, F. & Bakker, W. (1997). Cross correlogram spectral matching (CCSM): application to surface mineralogical mapping using AVIRIS data from Cuprite, Nevada. *Remote Sensing of Environment*, 61, 371–382.
35. Zomer, R.J., Trabucco, A., Ustin, S.L. (2009). Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing. *Journal of Environmental Management.* 90 ,2170e2177.
- P. J., & Strachan, I. B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90, 337–352.
17. Hardisky M.A., Klemas, V., and Smart, R.M. (1983). The influence of soilsalinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 49,77- 83.
18. Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment.* 25, 295–309.
19. Jordan, C.F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology* 50, 663–666.
20. Kruse, F., et al.(1993). The spectral image processing system (SIPS) – interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, 44, 145–163.
21. Merton, R., & Huntington, J. (1999). Early simulation results of the ARIES-1 satellite sensor for multi temporal vegetation research derived from AVIRIS. Available at [ftp://popo.jpl.nasa.gov/pub/docs/workshops/99\\_docs/41.pdf](ftp://popo.jpl.nasa.gov/pub/docs/workshops/99_docs/41.pdf) (verified 8 Apr. 2008). NASA Jet Propulsion Lab., Pasadena, CA.
22. Pearson, R.L., Miller, L.D. (1972). Remote Mapping of Standing Crop Biomass and Estimation of the Productivity of the Short Grass Prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. In Proceedings of the 8th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Ann Arbor, MI, USA, pp.1357-1381.
23. Pinty, B. & Verstraete, M.M. (1992) GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetatio*, 101: 15-20.
24. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., & Kerr, Y. H. (1994). Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). *Remote Sensing of Environment*, 48, 119–126.
25. Rao, N.R., Zbell, B. (2011a). Use of field reflectance data for crop mapping using airborne hyperspectral image. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* 66 683–691.
26. Rao, N.R., Zbell, B. (2011b). Transferring spectral